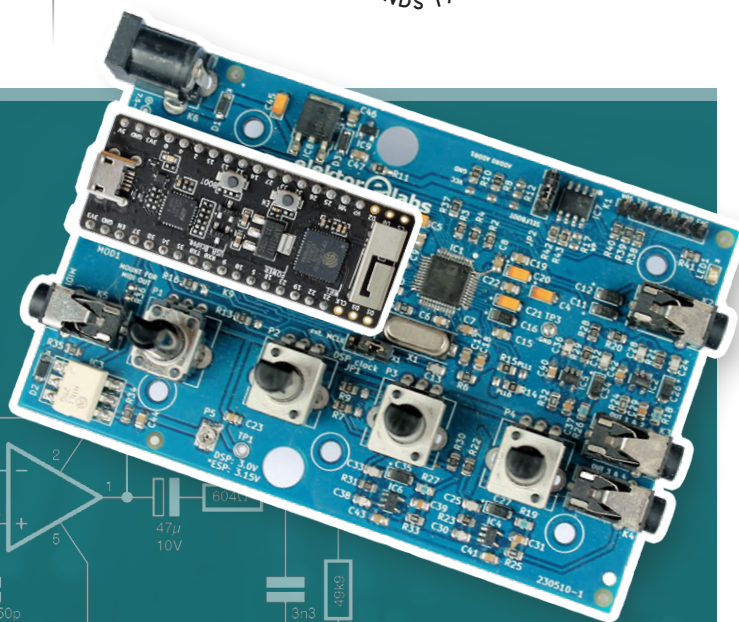


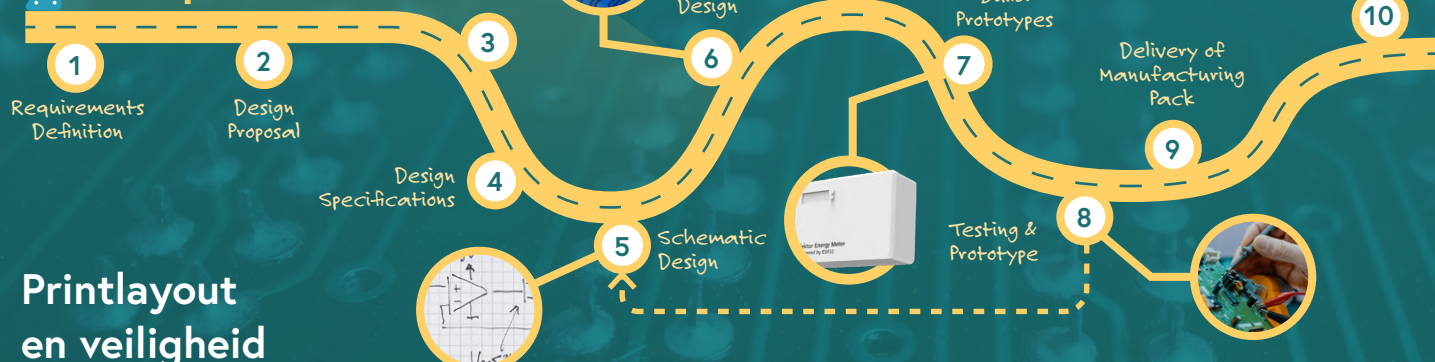
Audio DSP FX Processor Board

veelzijdig platform met ESP32 + ADAU1701 DSP



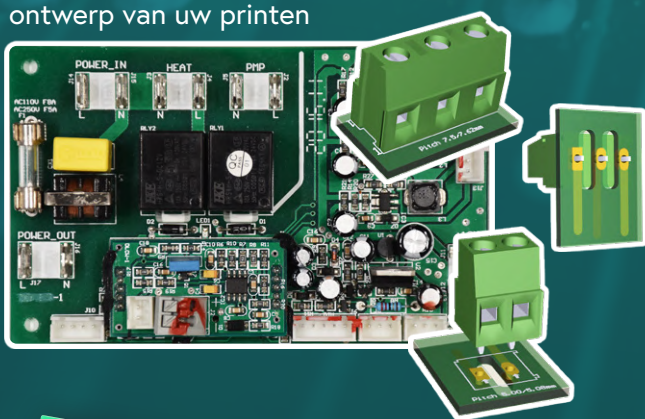
FOCUS OP

Prototyping,
Productie &
Componenten



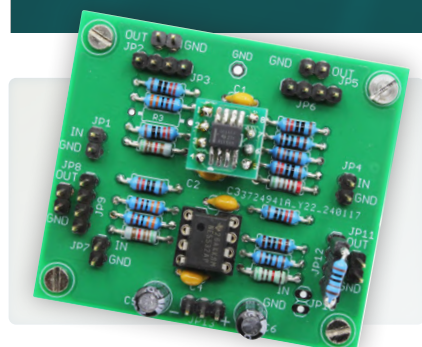
Printlayout en veiligheid

tips voor een veilig en duurzaam
ontwerp van uw printen



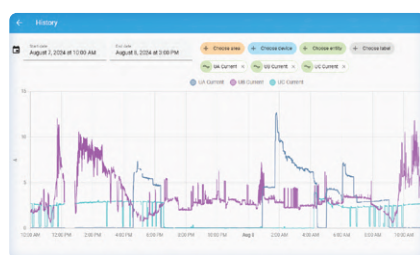
KiCad 8

belangrijkste nieuwe en vernieuwde functies



Opamp-tester

voor audio en andere toepassingen



ESP32-gebaseerde energiemeter

energiemonitoring met MQTT



Elektor MultiCalculator Kit

Arduino-gebaseerde DHZ-calculator
voor elektronici



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.

Entwicklerboards für Ihr Projekt

Arduino-wetenschapskit R3

Duik in de fascinerende wereld van de wetenschap met de Arduino Science Kit R3! Deze kit is ontworpen voor docenten en studenten en combineert krachtige hardware en software.

- incl. Nano RP2040 Connect, Science Carrier R3, sensoren
- maakt praktisch, experimenteel leren mogelijk
- Real-time gegevensverwerking en -analyse via de Science Journal app
- uitgebreid sensor-ecosysteem voor het registreren van fysische parameters



Bestelnr.:
ARD AKX00045

187,⁶⁰
(155,04)



De reichelt Raspberry Pi 5 B All-In-Bundle

De Raspberry Pi 4 Bundle bevat alles wat u nodig hebt om meteen aan de slag te gaan. Realiseer nu eenvoudig projecten zoals HD mediaspelers, internetradio, webcam servers of domotica!

De bundel omvat:

- Raspberry Pi 5 B met 2 GB RAM
- Hoogwaardige en trendy woningen
- Krachtige originele voedingseenheid (USB C)
- 32 GB microSD-kaart incl. RaspianOS
- 4-delige Raspberry Pi-koelset
- microHDMI naar HDMI kabel, 1 m



Bestelnr.:
RPI 5B 2GB ALLIN

85,⁹²
(71,01)



reichelt
elektronik **MAGAZIN**

Thema speciaal –
Ontwikkelboards
voor uw project

Lees nu ►
<https://rch.it/MG797n>



RASPBERRY PI, ARDUINO & CO.

**ONTWIKKELBOARDS
VOOR UW PROJECT**

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



Betaalwijzen:



DAGPRIJZEN! Prijzenstand: 22. 10. 2024

■ Geweldige prijs-kwaliteitverhouding

■ Meer dan 150.000 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. 691
 november/december 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

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



Prototyping, productie en componenten!

Elektronica is een uiterst globale markt. Veel van de belangrijkste fabrikanten en distributeurs van halfgeleiders zijn actief op verschillende continenten. En wie van ons heeft niet ooit onderdelen besteld die in regenbestendige zakjes over de hele wereld worden vervoerd? Nationaliteit doet er niet veel toe – soms is het zelfs moeilijk om te achterhalen waar bedrijven oorspronkelijk vandaan komen.

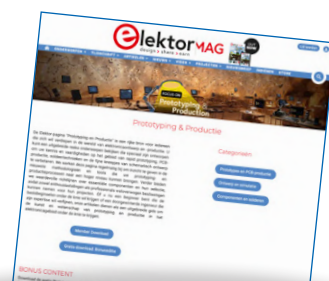
Maar er is één tijd van het jaar waarin de hele wereld gegarandeerd naar mijn thuisland Duitsland komt en München een mekka wordt voor alle elektronica professionals en -liefhebbers. Als electronica 2024 op 12 november 's ochtends opent, kunt u zich vergapen aan de nieuwste ontwikkelingen op het gebied van AI, IoT, slimme energie, GaN- en SiC-halfgeleiders en nog veel meer. Dit jaar viert de beurs haar zestigste verjaardag en is groter dan ooit tevoren. Voor het eerst zullen alle 18 hallen van de beurs in München worden gebruikt. Mijn collega's en ik kijken uit naar deze beurs omdat we een spannend programma hebben op onze stand (Hal B4.440). Op onze electronica Fast Forward zullen vijf startups hun producten aan het publiek presenteren. Daarnaast presenteren drie influencers hun nieuwste projecten op de Elektor-stand: GreatScott, Max Imagination en DIY GUY Chris, samen goed voor meer dan 2 miljoen volgers. Daarnaast zijn er live-interviews met experts. Aan het einde van elke dag streamen we een Elektor Lab Talk-show met verschillende gasten die praten over wat ze hebben gezien op de beurs (dinsdag tot en met donderdag, 17:00 CET). Mis de kans niet om langs te komen! Als u electronica niet persoonlijk kunt bijwonen, kunt u onze interviews en Lab Talk-shows bekijken op www.youtube.com/ElektorIM.

Zoals altijd hebben we veel interessante artikelen geselecteerd voor ons november/december-nummer om u enthousiast te maken en klaar te stomen voor de beurs, maar ook om u een kans te geven de donkere weken van het jaar (noordelijk halfjaar) door te komen met hands-on elektronica. Ons coverproject – het DSP-board – is een compleet prototyping-platform voor audio- en geluidsenthousiastelingen. Ik was onder de indruk van de veelzijdigheid van dit systeem, ontwikkeld door mijn collega Clemens Valens, die net als ik een audio- en muziekliefhebber in hart en nieren is. En natuurlijk bewegen we ons in dit productiegerichte nummer ook op het niveau van printplaten en componenten. U zult onder andere een diepgaand artikel over KiCad 8, een klein opamp-tester-project en een achtergrondartikel over printen en veiligheid aantreffen.

In de bonuseditie vindt u nog meer over prototyping, productie en componenten. (Download deze editie gratis van www.elektormagazine.nl/prototyping-productie). We bieden u onder andere een gids voor het starten van een ESP32-project op PlatformIO, en nog veel meer!

Meer over prototyping en productie

Als u bijzonder geïnteresseerd bent in prototyping, productie en componenten, bezoek dan onze themapagina over prototyping en productie waar we het hele jaar door actueel nieuws en exclusieve artikelen publiceren: www.elektormagazine.nl/prototyping-productie

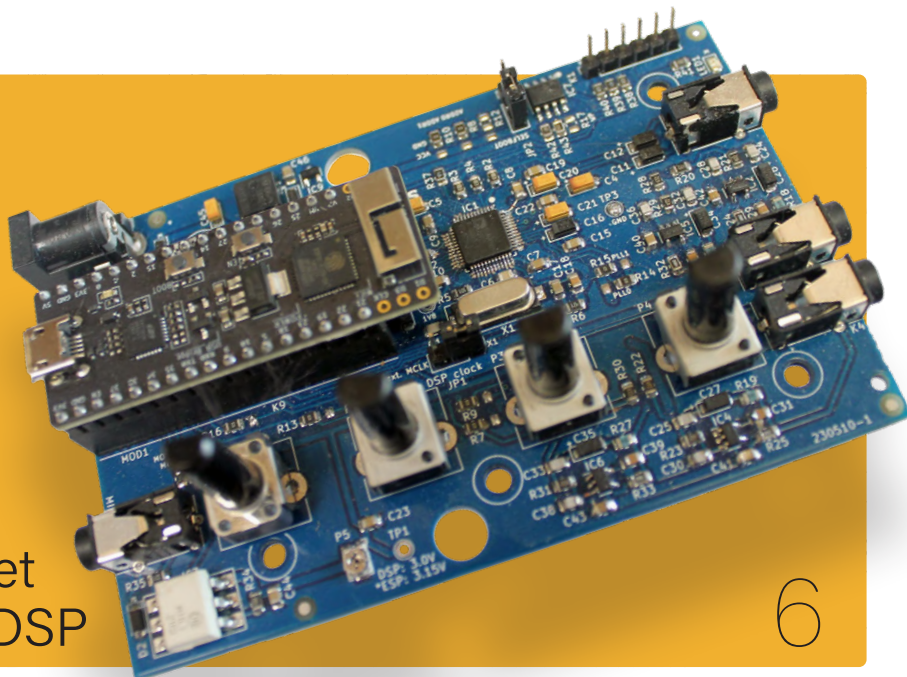


Ons team

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, 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

Audio DSP FX Processor Board

veelzijdig platform met
ESP32 + ADAU1701 DSP



6

Rubrieken

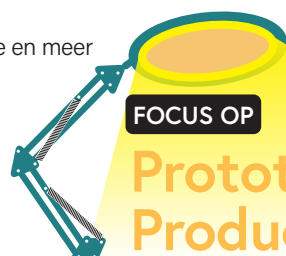
- 3 Voorwoord**
- 94 Uit het leven gegrepen**
microtechnofobie
- 100 Alle begin...**
...houdt nog lang niet op(amp)!
- 106 2024: een AI-odyssee**
een terugblik op de toekomst
- 120 Project 2.0**
correcties, updates en brieven van lezers

Achtergrond en info

- 18 50 jaar Elektor in het Engels**
- 22 KiCad 8**
belangrijkste nieuwe en vernieuwde functies
- 28 Elektor @ electronica 2024**
electronica Fast Forward Award, Experts & Influencers on Stage, Lab Talk Shows en meer
- 38 Goedkope GNSS RTK-systemen**
met centimeter-nauwkeurigheid
- 50 Printlayout en veiligheid**
tips voor een veilig en duurzaam ontwerp van uw printen
- 88 Open source-tools**
antennesimulator, componentenbeheer, rekenmachine en meer

Projecten

- 6 Audio DSP FX Processor Board**
deel 1: eigenschappen en ontwerp
- 32 Elektor MultiCalculator Kit**
Arduino-gebaseerde DHZ-calculator voor elektronici
- 58 Opamp-tester**
voor audio en andere toepassingen
- 62 ESP32-gebaseerde energiemeter**
energiemonitoring met MQTT
- 96 3D-kerstboom**
driedimensionale print met een goedkope 32bit-microcontroller
- 102 Autonome sensor-node**
project-update #1: RTC en voedingsschakelaar
- 112 LED-displays met de MAX7219**
aan de slag met een grandioze chip
- 124 Vibrotactiele handschoenen**
doorbraak voor Parkinson-patiënten



FOCUS OP

Prototyping, Productie & Componenten



3D-kerstboom

driedimensionale print
met een goedkope
32bit-microcontroller

96



Opamp-tester

voor audio en andere
toepassingen

58

Industry

- 68 Real-Time spectrumalyzer met golfgeleider-technologie en multi-interface PC's**
- 72 SMT-spoelen**
spoelen en ferieten – selectie gemakkelijk gemaakt
- 78 EMC-conformiteit bereiken met EMI-afscherming**
- 83 De perfecte tool voor elke elektronicaliefhebber**
eindeloze mogelijkheden met Red Pitaya en 1000+ Click Boards™
- 84 HDI in het midden**
een nieuwe kosteneffectieve PCB-poolingservice voor kleine BGA's
- 86 Uitdagingen van DFM-analyse voor flex- en rigid-flex-ontwerpen**
- 92 Infographic: prototyping en productie**

Binnenkort

Guest-edited AI-editie 2024

Voor het volgende nummer werkt de Elektor-redactie samen met experts op het gebied van kunstmatige intelligentie om u een speciale guest-edited AI-editie te kunnen presenteren. Zoals u van ons gewend bent, vormen DHZ-projecten het hart van dit nummer, maar u vindt ook diepgaande tech-tutorials, exclusieve interviews en nog veel meer.

- AI-beveiligingssysteem met Raspberry Pi 5
- Muggendetectie met Arduino Nicla Vision
- Een VHDL-klok gemaakt met ChatGPT
- Spraakfuncties op de Raspberry Pi Zero
- Machine vision met OpenMV
- Single-Board Computers voor AI-projecten

De Guest-edited AI-editie 2024 van Elektor verschijnt omstreeks **11 december 2024**.

Elektor januari/februari 2025

We hebben weer een interessante mix van projecten, schakelingen, achtergrondinfo antips en trucs van en voor engineers en makers voor u samengesteld. De focus ligt op voeding en energie.

- Elektronische belasting
- Powerbank voor notebook
- USB-isolator
- PV-simulator
- DHZ-accu voor PV-systemen
- Magnetometer

Elektor januari/februari 2025 verschijnt omstreeks **15 januari 2025**.

Alle aankondigingen onder voorbehoud.

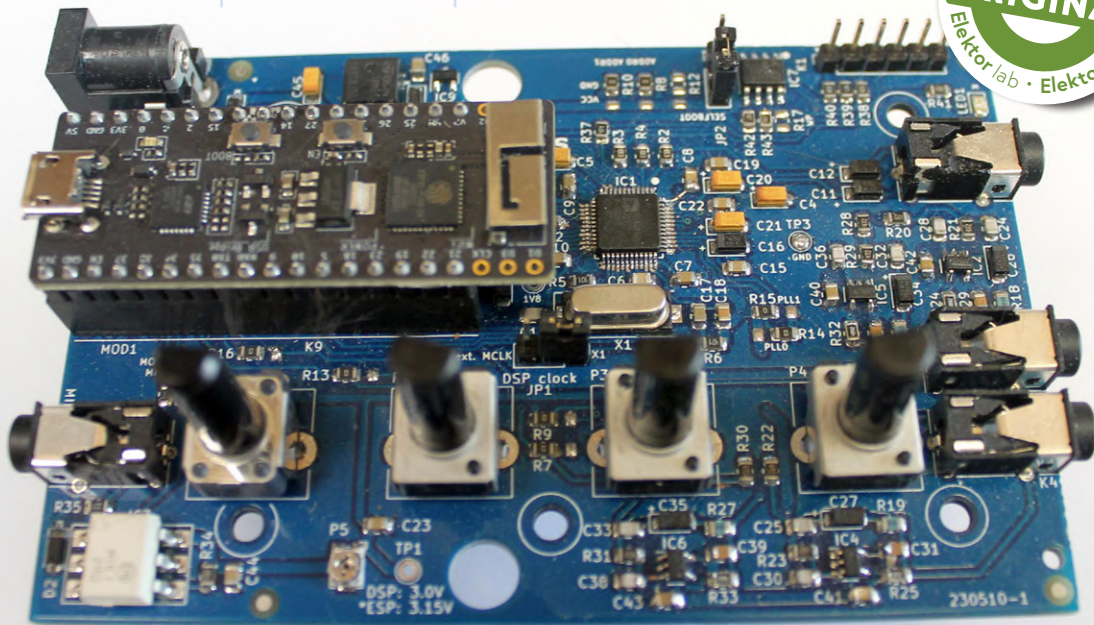
BONUS CONTENT

Download de gratis Prototyping, Productie & Componenten bonuseditie van Elektor!

- Een ESP32-project maken met PlatformIO
- Vreemde onderdelen: ongebruikelijke IC's
- HDMI digitale microscoop met endoscoop



[www.elektormagazine.nl/
prototyping-productie](http://www.elektormagazine.nl/prototyping-productie)



Audio DSP FX Processor Board

deel 1: eigenschappen en ontwerp

Clemens Valens (Elektor)

Het Elektor Audio DSP FX Processor Board is in feite een ESP32-microcontroller waaraan hoogwaardige audio in- en uitgangen zijn toegevoegd. Wat dit board echter onderscheidt van andere, schijnbaar vergelijkbare boards, is dat de audio-interface een DSP aan boord heeft die zelf audio kan verwerken. Deze handige functie maakt het board niet alleen krachtig, maar ook flexibel en veelzijdig. In dit eerste van twee delen bekijken we het ontwerp en de functies van het board.

De Audio DSP FX-processor combineert een Espressif ESP32-microcontroller en een ADAU1701 Audio DSP van Analog Devices. De Audio DSP-familie is een serie krachtige digitale signaalprocessors (DSP's) die geoptimaliseerd zijn voor audioverwerking. Programma's voor deze DSP's worden gemaakt met het gratis visuele programmeerprogramma SigmaStudio door voorgedefinieerde algoritmeblokken op een werkblad te slepen.

De hier gebruikte ADAU1701 is niet de meest recente chip, maar wel de meest toegankelijke. Naast een door de gebruiker programmeerbare DSP-kern heeft de ADAU1701 hoogwaardige analoog/digitaal- en digitaal/analoog-converteers aan boord en beschikt hij over een I²S-poort. Dit maakt hem geschikt als audio-interface voor de ESP32. Voordat we de verschillende gebruikssituaties van het Audio DSP FX

Processor Board verkennen, kijken we eerst naar het schema. Zoals ze zeggen, een tekening zegt meer dan duizend woorden. Werp ook een blik op het kader **Specificaties** en **Toepassingen**. Dit helpt om de volgende beschrijving van de schakeling te begrijpen. Daar gaat-ie!

Overzicht van het schema

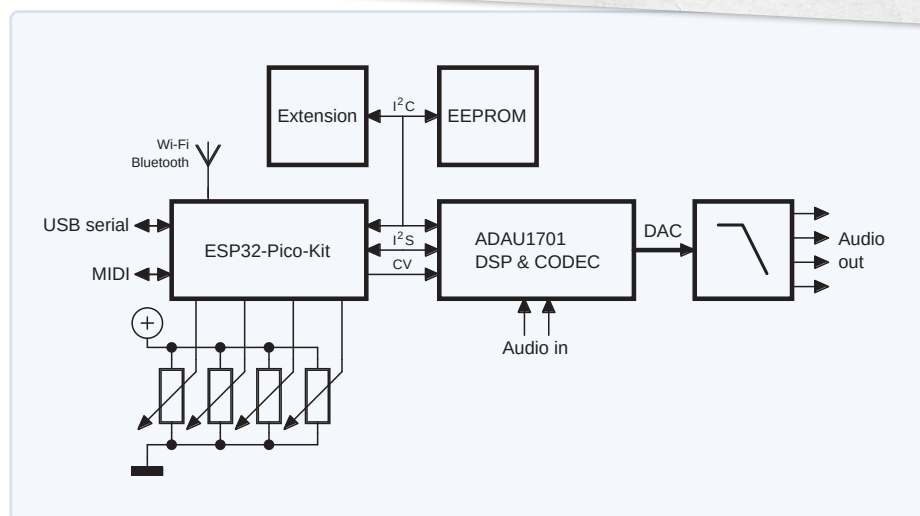
Figuur 1 toont het blokschema van de Audio DSP FX-processor. We zien twee hoofdblokken, de ESP32 en de ADAU1701, die met elkaar verbonden zijn via meerdere bussen. In het midden vinden we de I²S-bus voor het transport van audiosignalen tussen de twee processoren. Als de DSP alle audioverwerking voor zijn rekening neemt (wat mogelijk is) wordt deze bus niet gebruikt en kan de ESP32 voor andere taken worden ingezet.

Specificaties

- ADAU1701 28-/56-bit, 50-MIPS digitale audioprocessor met ondersteuning voor bemonsteringsfrequenties tot 192 kHz
- ESP32 32-bit dual-core microcontroller met WiFi 802.11b/g/n en Bluetooth 4.2 BR/EDR en BLE
- 2x 24-bit audio-ingangen ($2 V_{RMS}$, 20 k Ω)
- 4x 24-bit audio-uitgangen ($0,9 V_{RMS}$, 600 Ω)
- 4x regelpotentiometer
- MIDI in- en uitgang
- I²C-uitbreidingspoort
- Multi-mode bedrijf
- Voeding: 5 V_{DC} USB of 7,5...12 V_{DC} (voedingsconnector, middenpen is GND)
- Stroomverbruik (gemiddeld): 200 mA

Toepassingen

- Bluetooth/WiFi audio-sink (bijvoorbeeld luidspreker) & -bron
- Gitaareffectpedaal (stompbox)
- Muzieksynthesizer
- Geluid-/functiegenerator
- Programmeerbaar wisselfilter voor luidsprekers
- Geavanceerde audio-effectprocessor (reverb, chorus, pitch shifting enzovoort)
- Op internet aangesloten audioapparaat
- DSP-experimenteerplatform
- Draadloos MIDI
- MIDI/CV-converter



Figuur 1. Het blokschema van de Audio DSP FX-processor bevat twee hoofdblokken: een ESP32-processor en een DSP.

De schakeling

Het gedetailleerde schema van het Audio DSP FX Processor Board is afgedrukt in **figuur 2**. IC1 is de ADAU1701 audio-DSP. De omringende schakeling is bijna letterlijk gekopieerd van de datasheet van de DSP. De enige toevoeging die we ons hebben toegestaan is jumper JP1 waarmee u de klokbron voor de DSP kunt kiezen.

De audio-uitgangsfilters (IC2, IC4, IC5 en IC6, zie **figuur 3**) zijn geïmplementeerd als vier volledig gescheiden kanalen zonder tussen de kanalen gedeelde opamps. Dit vereenvoudigt

niet alleen het ontwerp van de print, maar maakt het ook mogelijk om alleen die onderdelen te monteren die nodig zijn voor een bepaalde gewenste audio-uitgangsconfiguratie (dat wil zeggen tweekanaals met passieve filters of volledig vierkanaals met actieve filters. Merk op dat het prijsverschil minimaal is).

De vier analoge signalen die de parameters in de DSP kunnen regelen, zijn verbonden met MP9, MP2, MP3 en MP8 (ADC0 tot ADC3, in die volgorde). Afhankelijk van de positie van een soldeerbrug (R16, R13, R7 en R9) kan het signaal van een potentiometer afkomstig zijn of van de analoge multiplexer (IC10 en IC11). Die laatste is nodig omdat de ESP32 maar twee analoge uitgangen heeft. Als een potentiometer naar de DSP wordt geleid, moet de bijbehorende seriële weerstand van de multiplexer (R44, R46, R47, R45) worden verwijderd. Pas in dit geval ook P5 aan zodat de hete kant van de potentiometers 3 V voert. Als alle potentiometers op de ESP32 zijn aangesloten, pas P5 dan aan om 3,15 V te krijgen, omdat dit hun dynamische bereik in de ESP32 enigszins verbetert.

De I²S-bus kan een beetje lastig zijn totdat u het doorhebt. De ADAU1701 ondersteunt zowel I²S master- als slave-modi en dat geldt ook voor de ESP32. Maar wie wordt master en wie slave? Ten tijde van de ontwikkeling van dit project was er maar één oplossing, omdat de ESP32-softwarebibliotheek de I²S slave-modus (nog) niet ondersteunden. Daarom moest de ESP32 de master zijn. Probleem opgelost? Bijna. Een subtiel (ongedocumenteerd?) detail van de ADAU1701 is dat hij wil dat de I²S-kloksignalen synchroon lopen met zijn masterklok. Zo niet, dan worden de audio-uitgangen gedempt, iets wat we zeker niet willen. De enige manier om gelijkloop te garanderen wanneer de DSP I²S-slave is, is door de DSP te klokken vanuit de ESP32. Hier komt JP1

De I²C-bus maakt het mogelijk om de DSP aan te sturen vanaf een andere processor zoals de ESP32 of een Arduino UNO die op de uitbreidingspoort is aangesloten. De DSP kan hiervoor ook SPI gebruiken, maar we hebben I²C gekozen omdat deze gemakkelijker uit te breiden is dan een SPI-bus (geen slave select-signalen nodig).

Deze bus wordt ook gebruikt voor het lezen van of schrijven naar de EEPROM. Als de ADAU1701 bijvoorbeeld in de zogenaamde *Selfboot*-modus staat, verwacht hij dat zijn programma in deze EEPROM wordt opgeslagen. De ESP32 kan de EEPROM laden met een DSP-programma dat is ontvangen van een andere computer (draadloos of via USB).

De vierde bus loopt van de ESP32 naar de DSP en is voor analoge signalen die in de DSP kunnen worden gebruikt om parameters van DSP-algoritmeblokken te regelen. Deze bus heeft vier kanalen. We hebben deze analoge spanningen regelbaar gemaakt via potentiometers (die ook voor andere doeleinden kunnen worden gebruikt) of via firmware die op de ESP32 draait.

De audio I/O-bus (helemaal rechts) bestaat uit twee ingangskanalen en vier uitgangskanalen. De uitgangen worden gefilterd door passieve of actieve filters (zie verderop), de ingangen worden gefilterd in de DSP. Naast de tot nu toe genoemde signalen heeft de ESP32 ook een USB/serieel-omzetter, alsmede een optisch geïsoleerde MIDI-ingang en een MIDI-uitgang in de aanbieding.

Last but not least heeft de ESP32 een radio aan boord voor WiFi- en Bluetooth-communicatie, gesymboliseerd door het antennesymbool.

om de hoek kijken. Hiermee kan de klokbron van de DSP gekozen worden: kristal X1 of het MCLK-sig-naal van de ESP32. Als I²S gebruikt moet worden, zorg er dan voor dat de pinnen 2 en 3 van JP1 kortgesloten worden. Als de I²S-bus niet nodig is, sluit dan pinnen 1 en 2 van JP1 kort.

De ESP32 wordt geleverd in de vorm van een ESP32-PICO-KIT, een eenvoudig te gebruiken module met een USB/serieel-omzetter en een 3,3V-voeding aan boord. Door een module te gebruiken in plaats van de ESP32 rechtstreeks op het moederbord te monteren, besparen we ons een hoop antenne-matching en andere RF-gerelateerde problemen en kunt u de module ook alleen monteren wanneer die nodig is. C58 is alleen nodig in het zeldzame geval dat de ESP32-module niet opstart als deze niet op USB is aangesloten. Als u die nodig hebt, gebruikt u waarschijnlijk een heel oude module.

De DSP wordt gevoed vanuit IC9, die op zijn beurt wordt gevoed vanuit de USB-poort of vanuit IC8. De oplettende lezer vraagt zich misschien af waarom er geen beveiligingsdiode zoals D3 is opgenomen in de 5V-voeding die van de ESP32-module komt. De reden is dat deze diode al aanwezig is op de ESP32-module.

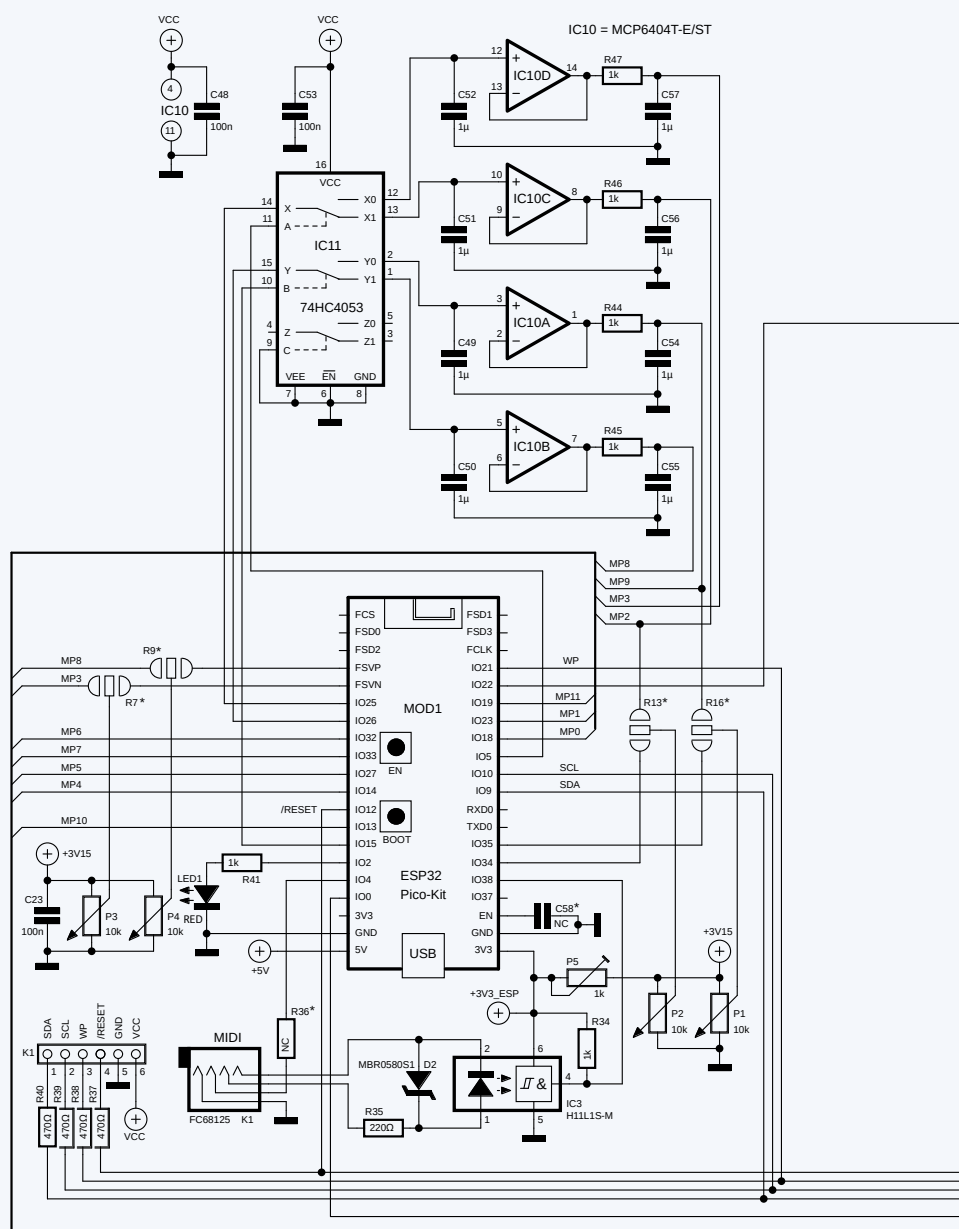
T1 heeft ook met de voeding te maken; deze is nodig voor de interne 1,8V-spanningsregelaar van de DSP. De datasheet van de DSP suggereert om deze transistor te gebruiken, en dat hebben we dan ook gedaan.

Programma's voor de DSP kunnen worden opgeslagen in IC7, de EEPROM (in SigmaStudio *E2Prom* genoemd). Deze biedt veel meer geheugenruimte dan nodig is voor een DSP-programma, dus de ESP32 kan hem ook gebruiken om andere gegevens op te slaan. Hij is ook toegankelijk vanaf connector K1 via de I²C-bus, zodat hij kan worden gelezen en beschreven door een extern apparaat zoals een Arduino UNO of een Raspberry Pi Pico.

Even iets over de MIDI-interface. Het is een eenvoudige optisch geïsoleerde ingang en een niet-geïsoleerde uitgang, maar aangesloten op een vierpolige 3,5mm-klinkstekerbus (TRRS, tip-ring-sleeve) vanwege de beperkte ruimte op de print. De meeste mensen die geïnteresseerd zijn in MIDI zullen alleen de ingang nodig hebben en een TRS-kabel gebruiken. Zo'n kabel zal de MIDI-uitgang (pin R2 van K5) kortsluiten naar massa, daarom is R36 standaard niet gemonteerd. Monteer R36 (82 Ω) om de uitgang in te schakelen en zorg ervoor dat u een geschikte kabel gebruikt.

LED1 is een door de gebruiker programmeerbare LED; dat kan van pas komen bij het debuggen van software, als modusindicatie of voor andere doeleinden.

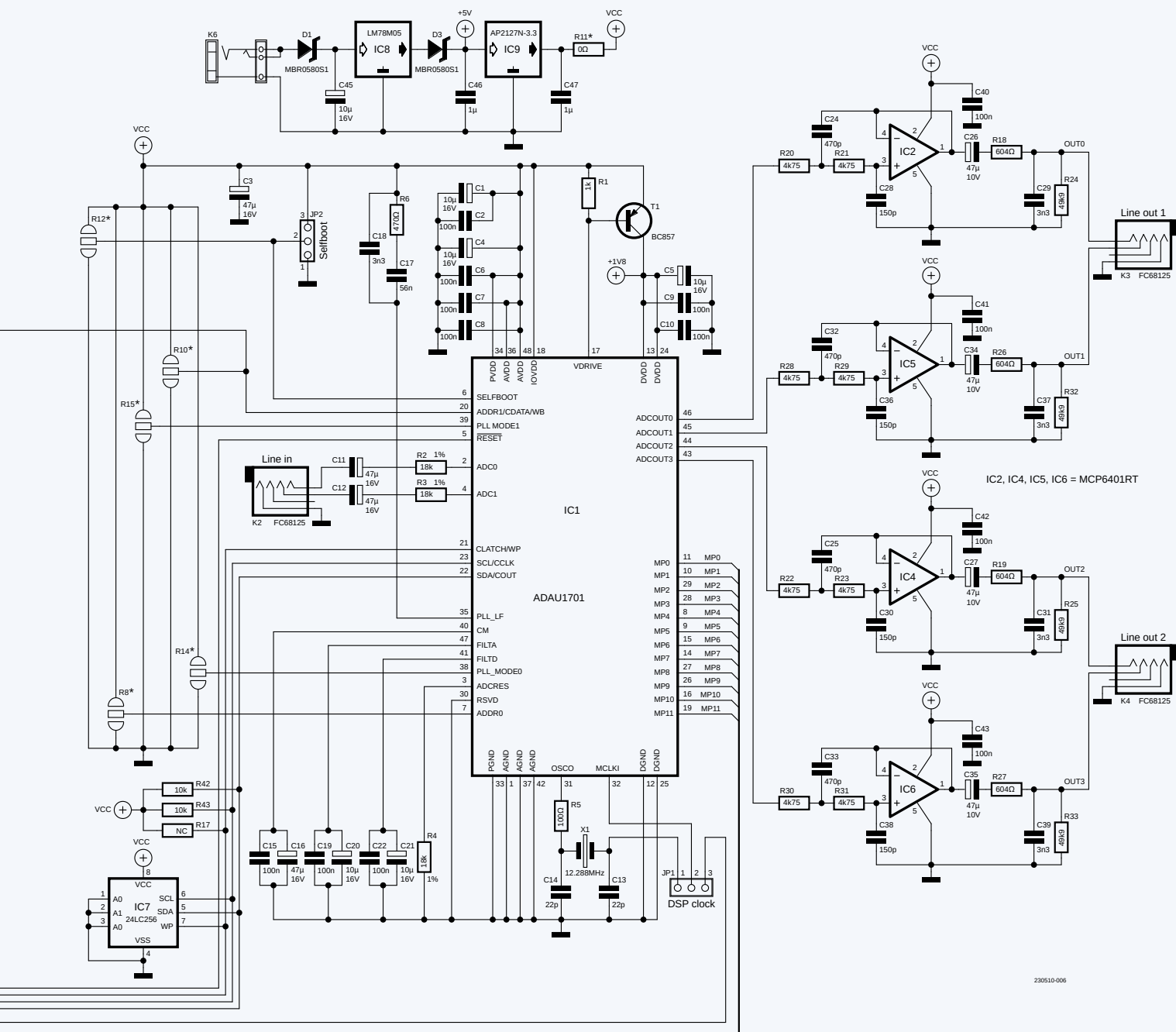
Het stroomverbruik hangt natuurlijk sterk af van de toepassing, maar ligt gemiddeld rond 200 mA bij een voedingsspanning van 9 V_{DC}.



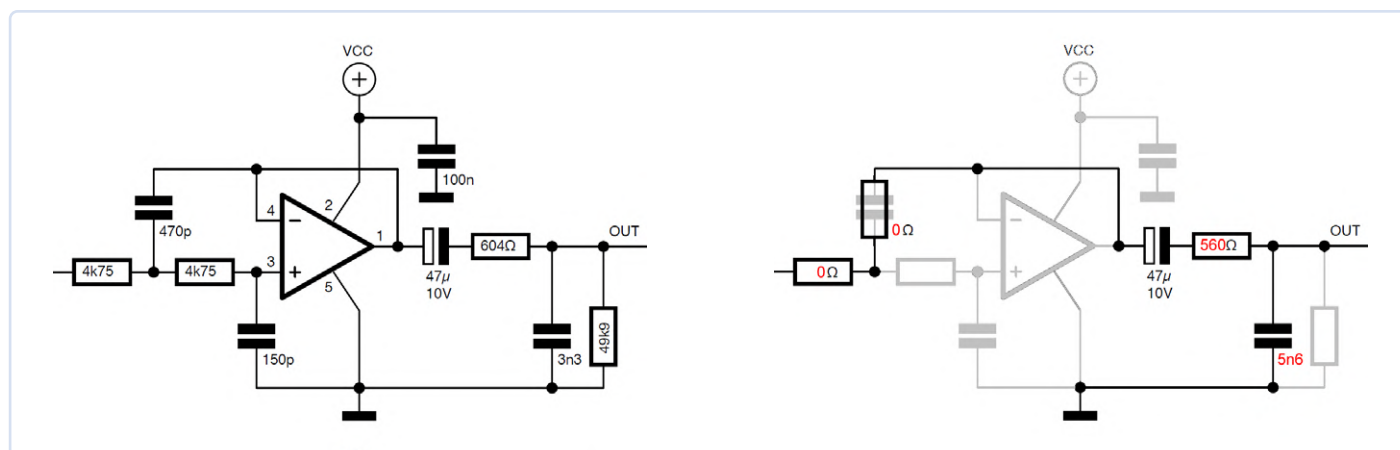
Een multifunctioneel board

Nu u een vaag idee hebt van wat het Audio DSP FX Processor Board is, zullen we de specificatie van het multi-mode-operatie-bedrijf nader detail bekijken. Zoals de benaming al aanduidt, betekent dit dat het board in verschillende configuraties gebruikt kan worden:

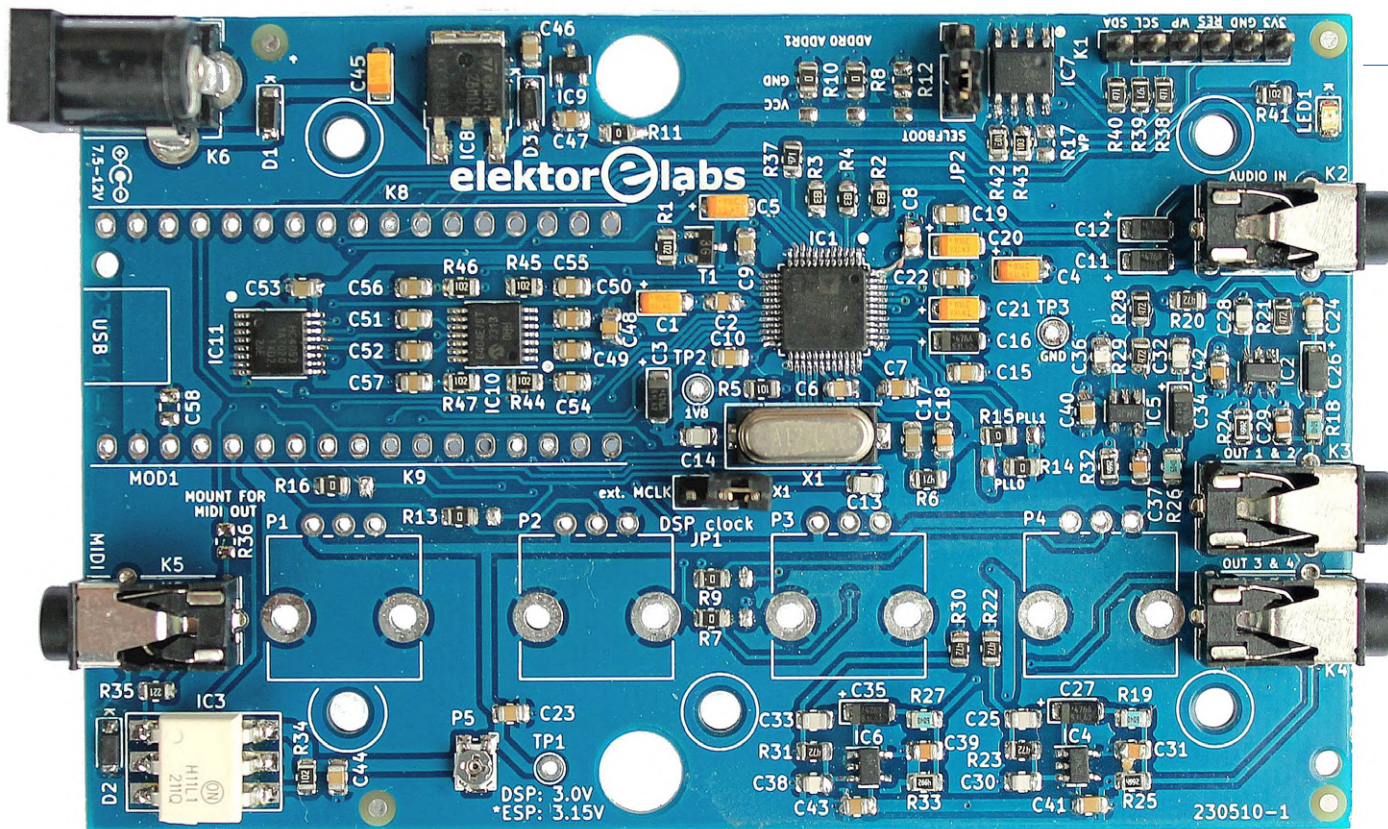
- alleen DSP;
- DSP met on-board EEPROM-programmer;
- DSP met OTA;
- DSP als I²S-DAC;
- muzieksynthesizer/geluidsgenerator;
- geavanceerde audio-effectprocessor (FX);
- andere.



Figuur 2. Het schema van de Audio DSP FX-processor. Alles past op een print van ongeveer 102x66 mm.



Figuur 3. Zowel actieve als passieve uitgangsfilters worden ondersteund door de Audio DSP FX-processor.



Figuur 4. De print is hier geconfigureerd voor DSP stand-alone-gebruik zonder potentiometers.

Alleen DSP

In deze configuratie (**figuur 4**) is het board identiek aan het "ADAU1701 Universal Audio DSP Board" dat in januari 2014 is gepubliceerd (Elektor-projectnummer 130232). Programma's voor de DSP worden gemaakt in SigmaStudio 4.7, geëxporteerd als HEX-bestand en in de EEPROM geladen via connector K1 met bijvoorbeeld een Arduino UNO [1]. Plaats jumper JP1 in stand X1 (op pinnen 1 en 2 wordt de DSP-klok geleverd door kristal X1) en JP2 in de stand Selfboot (pinnen 2 en 3, om de DSP te vertellen dat hij zijn programma uit de EEPROM moet laden). Jumperweerstanden R7, R9, R13, R16 moeten aan de rechterkant worden geplaatst, dat wil zeggen niet direct onder of naast hun naam die op de print is afgedrukt, om potentiometerregeling mogelijk te maken. In deze configuratie kunnen audio-effecten (galm, filtering enzovoort) worden toegevoegd aan het ingangssignaal. Populaire toepassingen zijn wisselfilters voor luidsprekers, mogelijk gemaakt door de vier onafhankelijke audio-uitgangen, en gitaareffecten.

DSP met on-board EEPROM-programmer

Als de vorige configuratie (alleen DSP), maar met de ESP32-Pico-Kit op het board gemonteerd om EEPROM-programmering te vereenvoudigen. DSP-programma's kunnen nu via USB naar de ESP32 worden geladen, die ze vervolgens in de EEPROM opslaat. Naast vereenvoudigd EEPROM-programmeren is het met deze configuratie ook mogelijk om meer dan één DSP-programma op te slaan. Een webserver die op de ESP32 draait kan bijvoorbeeld een gebruikersinterface bieden waarmee tussen verschillende DSP-algoritmes kan worden gekozen.

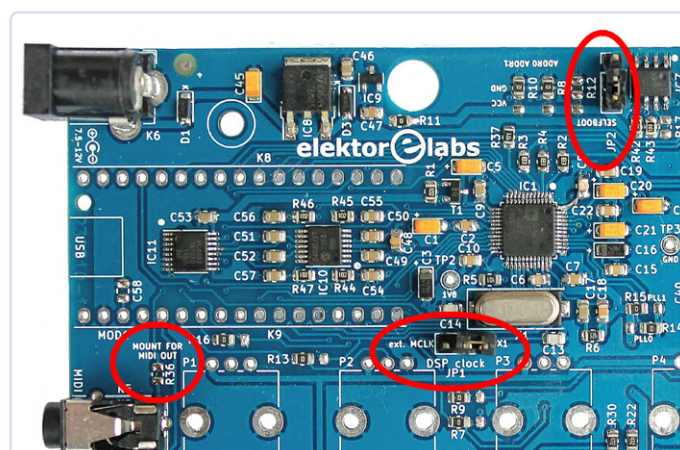
DSP met OTA

Opnieuw als DSP met ESP32-Pico-Kit, maar in deze instelling biedt de ESP32 een WiFi-verbinding met SigmaStudio voor het draadloos ('over the air', OTA) laden van DSP-algoritmes, zonder HEX-bestanden te hoeven exporteren. Dit is de eenvoudigste manier om de DSP in SigmaStudio te programmeren, maar de programma's worden niet

opgeslagen in de EEPROM. Deze configuratie is praktisch voor het ontwikkelen en testen van nieuwe SigmaStudio-algoritmes. Plaats JP2 op pen 1 en 2 om de DSP te vertellen dat hij zijn programma niet uit de EEPROM moet ophalen.

DSP als I²S-DAC

In deze configuratie is de ESP32-Pico-Kit de audiobron terwijl de DSP fungeert als hoogwaardige digitaal/analoog-omzetter (DAC). Audiogegevens worden via I²S verzonden. Plaats jumper JP1 in de stand *ext. MCLK* (op pinnen 2 en 3 wordt de DSP-klok geleverd door de ESP32). Plaats omwille van de eenvoud JP2 in de stand Selfboot (pinnen 2 en 3, laat de DSP zijn programma laden vanuit de EEPROM) en programmeer de DSP met een eenvoudig I²S pass-through-programma (meegeleverd met de downloads). Deze configuratie is geschikt voor draadloze (WiFi of Bluetooth) streaming audiospelers. Geluidseffecten zoals galm of pitch-shifting kunnen eenvoudig worden toegevoegd door



Figuur 5. De locaties van jumpers JP1 (midden) en JP2 (boven). Linksonder ziet u R36 die de MIDI-uitgang inschakelt.

Onderdelenlijst

Weerstanden (0805, 5%, 0,125W):

R7,R8,R9,R10,R11,R13,R14,R15,R16 = 0 Ω
 R1,R34,R41,R44,R45,R46,R47 = 1 k 1%
 R2,R3,R4 = 18 k 1%
 R5 = 100 Ω
 R6,R37,R38,R39,R40 = 470 Ω
 R18,R19,R26,R27 = 604 Ω 1%
 R20,R21,R22,R23,R28,R29,R30,R31 = 4k75 1%
 R24,R25,R32,R33 = 49k9 1%
 R35 = 220 Ω
 R42,R43 = 10 k
 P1,P2,P3,P4 = 10 k, lin/B, verticaal
 P5 = 1 k instelpotmeter
 R12,R17,R36 = NC

Condensatoren (0805):

C1,C4,C5,C20,C21,C45 = 10 μ /16 V
 C2,C6,C7,C8,C9,C10,C15,C19,C22,C23,
 C40,C41,C42,C43,C44,C48,C53 = 100 n
 C3,C11,C12,C16,C26,C27,C34,C35 = 47 μ /10 V
 C13,C14 = 22 p
 C17 = 56 n
 C18,C29,C31,C37,C39 = 3n3
 C24,C25,C32,C33 = 470 p
 C28,C30,C36,C38 = 150 p
 C46,C47,C49,C50,C51,C52,C54,C55,C56,C57 = 1 μ
 C58 = NC (100 n indien werkelijk nodig)

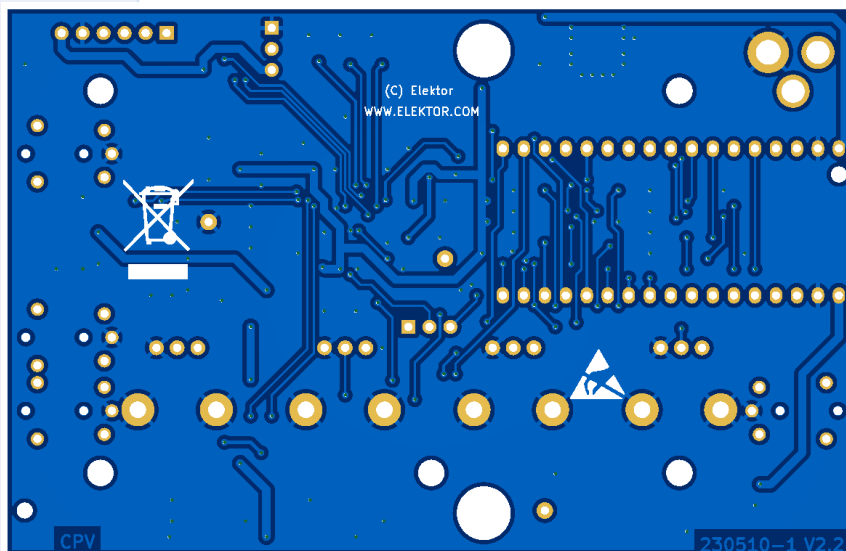
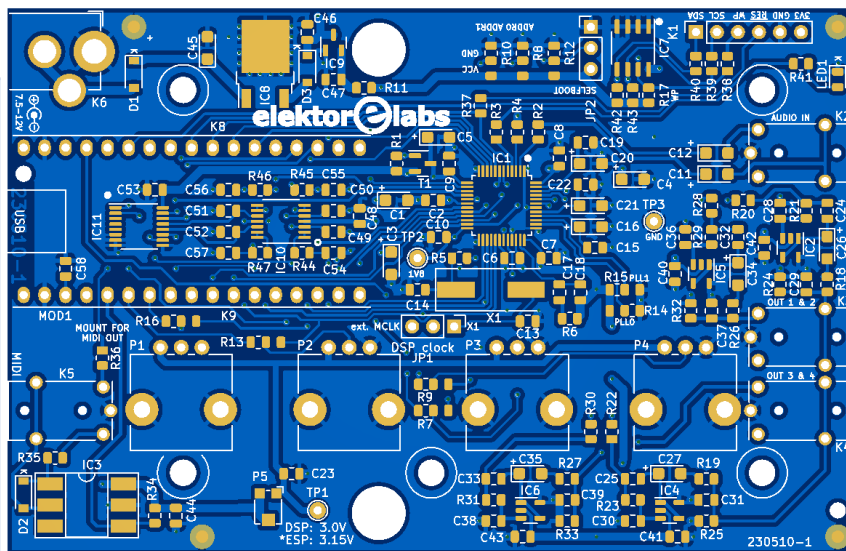
Halfgeleiders:

D1,D2,D3 = MBR0580S1
 IC1 = ADAU1701JSTZ
 IC2,IC4,IC5,IC6 = MCP6401RT-E/OT
 IC3 = H11L1S-M
 IC7 = 24LC256
 IC8 = LM78M05
 IC9 = AP2127N-3.3
 IC10 = MCP6404T-E/ST
 IC11 = 74HC4053PW
 LED1 = LED, rood, 0805
 T1 = BC857
 MOD1 = Espressif ESP32-PICO-KIT

Diversen:

JP1,JP2 = 3-polige pinheader, raster 2,54 mm + jumper
 K1 = 6-polige pinheader, raster 2,54 mm
 K2,K3,K4,K5 = vierpolige audio-klinkstekerbus (TRRS)
 K6 = voedingsconnector
 K8,K9 = 17-polige busstrip, raster 2,54 mm
 X1 = 12,288 MHz, 20 p

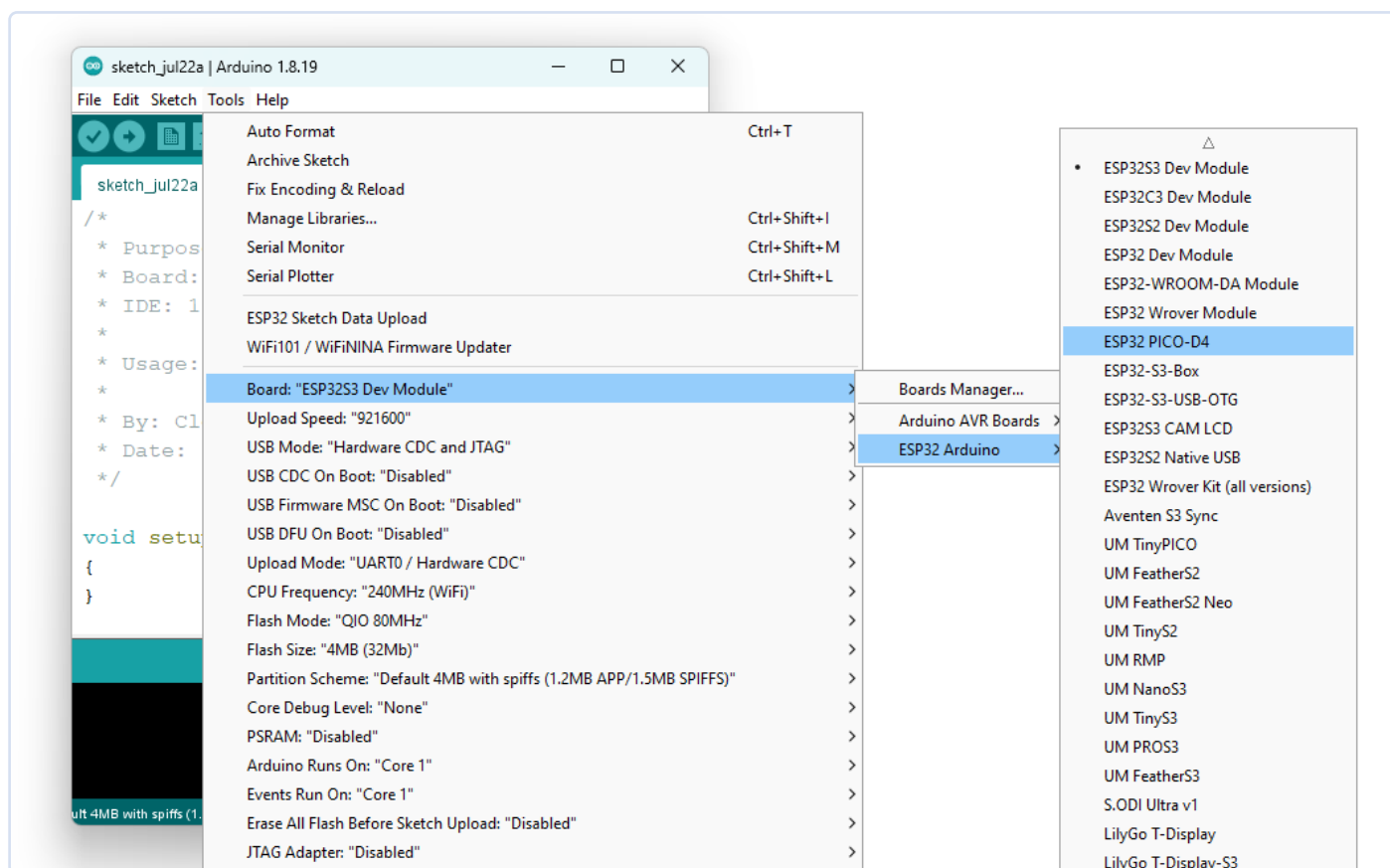
Print = Elektor 230510-1



geschikte algoritmes te maken in SigmaStudio en deze in de EEPROM van de DSP te laden. Met de vier potentiometers kunnen de parameters worden geregeld (zorg ervoor dat de jumperweerstand goed geplaatst zijn). De analoge audio-ingang kan natuurlijk ook gebruikt worden voor meezing-, karaoke- of andere audio-mix-toepassingen.

Muzieksynthesizer/geluidsgenerator

Deze configuratie is in principe hetzelfde als de vorige, behalve dat de ESP32 nu het grootste deel (zo niet alles) van de signaalverwerking voor zijn rekening neemt; de DSP functioneert als een fancy I²S-audio-DAC. De ESP32 is de (geluids)motor die geluiden creëert met behulp van door de gebruiker gedefinieerde algoritmes. Er zijn verschillende bibliotheken voor geluidssynthese online beschikbaar, waardoor dit een interessant domein is om te verkennen. Met de MIDI-ingang kunt u de synthesizer bespelen met een MIDI-keyboard en aansturen met bijvoorbeeld MIDI CC-berichten (*Control Change*, ook bekend onder de naam *Continuous Controller*) berichten. Natuurlijk is draadloze bediening ook mogelijk, net als seriële. De vier potentiometers zorgen voor extra regelmogelijkheden. En om de pret nog verder te vergroten kan de DSP zijn eigen geluidseffecten toevoegen.



Figuur 6. De Audio DSP FX-processor gebruikt de ESP32 Pico-D4 als 'Board' in de Arduino IDE.

Geavanceerde audio-effectprocessor (FX)

Als boven, maar in plaats van de ESP32 te gebruiken als geluidsbron wordt deze nu gebruikt als digitale signaalprocessor. De ADAU1701 zorgt voor de audio in- en uitgangen. Hij stuurt digitale audio via I²S naar de ESP32 waar die wordt verwerkt. Het resultaat wordt teruggestuurd naar de ADAU1701, opnieuw via I²S. De ADAU1701 zorgt voor de digitaal/analoo omzetting en voert maximaal vier analoge audio signalen uit. De ADAU1701 kan natuurlijk zijn eigen (voor-)bewerking toevoegen. Effectparameters kunnen draadloos, serieel, via MIDI en met de potentiometers worden geregeld, en desgewenst zelfs via I²C.

Andere

Deze configuratie is voor mensen die het board hebben aangeschaft maar geen audioverwerking nodig hebben. Plaats JP1 in de positie *ext*. **MCLK** (pinnen 2 en 3) en JP2 op pinnen 1 en 2 (niet Selfboot) zodat de DSP niet veel energie verbruikt. De ESP32-module kan worden gebruikt als webserver, een USB/serieel MIDI-bridge, een USB/serieel I²C-bridge, een MIDI/I²C-converter, MIDI/analoo-converter en vice versa, een vierkanaals analoo/digitaal-omzetter, een IoT-sensordingetje of een LED-knipperlicht. De mogelijkheden worden slechts door uw fantasie beperkt, zoals het spreekwoord luidt.

Parameterregeling

Audio-effecten hebben meestal een of meer parameters die door de gebruiker kunnen worden ingesteld om het geluid of effect in realtime aan te passen. De Audio DSP FX-processor heeft hiervoor verschil-

lende methoden aan boord, waarvan de meeste tegelijkertijd kunnen worden gebruikt.

I²C

Het maakt niet uit welke configuratie gebruikt wordt, de DSP kan altijd via I²C bestuurd worden, en wel via K1 of door de ESP32. Aangezien deze laatste op dezelfde bus is aangesloten, kan hij ook via I²C bestuurd worden, mocht u dat willen.

Potentiometers

De Audio DSP FX-processor kan worden uitgerust met maximaal vier potentiometers. Deze kunnen elk aangesloten worden op de DSP of de ESP32. Als ze op de DSP zijn aangesloten, kunnen ze worden uitgelezen via de hulp-ADC's in SigmaStudio (ADC1 tot ADC4 in het *GPIO block* op het tabblad *Register Control* van het tabblad *Hardware Configuration* van een project). Verwijder in dit geval R44...R47.

De voorkeur gaat echter uit naar een meer flexibele manier om de potentiometers op de ESP32 aan te sluiten. Deze heeft twee analoge uitgangen waarvan door multiplexing (IC10 en IC11) vier worden gemaakt; deze zijn verbonden met de hulp-ADC's van de DSP (pinnen MP9, MP2, MP3 en MP8). Hierdoor kan de ESP32 de hulp-ADC's van de DSP aansturen met de potentiometers of op een andere manier (bijvoorbeeld met MIDI CC-berichten of draadloos).

Merk op dat de gemultiplexte analoge uitgangen ook kunnen worden gebruikt als (langzame) digitale uitgangen, die door een DSP-algoritme kunnen worden behandeld als schakelaars of drukknoppen.

MIDI

De optisch geïsoleerde ingang van het board (IC3) is bedoeld als MIDI-ingang (maar kan natuurlijk ook voor iets anders worden gebruikt). Om ruimte te besparen is de connector een 3,5mm-klinkstekerbus (in MIDI-land bekend als TRS, van Tip/Ring/Sleeve) en geen vijfpolige DIN-connector. Met de MIDI-ingang kunt u de ESP32 en/of de DSP aansturen met een toetsenbord of een bedieningspaneel.

Zoals gezegd is er ook een MIDI-uitgang beschikbaar. Monteer R36 (82 Ω) om de uitgang in te schakelen (**figuur 5**). Omdat de waarde van R36 vrij laag is, moet u voorzichtig zijn met wat u op K5 aansluit. Dit moet nu een vierpolige 3,5mm-klinksteker (TRRS) zijn en geen tweepolig (mono of TS) of driepolig (stereo of TRS) type. Omdat de MIDI-uitgang waarschijnlijk niet voor veel mensen nodig zal zijn, is R36 standaard niet gemonteerd om beschadiging van de ESP32 te voorkomen.

USB serieel

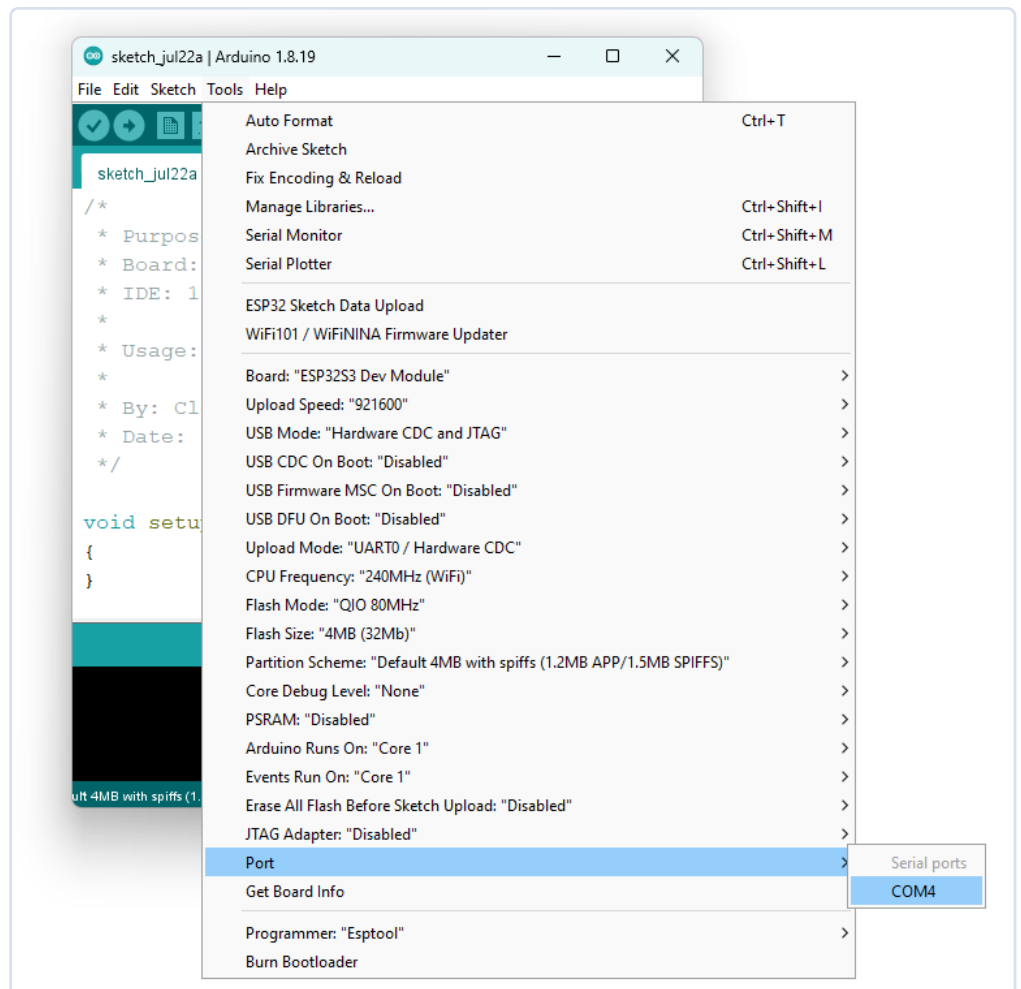
De USB-connector op de ESP32-Pico-Kit is een USB/serieel-poort. In Arduino is deze beschikbaar als de standaard seriële poort (ook bekend als 'Serial'). Een computer kan deze poort gebruiken om te communiceren met de ESP32, die berichten kan doorgeven aan de DSP via I²C of via de analoge besturingspoorten (MP2, MP3, MP8 en MP9) of andere MP-pinnen. De seriële poort kan ook gebruikt worden als MIDI- of I²C-brug (op K1).

Draadloos

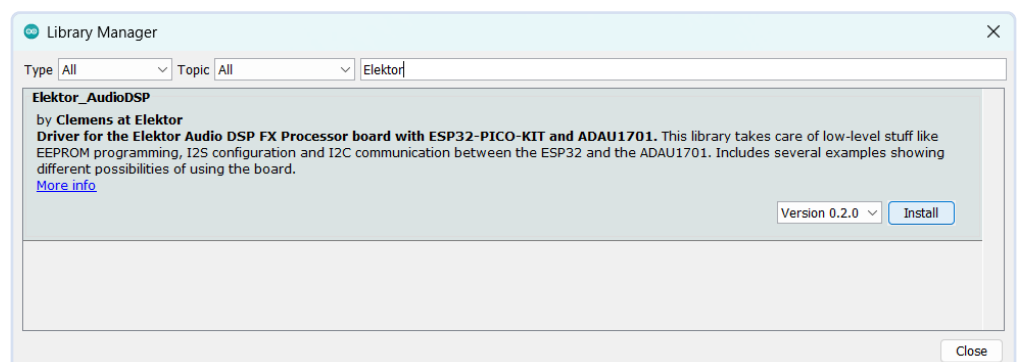
Tot de grote voordelen van de ESP32 behoren natuurlijk de draadloze mogelijkheden. De ESP32-Pico-Kit ondersteunt WiFi 802.11b/g/n, Bluetooth v4.2 BR/EDR en Bluetooth LE. Voor auditoepassingen is vooral de Bluetooth-functionaliteit interessant, omdat u het board dan kunt gebruiken als Bluetooth-luidspreker (driver of 'sink'), maar u kunt het ook gebruiken als Bluetooth-audibron.

Aan de slag

Vers uitgepakt en met een lege EEPROM doet het board niets. Daarom moet als eerste een programma in de EEPROM worden geladen. Er zijn verschillende manieren om dit te doen; de eenvoudigste is met behulp van de ESP32-Pico-Kit. Dat gaat als volgt.



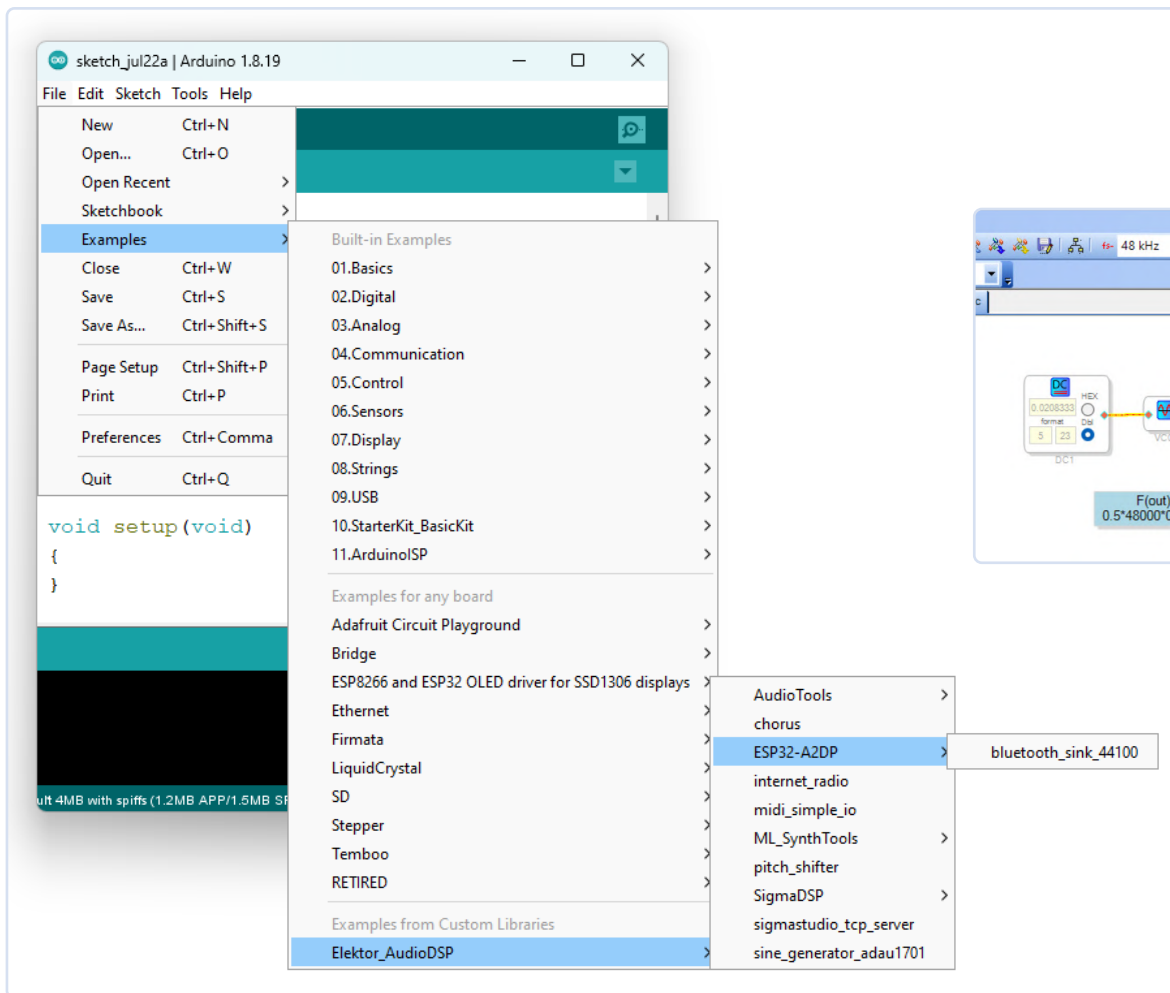
Figuur 7. Kies de seriële poort die overeenkomt met de ESP32-module.



Figuur 8. Installeer de Elektor_AudioDSP-bibliotheek met behulp van de Library Manager die in de Arduino IDE is ingebouwd.

Het board voorbereiden

- > Prik de ESP32-Pico-Kit module op het moederbord met de USB-connector naar de zijkant en de antenne in de buurt van het midden van het moederbord.
- > Plaats een jumper op pinnen 2 en 3 van JP2 (*Selfboot*).
- > Er moet een jumper worden geplaatst op JP1 (DSP Clock), maar de positie is afhankelijk van de toepassing. Pinnen 1 en 2 (X1) selecteren het kwartskristal X1. Gebruik deze stand voor toepassingen waarbij de ESP32 de DSP niet hoeft te klokken (waarschijnlijk alles waarbij geen gebruik wordt gemaakt van I²S-communicatie tussen de DSP en de ESP32). JP1 stand 2 en 3 (*ext. MCLK*) kiest het MCLK-signaal van de ESP32 als klok voor de DSP. Dit is vereist bij gebruik van I²S-communicatie tussen de ESP32 en de DSP.



Figuur 10. Een SigmaStudio-programma [5] is eigenlijk een stroomdiagram.

Figuur 9. Zo krijgt u toegang tot de voorbeelden in de Elektor_AudioDSP-bibliotheek.

- Sluit de micro-USB-poort van de ESP32-Pico-Kit aan op een vrije USB-poort van een computer. De voedings-LED op de ESP32-Pico-Kit moet oplichten (rood) en de computer moet een nieuwe seriële poort detecteren. Als die niet wordt gevonden, installeer dan het stuurprogramma voor de CP2101 USB/serieel-omzetter op de ESP32-Pico-Kit. Zie [3] voor meer informatie.

De computer voorbereiden

- Start de Arduino IDE (dit project is ontwikkeld met IDE versie 1.8.19).
- Selecteer in het menu **Tools** het board **ESP32 PICO-D4** (figuur 6). Als de ESP32 PICO-D4 niet voorkomt in de lijst met boards, installeer dan eerst het ESP32 Boards Package. Raadpleeg de tutorial op [2] voor meer informatie over hoe dit moet. Merk op dat het sterk aanbevolen wordt om een versie vóór 3.0.0 te installeren (bijvoorbeeld 2.0.17) omdat bepaalde stuurprogramma's volledig herzien zijn in versie 3.0.0 (zoals I²S, ADC en DAC). Het zal even duren voordat andere bibliotheken die deze randapparatuur gebruiken de wijzigingen geïntegreerd hebben. We hebben ook 'code bloating' waargenomen met applicaties gebaseerd op versie 3.0.x. die niet langer in het geheugen van de ESP32-module passen.
- Zodra het Boards Package is geïnstalleerd, zou u de **ESP32 PICO-D4** moeten kunnen selecteren.
- Selecteer de juiste poort in het menu **Tools** (figuur 7).
- Open in de Arduino IDE de Library Manager (menu **Tools** -> **Manage Libraries...**). Zoek naar **Elektor**. U zou een bibliotheek met de naam **Elektor_AudioDSP** moeten vinden (figuur 8). Installeer deze. Standaard wordt de meest recente versie geïnstalleerd.

Normaliter is er geen reden om een oudere versie te installeren, tenzij u meer bugs en minder opties wilt. De bibliotheek kan ook worden gedownload van GitHub [4] en handmatig worden geïnstalleerd.

Toepassingsvoorbeelden

U bent nu klaar om programma's te maken en te uploaden naar de Audio DSP FX-processor. Om u op weg te helpen wordt de **Elektor_AudioDSP**-bibliotheek geleverd met een reeks voorbeelden. Open een voorbeeld door te klikken op **Files** → **Examples** en naar beneden te scrollen naar de sectie **Examples from Custom Libraries**. Hier zou u een ingang moeten zien voor de **Elektor_AudioDSP**-bibliotheek. Klik erop en kies een voorbeeld (figuur 9).

Merk op dat ingangen met een pijl naar rechts (bijvoorbeeld **AudioTools**) een bibliotheek van derden vereisen met de naam van de ingang. Dit betekent dat de voorbeelden in het submenu **AudioTools** de bibliotheek **AudioTools** nodig hebben. Sommige van deze bibliotheken kunnen geïnstalleerd worden via de **Library Manager** van de IDE zoals hierboven beschreven, maar niet allemaal. De link naar de bibliotheek is opgenomen in de sketch.

Een voorbeeld bestaat uit een Arduino-sketch en, in de meeste gevallen, een executable voor de DSP die in de EEPROM van het board moet worden geladen. In het commentaar bovenaan de sketch staat hoe u de jumpers op het bord moet instellen en hoe u het voorbeeld moet gebruiken. Het voorbeeld regelt alles. Laad gewoon een sketch en upload hem naar het board. Als de EEPROM geprogrammeerd moet worden, doet de sketch dat automatisch.

Belangrijk: lees de opmerkingen bovenaan een voorbeeldsketch, want deze bevatten informatie voor het configureren van het board!

Probeer een voorbeeld uit

Om het gebruik van een voorbeeld te illustreren, laden we *sine_generator_adau1701*. Na het uploaden van deze sketch naar het board wordt de EEPROM ('E2Prom') geprogrammeerd met het DSP-algoritme *i2s_pass_through_48000*. Uit de naam blijkt het niet, maar dit algoritme verandert de DSP in een spanningsgestuurde sinusgenerator met de uitgang op connector K4 (niet K3). De frequentie van de oscillator wordt geregeld door P1, verbonden met de ESP32. In de hoofdlus worden de vier potentiometers uitgelezen en hun waarden worden geprint naar de seriële poort. Deze waarden worden ook als spanningen naar de sturingangen van de DSP gestuurd. Na het programmeren van de EEPROM (dit duurt ongeveer een seconde), zal de LED van het board gaan knipperen met een frequentie van 1 Hz. Als u de sketch reset, wordt de EEPROM niet opnieuw geprogrammeerd (tenzij de inhoud veranderd is) en begint de LED vrijwel direct na het resetten te knipperen.

Hier zijn de instructies (van de sketch) om het allemaal te laten werken:

- Zet JP1 (DSP clock) op positie X1 (pennen 1 en 2).
- Zet JP2 op positie *Selfboot* (pennen 2 en 3).
- Gebruik P5 om TP1 op 3,15 V af te regelen.
- Laad de sketch naar de ESP32.
- Wacht tot LED1 met een frequentie van 1 Hz begint te knipperen.
- Sluit een hoofdtelefoon of versterker aan op K4 (niet op K3) en geniet.
- P1 regelt de frequentie.

SigmaStudio-voorbeelden

De voorbeelden die een DSP-programma gebruiken, maken deel uit van het SigmaStudio-project [5] ervoor (*figuur 10*). Na installatie van de *Elektor_AudioDSP*-bibliotheek kunt u de voorbeelden vinden in:

```
[path-to-your-Arduino-folder]\sketchbook\libraries\  
Elektor_AudioDSP\examples\
```

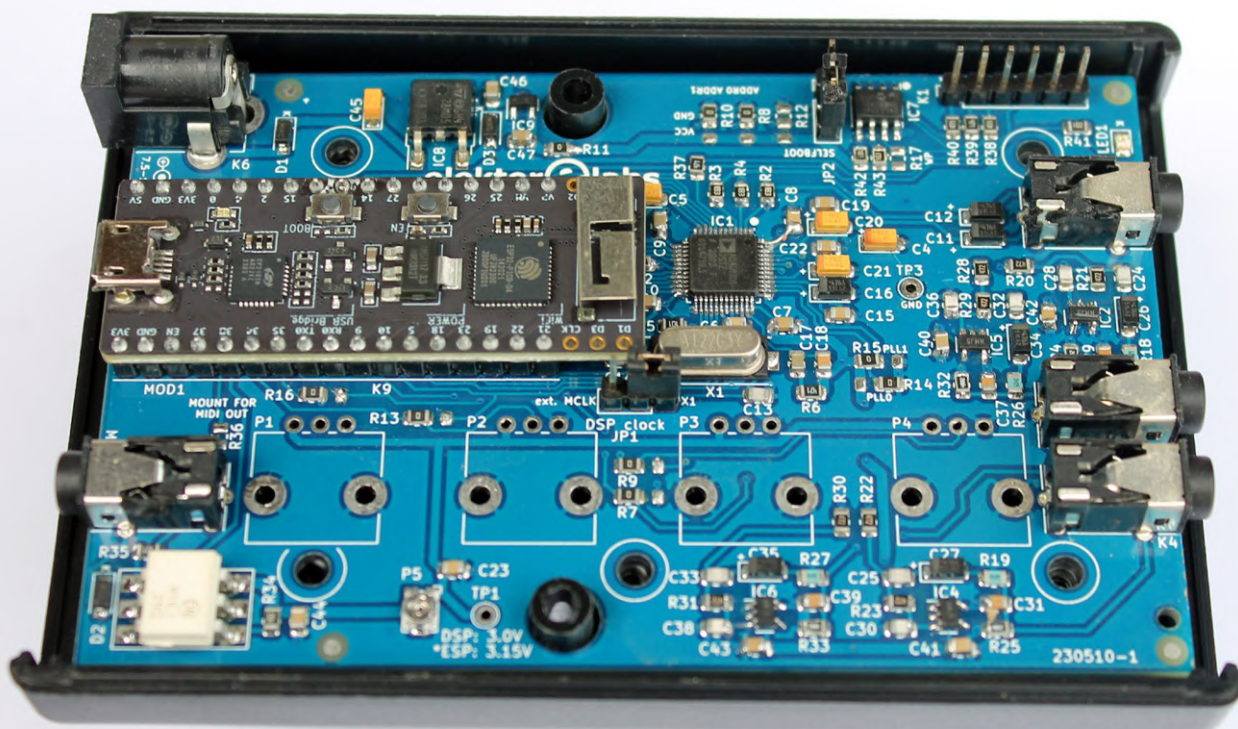
Een verzameling voorgecompileerde DSP-executables is te vinden in het bestand *adau1701_e2prom_collection.h* in de *Elektor_AudioDSP*-bibliotheek. De SigmaStudio-projectbestanden die gebruikt zijn om deze uitvoerbare bestanden te genereren staan in de map *extra* van de bibliotheek.

Er worden twee generieke executables meegeleverd die eenvoudig audiogegevens van de ESP32 naar de ADAU1701 sturen met behulp van I²S: *i2s_pass_through_44.1khz* en *i2s_pass_through_48khz*. Het enige verschil is de sample-rate. Deze twee executables maken van de DSP een stereo audio-uitgang op connector K3 (met een sinus-generator op connector K4). JP1 moet in de stand *ext. MCLK* staan.

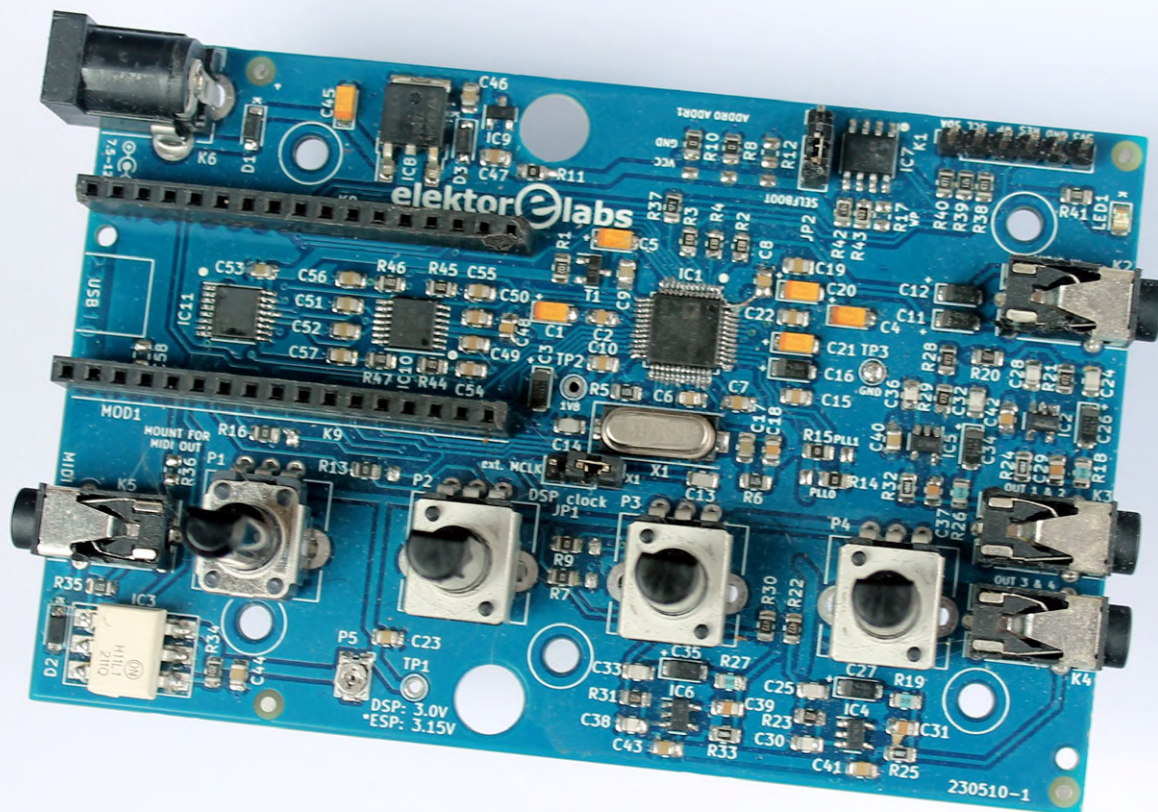
Wordt vervolgd...

Dat was het voor nu. Dit artikel heeft veel informatie gegeven – hopelijk genoeg om u op weg te helpen. In de volgende aflevering gaan we dieper in op het maken van uw eigen toepassingen voor het Audio DSP FX Processor Board. ◀

230510-01



Figuur 11. De Audio DSP FX-processor past in een Hammond 1593N-behuizing. Om het deksel te kunnen sluiten, moet de ESP32-module zonder headers worden gemonteerd.



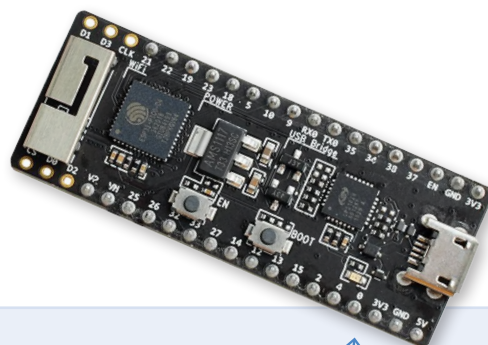
Figuur 12. De print compleet met de headers en potentiometers.

Vragen of opmerkingen?

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

Over de auteur

Clemens Valens begon in 2008 bij Elektor en heeft sindsdien verschillende functies bekleed. Momenteel maakt hij deel uit van het productontwikkelingsteam. Zijn voornaamste interesses in elektronica zijn (digitale) signaalverwerking en de toepassingen daarvan in muziekproductie en geluidssynthese.



Gerelateerde producten

- > **ESP32-PICO-KIT**
www.elektor.nl/18423
- > **Elektor Audio DSP FX Processor (SKU 20895)**
www.elektor.nl/20895
- > **Dogan & Ahmet Ibrahim, Practical Audio DSP Projects with the ESP32, (Elektor, 2023)**
www.elektor.nl/20558

WEBLINKS

- [1] Ramkumar Ramaswamy, "Universeel audio-DSP-board", Elektor januari/februari 2014:
<https://www.elektormagazine.nl/magazine/elektor-201401/24257>
- [2] ESP32 FAQ, How-to & Getting Started: <https://www.elektormagazine.com/esp32-faq>
- [3] CP210x USB to UART Bridge VCP Drivers: <https://www.silabs.com/developers/usb-to-uart-bridge-vcp-drivers>
- [4] De Elektor_AudioDSP-bibliotheek op GitHub: https://github.com/ClemensAtElektor/Elektor_AudioDSP
- [5] SigmaStudio (niet SigmaStudio +): <https://www.analog.com/sigmastudio>
- [6] De Audio DSP FX-processor op Elektor Labs: <https://www.elektormagazine.com/labs/audio-dsp-fx-processor>



SPECTRAN[®] V6 XPR

REAL-TIME SPECTRUM ANALYZER

Mastering **Microwave** Measurements

WR08
90 - 140 GHz

WR10
75 - 110 GHz

WR12
60 - 90 GHz

WR15
50 - 75 GHz



RTBW
490 MHz

Sweep Speed
3 THz/s

ADC
16-Bit

DANL*
-170 dBm/Hz

- **World's first** USB real-time 140 GHz spectrum analyzer
- WR08 | WR10 | WR12 | WR15 waveguide connectors
- Analyze important standards like **5G** or **radar**
- **Record-breaking** USB real-time bandwidth of 490 MHz

- **24/7 recording** and analyzing of IQ-data
- **16-Bit 2 GSPS ADC**
- **Single USB-C** connection incl. power
- **Windows and Linux** software included

*Depending on frequency

MADE IN GERMANY

 www.aaronia.com
 mail@aaronia.de
 +49 6556 900 310

Aaronia AG
Aaroniaweg 1
D-54597 Strickscheid


AARONIA AG
WWW.AARONIA.DE

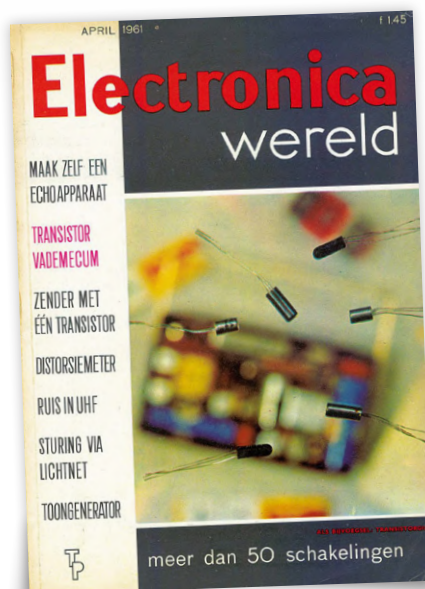
50 JAAR

Elektor in het Engels

Brian Tristram Williams (Elektor)

Sinds de lancering van de Engelse editie van Elektor in 1974 was het verplichte kost voor iedereen die met elektronica aan de slag wilde. Van de SC/MP-computer in de jaren '70 tot de AI- en IoT-projecten van vandaag heeft het tijdschrift altijd praktische, geavanceerde ontwerpen in de handen van zowel hobbyisten als professionals gelegd. Nu, 50 jaar later, geeft Elektor met elk nieuw nummer makers nog steeds de tools in handen om te ontdekken, te bouwen en te innoveren.

De reis van Elektor begon in 1961 toen B. W. van der Horst het Nederlandse tijdschrift *Electronica Wereld* publiceerde (figuur 1), maar het was de lancering van de Engelse editie in december 1974 (figuur 2) waarmee Elektor wereldwijd invloed kreeg. In de afgelopen vijftig jaar is Elektor een onmisbare bron geworden voor elektronicaliefhebbers, met praktische projecten waarmee zowel hobbyisten als professionals kunnen bouwen, leren en innoveren.

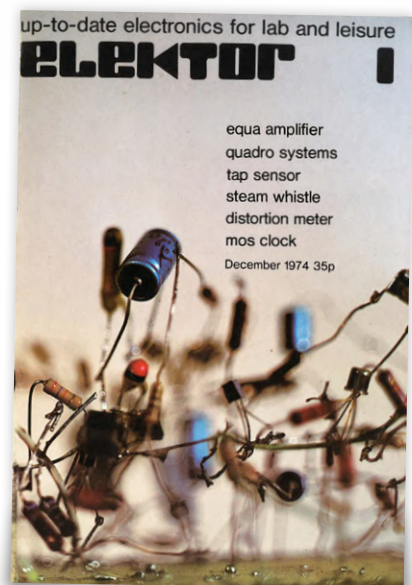


Figuur 1. Hoe het allemaal begon – de eerste editie van het Nederlandse tijdschrift *Electronica Wereld* in april 1961.

Het begin van Elektor: een gemeenschap van makers

Het tijdschrift richtte zich op praktische elektronica-projecten en bood hobbyisten en professionals een manier om thuis geavanceerde elektronica te ontdekken. Het werd vooral populair vanwege de doe-het-zelf-aanpak, waarbij schakelingen gedetailleerd werden beschreven en printontwerpen voor de lezers beschikbaar werden gesteld. De Engelse editie van Elektor werd gelanceerd met een introductie van Van der Horst, die zo begon:

“Dit is de eerste Engelse editie van Elektor, een tijdschrift dat elektronica op een nieuwe



Figuur 2. 13 jaar later begint Elektor met publicaties in het Engels.

manier presenteert. De Nederlandse editie van Elektor verschijnt al meer dan 14 jaar en de Duitse al meer dan 4 jaar. Elke maand vinden 120.000 exemplaren hun weg naar lezers variërend van enthousiaste amateurs tot professionele elektronici.” [1]

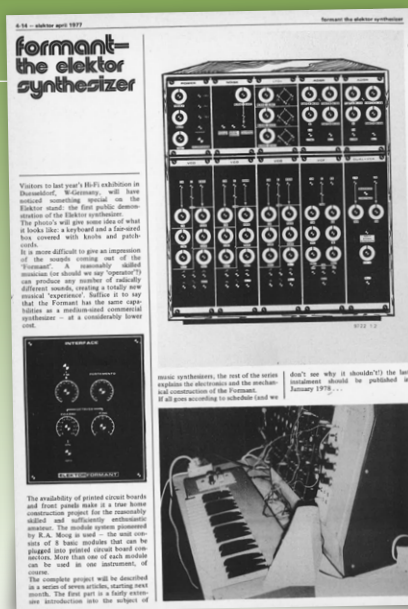
Nu kon Elektor een wereldwijd publiek bereiken en het werd al snel een toonaangevende bron van inspiratie en informatie voor ingenieurs, studenten en hobbyisten.

Een nieuw tijdperk van doe-het-zelf elektronica

De Engelse Elektor had een vliegende start en bleef zich richten op ambitieuze,



Figuur 3. In november 1977 wordt de SC/MP-computer gepubliceerd.



Figuur 4. Formant – de Elektor Music Synthesizer is vandaag de dag nog steeds iconisch.



Figuur 5. De Elektor TV Games Machine nam het op tegen Atari en Intellivision.

hands-on projecten die de toegang tot geavanceerde elektronica democratiseerden. De redactie moedigde hobbyisten aan om hun eigen essentiële instrumentarium te bouwen. De Elektorscope (december 1976) stelde de lezer in staat om zelf een oscilloscoop te bouwen – een essentieel instrument in elk elektronicalab, maar in die tijd nog te duur voor de doorsnee-hobbyist [2]. Een van de eerste iconische projecten was de SC/MP Computer (figuur 3 – november 1977). Het bood hobbyisten een introductie in de microprocestechnologie en stelde hen in staat om hun eigen computers te bouwen in een tijd waarin personal computers nog lang geen gemeengoed waren. Dit project, gebaseerd op de National Semiconductor SC/MP-chip (Simple, Cost-effective Micro Processor – ‘scamp’), betekende een doorbraak voor veel hobbyisten die computergebruik wilden verkennen in een tijd dat thuiscomputers nauwelijks beschikbaar waren [3].

Maar het was niet allemaal digitaal. Het Formant Music Synthesizer-project werd als serie gepubliceerd vanaf mei 1977 (figuur 4) [4]. Met genoeg afleveringen om een boek te vullen richtte de serie zich op de opkomende wereld van de elektronische muziek. Deze doe-het-zelf analoge synthesizer die ‘alle regels brak’ was een mijlpaal voor zowel muzikanten als hobbyisten, en stelde hen in staat om klankwerelden te verkennen vanaf hun eigen werkbank. De kit is vandaag de dag legendarisch, met influencers als ‘Look Mum No Computer’ die deze legendarische schat herontdekken en er met ons over praten in een aflevering van *Elektor Engineering Insights* (juli 2024) [5].

De Elektor TV Games Machine (figuur 5 – april 1979) belichaamt de opwinding van de vroege videogame-revolutie. Lezers konden hun eigen spelcomputer bouwen, compleet met cartridges! [6] Toen microcomputers in de jaren ‘80 een hoge vlucht namen, liep Elektor daarbij voorop. De Junior Computer (figuur 6 – mei 1980), een doe-het-zelf-kit gebaseerd op de 6502, verlegde de grenzen nog verder. Met 1 KB RAM en 1 KB ROM konden gebruikers met deze eenvoudige machine hun eigen programma’s schrijven en zelf aan de slag gaan met microprocestechnologie. Dit waren niet zomaar kits; het waren leermiddelen die het groeiende gebied van de informatica van mystiek onttelden [7]. In de analoge audiowereld werd de Mini Crescendo-versterker (1984) een begrip voor audiofielen. Het ontwerp bood gebruikers een krachtig, high-fidelity audiosysteem dat vanaf nul kon worden opgebouwd tegen



Figuur 6. De Junior Computer sierde de cover in mei 1980.

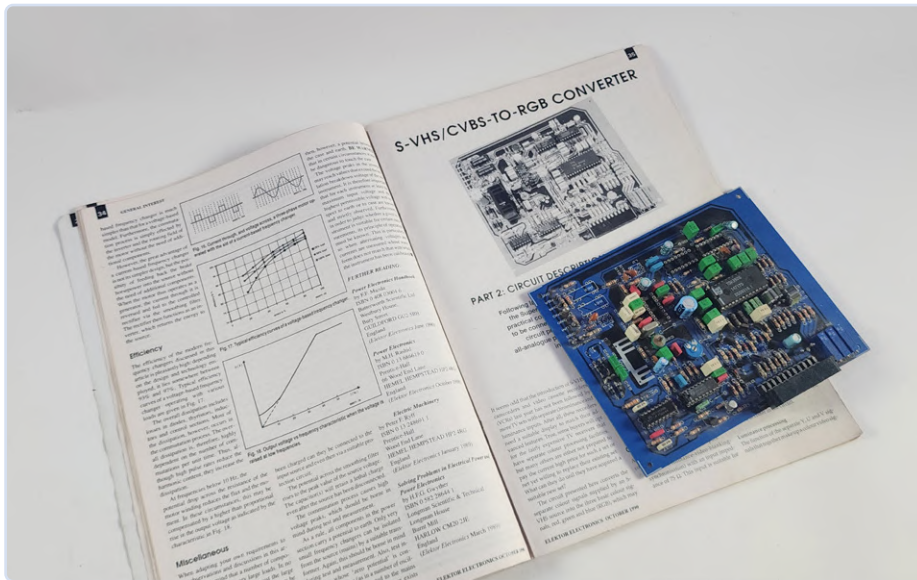
een fractie van de kosten van kant-en-klare systemen [8].

Het tijdschrift werd ook bekend voor het verleggen van grenzen met gedurfde projecten. De ATN-Filmnet Decoder (mei 1987) was een van de meest controversiële, met een manier om betaaltelevisiekanalen te hacken. Het was een controversie die goed in de smaak viel, want het was de eerste Engelse editie die compleet uitverkocht was. Het toonde aan hoe ver het tijdschrift bereid was te gaan om zijn lezers te binden, zelfs aan de grenzen van wat legaal was [9]. Een paar nummers later hadden we de schakeling al bijgewerkt:

“Geloof het of niet, maar een paar dagen nadat ons mei-nummer naar de drukker was gestuurd, hebben de technici van ATN Filmnet het scrambling-systeem van het station veranderd.”

Ik had dat allemaal net gemist toen de jaren ‘90 aanbraken en ik Elektor ontdekte. Ik was 16 toen de septembereditie in de schappen lag; dat nummer bracht precies het project dat ik nodig had: ik bezat een alleen-RGB CRT plus controllerboard voor arcadegames ingebouwd in een houten kast, en ik wilde er TV en videotapes mee bekijken. De S-VHS/CVBS-to-RGB Converter [10], een tweedelig artikel (figuur 7 – oktober 1990) kwam precies op tijd. Ik kocht mijn eerste Elektor, bestelde de print, bouwde de schakeling en sindsdien ben ik verslaafd aan doe-het-zelf elektronica.

De jaren ‘90 zagen de explosie van het internet. Hoewel het al sinds 1983 bestond voor universitaire gebruikers, maakte het World



Figuur 7. Ik ben nog steeds in het bezit van mijn eerste Elektor-project, in twee delen gepubliceerd in 1990.



Figuur 8. De Game Boy Digitale Sampling Oscilloscoop (GBDSO).

Wide Web het aantrekkelijk voor thuis en in het bedrijfsleven. Elektor zag Web 1.0 zijn intrede doen en besteedde ook aandacht aan meer computergerichte onderwerpen door tutorials en projecten aan te bieden die computers integreerden met andere elektronica. Het Filmnet Decoder-project werd bijvoorbeeld verschillende keren bijgewerkt naarmate TV-scrumbling-systemen evolueerden, wat het 'survival of the fittest'-aanpassingsvermogen van Elektor demonstreerde.

In het jaar 2000 kreeg testapparatuur een andere dimensie in de vorm van de *Game Boy Digital Sampling Oscilloscope* (GBDSO, **figuur 8** – oktober 2000). Hiermee konden lezers alledaagse apparaten, zoals de Nintendo Game Boy, ombouwen tot krachtige tools [11].

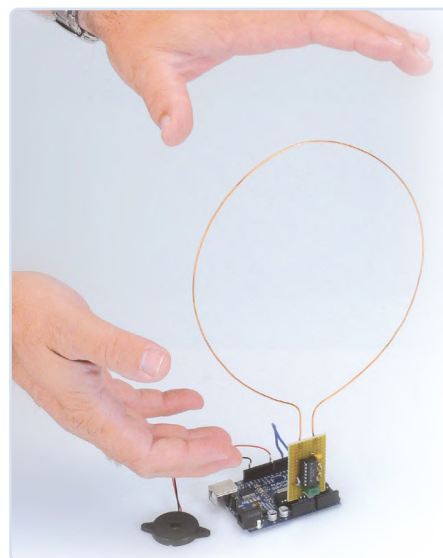
Elektor bleef de microcontroller-revolutie omarmen. Hoewel microcontrollers al bestonden sinds de Texas Instruments TMS1000 uit 1971, was er een periode van een paar jaar waarin ze enigszins buiten het bereik van hobbyisten kwamen. Computers schakelden over van DOS-achtige interfaces en RS-232 naar beschermde GUI's en USB, waardoor programmeren een duurdere onderneming werd, meer iets voor bedrijven... Tot de komst van Arduino, in 2005 om precies te zijn. Arduino was 'gericht op kunstenaars, ontwerpers en hobbyisten en iedereen die geïnteresseerd is in interactieve toepassingen'. [12].

Deze periode zag de opkomst van open-source hardware, waarbij Elektor talrijke op Arduino gebaseerde projecten publiceerde. Hobbyisten konden zo experimenteren met embedded systemen. Er ontstond een stortvloed aan projec-

ten met namen die eindigen op 'ino' – een voorbeeld hiervan was het *Arduino + Theremin = Theremino*-project (**figuur 9** – november 2009)" [13].

Arduino had microcontrollers weer *cool* gemaakt, maar er bleef nog steeds een gat in de markt: in de jaren '80 kon u een computer kopen, mee naar huis nemen, aansluiten op de TV en meteen leren hoe u er van alles mee kon doen. Toen kwam de Raspberry Pi: net als ik miste Eben Upton dat gevoel van de jaren '80 en lanceerde hij de Raspberry Pi op 29 februari 2012. Elektor liet er geen gras over groeien en de Pi en Eben debuteerden al in het volgende nummer (**figuur 10** – april 2012) [14].

Met de hulp van Arduino en Raspberry Pi werden de jaren 2010 gekenmerkt door de explosie van het Internet of Things (IoT) en



Figuur 9. De Theremino was gebaseerd op Arduino.

Elektor bood al snel projecten aan die op deze trend inspeelden. Van domoticasystemen tot draadloze sensornetwerken, Elektor voorzag lezers van de tools om 'connected' apparaten te bouwen.

Ook onderwerpen als embedded Linux kwamen aan bod, waarbij lezers betaalbare en flexibele ontwikkelplatforms aangeboden kregen. Het decennium zag een opleving in de doe-het-zelf-beweging, waarbij Elektor makers bleef motiveren om de grenzen te verleggen van wat ze konden maken.

De educatieve focus breidde uit met meer tutorials over microcontrollers zoals de STM32 en meer over FPGA-ontwikkeling, wat de groeiende interesse in embedded elektronica weerspiegelt.

In de jaren '20 van deze eeuw heeft Elektor zijn focus uitgebreid naar AI, edge computing en machine learning. Lezers kunnen projecten verkennen met neurale netwerken en AI-gestuurde toepassingen, die de grenzen verleggen van wat hobbyis-



Figuur 10. De Raspberry Pi verscheen voor het eerst in Elektor in april 2012.

ten kunnen bereiken met embedded elektronica.

Duurzaamheid werd ook een aandachtspunt, met projecten op het gebied van hernieuwbare energie, zonne-energie en energie-efficiënte systemen. Dit weerspiegelde het groeiende belang van milieuvriendelijke elektronica en duurzaamheid in de maker-community.

De komende 50 jaar

Nu de volgende 50 jaar aanbreken, blijft de focus gericht op innovatie en de toekomst van technologie. Fundamentele zaken zoals oscilloscopen en FPGA-ontwerp *blijven* actueel en Elektor blijft zich bezighou-

den met opwindende onderwerpen zoals IoT, embedded systemen, AI, 3D-printen, hernieuwbare energie en quantumcomputing, om er maar een paar te noemen. Dit zijn nieuwe grenzen die hobbyisten kunnen verkennen en Elektor blijft een belangrijke informatiebron voor lezers die op de hoogte willen blijven. ◀

240557-03

Vragen of opmerkingen?

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



Gerelateerd product

➤ **Elektor Archive 1974-2023 (USB Stick) EN**
www.elektor.com/20751



WEB LINKS

- [1] Bob van der Horst stelt Elektor voor aan Engelse lezers: <https://elektormagazine.com/magazine/elektor-197412/57329>
- [2] "Elektorscope," Elektor december 1976: <https://elektormagazine.com/magazine/elektor-197612/57794>
- [3] "Experimenting with the SC/MP," Elektor november 1977: <https://elektormagazine.com/magazine/elektor-197711/58003>
- [4] "Formant: The Elektor Music Synthesiser," Elektor mei 1977: <https://elektormagazine.com/magazine/elektor-197705/57847>
- [5] Fixing the 70s DIY Magazine Synth that Broke the Rules — Elektor Formant [YouTube]: <https://youtu.be/02UI4Jh84NI>
- [6] "µP TV games," Elektor april 1979: <https://elektormagazine.com/magazine/elektor-197904/58316>
- [7] "Junior Computer," Elektor mei 1980: <https://elektormagazine.com/magazine/elektor-198005/44396>
- [8] "Mini Crescendo — High-Class Medium Power Amplifier," Elektor mei 1984: <https://elektormagazine.com/magazine/elektor-198405/45233>
- [9] "Decoding Satellite TV Signals," Elektor mei 1987: <https://elektormagazine.com/magazine/elektor-198705/47132>
- [10] "S-VHS/CVBS-to-RGB Converter," Elektor september 1990: <https://elektormagazine.com/magazine/elektor-199009/32220>
- [11] "Game Boy Digital Sampling Oscilloscope," Elektor oktober 2000: <https://elektormagazine.com/magazine/elektor-200010/16868>
- [12] "Lucky Dip: Design It Yourself or Copy from the Internet?" Elektor april 2008: <https://elektormagazine.com/magazine/elektor-200010/16868>
- [13] "Arduino + Theremin = Theremino," Elektor november 2009: <https://elektormagazine.com/magazine/elektor-200911/19200>

CONDUCTING EMISSIONS WITH EASE.



**WÜRTH
ELEKTRONIK**
MORE THAN
YOU EXPECT

WE meet @ electronica
Hall A6 - 502

Your partner for reliable EMC-compliant application design

Today's world is orchestrated by electronic devices. With our full package of know-how, services and our product portfolio, we help you compose EMC-compliant solutions.

Ready to put harmonics in their place?

www.we-online.com/emc

Highlights

- Large EMC product portfolio
- Personal EMC design support
- REDEXPERT design platform

#CONDUCTINGEMISSIONS

KiCad 8

belangrijkste nieuwe en vernieuwde functies

Peter Dalmaris (Australië)

KiCad, de open-source CAD-software voor elektronica, wordt steeds populairder, ook onder professionele ontwikkelaars, en de software wordt voortdurend verbeterd. Dit jaar is versie 8 uitgebracht. KiCad 8 bevat verschillende verbeteringen ten opzichte van KiCad 7, met name in de PCB-editor en de ingebouwde simulator. Laten we eens kijken naar enkele van deze noviteiten en verbeteringen!

Slepen van meerdere footprints

In KiCad 7 konden gebruikers slechts één footprint tegelijk verslepen. Het kostte daardoor veel tijd om footprints één voor één te verplaatsen na het aanpassen van de bedrading om een probleem op te lossen of om een printontwerp te verbeteren, en ik zag er dan ook altijd tegenop om dat te moeten doen. KiCad 8 verbetert dit door het mogelijk te maken om meerdere footprints te selecteren en samen te verplaatsen zonder sporen te verbreken. Dit stroomlijnt het ontwerpproces, met name voor complexe printplaten met veel componenten.

Ik gebruik een ESP32-board als voorbeeld om deze nieuwe mogelijkheid te illustreren

(figuur 1). Stel dat u de footprints D1...D4 wilt verplaatsen. Het proces is behoorlijk intuïtief. Begin met het selecteren van de footprints die u wilt slepen. U kunt dat doen door op de footprints te klikken terwijl u de Command- of Control-toets ingedrukt houdt of door met de muis te slepen, waarbij u alleen het selectievakje footprints in het selectiefilter hebt aangevinkt. Druk vervolgens op de D-toets om het verplaatsen te starten. Als u nu de muis beweegt, worden de geselecteerde footprints verplaatst.

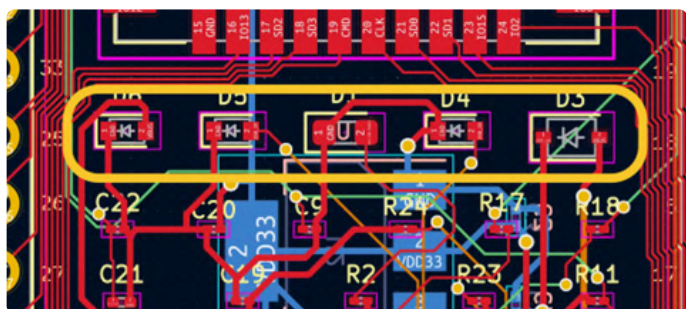
Terwijl u de geselecteerde footprints verplaatst, geeft de interactieve router feedback als er een regel overtreden wordt. Als het verplaatsen van de footprints bijvoorbeeld kortsluiting veroorzaakt,

markeert de router het probleem felgroen. Als in het voorbeeld D6 kortsluiting veroorzaakt door een printspoor te kruisen, geeft de router dit onmiddellijk aan, waardoor direct een aanpassing gemaakt kan worden. Ik sleepte de footprints naar links in figuur 2, waardoor er een kortsluiting ontstond. De interactieve router markeert deze overtreding door het betreffende segment groen te markeren.

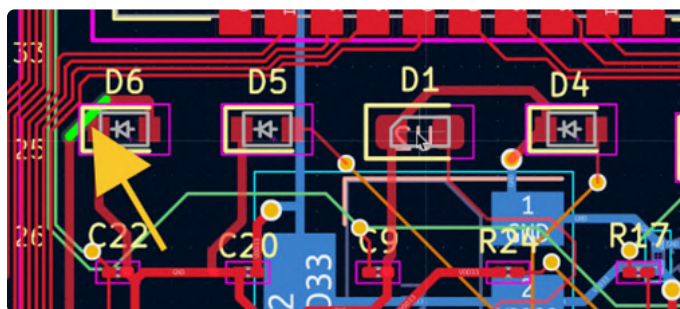
Als u tevreden bent met de nieuwe positie van de componenten, klikt u om ze op hun plaats te zetten. Deze functie maakt het verplaatsen van componenten op de printplaat intuïtiever en minder tijdrovend. Het vermogen van KiCad 8 om meerdere footprints tegelijk te verslepen is een productiviteitsverbetering waardoor kleine (of grotere) aanpassingen bijna pijnloos zijn.

Teardrop-eigenschappen

Teardrops zijn niet nieuw, maar in KiCad 8 zijn er nieuwe mogelijkheden bij het werken ermee. Teardrops versterken de verbinding van een pad met een printspoor, waardoor het risico op het losraken en breken van een spoor als gevolg van mechanische of herhaalde thermische belasting wordt verkleind. De nieuwe functie van KiCad 8



Figuur 1. Ik ga deze footprints tegelijk verslepen.

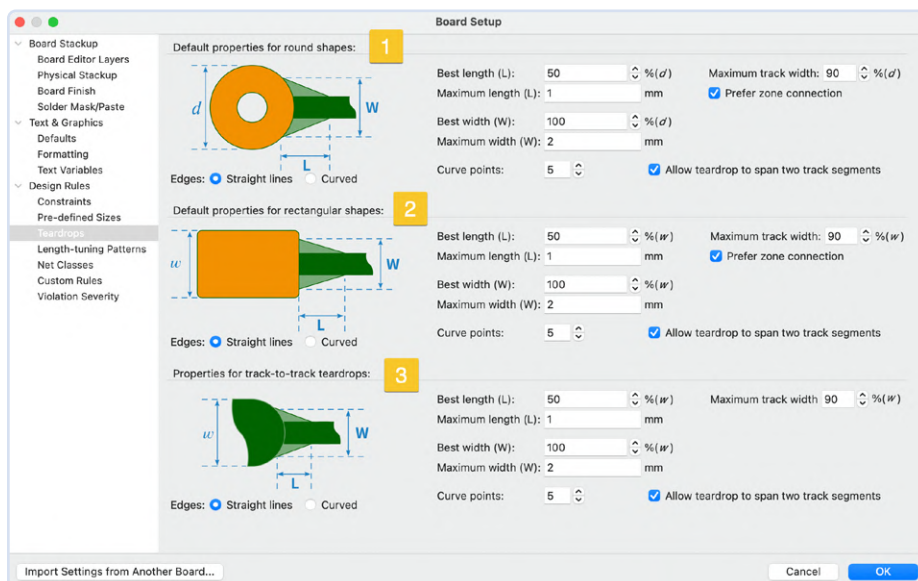


Figuur 2. Wanneer u meerdere voetafdrukken versleept, worden sporen opnieuw getekend en markeert de interactieve router eventuele overtredingen in real-time.

voegt een taps toelopende of druppelvormige verbreding toe aan de verbinding van pads, via's en sporen waardoor de duurzaamheid en betrouwbaarheid van de printplaat worden verbeterd, terwijl deze er bovendien professioneler uitziet! Laten we eens kijken naar de belangrijkste voordelen van het toevoegen van teardrops aan uw ontwerpen, en naar de manier om deze toe te voegen in KiCad 8.

Misschien wel het belangrijkste voordeel van teardrops is een verbeterde duurzaamheid en betrouwbaarheid. Ze helpen de thermische stress te beheersen door meer oppervlak te bieden voor de hechting van het koper aan het substraat, waardoor er minder risico is dat de pads tijdens het solderen van de print losraken. Dit kan nodig zijn omdat koper en epoxy bij blootstelling aan hitte niet in gelijke mate uitzetten en krimpen. Teardrops dragen verder bij aan een betere produceerbaarheid. De bredere en robuustere verbindingen die ze vormen, verminderen de kans op defecten zoals onderbrekingen veroorzaakt door onvolkomenheden van het etsproces, met name bij zeer fijne sporen en pads.

Ook maken teardrops het gemakkelijker uw printplaten te repareren. Omdat er meer koper is op de verbindingpunten, maken ze het eenvoudiger om als dat nodig is aan een pad of via te solderen. Tenslotte is signaalintegriteit nog een gebied waar teardrops de kwaliteit van producten kunnen verhogen, met name in hoogfrequent ontwerpen. Scherpe hoeken in printsporen kunnen signaalreflecties veroorzaken, maar teardrops zorgen voor vloeiender



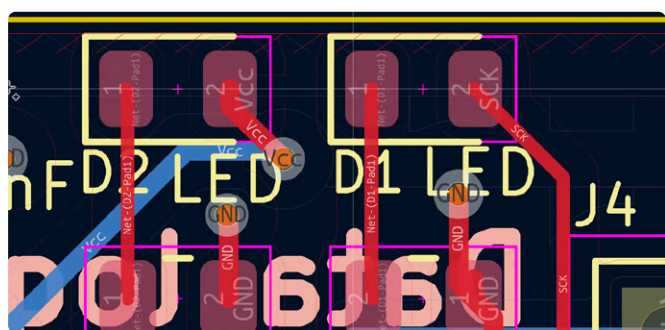
Figuur 3. De opties voor het instellen van Teardrops in Board Setup.

overgangen die helpen de signalen schoner te houden. Anderzijds zijn hoogfrequent ontwerpen vaak afhankelijk van sporen met een zorgvuldig gedefinieerde impedantie, en het introduceren van teardrops kan deze impedantie onbedoeld beïnvloeden of andere ongewenste effecten veroorzaken. Daarom moeten de voor- en nadelen van de toepassing ervan in dergelijke ontwerpen zorgvuldig worden afgewogen.

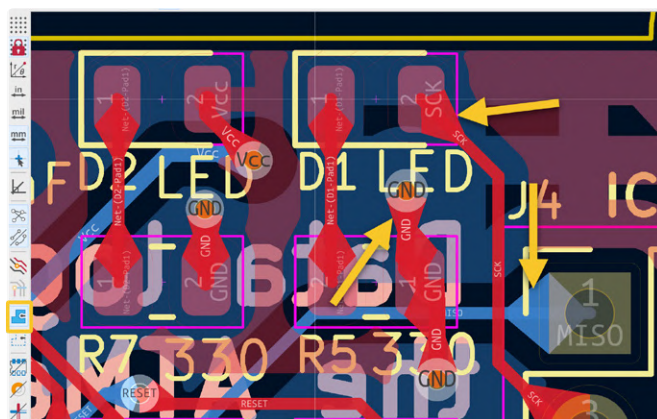
In KiCad kunt u de eigenschappen voor teardrops instellen in het tabblad Teardrops van de lijst Design Rules onder Board Setup. Deze eigenschappen zijn weergegeven in **figuur 3**. U kunt de beoogde standaardinstellingen opgeven voor teardrops die worden toegevoegd aan ronde en rechthoe-

kige pads en bij verbinding tussen sporen. Het is mogelijk om teardrops toe te voegen aan zowel nieuwe als bestaande ontwerpen. Laten we teardrops instellen voor een van de projecten (de MCU Datalogger) die te zien zijn in het tweede deel van *KiCad Like a Pro* (vierde druk): "Projects and Recipes" [2]. Momenteel heeft dit project gewone pad-to-track-verbindingen. Ik ga aan de slag met de ronde druppel eigenschappen van de pads uit **figuur 3**. In **figuur 4** ziet u de originele pads aan de linkerkant, rechts is het resultaat te zien na het aanbrengen van teardrops bij deze pads.

Hoewel teardrops allerlei voordelen bieden bij het ontwerpen van printplaten, zijn er situaties waarin ze niet de beste keuze zijn.



Figuur 4. Pads zonder (links) en met teardrops (rechts).



In ontwerpen met beperkte ruimte, met name printplaten met een hoge dichtheid, telt elke millimeter. De extra ruimte die teardrops innemen, kan de mogelijkheid om componenten te plaatsen of sporen efficiënt te routeren beperken, waardoor ze in sommige gevallen onpraktisch zijn.

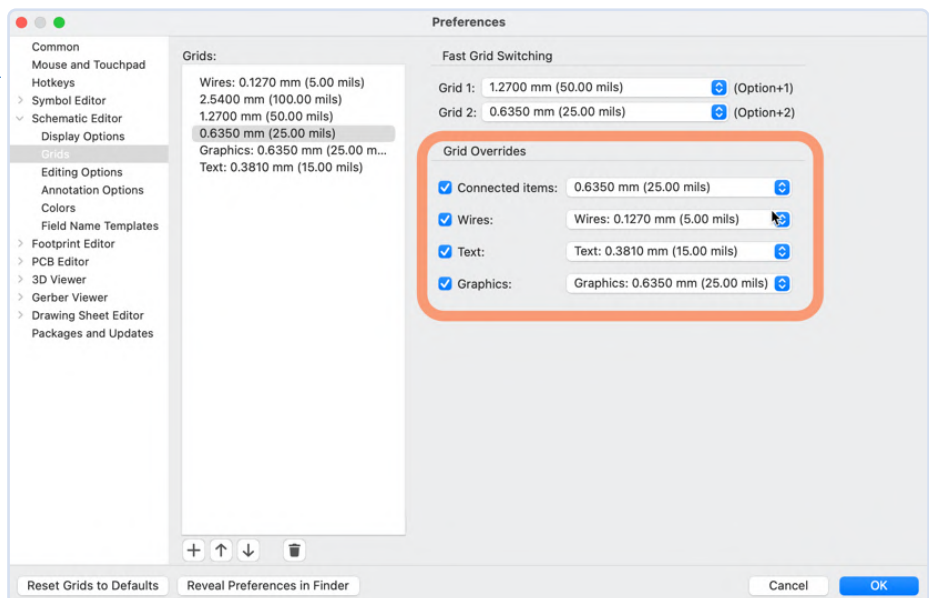
Grid Size Overrides

Deze functie is nieuw in KiCad versie 8. Met Grid Overrides schakelt KiCad automatisch over naar een specifieke rastergrootte bij het uitvoeren van bewerkingen zoals het verplaatsen of plaatsen van objecten in de schema-editor. Met de Grid Overrides-knop in de linker werkbalk kunt u deze functie in- of uitschakelen.

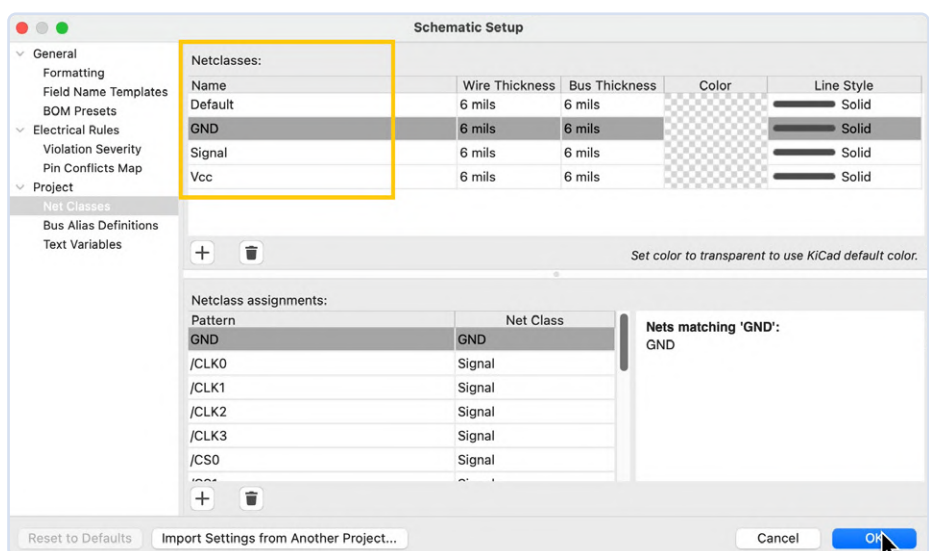
Een groot voordeel van deze functie is dat KiCad automatisch kan schakelen tussen verschillende rasters voor bewerkingen zoals het plaatsen van tekst, terwijl symbolen en sporen op een raster van 50 mil worden gehouden om te blijven passen op de pinafstand van de symboolbibliotheek. Deze flexibiliteit in de verwerking van rasters is een game-changer die precisie en consistentie in schematische ontwerpen faciliteert. Het betekent dat u gewenste rastergroottes kunt instellen voor aangesloten items, sporen, tekst en afbeeldingen (figuur 5) en dat KiCad automatisch overschakelt naar het juiste raster wanneer een van die items is geselecteerd (u hoeft dit dus niet telkens met de hand te doen). Ik kan niet genoeg benadrukken hoeveel tijdsbesparing deze mogelijkheid oplevert. Het stelt me in staat om naadloos tussen rasters te schakelen op basis van de specifieke behoeften van mijn ontwerp zonder dat ik de rasterinstellingen elke keer handmatig hoeft aan te passen. Zodra u uw voorkeuren heeft ingesteld, kunt u gewoon doorgaan met uw werk en hoeft u gewoon doorgaan met uw werk en hoeft u niet meer na te denken over de rastergrootte die u gebruikt. Dankzij deze automatisering zal het raster zich aanpassen aan het gereedschap dat u gebruikt en, of het nu gaat om sporen, tekenen of het schrijven van tekst, steeds de juiste rastergrootte instellen.

Netklasse-integratie

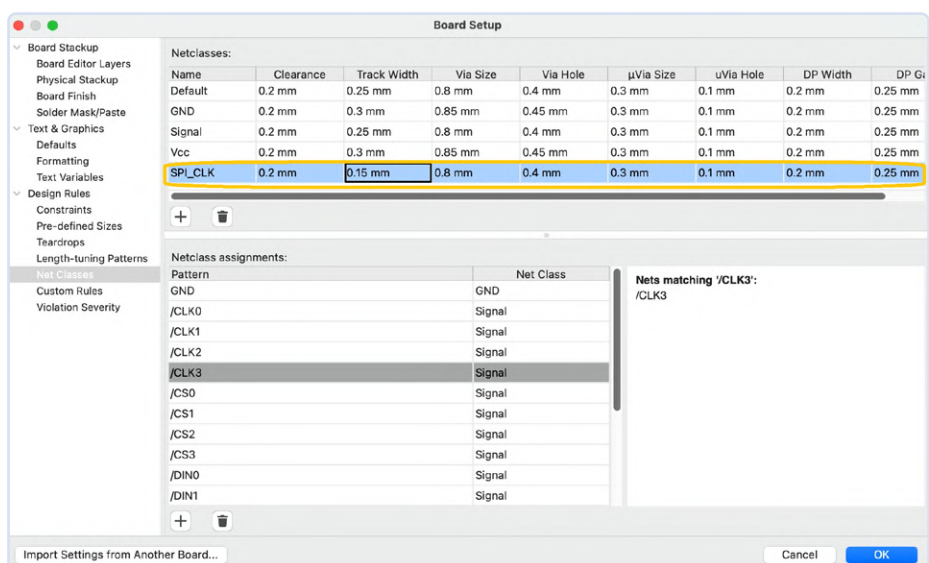
In KiCad 8 is de integratie tussen schema en PCB-ontwerp verbeterd door automatische koppeling van netklasse-toewijzingen.



Figuur 5. Het configuratievenster Grid Overrides in de voorkeursinstellingen van de schema-editor.



Figuur 6. Netklassen en hun toewijzingen zijn nu geïntegreerd in de schema- en PCB-editors. Hier kunt u de toegewezen netklassen zien in de schema-editor.



Figuur 7. Een nieuwe netklasse, aangemaakt in de PCB-editor.

Alle netklasse-toewijzingen in het schema zijn nu naadloos geïntegreerd in het PCB-ontwerp en zichtbaar in de PCB-editor. Deze geeft de betreffende toewijzingen automatisch weer wanneer u netklassen in het schema maakt of wijzigt. Als u bijvoorbeeld een netklasse voor highspeed-signalen in het schema definieert, worden die signalen gegroepeerd en worden de juiste ontwerpregels er op toegepast in het PCB-ontwerp.

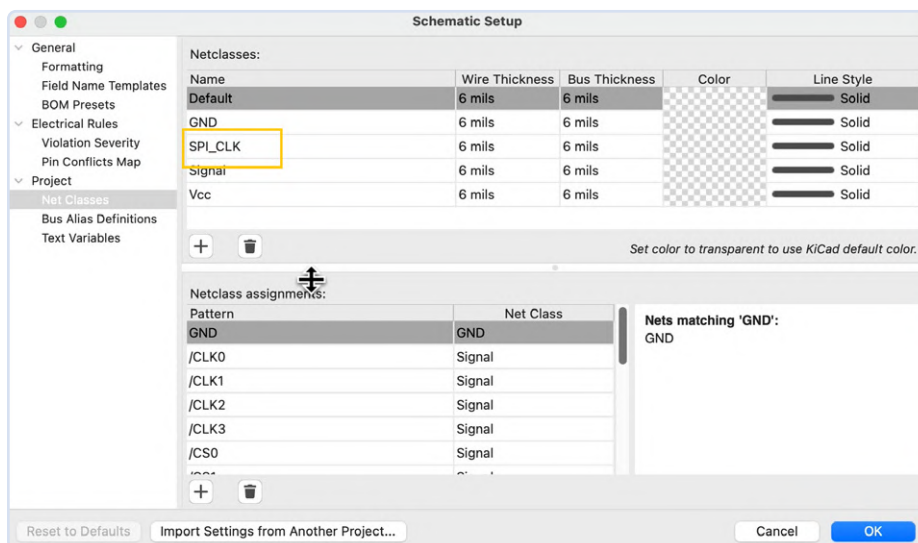
Deze nieuwe functie stroomlijnt het ontwerpproces en zorgt ervoor dat de netklassen consistent blijven tussen schema en layout waardoor de kans op fouten en mismatches kleiner wordt. Het bespaart ook tijd omdat het niet meer nodig is om de toegewezen netklassen handmatig te kopiëren tussen het schema en de lay-out. Laten we ter illustratie een praktisch voorbeeld bekijken, opnieuw uit het boek *KiCad Like A Pro* (vierde druk). In een van de projecten zijn de netklassen ingesteld in de schema-editor, zoals in **figuur 6**. Terwijl ik verder werkte in de PCB-editor, besloot ik een nieuwe netklasse voor de SPI-klok toe te voegen. Ik heb in de PCB-editor deze netklasse aangemaakt in het tabblad *Board Setup Net Classes*, zoals in **figuur 7** te zien is.

In eerdere versies van KiCad zou de nieuwe *SPI_CLK* netklasse niet zomaar beschikbaar zijn in de schema-editor, en dus zouden het schema en de printplaat niet meer overeen komen. In KiCad 8 synchroniseert de verbeterde integratie netklassen echter automatisch. Om dit te controleren, kan ik zien dat de nieuwe netklasse bestaat in de schema-editor (**figuur 8**).

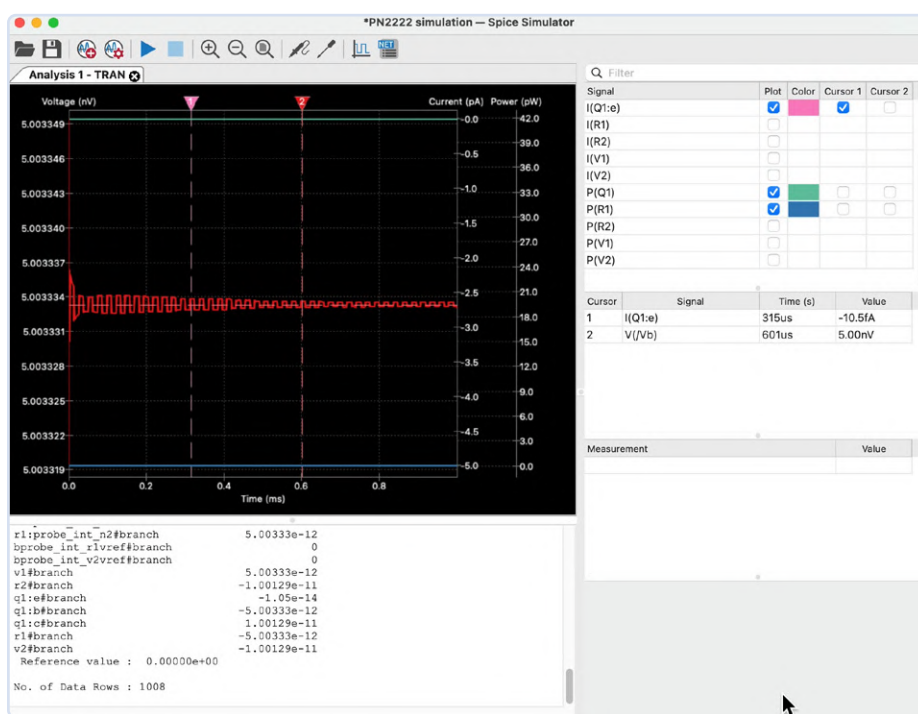
De automatische integratie van netklassen in KiCad 8 verbetert het ontwerpproces aanzienlijk. Deze nieuwe functie vermindert de hoeveelheid handwerk en zorgt voor meer overzicht, net zoals met de Grid Size Override-functie. We kunnen ons nu meer richten op het optimaliseren van het ontwerp en minder op administratieve taken.

Simulator

Een andere opvallende update in KiCad 8 is de verbetering van de ingebouwde SPICE-simulatietools, mogelijk gemaakt door ngspice [4]. De samenwerking tussen KiCad en ngspice-ontwikkelaars heeft geleid



Figuur 8- De nieuwe netklasse is automatisch zichtbaar in de schema-editor.



Figuur 9- Een transient simulatie-plot in de vernieuwde KiCad-schakelingsimulator.

tot diverse nieuwe functies en bugfixes, waardoor schakelingsimulatie nog krachtiger en praktischer is geworden.

Ngspice, een mixed level/mixed signal simulator voor elektronische schakelingen, wordt veel gebruikt om analoge en digitale schakelingen te simuleren. Het biedt gedetailleerde analyses van de prestaties van een schakeling, wat cruciaal is voor ontwerpverificatie en -optimalisatie.

Door de integratie van ngspice in KiCad kunnen gebruikers schema's annoteren met SPICE-richtlijnen, schakelingen simuleren en resultaten analyseren zonder de KiCad-omgeving te verlaten. Deze naadloze integratie stroomlijnt het ontwerpproces en verbetert de efficiëntie.

KiCad 8 introduceert een vernieuwde simulator-gebruikersinterface. Een van de interessantste nieuwe functies is de

Daarnaast kunnen de resultaten van de simulatie van het werkpunt (operating point, OP) direct op het schema-werkblad worden gevisualiseerd. Deze functie stelt gebruikers in staat om dieper inzicht te krijgen in het gedrag en de prestaties van een schakeling, waardoor het gemakkelijker wordt om ontwerpen te optimaliseren en te verfijnen. **Figuur 10** toont de resultaten van een OP-simulatie die direct in de schema-editor worden weergegeven door middel van rode labels. Ik vond deze verbeterde simulatiefuncties en de integratie tussen simulator en editor erg nuttig. Ze laten de toewijding van de KiCad-ontwikkelaars zien om de mogelijkheden voortdurend te verbeteren en uit te breiden om aan de veranderende behoeften van zijn gebruikers te blijven voldoen.

Er zijn nog veel meer kleine maar belangrijke verbeteringen in KiCad 8 en voordat ik dit artikel afrond wil ik er een aantal kort noemen:

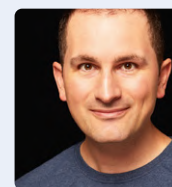
-

ren uit onder andere Solidworks en LTSpice, en exporteren in formaten zoals IPC-2581 en STEP inclusief copper shapes voor een betere samenwerking met andere tools.

- kers kunnen aangepaste thermische relief-sjablonen voor pads definiëren, wat handig kan zijn voor specifieke gebruikssituaties.

Hoewel KiCad 7 al een uitstekend hulpmiddel was, maken deze verbeteringen KiCad 8 tot een nog robuustere en efficiëntere elektronische ontwerptool voor beginnende en gevorderde gebruikers! 

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



Dr. Peter Dalmaris is docent, elektrotechnisch ingenieur, elektronica-hobbyist en maker. Hij maakt online-video-doe-het-zelf-elektronica- en verschillende technische video's onder de series KiCad Like Electronics Fundamentals and Projects en de laatste versies. Zijn bedrijf, Dalmaris, biedt een verscheidenheid aan educatieve cursussen en workshops voor elektronica-hobbyisten, makers en STEM-docenten.



Gerelateerde producten

- > Peter Dalmaris, *KiCad Like A Pro - 4th edition - Volume 1* (Elektor, 2024) www.elektor.nl/20928
- > Peter Dalmaris, *KiCad Like A Pro - 4th edition - Volume 2* (Elektor, 2024) www.elektor.nl/20930



WEBLINKS

- [1] KiCad 8-downloadpagina: <https://www.kicad.org/download/>
- [2] Peter Dalmaris, *KiCad Like A Pro - 4th edition - Volume 1* (Elektor, 2024): <https://www.elektor.nl/20928>
- [3] Peter Dalmaris, *KiCad Like A Pro - 4th edition - Volume 2* (Elektor, 2024): <https://www.elektor.nl/20930>
- [4] ngspice: <https://ngspice.sourceforge.io/>



AMD Xilinx Zynq 7020 SoC



Expandable

Embeddable

Open source

FPGA + CPU + DAQ

NEED 4 INPUTS?

CUT YOUR DAQ SYSTEM COSTS BY 70%



LEARN MORE

Elektor @ electronica 2024

electronica Fast Forward 2024, Experts on Stage, Influencer Forums, Live Elektor Lab Talk Shows en meer

Het Elektor-team

electronica 2024 (12...15 november) in München wordt groter dan ooit tevoren.

Ongeveer 2800 exposanten uit 50 landen zullen in 18 hallen hun nieuwste producten en ontwikkelingen presenteren. Het spreekt voor zich dat Elektor ook een eigen stand heeft.

Dit jaar werken we weer samen met Messe München voor de electronica Fast Forward Award. Daarnaast presenteren bekende contentmakers op het gebied van elektronica, zoals GreatScott, hun nieuwste projecten, interviewen we experts en hebben we dagelijks een live Lab Talk-videoshow. Tot ziens in München!

Elke twee jaar verandert München in een mekka voor elektronicaprofessionals en -liefhebbers. Op electronica 2024 (12...15 november, Messe München) kunt u de nieuwste ontwikkelingen op het gebied van AI, IoT, slimme energie, GaN- en SiC-halfgeleiders en nog veel meer verwachten. En als u daar bent, nodigen we u uit om Elektor te bezoeken op stand B4.440, waar onze

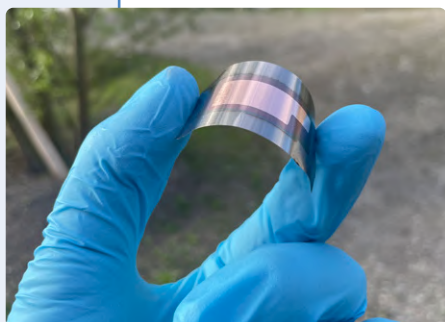
teams beschikbaar zullen zijn om de nieuwste technologie te bespreken, inzicht te geven in de elektronica-industrie en live interviews te houden met belangrijke influencers en experts. Als u een zakelijk leider bent, bieden wij ook de mogelijkheid om te verkennen hoe Elektor en eeNews Europe uw marketing- en innovatiedoelstellingen kunnen ondersteunen.

Of u nu een industrieprofessional of een technolieliefhebber bent, zorg ervoor dat u B4.440 bezoekt om de innovatieve startups, influencers en experts van dichtbij te ontmoeten. Dit is uw kans om baanbrekende technologie uit de eerste hand te zien en in contact te komen met de mensen erachter. Bezoek ons!

electronica Fast Forward 2024

Tijdens electronica Fast Forward 2024 staan startups centraal om de toekomst van elektronica te laten zien. In deze zesde editie van ons startup-evenement, dat wordt georganiseerd door electronica en Elektor, zullen de startups baanbrekende innovaties in IoT, robotica, batterij-ontwikkeling en meer laten zien. De vijf geselecteerde startups op electronica Fast Forward pakken enkele van de grootste uitdagingen in de elektronica-sector aan.

Zoals altijd is electronica Fast Forward niet zomaar een showcase – het is een wedstrijd. De startups presenteren hun technologieën aan industrieleiders en besluitvormers en dingen mee naar een totaal mediabudget van 85.000 euro. De winnaar van de eerste plaats krijgt ook een volledig betaalde stand op electronica 2024. Op vrijdag is de ceremonie met de drie Award-winnaars (zie **Tijdschema**).

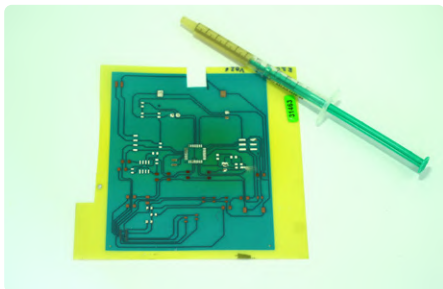


BTRY AG (Zwitserland)

BTRY is een spin-off van de ETH die de eerste energiedichte solid-state accu in de industrie ontwikkelt, vervaardigd met geavanceerde halfgeleiderproductiemethoden. Het product is een geavanceerde lithium/ion-accu die binnen één minuut kan worden opgeladen. De accu werkt bij zeer hoge en lage temperaturen en verdraagt duizenden laad-/ontlaadcycli. www.btry.ch

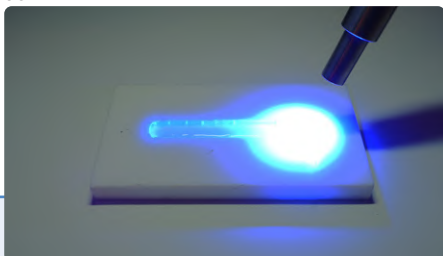


SPEEDPOX



SpeedPox (Oostenrijk)

SpeedPox biedt innovatieve en ultrasnel uithardende epoxyharsen, geleidende lijmen en inkten. Hun epoxies zijn ééncomponent-systemen met een praktisch onbeperkte houdbaarheid bij kamertemperatuur. Bij warmte- of UV-stimulatie wordt een gepatenteerd zelfverhardend mechanisme geactiveerd, wat 99% tijd en energie bespaart. In plaats van meerdere uren in een industriële oven, maakt SpeedPox uitharding binnen enkele seconden mogelijk. www.speedpox.com



NIGHTJAR

Nightjar Technologies (India)

Nightjar Technologies is een spin-off van RESOLVE, een in Washington DC gevestigde milieu-ngo. Hun paradepaardje, Trail-Guard AI, is een camerasysteem met AI dat is ontworpen om stroperij tegen te gaan en conflicten tussen mens en wild in ontwikkelingslanden te verminderen. www.nightjar.in

ICECAP Systems (Malta)

Het doel van ICECAP Systems is het ontwikkelen van een compact koelsysteem voor wijdverspreide toepassing in diverse producten. Door gebruik te maken van meertraps thermo-elektrische modules (TEM's), nieuwe assemblagetechnieken en innovatieve optimalisatie-algoritmen kunnen lagere temperaturen worden bereikt in kleinere behuizingen, waardoor deze gemakkelijk kunnen worden geïntegreerd in draagbare apparaten. Toepassingen zijn onder andere hogesnelheidscamera's, radio-ontvangers, telescopen, medische transportmiddelen, laboratoriumapparatuur en krachtige processoren.

www.icecapsystems.com

ICECAP



banyan.eco

Banyan.eco (Frankrijk)

Banyan.eco wil de elektronica-wereld helpen om net-nul te bereiken, wat betekent dat de totale hoeveelheid geproduceerde broeikasgassen in evenwicht is met de hoeveelheid die uit de atmosfeer wordt verwijderd. De toeleveringsketen en het industriële proces van elektronica bestaat uit meerdere lagen en is een van de meest complexe industriële sectoren, waardoor het extreem moeilijk is om de uitstoot tijdens de levenscyclus van een product te meten, van de wieg tot het graf. Banyan.eco gebruikt AI en digitale Eco-tweelingen om de koolstof-footprint van producten en bedrijven in elektronica in enkele minuten te schatten. www.banyan.eco

electronica Fast Forward 2024 Sponsors

Belangrijke sponsors uit de industrie, waaronder **NXP**, **MikroE**, **Mouser** en **PCBWay**, ondersteunen het evenement om groei en samenwerking binnen de elektronica-community te bevorderen.



Elektor @ electronica: Tijdschema

Dinsdag 12 november

- 09:00 **Startup pitch: Banyan.eco** (B4.440)
10:00 **Startup pitch: BTRY AG** (B4.440)
10:30 **Krüger Consulting GmbH** (B4.440)
11:00 **Startup pitch: ICECAP Systems** (B4.440)
12:00 **Startup pitch: Nightjar Technologies** (B4.440)
13:00 **Startup pitch: SpeedPox** (B4.440)
14:00 **Interview: GreatScott!, LiPo Kit** (B4.440)
15:00 **Interview: Jean-Pierre Joosting, eeNews Europe** (B4.440)
17:00 **Elektor Lab Talk live** (B4.440)

Woensdag 13 november

- 09:00 **Startup pitch: SpeedPox** (B4.440)
10:00 **Startup pitch: Banyan.eco** (B4.440)
10:30 **NXP** (B4.440)
11:00 **Startup pitch: BTRY AG** (B4.440)
12:00 **Startup pitch: ICECAP Systems** (B4.440)
13:00 **Startup pitch: Nightjar Technologies** (B4.440)
14:00 **Interview: Max Imagination** (B4.440)
15:00 **Interview: Hungarian Consulate** (B4.440)
17:00 **Elektor Lab Talk live** (B4.440)

Donderdag 14 november

- 09:00 **Startup pitch: Nightjar Technologies** (B4.440)
10:00 **Startup pitch: SpeedPox** (B4.440)
11:00 **Startup pitch: Banyan.eco** (B4.440)
12:00 **Startup pitch: BTRY AG** (B4.440)
13:00 **Startup pitch: ICECAP Systems** (B4.440)
13:30 **Lavorro Inc.** (B4.440)
14:00 **Interview: Jorge Costa Dantas Faria, Europese Innovatieraad EISMEA** (B4.440)
15:00 **Interview: Peter Dalmaris, KiCad 8** (B4.440)
16:00 **B2B & Influencer Marketing** (B4.131, Visionary Stage)
17:00 **Elektor Lab Talk live** (B4.440)

Friday, November 15

- 10:00 **Interview: Nick Flaherty, eeNews Europe** (B4.440)
11:00 **Influencer Marketing for Students** (B4.131, Visionary Stage)
12:00 **Prijsuitreiking elektronica Fast Forward 2024** (B4.131, Visionary Stage)
13:00 **Soldeerwedstrijd met DIY GUY Chris** (B4.440)

Een plattegrond van hal B4 is te vinden op

<https://exhibitors.electronica.de/ausstellerportal/2024/hallenplaene/hallenplan/?lid=b4>



Wijzigingen voorbehouden.

Ontmoet de influencers: betrokkenheid en innovatie stimuleren

Influencers spelen een cruciale rol bij het overbruggen van de kloof tussen innovatieve technologie en mainstream-aanvaarding. Op de Elektor-stand presenteren drie bekende influencers uit de elektronica-industrie hun nieuwste projecten: GreatScott!, Max Imagination en DIY GUY Chris. Samen vertegenwoordigen deze creatieve vernieuwers meer dan 2 miljoen volgers.



GreatScott! staat bekend om zijn diepgaande elektronica-tutorials die zowel liefhebbers als professionals inspireren. Zijn populaire doe-het-zelf-projecten, zoals zijn zelfgemaakte powerbank-tutorial, hebben talloze kijkers geïnspireerd om met elektronica aan de slag te gaan.

www.youtube.com/@greatscottlab



Max Imagination hanteert een creatieve, artistieke benadering voor zijn projecten, waarbij techniek wordt gecombineerd met innovatie. Zijn kanaal bevat unieke bouwsels zoals aangepaste robots en 3D-geprinte gadgets, waardoor complexe ideeën toegankelijk worden.

www.youtube.com/@MaxImagination



DIY GUY Chris vereenvoudigt geavanceerde elektronica door middel van stap-voor-stap-gidsen over onderwerpen zoals LED-displays en CNC-machines, en moedigt beginners aan om nieuwe uitdagingen aan te gaan. Hij zal ook een soldeerwedstrijd houden op onze elektronica Fast Forward Streaming Stage. Mis hem niet.

www.instagram.com/diylguychris

Bezoekers kunnen de influencers ontmoeten op de Elektor-stand, waar ze live demo's geven, vraag- en antwoordsessies leiden en nog veel meer. Hun aanwezigheid voegt een dynamisch aspect toe aan het evenement en versterkt het bereik en de impact van de getoonde innovaties.

Experts praten live / Elektor Lab Talk

Elke middag (dinsdag tot en met donderdag) interviewen Elektor-redacteur Brian Tristram Williams en zijn collega's op de Elektor-stand verschillende experts zoals Peter Dalmaris, die vertelt over de nieuwste versie van KiCad, de populaire open-source ECAD-softwareoplossing. Als u elektronica niet persoonlijk kunt bijwonen, kunt u onze interviews en Lab Talk shows bekijken op www.youtube.com/@ElektorTV. Zie het **Tijdschema** hiernaast voor meer informatie.



electronica is 60 en blijft groeien!

de toekomst van elektronica vormgeven door decennia van innovatie

electronica is al zes decennia lang een drijvende kracht in de elektronica-industrie. Leaders van het evenement delen het verhaal van de opkomst en geven een kijkje in de toekomst van de elektronica zoals die te zien is op de editie van 2024. Dit jaar viert de beurs zijn 60ste verjaardag en is dan ooit tevoren. Voor het eerst zullen alle 18 hallen van de beurs in München worden gebruikt. In dit korte interview praten Katja Stolle (Exhibition Director elektronica) en Caroline Pannier (Deputy Exhibition Director elektronica) over 60 jaar electronica en daarna.

Elektor: Wat was de missie van electronica toen het 60 jaar geleden voor het eerst van start ging? Is de missie sindsdien veranderd?

Katja Stolle: Hoewel de kernmissie van electronica – het tonen van innovaties en het bevorderen van samenwerking binnen de industrie – hetzelfde is gebleven in de afgelopen 60 jaar, is de focus aanzienlijk verbreed. In 1964 begon het evenement als de eerste beurs in Duitsland die uitsluitend gewijd was aan elektronische componenten, terwijl het al een internationale focus had. In de daaropvolgende jaren groeide electronica gestaag en werd al snel de belangrijkste ontmoetingsplaats voor de internationale elektronica-industrie. Vandaag de dag bieden we een platform om het complete spectrum van technologieën, producten en oplossingen uit de gehele elektronica-industrie te presenteren, mensen van over de hele wereld met elkaar in contact te brengen en de nieuwste trends te belichten, om zo innovatie en groei in de industrie te stimuleren.

Elektor: Talrijke technologische mijlpalen werden voor het eerst gepresenteerd op electronica. Welke innovaties hebben de meest blijvende impact gehad op zowel de industrie als op de wereld in het algemeen?

Caroline Pannier: In de afgelopen decennia is electronica het toneel geweest van een aantal technologische mijlpalen. Deze omvatten bijvoorbeeld de introductie van microprocessoren in de jaren '70, de ontwikkeling van mobiele communicatie in de jaren '80 en '90 en de snelle vooruitgang in digitalisering in de jaren 2000 met de verspreiding van draadloos internet. Deze innovaties hebben een blijvende en transformerende impact gehad op de

wereld, van het kleiner, sneller en efficiënter maken van elektronica tot het mogelijk maken van hele nieuwe industrieën zoals IoT, autonome voertuigen en slimme steden. Deze doorbraken blijven de toekomst van technologie in vrijwel elke sector bepalen.

Elektor: Nu we vooruitkijken naar de komende jaren van technologische vooruitgang, welke opkomende technologieën zullen volgens u de komende edities van electronica domineren?

Katja Stolle: In de komende jaren zal electronica blijven dienen als een wereldwijd podium voor de nieuwste innovaties die de elektronica-industrie vooruit stuwten. Hiertoe behoren verschillende technologieën die waarschijnlijk een dominante rol zullen blijven spelen in komende edities van electronica, zoals kunstmatige intelligentie en machine learning, of duurzame elektronica met een brede focus op energie-efficiëntie, recyclebaarheid en afvalvermindering.

Elektor: Dit jaar zal de beurs, ter ere van haar verjaardag, het thema van een volledig elektrische samenleving centraal stellen. Vertel ons meer over de beslissing om dit thema centraal te stellen en wat bezoekers kunnen verwachten op het evenement van 12...15 november 2024.

Caroline Pannier: De All Electric Society (AES) beschrijft een toekomstvisie waarin in alle energiebehoeften wordt voorzien door CO₂-neutrale elektriciteit. Het is een concept dat klimaatverandering wil tegengaan en tegelijkertijd de energievoorziening veilig wil stellen. We hebben het als motto gekozen voor de electronica van dit jaar in nauwe samenwerking met de industrie. AES en duurzaamheid zullen terugkerende thema's zijn tijdens de tentoonstelling en het ondersteunende programma. Naast het tonen van duurzame technologieën op de stands, zijn er diverse presentaties en een aantal speciale evenementen gewijd aan dit onderwerp. Bijvoorbeeld een dagvullend programma van lezingen en paneldiscussies door het Green Leaders Network, of een individuele rondleiding ondersteund door de Duitse Electro en Digital Industry Association (ZVEI), waarbij bezoekers de bijdrage van geselecteerde exposanten aan het AES live op hun stand kunnen ervaren.

Twee live influencer-forums

Op electronica 2024 in hal B4.131 zal Elektor twee informatieve forums modereren: een discussie over slimme influencer-marketing (donderdag 14 november) en een discussie voor studenten over het proces om elektronica-influencer te worden (vrijdag 15 november). Het eerste forum, "The Future is Now: How to Incorporate Smart Influencer Marketing for Your Company" is een discussie met influencers die samen meer dan 2 miljoen volgers hebben, waarbij

de nadruk ligt op de kracht van influencer-marketing in de elektronica-sector. Het tweede forum, "The Future is Now: How to Become an Influencer in Electronics" is gericht op studenten en jonge ingenieurs en biedt hen inzicht in het opbouwen van een carrière als influencer op het gebied van elektronica. Beide evenementen worden gekenmerkt door een professioneel gemodereerde paneldiscussie. 

240566-03



Elektor MultiCalculator Kit

Arduino-gebaseerde DHZ-calculator
voor elektronici

Ruud van der Meer (Nederland)

De Elektor MultiCalculator is meer dan gewoon een rekenmachine. Hij berekent binaire, hexadecimale en decimale waarden, meet licht, temperatuur en temperatuurverschillen, decodeert IR-codes van NEC-afstandsbedieningen, ontcijfert kleurcodes van weerstanden, capacitieve en inductieve reactantie en nog veel meer. Het beste van alles is dat de kit zowel elektronische als mechanische onderdelen bevat, met schroeven, toetsen en behuizing.



De foto hierboven bewijst dat de afgewerkte kit er absoluut niet 'in elkaar geknutseld' uitziet. Hij is uitgerust met speciaal ontworpen gekleurde toetsen en een tweeregelig LC-display. De tabel **Eigenschappen** laat zien wat u ermee kunt doen; verdere informatie is te vinden in de Specificaties tabel.

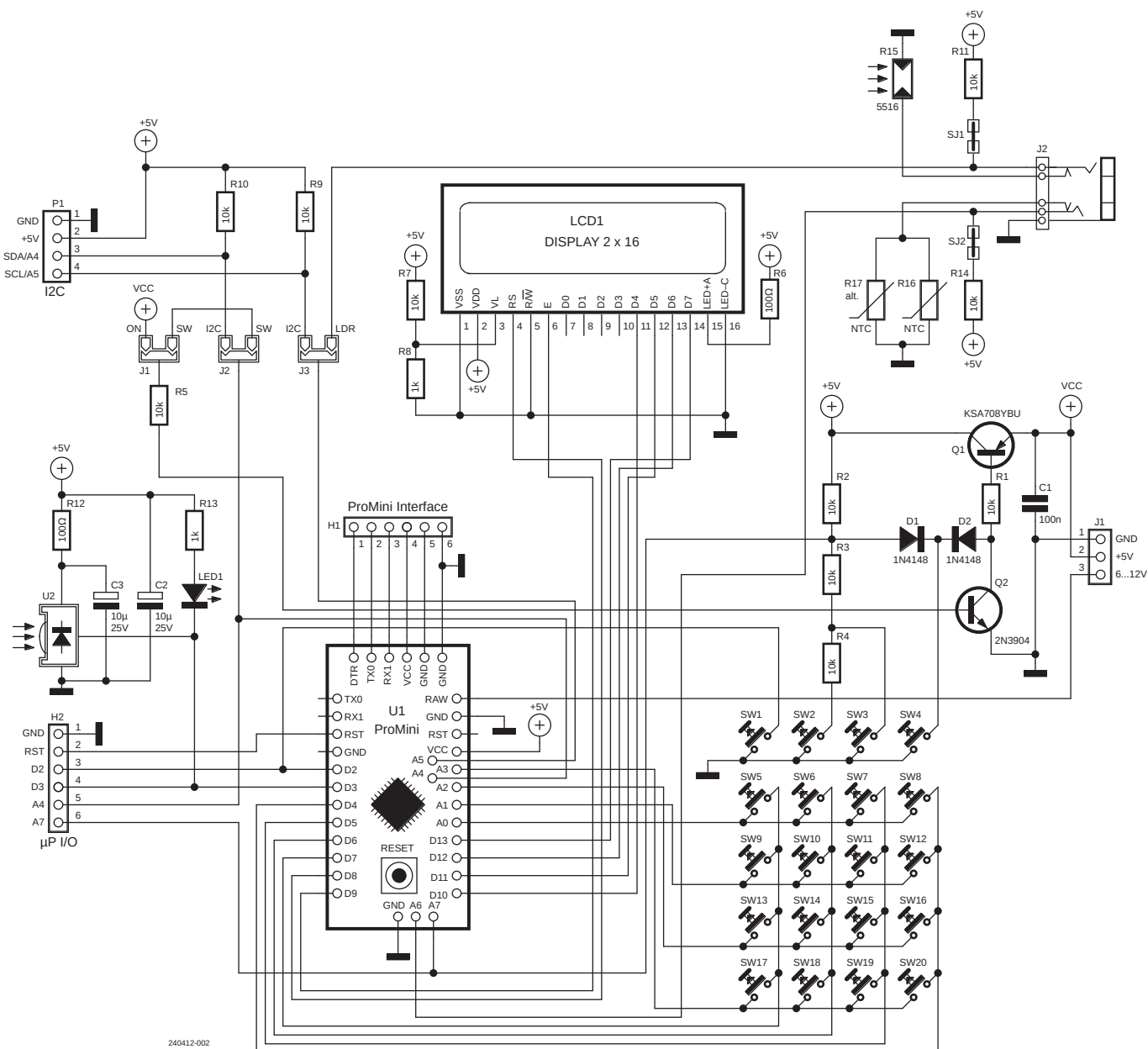
Algemeen

De MultiCalculator is gebouwd rond een Arduino Pro Mini-module en kan zelfs na voltooiing opnieuw worden geprogrammeerd via een zespellige busstrip aan de achterkant. Hij ondersteunt zowel Nederlandse als Engelse menutalen. De MultiCalculator wordt gevoed met 5 V via USB-C en verbruikt slechts ongeveer 30 mA. Hij kan ook worden bijgewerkt voor andere functies via aangepaste software met behulp van de standaard Arduino IDE.

Figuur 1 toont de verbazingwekkend eenvoudige maar efficiënte schakeling. De seriële poorten van de Arduino worden vrijgehouden voor monitoring of andere functies. Extra aansluitingen op de print zijn GND, reset, D2, D3,

Functies

- Decimale drijvende komma berekening
- Binaire, hexadecimale, decimale berekening
- ASCII-tekenweergave
- Temperatuur- en verschiltemperatuurmeting
- Stopwatch met rondetijd
- Weerstandswaarde-decoder.
- Capacitieve (Xc) en inductieve (XI) reactantieberekening.
- Equivalente serie- en parallelweerstand
- Lichtmeting in mV en lux
- Pulsteller
- IR-decoder voor NEC-codes
- AWG met berekening van maximale stroom
- Simulatie van dobbelsteen werpen
- Rekenmachine personaliseren
- Kalibratie van temperatuurmeting (nulpuntcorrectie)
- Tweeregelig LC-display (blauw met witte tekst)



Specificaties

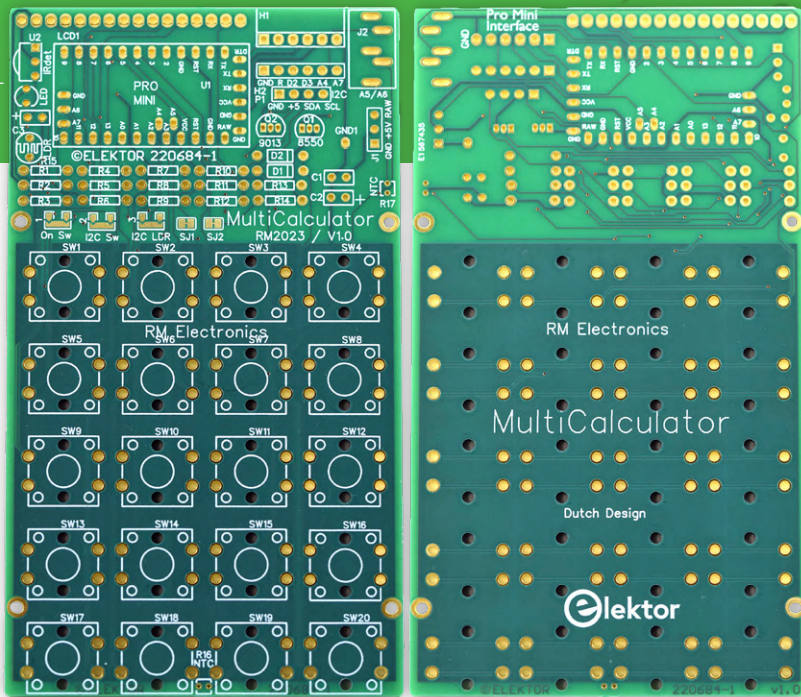
- Voedingsspanning: 5 V (USB-C).
- Voedingsstroom: 28...32 mA.
- Arduino Pro Mini (ATmega328P @16 MHz)
- Arduino IDE-programmeerbaar
- 2 x 16 alfanumeriek LCD (LCD 1602, blauw met witte tekst)
- 20 gelabelde drukknoppen. 3,5 mm aansluiting voor externe sensoren
- Meetbereik van waterdichte sensoren -40 °C tot +85 °C
- Afmetingen: 92 x 138 x 40 mm

A4 en A7 (connector H2, hier niet gebruikt/gemonteerd). Er is ook een I²C-aansluiting beschikbaar (connector P1, hier niet gebruikt/gemonteerd). Om I²C te gebruiken, moeten de nodige soldeerbruggen (zie **figuur 2**) worden aangebracht. I²C wordt ingeschakeld via de dubbele soldeerbrug J2 (I²C/Sw) naast R6 op de print voor SDA (A4) en de dubbele soldeerbrug J3 (I²C/LDR) naast R9 op de print voor SCL (A5). Op elke dubbele



Figuur 1. De schakeling van de MultiCalculator is eenvoudig maar efficiënt. De complexiteit is verborgen in de software.

Figuur 2. De soldeerbruggen aan de bovenkant van de print.



Figuur 3. Bovenkant (links) en onderkant (rechts) van de print.

soldeerbrug mag slechts één soldeerverbinding op de print worden aangebracht!

De Arduino Pro Mini-module heeft meer I/O-poorten beschikbaar. I/O-poorten A5 en A6 zijn beschikbaar op 3,5mm-aansluiting J2, verbonden via een printspoortje in soldeerbrug SJ1 en SJ2 met de 10kΩ-pullups R11 en R14. Deze I/O-poorten kunnen worden gebruikt voor temperatuurmetingen of andere toepassingen (afhankelijk van de software). Om de verbindingen met deze pullup-weerstanden te verbreken, snijdt u het kleine koperspoortje tussen de pads van SJ1 en SJ2 door. Als de verbinding hersteld moet worden, maak dan een soldeerverbinding tussen de aangrenzende pads. De LDR- en NTC-sensoren zijn altijd verbonden met massa, respectievelijk A5 (LDR/NTC) en A6 (NTC). Als een externe LDR/NTC wordt aangesloten via een aansluiting naar J2, zijn de interne LDR (R15) en NTC (R16 of R17) losgekoppeld.

Op de print (figuur 3) kan een NTC op twee plaatsen worden gemonteerd: R16 of R17. Ze gebruiken beide dezelfde aansluitingen, dus er hoeft maar één NTC te worden gemonteerd! Gebruik liever R16, omdat de

Figuur 4. De waterdichte temperatuursensoren zoals geleverd in de kit (links) en aangesloten op een 3,5mm-klinkstekker (rechts).



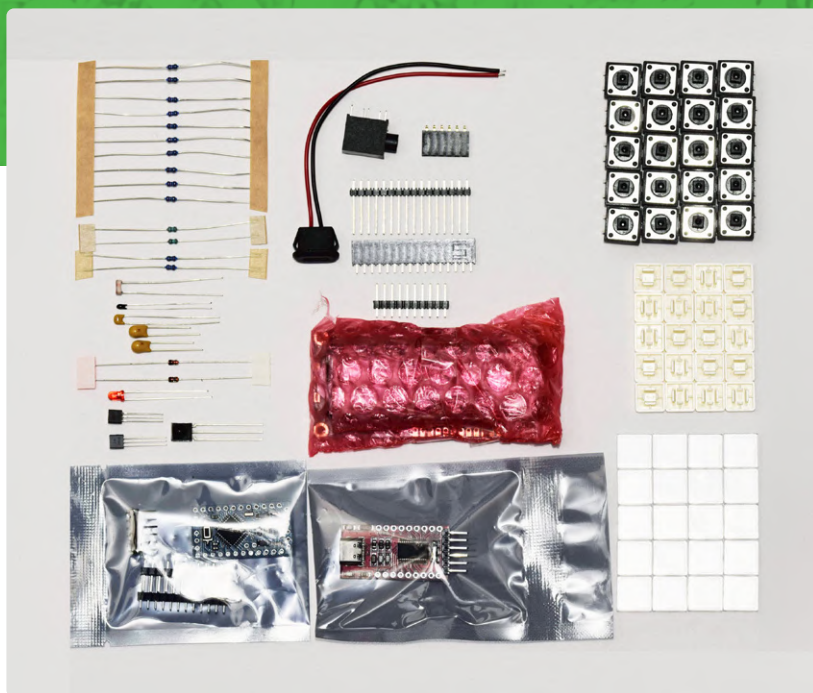
aansluitingen daarvan het verst van de Arduino Pro Mini-module verwijderd zijn, waardoor de NTC niet kan opwarmen. Door aansluiting J2 te gebruiken voor het aansluiten van een externe LDR/NTC, worden R15 en R16/R17 losgekoppeld.

U2 is een IR-decoder. De signalen worden opgevangen door de D3-ingang van de Pro Mini. De extra LED op de uitgang licht op als er IR-signalen worden ontvangen. Een analoge ingang wordt gebruikt om schakelaars SW2, SW3 en SW4 te lezen. Ze veranderen de weerstand van de ermee in serie geschakelde weerstanden R2 (via D1), R3 en R4. SW5...SW20 zijn in een matrix aangesloten. SW1 wordt gebruikt om de modus van de MultiCalculator te veranderen en is verbonden met een extra I/O-poort (D2). Kort indrukken schakelt naar de volgende modus en langer indrukken schakelt terug naar de vorige modus. SW4 wordt gebruikt om de MultiCalculator softwarematig aan of uit te zetten, afhankelijk van de dubbele soldeerbrug 1 naast R3 op de print (On/Sw). Als de soldeerbrug op ON staat, wordt de MultiCalculator gevoed zodra er 5 V wordt aangesloten. Als de soldeerbrug op Sw staat, wordt PNP-transistor Q1 ingeschakeld door op SW4 te drukken, waardoor R1 via D2 naar massa wordt getrokken. Vervolgens wordt de voeding op de schakeling aangesloten en start de module op. SW4 moet lang genoeg ingedrukt worden om I/O-poort A4 hoog te maken. Q1 wordt ingeschakeld via R5 en NPN-transistor Q2.

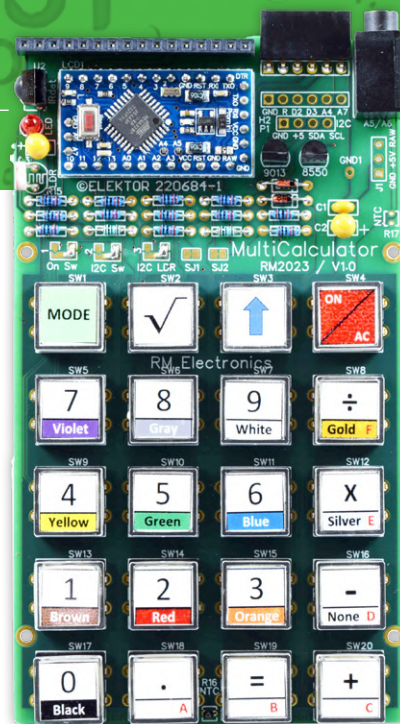
De rekenmachine kan ook worden gevoed met een spanning van 6...12 V via de RAW-aansluiting op de print (J1). Een kleine 5V-regelaar maakt deel uit van de voedingsschakeling van de Pro Mini-module. Het apparaat wordt ingeschakeld door op de knop ON/AC (SW4) te drukken totdat er tekst op het display verschijnt. Om uit te schakelen, drukt u langer dan 4 seconden op de ON-knop. Als u de knop dan loslaat, wordt de MultiCalculator uitgeschakeld.

Oorspronkelijk gebruikte de auteur een SS8550 voor PNP-transistor Q1 en een 2SC9013 voor NPN-transistor Q2, zoals aangegeven op de print. Omdat deze niet beschikbaar waren, werden deze door Elektor Labs vervangen door de types KSA708YBU en 2N3904. Het exacte type is niet kritisch, maar als vervanging noodzakelijk is, let dan op de pinning van de transistoren. Veelgebruikte types zoals de BC547 of BC337 hebben een andere pinning! Het programmeren van de Arduino Pro Mini kan via een USB-C/TTL-converter (onderdeel van de kit) via H1. Zorg ervoor dat de jumper op de programmeeradapter in de 5V-positie staat.

De op maat gemaakte behuizing bestaat in totaal uit elf afzonderlijke transparante acrylpanelen. De bovenste panelen zijn donkerbruine transparant; de rest is kleurloos. Voor deze kit kan een gedetailleerde 'montage- en gebruikershandleiding' gratis worden gedownload – ga naar de link in het kader **Gerelateerde producten**. De software en de benodigde bibliotheken kunnen



Figuur 5. Inhoud van de Elektor MultiCalcalatorkit (exclusief behuizing en schroeven).



Figuur 6. De volledig geassembleerde print zonder LCD.

worden gedownload van de projectpagina bij dit artikel [1]. Toekomstige versies komen beschikbaar op de Elektor Labs-projectpagina [2].

De laatste hand aan dit project is gelegd door Ton Giesberts van Elektor door het corrigeren van Ruuds bestanden in Altium Designer. Verder zijn enkele componenten vervangen door beschikbare versies en zijn kleine taalkundige subtiliteiten in de code met betrekking tot de gebruikersinterface gecorrigeerd; daarnaast is ondersteuning geboden bij de ontwikkeling van de behuizing. De basisfuncties zijn echter niet gewijzigd.

Differentiële temperatuurmeting

Eén gebruiksmodus is niet volledig duidelijk in de gebruikershandleiding. Om de modus voor differentiële temperatuurmeting te gebruiken, moeten de kabels van beide waterdichte sensoren in de kit (**figuur 4**) aan de 3,5mm-klinkstekker (ook in de kit) worden gesoldeerd. De stekker kan vervolgens in de 3,5mm-connector aan de achterkant van de MultiCalculator worden gestoken. Knip hiervoor de connectoren van de kabels van de waterdichte sensoren af. Elke sensor moet worden gesoldeerd aan het GND-aansluitpunt van de 3,5mm-stekker en de andere draad van elke sensor aan een van de andere contacten van de stekker. Het is het beste om de massadraden een paar mm korter te knippen, zodat de andere twee iets langer zijn en elk aan een van de andere twee contacten van de 3,5mm-plug kunnen worden gesoldeerd zonder de draden te buigen. De stekker in de kit kan afwijken van de stekker op de foto. Metingen met de waterdichte sensoren hebben tijd nodig, omdat de NTC's in een met epoxy gevulde rond metalen buisje van 5x25 mm zitten.

Montage en indruk

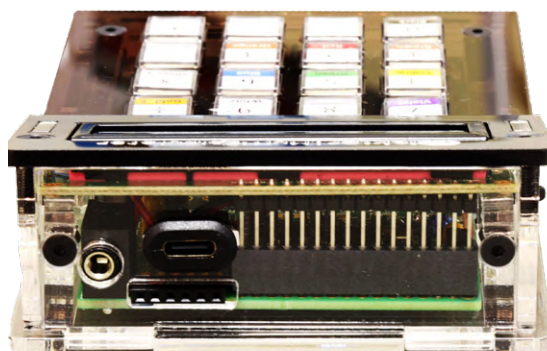
Figuur 5 laat zien wat u krijgt als u de verpakking van de MultiCalculator Kit opent. De onderdelen van de



Figuur 7. Zijaanzicht van de geassembleerde MultiCalculator.

behuizing en de schroeven zijn hier niet te zien, maar worden wel meegeleverd. Na het assembleren van de print (zonder display) zou deze eruit moeten zien als in **figuur 6**. De twee foto's van **figuur 7** en **figuur 8** tonen het zij- en achteraanzicht van de MultiCalculator.

In **figuur 9** worden alle basisschermen voor de 22 modi van de software in versie 1.1 getoond. Ze komen overeen met de tabel **Bedrijfsmodi**. De modi kunnen in toekomstige softwareversies worden gewijzigd of uitgebreid. De montagehandleiding uit [1] is veel gedetailleerder dan dit



Figuur 8. Achteraanzicht van de geassembleerde MultiCalculator.



Over de auteur

Ruud van der Meer (RM electronics) is elektronicus, software- en hardware-ontwerper en docent, die meer dan 40 jaar bij een grote multinational in de elektronica heeft gewerkt. Toen hij ontdekte dat niet iedereen zonder extra studie de weg naar nieuwe technieken kon inslaan, begon hij les te geven in het bedrijf en op een school voor technisch onderwijs op het gebied van elektrotechniek, elektronica, digitale technieken, communicatietechnieken en mechatronica. Privé gebruikte hij computersystemen voor domotica.

Vragen of opmerkingen?

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

-RM- MultiCalc. ELEKTOR V1.1	-RM- MultiCalc. ELEKTOR V1.1	→2.4R Resistance
→3.5R Resistance	→4.Dec → HexCha	→5.Hex → DecCha
→6.Dec → BinCha	→7.Bin → DecHex	→8.Hz,nF Xc Calc 0
→9.Hz,uH XI Calc 0	10.R1R2=Rv Paral 0	11.R1R2=Rv Serie 0
12.RvR1=R2 Spec. 0	13.Temperature:± 19.1 °C.	14.T1&T2 ± 0.1 19.0-19.0 °C. ±
15.Light measur± 443 mV 154 Lux	16.Stop/Lapwatch	17.Item Counter 9999999
18.IRremote NEC	19.AWGconversion	19.AWG=22 < 1.6A 0.64mm 0.33mm2
20.Dice..(= +)	21.Personalize ■■■■■■■■■■	22.Temp.Correct. C=10 20.1 °C.

▲
Figuur 9. De basisschermen voor de 22 bedrijfsmodi.

artikel, omdat het aantal pagina's in een downloadbare PDF niet begrensd is.

Update: er is net een nieuwe versie van de software uitgekomen. Er zijn twee wijzigingen: functie 18 is nu efficiënter en gebruikt geen tabel meer maar een berekening. Er is een nieuwe functie (functie 4) toegevoegd, die EIA96 SMD-weerstanden decodeert (deze keer met een tabel). De nieuwe firmware, versie 1.2, gebruikt een nieuwe toetsenbordindeling (figuur 10). Een afprintbare versie is opgenomen in het archief dat ook van [2] kan worden gedownload. [▶](#)

vertaling: Willem den Hollander — 240412-03

MODE	✓	↑	ON AC
7	8	9	÷
Violet	Gray	White	Gold F
4	5	6	X
Yellow-Z	Green	Blue	Silver E
1	2	3	-
Brown-YR	Red	Orange	None D
0	.	=	+
Black -XS	A	BH	C

►
Figuur 10. De nieuwe toetssymbolen voor firmware v1.2.

Bedrijfsmodi (software v1.1)

1. Rekenmachine
2. 4-rings weerstandscade
3. 5-rings weerstandscade
4. Conversie van decimaal naar hexadecimaal en teken (ASCII)
5. Hexadecimaal-naar-decimaal- en -karakter (ASCII) conversie
6. Decimaal-naar-binair en -karakter (ASCII) conversie
7. Binair-naar-decimaal en -hexadecimaal conversie
8. Hz, nF en Xc (capacitieve reactantie) berekening
9. Hz, µH en XI (reactantie) berekening
10. Weerstandsberekening van twee parallel geschakelde weerstanden
11. Weerstandsberekening van twee in serie geschakelde weerstanden
12. Berekening onbekende parallelweerstand
13. Temperatuurmetering
14. Differentiële temperatuurmetering T1, T2 en delta (δ)
15. Lichtintensiteitmetering
16. Stopwatch met rondetimerfunctie
17. Pulsteller
18. Infrarood NEC-code van een afstandsbediening weergeven
19. AWG (American Wire Gauge) en maximale stroom
20. Dobbelsteen werpen
21. Personalisatie van opstartbericht
22. Temperatuurkalibratie



Onderdelenlijst

Weerstanden:

R1...R5, R7, R9...R11, R14 = 10 k, 1%.

R6, R12 = 100 Ω , 1%

R8, R13 = 1 k, 1%.

R15 = LDR GL5516, 5,4x4,4 mm, steek 3,4 mm

R16 = NTC 10 k, type 3950 5%.

R17 = NC

Condensatoren:

C1 = 100 n/50 V, 10%, X7R, 1/10"

C2, C3 = 10 μ /25 V, 10%, tantaal, 1/10"

Halfgeleiders:

D1, D2 = 1N4148, DO-35

LED = LED rood, 3 mm

Q1 = KSA708YBU, TO-92*

Q2 = 2N3904, TO-92*

U1 = Arduino Pro Mini (ATmega328P, 5 V, 16 MHz)

U2 = TSOP14438 IR-detector

LCD1 = LCD-module type 1602, alfanumeriek, 36x80 mm

Diversen:

J1 = USB-C-connector voor printmontage, bedraad (alleen voeding van 5 V), 9x16 mm

J2 = 3,5mm steekplugconnector voor printmontage, PJ-325M (vijfpolig, 2 geschakelde contacten)

H1 = 6-polige busstrip, haaks, 1/10"

H2 = NC

P1 = NC

SW1...SW20 = druktoets, 12x12x7,3 mm

20 toetkappen + doorzichtige afdekking voor schakelaars (kappen zijn 11,8x11,8 mm)

16-polige rechte pinheader, hoogte 18,54 mm, 1/10", voor LCD

16-polige busstrip, 1/10", verticaal, voor LCD

FT232 Pro Mini USB-C TTL-adapter (met 3-polige 3,3V/5V-selectie)

U1 = 12-polige header, verticaal, 1/10", voor Arduino Pro Mini

2x NTC, 10 k, waterdichte temperatuursensor, type 3950 10K met 1 m kabel

3,5 mm klinkstekker

USB-A naar USB-C kabel, 1 m

print 220684-1 v1.0

Behuizing:

4x schroef, M2 x 12, staal

4x afstandshouder, rond, lengte 3 mm, buiten $\varnothing$ 5 mm, polyamide

4x moer, M2, staal

8x sluitring, M2, $\varnothing$ 5 mm, hoogte 0,3 mm, polyamide

4x schroef, M3 x 6, staal

4x sluitring, M3, $\varnothing$ 7 mm, hoogte 0,5 mm, polyamide

4x afstandshouder, M3, female/female, buiten $\varnothing$ 6 mm, lengte 8 mm, polyamide

4x schroef, M3 x 10, verzonken kop, inbus 2 mm, staal

4x schroef, M3x12, verzonken kop, inbus 2 mm, staal

4x moer, M3, zwart, hoogte 2,4 mm, staal

4x zelfklevende voet, hoogte 3,8 mm, transparant, polyurethaan

6 panelen gemaakt van 3 mm geëxtrudeerd transparant/helder acryl: achterkant, voorkant, onderkant, 2x zijkant en U-vormig toetsenbordhouderpaneel

2 displaypanelen van 5 mm geëxtrudeerd transparant/helder acryl

3 panelen gemaakt van 3 mm gegoten acryl umbra transparant (donkerbruin): displayhouder, kleine steun voor displayhouder en toetsenbordpaneel

* zie tekst



Gerelateerd product

> **Elektor MultiCalculator Kit**
www.elektor.nl/20848

WEBLINKS

[1] Projectpagina bij dit artikel: <https://elektormagazine.nl/240412-03>

[2] Multicalculator op Elektor Labs: <https://tinyurl.com/multicalclabs>

Goedkope GNSS RTK-systemen

met centimeter-nauwkeurigheid

Giovanni Carrera (Italië)

GPS (het Global Positioning System) is welbekend en wordt wereldwijd gebruikt in het dagelijks leven. Minder bekend zijn echter andere systemen met de aanduiding GNSS RTK, die draaggolf-fasemetingen uitvoeren op meerdere satellietssystemen en een nauwkeurigheid van beter dan een centimeter bereiken, nu tegen prijzen die zelfs voor een maker acceptabel zijn.

De eerste RTK-ontvangers (real-time kinematic) waren uitsluitend bedoeld voor professioneel gebruik, zoals voor topografische metingen. Professionele ontvangers kosten nog steeds enkele duizenden euro's. Sinds een paar jaar zijn er echter goed presterende modules op de markt tegen een aanzienlijk lagere prijs: Naast traditionele toepassingen zoals GIS (geografische informatiesystemen), zijn deze RTK-ontvangers bijzonder geschikt voor het besturen van vliegtuigen en andere voertuigen, bijvoorbeeld UAV's (onbemande luchtvaartuigen) en UGV's (onbemande grondvoertuigen) zoals landbouwtractoren en drones.

Een interessante toepassing is het gebruik van twee gekoppelde RTK-ontvangers om niet alleen de positie te meten, maar ook de draaibewegingen om de horizontale en de verticale as. Dit satellietkompas is veel nauwkeuriger dan een magnetisch kompas of zelfs een gyrokompas. Ik heb drie RTK-ontvangers gebruikt, waarvan de antennes op het dek van een schip waren gemonteerd, om de drie draaibewegingen met hoge nauwkeurigheid te meten.

GNSS

Meestal worden satellietnavigatieontvangers GPS genoemd, maar de meest geavanceerde ontvangers, die signalen van verschillende satellietconstellaties kunnen verwerken, zoals het Russische GLONASS, het Chinese BeiDou en het Europese Galileo, dragen de trotse naam Global Navigation Satellite System.

In tegenstelling tot gewone GPS-apparatuur kunnen GNSS-ontvangers veel meer satellieten ontvangen om daaruit de satellieten met de beste geometrie of sterkste signalen te selecteren; dit is een zeer belangrijke eigenschap voor het uitvoeren van metingen met een nauwkeurigheid beter dan een centimeter, zoals RTK. De RTK-techniek wordt gebruikt om directe en zeer nauwkeurige positiemetingen te verkrijgen met GNSS-satellietssystemen. Het maakt gebruik van metingen van de fase van de draaggolven die door de satellieten worden uitgezonden; slechts enkele satellietontvangers zijn in staat om deze draaggolven te volgen. De nauwkeurigheid van deze ontvangers ligt in de orde van centimeters, zelfs millimeters, afhankelijk van de kwaliteit van de ontvanger en de bijbehorende antenne. Deze ontvangers, die voornamelijk zijn gemaakt voor topografisch gebruik, kunnen twee of drie draaggolven ontvangen en kosten enkele duizenden euro's. Bedrijven zoals het Zwitserse U-blox produceren echter al jaren goedkope ontvangers die fasemetingen kunnen uitvoeren. Het probleem zat hem in de ondersteunende software, die nog steeds erg duur is. De Japanse technicus Tomoji Takasu leverde een grote bijdrage aan het oplossen van dit probleem met zijn open-source RTKLIB-programma's [1]. Intussen zijn er dankzij nieuwe elektronische technologieën steeds krachtigere microcontrollers op de markt gekomen, waardoor RTK-verwerking direct in de ontvanger zelf kan worden uitgevoerd en een nauwkeurigheid van enkele centimeters kan worden bereikt, zelfs zonder gebruik te maken van een PC.



Bron: Shutterstock



En het zijn precies deze systemen die in dit artikel aan bod komen; gezien de omvang en complexiteit van de onderwerpen, zal ik niet in detail ingaan op het werkingsprincipe van GNSS-systemen, maar beveel ik in plaats daarvan enige literatuur aan: [2][3].

Satellietsystemen

Het eerste prototype van een GPS-satelliet werd in februari 1978 in een baan om de aarde gebracht; in 1995 was het systeem volledig operationeel voor civiele en militaire toepassingen.

Naast het Amerikaanse GPS zijn er andere systemen geïntroduceerd, zoals het eerder genoemde Russische GLONASS, het Chinese BeiDou en het Europese Galileo. Er zijn ook satellietsystemen ontwikkeld om de nauwkeurigheid van een stand-alone ontvanger te vergroten. Deze systemen maken gebruik van geostationaire satellieten en een netwerk van grondstations om differentiële lange termijn-correcties uit te voeren. De resultaten zijn minder goed dan die verkregen met DGPS (differential GPS), omdat het systeem over een groter gebied werkt, maar de gebruiker heeft het enorme voordeel dat hij de nauwkeurigheid en betrouwbaarheid van de metingen toch kan verbeteren zonder gebruik te hoeven maken van geavanceerde en dure apparatuur!

Moderne satellietontvangers kunnen satellieten van verschillende constellaties ontvangen en ook signalen ontvangen van SBAS-satellieten (Satellite-Based Augmentation System), zoals het Amerikaanse WAAS (Wide-Area Augmentation System) en het Europese EGNOS (European Geostationary Navigation Overlay Service). De draaggolffrequenties van de verschillende systemen verschillen, dus de antenne moet voor de ontvangst van al deze systemen geschikt zijn. Voor precisiemetingen moet de antenne van goede kwaliteit zijn, omdat dit de resultaten sterk kan beïnvloeden. Om te voorkomen dat de antenne storing ondervindt van multipath-reflecties, is het goed om hem op een gearde metalen plaat te bevestigen met een diameter van minstens 10 cm.

De differentiële ontvanger – code en fase

Voor toepassingen waar een hoge positienuwkeurigheid vereist is, moeten DGPS/DGNSS-ontvangers worden gebruikt. GPS/GNSS-systemen zijn onderhevig aan verschillende meetfouten, die grotendeels te wijten zijn aan de verstrooiing van elektromagnetische golven in de ionosfeer en troposfeer. Hierdoor bedraagt de horizontale positienuwkeurigheid slechts 2...10 meter. Om dit te verhelpen worden differentiële systemen gebruikt, dat wil zeggen twee stations die dicht genoeg bij elkaar staan (basislijn niet meer dan 15 km) om satellieten met dezelfde geometrie te zien. DGNSS-ontvangers kunnen deze fouten sterk verminderen door gebruik te maken van het verschil in metingen van de twee stations. Ontvangers die alleen met codemetingen werken, halen een nauwkeurigheid van een meter, ontvangers die ook

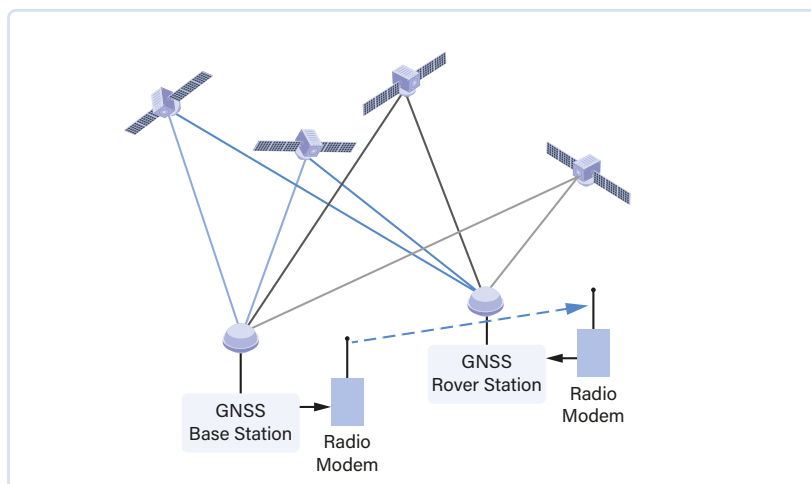
draaggolffase gebruiken kunnen een nauwkeurigheid van een millimeter bereiken. Ze gebruiken twee ontvangers: een in een vast basisstation en een tweede in een mobiel station ('rover'). De rover-ontvanger verschilt van een standaardontvanger omdat deze gegevenscorrectie moet uitvoeren op basis van de informatie die van het basisstation komt.

Het basisstation zendt differentiële correcties in raw of RTCM-formaat naar de rover. Deze stations moeten dicht genoeg bij elkaar zijn (<10 km) om de beste nauwkeurigheid te krijgen; bij grotere afstanden neemt de nauwkeurigheid af omdat de ontvangers een andere satellietgeometrie waarnemen.

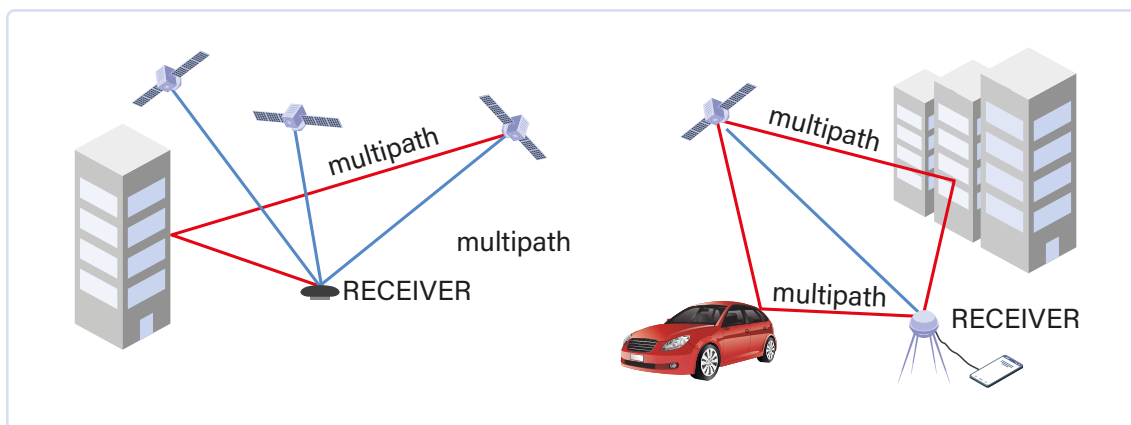
Het basisstation verzendt de raw/RTCM-gegevens via een radioverbinding (WiFi, Bluetooth of een radiomodem, afhankelijk van de te overbruggen afstand) zoals geschetst in **figuur 1**. Als het gebied ondersteuning voor cellulaire netwerken biedt, kunnen gegevens worden verzonden via GSM, GPRS of internet.

Gewone GPS-ontvangers meten de afstand tussen satelliet en antenne via de code (code-bereik). De bits van de PRN-code (pseudo-random noise) worden gegenereerd met een frequentie van 1,023 MHz, wat overeenkomt met golflengte $\lambda = 293,1$ m, de 'fysieke' lengte van elke bit. De correlatiemeting van de codes gegenereerd door de satelliet en de ontvanger vindt plaats binnen 1% van λ , wat leidt tot een nauwkeurigheid van ongeveer 3...5 m (rekening houdend met de andere fouten die onlosmakelijk verbonden zijn met het systeem). Een DGPS-systeem met code-ontvangers levert een betere nauwkeurigheid, hoewel deze nauwelijks beter dan één meter wordt. De PRN-code wordt periodiek herhaald (elke milliseconde) dus de afstandsmeting zal een onnauwkeurigheid hebben die gelijk is aan die periode – ongeveer 300 km. Deze onnauwkeurigheid is aanzienlijk, maar kan gemakkelijk worden geëlimineerd omdat de afstand bij benadering met een nauwkeurigheid van 100 km bekend is. Voor zeer nauwkeurige plaatsbepaling hebben we ontvangers nodig die mogelijk ook aan *carrier phase tracking* doen. Fasemetingen zijn veel nauwkeuriger omdat ze ook de draaggolf

Figuur 1.
Differentieel systeem.



Figuur 2. Voorbeelden van multipath-ontvangst.



gebruiken: voor GPS bedragen de golflengtes ongeveer 19 cm voor L1 en 24 cm voor L2. Als je bedenkt dat het mogelijk is om faseverschuivingen van minder dan één graad te meten, ligt de nauwkeurigheid in de orde van millimeters, andere storingsbronnen buiten beschouwing gelaten. In dit geval wordt de afstand berekend door het aantal draaggolfcycli tussen de satelliet en de ontvangerantenne te tellen en dit aantal te vermenigvuldigen met de golflengte. Het berekenen van het aantal hele cycli is een ingewikkeld proces dat *ambiguity resolution* wordt genoemd. Hiervoor zijn minstens 6...7 satellieten met een goede geometrie nodig; de berekening (vermindering van de onnauwkeurigheid) vergt enkele tientallen seconden. De rover bepaalt zijn positie met behulp van algoritmes die de ambiguity resolution en de differentiele correctie bevatten. De nauwkeurigheid van de positie van de rover hangt onder andere af van de afstand tot het basisstation (de 'basislijn'), de nauwkeurigheid van de differentiële correcties en de kwaliteit van de satellietwaarnemingen van het basisstation. Om een goede absolute precisie te verkrijgen, noodzakelijk voor topografisch gebruik, moet de positie van het basisstation bekend zijn; anders werkt men met relatieve positiebepaling.

RTK-metingen en post-processing

Als we geïnteresseerd zijn in nauwkeurige real time-positiebepaling, hebben we een RTK-systeem nodig. De rover-ontvanger moet worden uitgerust met een extra krachtige processor om de uitkomst van de fase-ambiguïteit te kunnen berekenen. Bovendien moet de rover de correctiegegevens in real time ontvangen. Deze systemen zijn complexer en vereisen een radiosysteem met voldoende capaciteit om het gebied te bestrijken waarin ze moeten werken. RTK-ontvangers zijn duurder dan draaggolfontvangers omdat er meer rekenkracht nodig is. Met deze ontvangers is het niet nodig om een PC te gebruiken (behalve om de resultaten van RTK-bepalingen te bekijken of om de metingen op te slaan).

Als we de correcte positie niet in real-time willen weten, kunnen we in de post-processing modus werken. In dit geval vereist het systeem geen overdracht van correctiegegevens. Het basisstation en de rover moeten worden uitgerust met een kleine computer met specifieke software voor het monitoren en opslaan van gegevens op schijf. Als alternatief kan een kleine seriële datalogger worden gebruikt. Binnen een seconde worden de twee bestanden verwerkt die door de stations in dezelfde

periode zijn verkregen en kan de precieze positie van de rover worden berekend. Post-processing leidt meestal tot nauwkeurigere metingen, omdat er meer rekenkracht beschikbaar is.

Factoren die het gebruik van RTK beperken

In tegenstelling tot een normale GPS-ontvanger (zoals in smartphones of navigatiesystemen in auto's of op schepen) moet bij RTK-systemen aan deze voorwaarden zijn voldaan om een nauwkeurigheid van een centimeter te bereiken:

- basislijn (de afstand tussen basis en rover) <10 km;
- de antenne moet de hemel 360° horizontaal en minstens 15° in elevatie kunnen 'zien';
- afwezigheid van EMI-bronnen in de omgeving;
- ontvangst van satelliet signalen >37 dB;
- ontvangst van zeven of meer satellieten met goede geometrie.

Obstakels die het zicht op satellieten kunnen belemmeren zijn onder andere muren, metaalgaas of -platen, palen, bomen en zelfs dieren. Een obstakel is een voorwerp dat ondoorzichtig is voor radiogolven en waarvan de afmetingen groter zijn dan de golflengte λ van de draaggolf. Voor GPS is dit ongeveer 19 centimeter. Om deze redenen moet men altijd uit de buurt van de satellietantenne blijven. Deze obstakels laten niet alleen geen elektromagnetische golven door, maar deze ook reflecteren, de oorzaak van multipath-ontvangst, zoals te zien in **figuur 2**.

Bij het uitsluitend gebruik van een GPS-constellatie kunnen er overdag onderbrekingen optreden, omdat er af en toe geen zeven satellieten met goede geometrie ontvangen kunnen worden. Om deze redenen biedt een GNSS-ontvanger die twee of meer constellaties tegelijk kan ontvangen, een grotere keuze van het aantal satellieten en kiest hij de satellieten met de beste geometrie.

Voorzorgsmaatregelen voor het monteren van de antenne

Zoals bij alle radiosystemen is de antenne erg belangrijk; een onjuiste installatie vermindert de efficiëntie van het RTK-systeem aanzienlijk. Onthoud dat de gemeten positie (de 'fix') relatief is ten opzichte van het middelpunt van de antenne. Deze is relatief eenvoudig, hij moet alleen boven de horizon isotrope eigenschappen hebben.



De meestgebruikte antenne is de patch-antenne: deze heeft een platte bouwvorm, is gemaakt van een combinatie van een geleidende plaat en keramisch materiaal, is laag heeft en een vierkante of ronde vorm, en is vaak gemonteerd op een magnetische voet. Het is meestal een actieve antenne, dat wil zeggen dat er een signaalversterker is ingebouwd die ook de uitgangsimpedantie ($50\ \Omega$) aanpast aan die van de verbindende coaxkabel. Ontvangers kunnen de antenne via dezelfde kabel voeden. De antenne moet zo worden gemonteerd dat hij voldoet aan de hierboven beschreven regels, dat wil zeggen in hoger dan nabijgelegen obstakels. Voor RTK-systemen zijn deze regels nog strenger dan voor een normaal navigatiesysteem dat ook binnen een voertuig werkt.

Een opstelling zoals in **figuur 3a** moet koste wat het kost worden vermeden, omdat deze verhindert dat de antenne satellieten onder 45° elevatie rechts kan zien. Het is dus noodzakelijk om de antenne op een geschikte voet te monteren, zoals in **figuur 3b**.

Data in raw-, RTCM-, en RINEX-formaat

Zoals al opgemerkt moet de rover, om de juiste positie in real time te kunnen verwerken, de metingen van het basisstation in fase ontvangen voor correctiedoeleinden. Gewoonlijk zijn er twee soorten databerichten, beide in een binair formaat:

- data in raw-formaat
- data in RTCM-formaat

Het eerste is ontwikkeld door de fabrikant van de ontvangermodule. Dit betekent dat modules van dezelfde 'familie' moeten worden gebruikt voor de twee stations. Het raw-formaat is het meest volledig en leidt daarom tot een grotere nauwkeurigheid. Het betekent echter dat er meer data moet worden verzonden, wat problemen kan veroorzaken voor het communicatiesysteem vanwege de grotere bandbreedte die daarvoor nodig is.

Het RTCM-formaat (Radio Technical Commission for Maritime Services) is een standaardformaat, waarbij de laatste versies (3.x) betere datacompressie en berichtintegriteit hebben dan de versies 2.x. Je kunt ook verschillende ontvangers gebruiken of zelfs gegevens die afkom-

stig zijn van een regionaal netwerkstation; het belangrijkste is om te controleren of de versies identiek zijn. Het nadeel is echter de geringere nauwkeurigheid.

Er is nog een derde formaat met de naam RINEX (Receiver-Independent Exchange Format). Het is ook een standaard, de laatste versies zijn 3.x. Omdat het in ASCII is, is het niet erg compact. Alleen de duurste ontvangers bieden ook dit formaat. Het wordt veel gebruikt door postprocessing-programma's zoals RTKPOST en RTKLIB. In dat geval moet je ruwe data verzamelen in bestanden en ze vervolgens converteren naar RINEX met *RTKconv*. Het basis-naar-rover transmissiesysteem is niet langer nodig, maar de stations moeten worden uitgerust met dataloggers. Natuurlijk hebben we met dit systeem, dat ik tot nu toe heb gebruikt, de gegevens niet in real time beschikbaar, maar we kunnen wel een hogere nauwkeurigheid bereiken vergeleken met RTK-ontvangers.

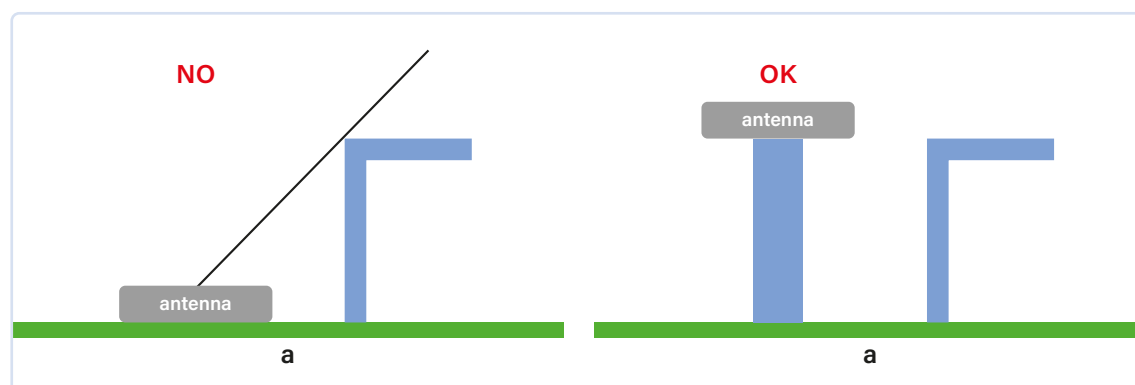
Gebruik van netwerken met vaste stations

In sommige regio's bestaan zeer nauwkeurige GNSS-netwerken die real time-metingen beschikbaar maken. Een van deze systemen is NTRIP (Networked Transport of RTCM via Internet Protocol); dit protocol is geïmplementeerd in RTKLIB. Zie EUREF [4] voor Europa. In Italië is er een aantal stations, maar niet alle daarvan gebruiken dit protocol.

In dit geval is alleen de roverontvanger verbonden met een smartphone of tablet met simkaart en de RTKLIB-app. De nauwkeurigheid is veel lager dan die van de twee stations en hangt af van de afstand van het referentiestation dat wordt gebruikt voor de correctie. Dit systeem werkt alleen als de mobiele telefoon bereik heeft en als er NTRIP-stations in de buurt zijn.

GNSS-ontvangers voor RTK systemen

Tegenwoordig zijn er verschillende betaalbare ontvangers op de markt. De goedkopere voeren alleen fasemetingen uit en sturen die door naar een PC of Raspberry Pi waarop het open source-programma RTKLIB van de Japanse maker Tomoji Takasu is geïnstalleerd. Dit wordt heel veel gebruikt omdat het gratis is en bovendien erg actueel. Een van deze programma's, RTKPOST, kan gegevens in



Figuur 3. De antenne moet correct worden opgesteld.

Tabel 1. Draaggolfase GNSS-ontvangers.

Board	Naam, fabrikant	GNSS-module	Ontvangen satellieten
 (bron: U-blox)	U-blox NEO-M8T, U-blox	U-blox M8T	GPS, QZSS, GLONASS, BeiDou
 (bron: NVS Technologies)	NV08C-CSM-BRD, NVS Technologies	NVS NV08C	GPS, Galileo, GLONASS
 (bron: NavSpark)	NS-RAW, NavSpark	Venus822A	GPS, SBAS, QZSS

Tabel 2. RTK-ontvangers.

Board	Naam, fabrikant	GNSS-module	Ontvangen satellieten
 (bron: U-blox)	NEO-M8P RTK GNSS	U-blox M8P	GPS L1 C/A, GLONASS L1OF, BeiDou B1I
 (bron: NVS Technologies)	NV08C-RTK-M NVS Technologies	NV08C-RTK-M	L1 & L2 GPS, GLONASS, Galileo, BeiDou
 (bron: Mikroe)	GNSS RTK Click MIKROE-4456	U-blox ZED-F9P	GPS, GLONASS, Galileo en BeiDou + SBAS en QZSS
 (bron: ArduSimple)	simple RTK2B ArduSimple	U-blox ZED-F9P	GPS, GLONASS, Galileo en BeiDou + SBAS en QZSS
 (bron: NavSpark)	S2525F8-GL-RTK EVB	S2525F8-GL-RTK	GPS, GLONASS



raw- of RINEX-formaat in post-processing verwerken. Voordat je voor een bepaalde GNSS-ontvanger kiest, moet je controleren of hij voorkomt in de lijst van ontvangers die compatibel zijn met RTKLIB.

Tabel 1 geeft enkele voorbeelden zien van relatief goedkope boards met draaggolffasemeting (raw) en ontvangers die compatibel zijn met RTKLIB. Deze boards kunnen met een computer en RTKLIB tot goedkope RTK-systemen worden gecombineerd. Slechts een paar U-blox-modules kunnen met fase werken, de meest recente is de NEO M8T.

Bijzonder interessant is het NavSpark NS-RAW board, dat een SkyTraq Venus822A-chip bevat met raw-uitgang en een LEON3 Sparc-V8 32bit-microcontroller met een IEEE-754 64-bit floating point-unit op 100 MHz. De software is ontwikkeld via de Arduino IDE onder toevoeging van het *Arduino NavSpark Boards by SkyTraq*-programma met behulp van *Card Manager*. De krachtige processor heeft 1024 KB flashgeheugen en 212 KB RAM. De voeding gaat via de USB-poort, met een low-dropout regulator (LDO) die de 3,3 V voor het board levert. De satellietantenne wordt aangesloten met een U.FL-connector.

Voorbeelden van goedkope RTK-boards staan in **tabel 2**. Dit zijn slechts een paar voorbeelden die ik heb geselecteerd met het oog op de prijs. Met de laatste twee ontvangers heb ik uitgebreid geëxperimenteerd met zeer bevredigende resultaten, zoals hieronder beschreven. Het Chinese SkyTraq-systeem heb ik vijf jaar geleden getest en biedt een goede prijs/prestatie-verhouding. Ik heb deze ontvanger onlangs vervangen door een beter presterende versie.

Een paar jaar geleden heb ik het Zwitserse op een U-blox ZED-F9P gebaseerde systeem getest, dat weliswaar duurder is maar beter presteerde.

SkyTraq S2525F8: testmetingen

Om het testen te vergemakkelijken is gebruik gemaakt van een ontwikkelboard gebaseerd op de SkyTraq S2525F8-GL-RTK module [5].

Dit is een RTK-ontvanger gebaseerd op de Venus8-chipset, met een goede prijs/prestatie-verhouding en met een resolutie in de orde van grootte van centimeters. De goedkopere versie levert één RTK-meting per seconde. Het evaluatieboard heeft twee TTL/USB-adapters gebaseerd op de CP2102-chip op het board, voor aansluiting op de PC tijdens setup en configuratie. Om het aan te sluiten op de PC moet je natuurlijk het bijbehorende stuurprogramma installeren. Standaard heeft de NMEA-uitgang van de rover een baudrate van 115.200 bit/s, terwijl de basis uitzendt in SkyTraq raw-formaat met een baudrate van 57.600 bit/s.

Figuur 4 toont de antenne en de print met afmetingen van ongeveer 90×90 mm die gebruikt werd voor het testen. De antenne is een goedkope multibandantenne voor GPS/Galileo, BeiDou en GLONASS. Het is een actieve antenne met een versterking van 25...27 dB, gevoed met

3,3 V bij 10 mA (geleverd door de ontvanger). De afmetingen bedragen 49×46×16 mm, met SMA-connector en een 3 m lange RG174-coaxkabel. Om multibeam-ruis te voorkomen, werden de antennes bevestigd op een gearde metalen plaat met een diameter van ongeveer 15 cm.

Zoals eerder geschreven, moet het rover-station het bericht van het basisstation met correcties in real-time ontvangen als we een hoge nauwkeurigheid wensen. Dit tamelijk lange bericht varieert in lengte (zie de paragraaf **Data in raw-, RTCM-, en RINEX-formaat** hierboven).

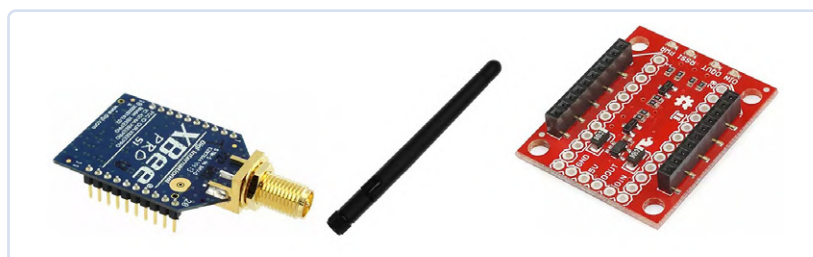
Voor dit systeem was een WiFi-radioverbinding met XBee-modules gepland; het werd met succes getest tot op ongeveer 800 m afstand onder niet-optimale omstandigheden. Met antennes met een grotere versterking en zonder obstakels zou een groter bereik haalbaar zijn.

Radio-modems en wettelijke beperkingen

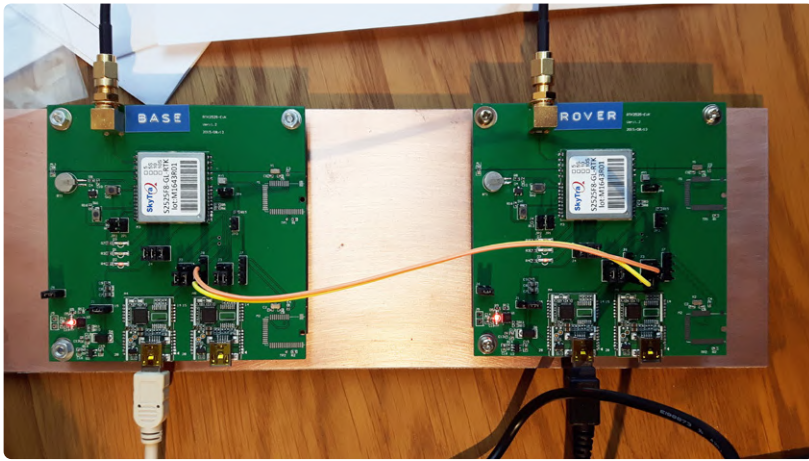
Met deze beperkingen is het mogelijk om een signaal met geringe bandbreedte van een paar kHz uit te zenden bij een zichtbereik van een paar kilometer. De regels op de 2,4GHz-band zijn minder streng: het is dan mogelijk is om voor LAN's op privé-terrein zonder licentie tot 100 mW te gebruiken.

Daarom is gekozen voor een 2,4 GHz XBee Pro S1-systeem van Digi International. Dit is een seriële datatransceiver tot 250 kb/s met een maximaal uitgangsvermogen van 18 dBm (63 mW) en een ontvangstgevoeligheid

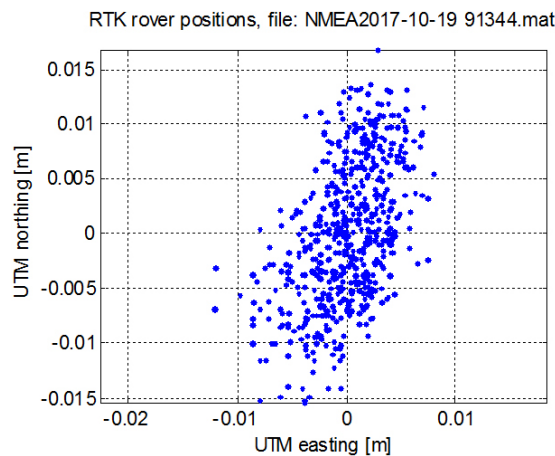
Figuur 4. Het GNSS RTK-board en de antenne.



Figuur 5. het Xbee-radiomodem, met antenne en voedingsadapterprint.

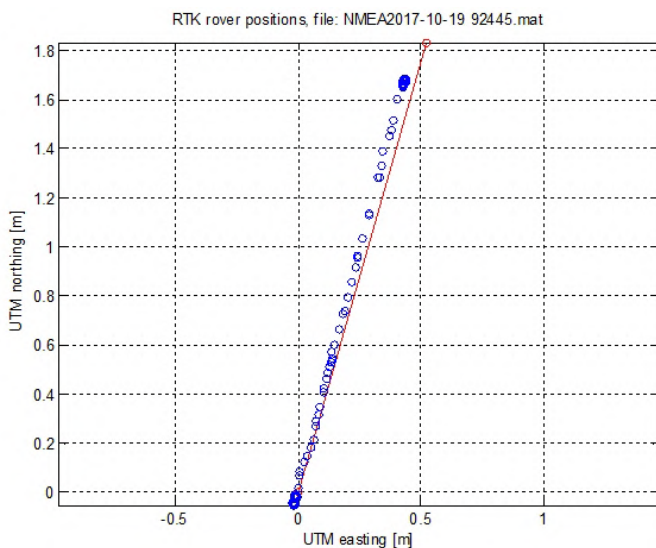


Figuur 6.
Test met korte basislijn.



Figuur 7.
Fixed-point test.

Figuur 8. Test met
rechtlijnige beweging.



van -100 dBm. Hij wordt gevoed met 3,3 V en heeft een 'omgekeerde' SMA-antenneconnector (RP-SMA). Om elk apparaat compleet te maken heb je een omnidirectionele sprietantenne nodig met een female RP-SMA en vouwbare 90°-adapter, plus een 5 V-naar-3,3 V LDO-voeding. **Figuur 5** toont de verschillende elementen van beide apparaten die de radioverbinding vormen. Voor de XBee-module van het basisstation is het vermogen ingesteld op 3 (hoog) en niet op 4 (hoogst), dus het uitgangsvermogen bedraagt 16 dBm (40 mW).

Configuratieprogramma's voor RTK-ontvangers

Het bestand *GNSS_Viewer.zip* moet worden gedownload [6]. Dit programma wordt gebruikt om de ontvangers te configureren en RTK-metingen van de rover weer te geven. Er is een ander *GNSS_Viewer-NmeaPlayer.zip* bestand dat een programma bevat dat de ontvanger niet configureert, maar RTK-metingen en eerder opgenomen data in NMEA-formaat weergeeft.

De handleidingen van deze programma's zijn ook beschikbaar in PDF-formaat. Een essentieel document om te lezen om deze boards te configureren is het bestand *Getting_Started_with_S25F8-BD-RTK-EVB.pdf*.

De uitvoer is standaard NMEA-formaat, behalve dat de lengte- en breedtegraad worden weergegeven met zeven decimalen in plaats van de vier van een normale ontvanger, die niet de sub-centimeter resolutie kan geven die zou zijn gemeten via de fase van de draaggolf.

Statische en dynamische tests met een zeer korte basislijn

In de voorbereidende tests werd een zeer korte basislijn gebruikt: Naast de massaverbinding was poort 1 van de basis (Tx1 op J8) verbonden met poort 2 van de rover (Rx2 op J3), zoals getoond in **figuur 6**.

De beide ontvangers werden gevoed via twee USB-kabels die zijn aangesloten op een enkele PC. Het systeem bereikte snel in RTK-resolutiemodus. De fixed-point registratie gaf zeer goede resultaten, waarschijnlijk dankzij de goede geometrie en een voldoende aantal satellieten. De RTK-waarde die voor de hele test werd bereikt is van het type FIX ($Q = 4$), oftewel zeer goed, zoals getoond in **figuur 7**.

De resultaten worden ook bevestigd door de CEP95 (straal van de cirkel die 95% van de metingen omvat) en die slechts 12 mm bedraagt. De verzameling punten

Tabel 3. Ontvangstbanden en -frequenties van verschillende satellietssystemen.

GPS	GLONASS	Galileo	BeiDou
L1C/A (1575,42 MHz)	L1OF (1602 MHz + $k \cdot 562,5$ kHz, $k = -7, \dots, 5, 6$)	E1-B/C (1575,42 MHz)	B1I (1561,098 MHz)
L2C (1227,60 MHz)	L2OF (1246 MHz + $k \cdot 437,5$ kHz, $k = -7, \dots, 5, 6$)	E5b (1207,140 MHz)	B2I (1207,140 MHz)

is in de x-richting onregelmatiger omdat mijn huis de zichtbaarheid van enkele satellieten laag aan de horizon in het noorden verhinderde.

Voor de NMEA-analyse en voor het uitwerken van de gegevens schreef ik verschillende programma's in MATLAB. Om de lengte- en breedtegraad om te zetten in UTM-coördinaten werd de functie `wgs2utm.m` van Alexandre Schimel gebruikt. Voor een eerste bewegings-test werd een rail met een aluminium profiel gemaakt en de roverantenne, bevestigd op een houten slee, werd zo gemonteerd dat hij de rail volgde met behulp van twee geleiders aan de zijkant. De slee werd voortbewogen met een touw, waarbij de snelheid zo regelmatig mogelijk werd gehouden.

Figuur 8 toont het rechte traject van zuid naar noord. De lijn is getrokken tussen de twee gemiddelde punten die zijn berekend met de fixed-point metingen. Om mechanische redenen werd het meest zuidelijke punt tijdens de test niet bereikt. De punten liggen niet op gelijke afstand omdat ik met de hand aan het touw trok. De resultaten van de tests zijn zeer goed, zelfs rekening houdend met het feit dat de locatie niet optimaal was voor de zichtbaarheid van de satellieten.

De Ublox ZED-F9P module

De ZED-F9P module [7] (**figuur 9**) kan meerdere GNSS-constellaties ontvangen en volgen: GPS, GLONASS, Galileo en BeiDou, plus SBAS- en QZSS-satellieten (zie **tabel 3**).

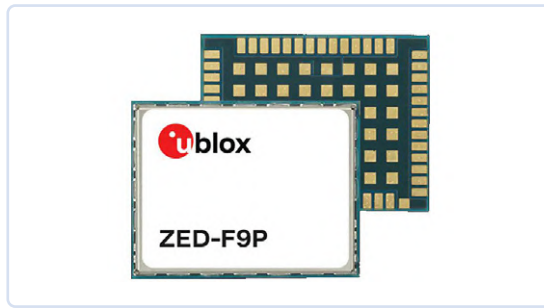
Alle satellieten die de ontvanger ziet kunnen worden verwerkt tot een RTK-navigatieoplossing wanneer ze worden gebruikt met correctiegegevens. In RTK-modus ligt de positie nauwkeurigheid van de ZED-F9P op centimeterniveau, zoals bevestigd door talloze tests onder verschillende omstandigheden. De module heeft een USB-interface, twee UART-poorten en I²C- en SPI-interfaces.

Het RTK2B-V3 board

De ArduSimple RTK2B [8] is een zeer compact en veelzijdig board. Naast de ZED-F9P module heeft het ook een Xbee-type connector aan boord, compleet met een USB/TTL-adaptor en een tweede USB-poort voor de programmering.

De fabrikant van de ArduSimple levert een reeks modules die op deze interface kunnen worden gemonteerd voor radiocommunicatie, zoals Bluetooth, G4, WiFi, Lora enzovoort. **Figuur 10** toont het board, waarvan de afmetingen gelijk zijn aan die van de Arduino UNO/Zero, waarmee het perfect compatibel is. De I/O-signalen zijn compatibel met 1,8 V, 3,3 V en 5 V en worden automatisch aangepast via de IOREF-spanning.

Dit board kan rechtstreeks gevoed worden via de Arduino-headers of via een microUSB-connector, en is beveiligd tegen dubbele voeding (zowel via de header als USB). De stroomopname, zonder Xbee-modules, is 204 mW. Het board is uitgerust met een krachtige LDO-rege-

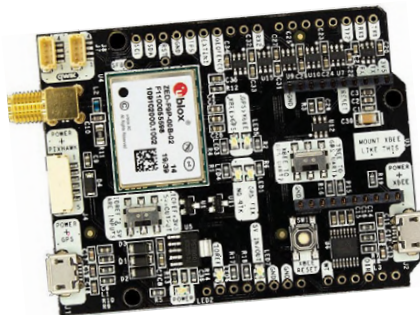


Figuur 9. De ZED-F9P module (bron: U-blox).

laar met weinig ruis. Met een spanningsval van slechts 390 mV is het mogelijk om het board te voeden uit een enkele lithiumcel. Talrijke LED's maken het mogelijk om de werking van het board te controleren, dat verschillende connectoren heeft voor interfacing met ArduPilot-type systemen, voor toepassingen die nauwkeurige positiemetingen vereisen.

RTK-tests met NTRIP

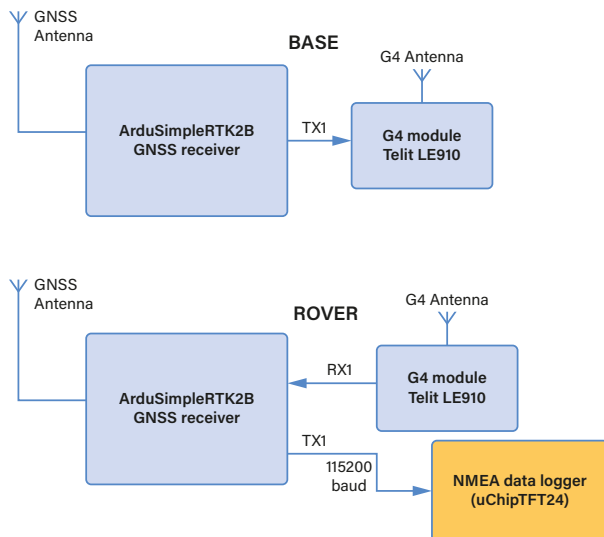
De eerste tests werden uitgevoerd met de correctie die door een referentiestation van het regionale netwerk van Ligurië via NTRI werd verzonden, waarbij eerst de PC met U-blox U-Center software werd gebruikt en vervolgens een G4-module (zie hieronder) in het ArduSimple Xbee-slot. De internetverbinding via de PC maakte het mogelijk om de NTRIP beter te configureren. NTRIP (Networked Transport of RTCM via Internet Protocol) is een protocol dat eind 2004 is ontwikkeld door het Bundesamt für Kartographie und Geodäsie van Duitsland (BKG), waarmee DGPS- of RTK-correctiegegevens via het internet kunnen worden gestreamd. Met een PC of mobiele telefoon die TCP/IP ondersteunt, is NTRIP de beste manier voor het verzenden van RTCM-berichten naar de RTK-ontvanger van de rover zonder gebruik te hoeven maken van een dure lokale zender, die, om te voldoen aan de wetten voor radiocommunicatie, een laag vermogen moet hebben en daarom een gering bereik.



Figuur 10. Het ArduSimple simpleRTK2B V3-board (bron: U-blox).



Figuur 11. De 4G LTE-module (bron: Telit).



Figuur 12.
Het blokschema.



Figuur 13.
De microcontroller.

Figuur 14. Fixed point-test.

De 4G LTE-module

De gebruikte G4-module is het model LE910 V2 van Telit. De frequentiebanden voor Europa, het Midden-Oosten en Azië zijn:

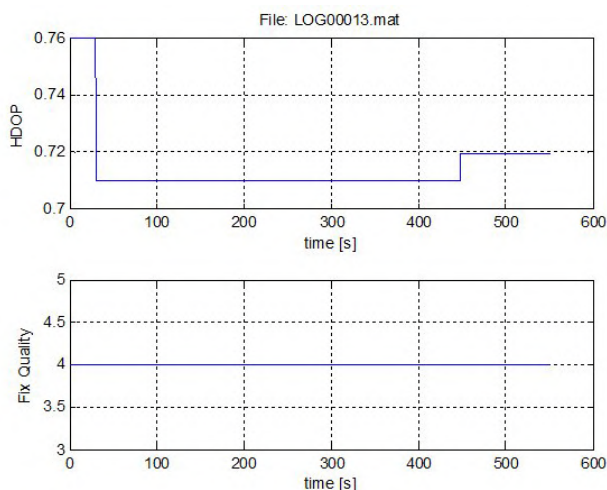
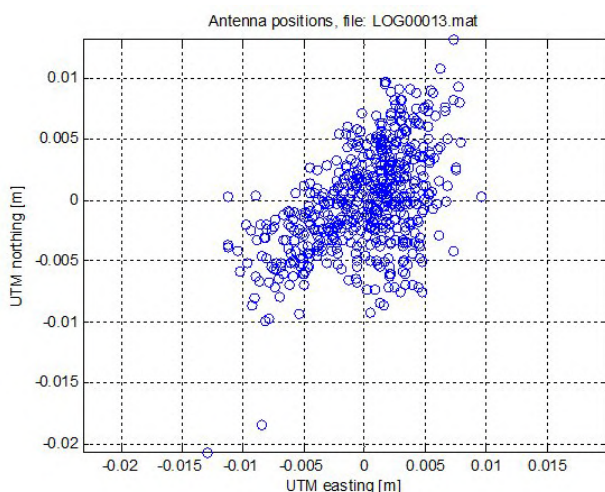
- 4G-banden (MHz): B1 (2100), B3 (1800), B7 (2600), B8 (900), B20 (800)
- 3G-banden (MHz): B2 (2100), B8 (900)
- 2G-banden (MHz): B3 (1800), B8 (900)

Deze module wordt door ArduSimple gemonteerd op een XBee-compatibel board, zoals afgebeeld in **figuur 11**. De module verbruikt een hoog vermogen (HP) en moet worden gemonteerd op boards van het type RTK2-V3. Voor de configuratie heb ik de instructies gevolgd van de Boardhookup-guide voor de genoemde RTK2B-V3, waarnaar ik de lezer graag doorverwijs. Het blokschema is te zien in **figuur 12**. Voor een paar tests gebruikte ik een systeem op basis van een SAMD21 32-bit microcontroller met een 2,4-inch TFT-display, waarop ik ook software ontwikkelde om Cartesische coördinaten in meters (UTM: Universal Transverse Mercator) te berekenen. **Figuur 13** toont dit systeem, dat ook dienst doet als logger. Om een hoge resolutie te bereiken, moet de High Precision Mode geconfigureerd worden. Dan hebben breedte- en lengtegraad zeven cijfers achter de komma en de hoogte drie. Sluit de rover aan op de PC en start de U-Center applicatie, selecteer dan in het *Configure* menu het *NMEA protocol* en klik op *High Precision Mode* en sla de configuratie op.

Fixed point-meting (NTRIP)

Dit zijn de resultaten van mijn Matlab-programma's:

```
File name = LOG00013.mat
Values averaged on 551 epochs, from point =
1, to point = 551
Initial GPS time = 32779 and final = 33329
CEP R95 = 0.010 m
```





Figuur 15. De opstelling voor de constante snelheid-test die door de auteur is uitgevoerd.

Figuur 16. Close-up van de aandrijving van de slede.



Hoewel het referentiestation zich op 16 km afstand bevond en de hemel niet volledig zichtbaar was, zijn de resultaten uitstekend (figuur 14).

Rechtlijnige beweging met constante snelheid

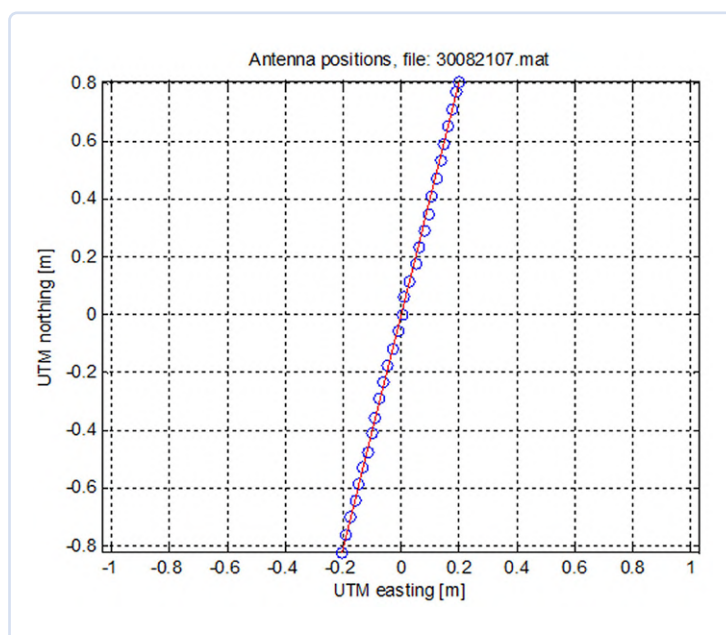
Voor deze test werd een speciale opstelling gebouwd. Er werd een rail gemaakt van een aluminium profiel waarop een slede kon glijden, voortgetrokken door een touw en een katrol die werd aangedreven door een elektrische motor met vertraging. **Figuur 15** toont de rail; de antenne is op de slede gemonteerd die door de motor wordt voortgetrokken. De close-up van **figuur 16** toont de motor en de katrol. Het is misschien niet te zien op de foto's, maar de rail is zorgvuldig waterpas opgesteld en de richting is ook met een kompas nagemeten.

Dit zijn de uitkomsten van mijn Matlab-programma's:

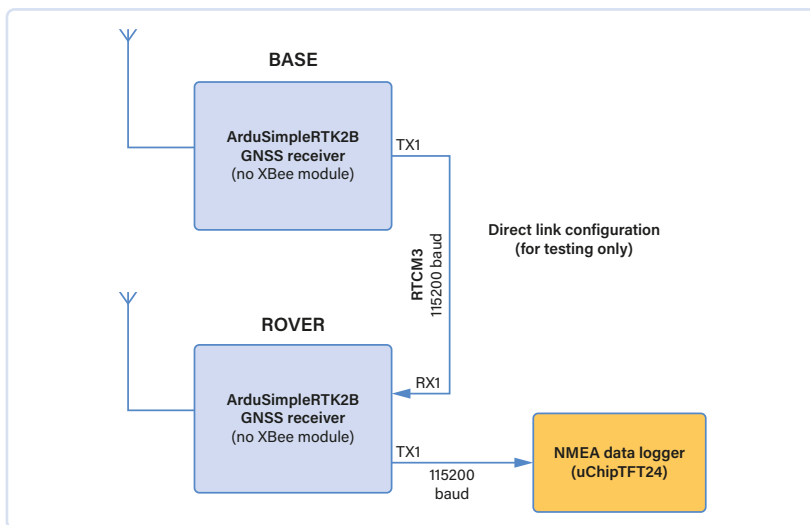
```
File name = 30082107.mat
Values averaged on 29 epochs, from point =
309, to point = 337
Initial GPS time = 26030 and final = 26058
Path traveled = 1.678 m
Mean speed = 0.0599 m/s
```

Zoals uit **figuur 17** blijkt, is deze meting erg goed geslaagd, dankzij het feit dat de locatie minder obstakels had, zodat zelfs de laagste satellieten in het noorden te zien waren. Het traject is vrijwel recht.

De duur van het traject was 28 seconden met een gemiddelde snelheid van ongeveer 60 mm/s of 2,16 km/h. Fixed point-tests, uitgevoerd aan het einde van het traject, leverden uitstekende resultaten op met een CEP R95 van slechts 6 mm.



Figuur 17. Test met rechtlijnige beweging met constante snelheid, waarbij de slede werd aangedreven door een motor met vertraging.



Figuur 18.
De configuratie met
directe verbinding.

Fixed point-meting (korte basislijn en directe verbinding)

Bij deze ontvangertest wordt het transmissiesysteem van het basisstation voor de correctiegegevens niet gebruikt; het is vervangen door een simpele draadverbinding, zoals getoond in **figuur 18**.

Natuurlijk zou dit het systeem de maximale nauwkeurigheid moeten geven, alleen al omdat de twee antennes slechts een paar meter uit elkaar staan en er geen storingen door de radioverbinding optreden.

De rover moet worden geconfigureerd voor NMEA-uitvoer op 115.200 baud. De datalogger (ArduLog) slaat de NMEA-gegevens op een SD-kaart op. De Tx1-uitgang van de rover moet worden geconfigureerd voor het NMEA-protocol in High Precision Mode (coördinaten met zeven cijfers achter de komma). De datalogger die voor deze test werd gebruikt was een systeem van het OpenLog-type.

Voor de bedrading zijn Arduino-rails gebruikt; een USB-kabel naar de rover is gebruikt voor de voeding en het monitoren van het systeem vanaf de PC. Dit zijn de resultaten van deze test:

```
File name = LOG00014.mat
Values averaged on 578 epochs, from point =
1, to point = 578
Initial GPS time = 42023 and final = 42600
Elevation = 685.24 m
CEP R95 = 0.007 m
```

220307-03 (vertaling: Hans Adams)

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

Giovanni Carrera is afgestudeerd in elektrotechniek. Als professor aan de faculteit voor scheepsbouwkunde in Genua, Italië, doceerde hij verschillende cursussen waaronder scheepsautomatisering en de simulatie van scheepsvoortstuwingsystemen. Carrera begon eind jaren 1970 te werken met de 6502-CPU en stapte daarna over op andere processoren. Tegenwoordig houdt hij zich bezig met het ontwerpen en ontwikkelen van analoge en digitale elektronische schakelingen, waarover hij veel heeft geschreven op zijn blogs (ArduPicLab en GnssRtkLab) en in verschillende tijdschriften.



Gerelateerde producten

- > **GNSS Multi-Band Magnetic Mount Antenna – 5 m (SMA)**
www.elektor.nl/19649
- > **GPS boards at Elektor**
www.elektor.nl/catalogsearch/result/?q=gps

WEBLINKS

- [1] RTKLIB: open-source programma voor GNSS-positiebepaling: <https://rtklib.com>
- [2] Inleiding tot GNSS: <https://novatel.com/an-introduction-to-gnss>
- [3] Understanding GPS, Principles and Applications, E. D. Kaplan, C. J. Hegarty, Artech House, 2006: <https://us.artechhouse.com>
- [4] Euref-ip.net GNSS Streaming Server: <https://euref-ip.net/home>
- [5] Getting Started with S2525F8-BD-RTK EVB or S2525F8-GL-RTK EVB, NavSpark: <https://bit.ly/3Wqe1c7>
- [6] GNSS Viewer: https://navspark.mybigcommerce.com/content/GNSS_Viewer-CustomerRelease.zip
- [7] ZED-F9P U-blox F9 high precision GNSS module datasheet, UBX-17051259- R08: <https://bit.ly/3oiKpks>
- [8] SimpleRTK2B V3 Hookup Guide: <https://ardusimple.com/simplertk2b-v3-hookup-guide>

MAZZELAAR!



GRATIS
DOWNLOAD

Een e-zine abonnee mist nooit
het maandelijkse 'reverse project'

Nog geen abonnee? Schrijf je in voor onze gratis e-zine
op elektormagazine.nl/ezine-24



Printlayout en veiligheid

tips voor een veilig en duurzaam ontwerp van uw printen



Figuur 1. Onderaanzicht van een zwevend bedrade KT-88 buizenversterker van de auteur. De onderdelen zijn netjes geplaatst, de thermische dissipatie is goed. Het gebied waar extra elektrische isolatie nodig is, kan worden herkend door de aanwezigheid van een zwarte glasvezelplaat. Voor de montage van grote componenten zoals elektrolytische condensatoren zijn afzonderlijke steunen (metalen beugels) nodig. Op sommige plaatsen zijn de componenten boven elkaar gemonteerd, wat eventuele reparaties kan bemoeilijken.

Roberto Armani (Elektor) en Marco Castiglioni (Italië)

Vergeleken met zwevende bedrading stelt een print ons in staat om onze ontwerpen op een professionele, rationele en compacte manier te organiseren. Om een veilige werking te garanderen, moeten we echter rekening houden met een aantal fysische basisaspecten wanneer er hoogspanning aanwezig is en/of sommige printsporen grote stromen voeren. In dit artikel bekijken we wat we moeten doen, maar nog belangrijker, wat we *niet* moeten doen!

De printplaat (print, printed circuit board, PCB) heeft ongetwijfeld een revolutie teweeggebracht in de manier waarop elektronische schakelingen worden geconstrueerd. De vroegste voorbeelden van civiel gebruik van printen dateren van 1948 en sindsdien heeft de techniek om ze te maken grote vooruitgang geboekt. Als u geïnteresseerd bent in het de complete evolutie van de technologie van printplaten, kunt u hier [1] terecht.

Vóór de komst van PCB's werden componenten van punt tot punt 'zwevend' bedraad, waarbij gebruik werd gemaakt van de lange aansluitdraden, zie **figuur 1**. Lucht is, zoals bekend, een uitstekende isolator, terwijl de tamelijk grote afstand tussen de componenten de luchtcirculatie voor de koeling bevorderde. Alles goed dus? Niet echt. Apparaten werden op zware vertinde ijzeren frames opgebouwd, schakelingen hadden vaak een enorme omvang en gewicht,

en de volledig handmatige assemblage kostte een fortuin. Maar deze oplossing was nog acceptabel omdat apparaten op basis van elektronenbuizen sowieso erg omvangrijk waren en het probleem van de grote afmetingen niet kon worden opgelost door een printplaat.

In het voorbeeld van **figuur 1** (het onderaanzicht van een KT-88 gebaseerde buizenversterker) is de layout eigenlijk heel netjes, zijn de componenten die warm worden goed geventileerd en is – dankzij de zwevende bedrading – de isolatie tussen de componenten gewaarborgd, ondanks de aanwezigheid van hoogspanningen (800 V_{DC}) in sommige delen van de schakeling.

Naast de grote footprint komen de nadelen van een dergelijke bedradingsoplossing vooral tot uiting bij onderhoud, zeker als componenten boven elkaar zijn gemonteerd en in sommige gevallen onderdelen alleen gedemonteerd moeten worden om bij de te vervangen componenten te komen die zich daaronder bevinden. Met de komst van de eerste kleine halfgeleiders kwam daar verandering in en de eerste printen maakten kleinere, compactere en goedkopere ontwerpen mogelijk. Deze constructiemethode bracht echter enkele problemen met zich mee, waaronder isolatie, warmtedissipatie, parasitaire capaciteiten, overspraak tussen printsporen en EMI-storingen. In dit artikel concentreren we ons vooral op de veiligheidsaspecten, dat wil zeggen op de isolatie van hoogspanning en warmtedissipatie in het algemeen.

Materialen

Het materiaal dat gebruikt wordt als basis voor PCB's kan stijf, flexibel of een mix daarvan zijn. De keuze hangt uiteraard af van het type toepassing en de verwachte bedrijfstemperatuur van de schakeling. Het meest gebruikte materiaal is tegenwoordig een combinatie van glasvezel en hars dat onder de naam FR4 belend staat (Flame Resistant N°4), gespecificeerd in de IPC-4101E-standaard [2]. Afhankelijk van het doel worden ook andere materiaalsoorten gebruikt, zoals opgesomd in **tabel 1**.

Isolatie

Hoewel PCB's het mogelijk hebben gemaakt om de afmetingen te verkleinen, heeft de verkleining van de afstanden tussen geleiders het isolatieaspect kritischer gemaakt, waardoor meer zorg vereist is bij het ontwerpen van de layout voor een schakeling. Er zijn veel variabelen waarmee rekening moet worden gehouden bij het berekenen van de minimale afstand die moet worden aangehouden tussen twee geleiders (kopersporen, in ons geval) op de print – om er maar een paar te noemen:

- de voedingsspanning
- het type diëlektrisch materiaal van de print
- het aantal lagen
- aanwezigheid van geleiders in de tussenlagen (voor PCB's met 3 of meer lagen)
- aanwezigheid van een oppervlaktecoating
- de luchtdruk

Tabel 1. PCB-materialen versus hun toepassing.

D_k (of E_r) = relatieve diëlektrische constante, de eigenschap van een materiaal die de transmissie van een elektromagnetische golf tegengaat.
 T_g = overgangstemperatuur van glas, de temperatuur waarbij het materiaal overgaat van een stijve in een vervormbare toestand.

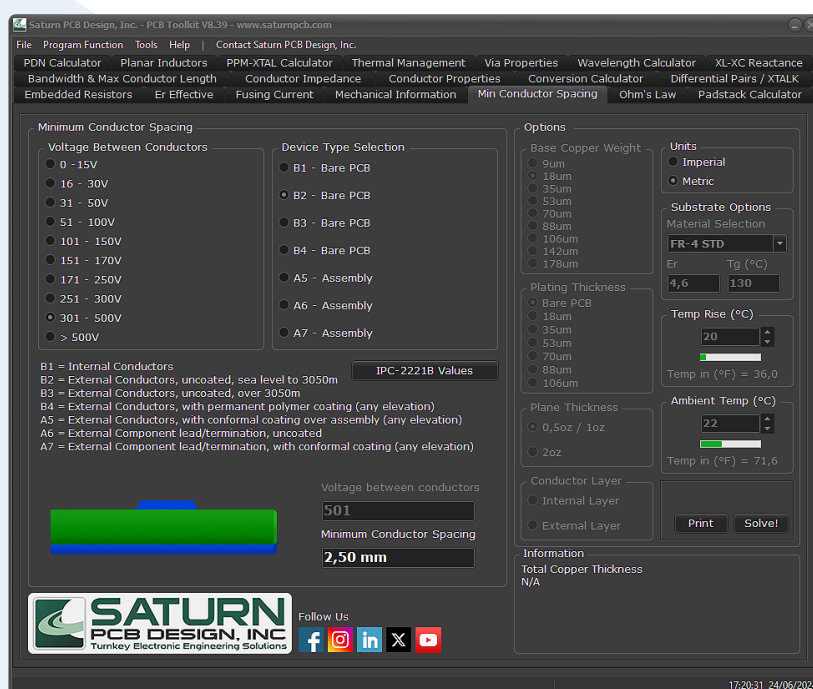
Type materiaal	D_k (of E_r) (@ 1 MHz)	T_g (°C)	Toepassing
FR4	4,2...4,8	135...140	Standard
FR4	4,5...4,8	150...170	standaard/loadvrij
FR4	3,4...3,8 (@ 1 GHz)	180...220	high-speed signalen
PTFE	2,2...2,8	160	hoogfrequent
Polyamide	3,8...4,2	>=250	hoge temperatuur

Daarom kan het, om tijd te besparen en de meeste energie te kunnen steken in andere aspecten van het ontwerp, nuttig zijn om een speciaal tool te gebruiken, zoals het tool dat is geïntegreerd in KiCad en andere PCB-ontwerpprogramma's of, wanneer u prijs stelt op een meer professionele aanpak, Saturn *PCB Tool Design Kit*, gratis beschikbaar gesteld door Saturn PCB Design Inc., en dat kan worden gedownload van [3].

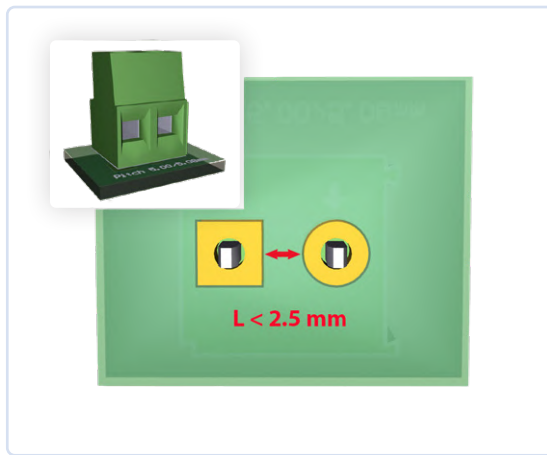
In **figuur 2** zien we een screenshot van het hoofdvenster van het programma, met een groot aantal keuzetabs. Voor het evalueren van de isolatiebehoefte verwijzen we naar het gedeelte *Minimum Conductor Spacing*, waar de berekeningen zijn gebaseerd op de specificaties van de IPC-2221B-standaard [4].

U begint met het kiezen van een spanningsbereik uit de tabel. De opgegeven waarden gelden voor DC- en AC-piekspanningen; voor een netspanning van 230 V_{AC} is de piekwaarde bijvoorbeeld 325 V en moet het bereik 301...500 V worden gekozen.

Figuur 2. Het menu Minimum Conductor Spacing van Saturn PCB Toolkit. Voor IPC-2221B schrijft de standaard 2,5 mm voor bij 230 V_{AC}-ingangsspanning en 1,25 mm bij 115 V_{AC}.



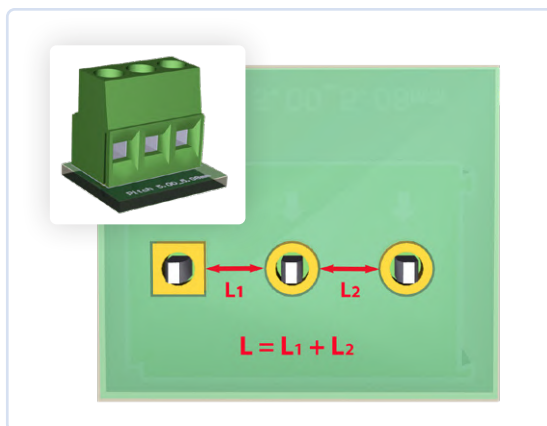
Figuur 3. De minimale nog toegestane afstand tussen geleiders is 2,5 mm bij een hoogspanningsingang van 230 V_{AC}. De opstelling in dit voorbeeld kan zonder meer worden gebruikt als de netspanning 100 of 115 V_{AC} is.



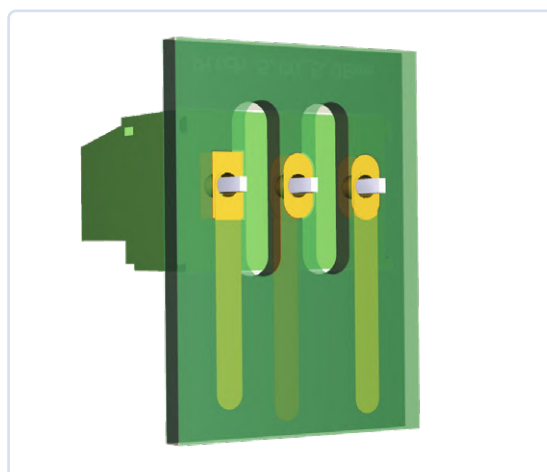
Figuur 4. Sleuven tussen pads en sporen verhoogt de isolatie op een PCB aanzienlijk; deze uitsparingen kunnen ook worden gebruikt om gebieden met grote potentiaalverschillen te scheiden.



Figuur 5. Door het middencontact onaangesloten (zwevend) te laten, verdubbelt de isolatieafstand en is het aanleggen van 230V-wisselspanning op de ingang mogelijk.



Figuur 6. Toepassingsvoorbeeld van een driepolige printkroonsteen met twee gefreesde sleuven. Deze oplossing maakt de aansluiting op een 230V_{AC}-netkabel met L, N en GND mogelijk.



Bij spanningen boven 500 V is het mogelijk om de optie >500 V te selecteren en direct de waarde in te stellen in het secundaire veld *Voltage Between Conductors* dat verderop wordt geactiveerd. Na het instellen van de waarde moet op de knop *Solve* worden geklikt om de uitkomst te krijgen.

Selecteer vervolgens de optie *B2*, één van de zeven die beschikbaar zijn in het menu *Device Type Selection* en dat betrekking heeft op een ongecoate print-layout en standaardhoogte boven zeeniveau. Een korte uitleg van de verschillende keuzes is eronder te lezen.

Door de verschillende opties te selecteren (bij gelijkblijvende spanning), is het mogelijk om direct te controleren wat de minimale afstand is die tussen geleiders moet worden aangehouden. Voor de netspanning in het bovenstaande voorbeeld toont het systeem een waarde van 2,5 mm.

Opmerking: we zien dat wanneer schakelingen boven 3050 m worden gebruikt, die afstand vrij consistent met de hoogte toeneemt, omdat een hoge atmosferische druk essentieel is om boogontladingen te beperken. Als de schakeling die we ontwerpen gebruikt moet worden op grote hoogte, is het noodzakelijk om hem te beschermen met een laag isolerende coating, in plaats van uitsluitend te vertrouwen op de afstand tussen de printsporen.

Houd afstand!

Nu we hebben vastgesteld wat in ons geval de minimale afstand is, kunnen we kijken hoe we dit in de praktijk kunnen brengen op de print, en wel door connectoren te gebruiken die het mogelijk maken om de bedrading los te koppelen wanneer dat nodig, waarbij we directe (gesoldeerde) verbindingen met de print uitsluiten.

Printkroonstenen vormen hiervoor ongetwijfeld de populairste en voordeligste oplossing. Ze zijn verkrijgbaar met verschillende rastermaten ('steek'): 2,5/2,54 mm, 3,5/3,81 mm, 5,00/5,08 mm en 7,5/7,62 mm, om de belangrijkste te noemen. Om een afstand van 2,5 mm tussen de geleiders te behouden, kunnen we de eerste twee meteen uitsluiten, terwijl voor de exemplaren met een steek van 5,00/5,08 mm steek (**figuur 3**) enkele overwegingen nodig zijn.

De afstand *L* (rood aangegeven) tussen de twee soldeer-eilandjes is ongeveer 2 mm, minder dan de vereiste minimumafstand, zodat deze connector niet kan worden gebruikt voor een netspanningsingang van 230 V_{AC} tenzij er speciale oplossingen worden toegepast bij de layout van de print.

Als er weinig plaats is, kan deze connector toch worden gebruikt, mits het diëlektricum tussen de contacten wordt aangepast. Hoe? Door het te vervangen door lucht, zoals te zien in **figuur 4**. Hier is de vorm van de pads aangepast en is er een sleuf van 2 mm tussen gefreesd. Deze sleuf moet doorlopen tot het punt waar de sporen – op de print – de minimaal vereiste onderlinge afstand hebben.

Maar dit is hoe dan ook een compromis dat moet worden vermeden als er ruimte is voor grotere connectoren. Sleuven en uitsparingen worden vaak gebruikt om de isolatie tussen het hoogspanningsgebied en het laagspanningsgebied op een print verder te verbeteren, met inbegrip van de massavlakken die meestal aardpotentiaal voeren.

Een andere praktische oplossing (**figuur 5**) is om een driepolige 5,00/5,08mm-printkroonsteen te gebruiken en de middelste aansluiting niet te gebruiken. In deze toepassing maakt de isolatieafstand $L = L1 + L2$ de aansluiting op de netspanning mogelijk, op voorwaarde dat de middelste pin nergens mee verbonden is. Ook dit moet worden beschouwd als een compromis-oplossing.

Figuur 6 toont een andere configuratie met een 5,00/5,08-mm driepolige printkroonsteen, waarbij twee sleuven tussen de pads zijn gefreesd. Deze configuratie maakt de aansluiting op een standaard 230V_{AC}-netkabel met L, N en GND mogelijk, rekening houdend met alle veiligheidsoverwegingen die we bij de eerdere voorbeelden zijn tegengekomen.

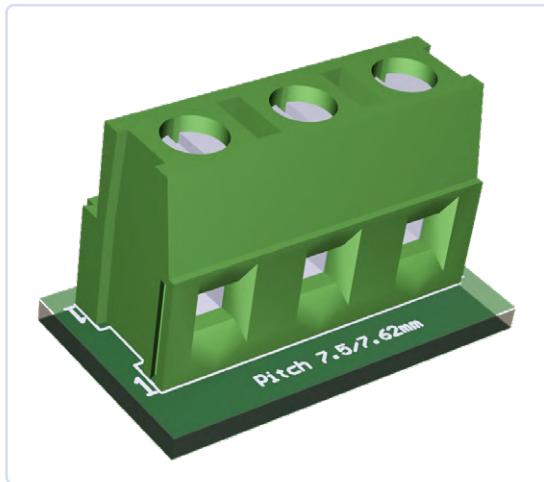
Tot slot toont **figuur 7** een compromisloze oplossing waarbij een 7,5/7,62mm-printkroonsteen wordt gebruikt. De footprint daarvan is ongeveer 16 mm in tweepolige uitvoering en 23 mm in driepolige uitvoering. Het is zeker geen miniaturconnector, maar beslist een van de veiligste in termen van isolatie en belastbaarheid. De brede steek maakt elke vorm van routing mogelijk en maakt het mogelijk om spanningen aan te leggen die nog hoger zijn dan die van het lichtnet.

Fastons of vlakstekkers worden veel gebruikt. Ze hebben veel positieve eigenschappen zoals lage prijs, betrouwbare contacten en trillingsbestendigheid. Daarentegen vereist hun installatie op de print zorgvuldig ontworpen pads en een uitstekende soldeerkwaliteit. Bovendien moet de insteekkracht die deze connectoren vereisen gecompenseerd worden door een geschikte mechanische ondersteuning van de print zodat deze niet doorbuigt tijdens het plaatsen. De aanbevolen minimale dikte van de print voor deze toepassing is 1,6 mm.

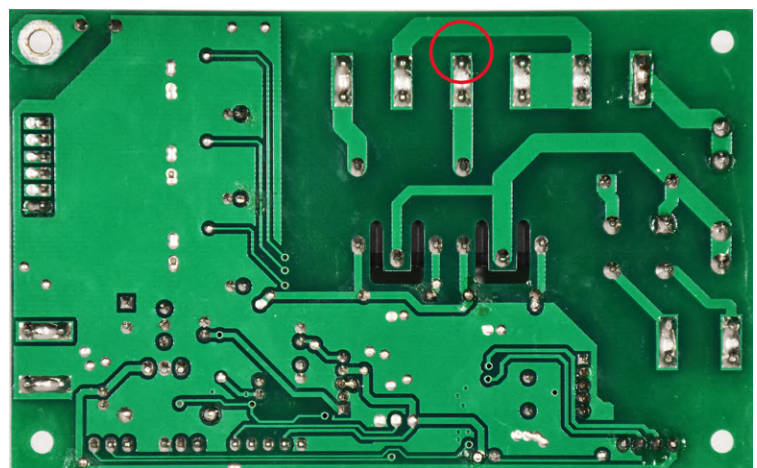
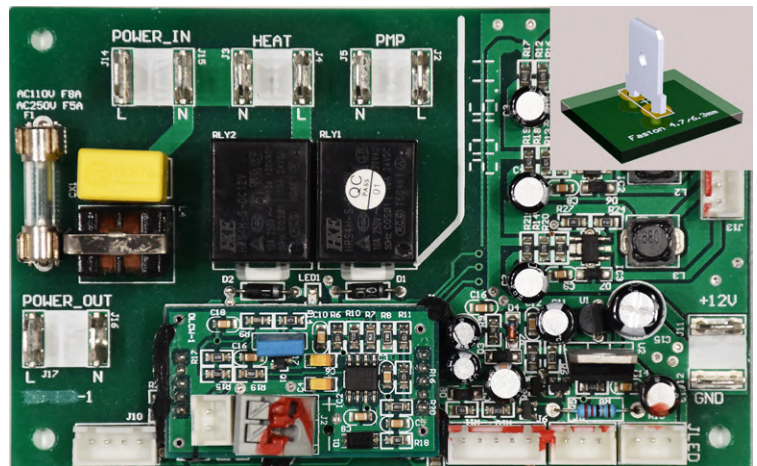
Figuur 8a en **figuur 8b** tonen respectievelijk de component- en soldeerzijde van een voorbeeldprint uit het lab van de auteur.

Aan de linkerkant van de componentenzijde ziet u vier paar male fastons voor hoogspanningsaansluitingen, aan de rechterkant een paar dat gebruikt wordt als laagspanningsingang. De opdruk geeft met een dikke witte lijn correct de grens aan tussen het hoogspannings- en het laagspanningsgebied. De aanduiding "Gevaar – hoogspanning" ontbreekt echter.

De soldeerzijde van de print toont de steunpads van de fastons, die zonder soldeermasker werden ontworpen. Dit vergroot het soldeeropervlak en daarmee de mechanische sterkte van de verbinding. De contactafstand is groot, met één (rood omcirkelde) uitzondering,



Figuur 7. Compromisloze oplossing met een printkroonsteen in 7,5/7,62mm-raster, waarvoor geen speciale voorzieningen nodig zijn en waarmee ook hogere spanningen dan de netspanning kunnen worden aangesloten.



Figuur 8. De print van een schakelende voeding, gezien vanaf de componenten- en soldeerzijde. In de rechterbovenhoek is een 3D-weergave te zien van de vermogensfastonklem die hier gebruikt is. Let op de grote afstand tussen de connectoren en de witte scheidslijn tussen het hoogspannings- en het laagspanningsgedeelte. Aan de soldeerzijde zijn de dikke lagen soldeertin op de faston-pads duidelijk te zien, net als de U-vormige isolatiesleuven bij de relais. Let op de minimale afstand (2,5 mm) tussen N en L op het rood omcirkelde punt (bron: lab van de auteur).

Het Joule-effect

Wanneer ergens een elektrische stroom door een geleider loopt, wordt een deel van de energie niet overgedragen, maar gedissipeerd in een andere vorm (voornamelijk warmte). Dit verschijnsel doet zich voor bij zowel gelijkstroom als wisselstroom, en staat bekend als het *Joule-effect*. Om te begrijpen waarom dit gebeurt, moeten we de geleider op microscopisch niveau bekijken. Een elektrische stroom wordt gegeven door een stroom van ladingen die netjes in dezelfde richting bewegen, als gevolg van het elektrische veld dat wordt gecreëerd door een spanningsbron. De vrije elektronen, die zich door het elektrische veld in de geleider bewegen, volgen echter geen perfect rechte weg, maar een hobbelig pad ten gevolge van de aanwezigheid van atomen of moleculen in het kristalrooster van het materiaal, maar veranderen steeds van richting en geven daarbij een deel van hun energie af aan de atomen/moleculen die ze raken. Deze laatste absorberen deze energie van de elektronen en gaan daardoor sterker hun evenwichtspositie oscilleren; deze sterkere beweging van atomen en moleculen komt overeen met een stijging van de temperatuur van het geleidende materiaal. In bepaalde toepassingen, zoals bij elektrische verwarming van lucht of water of in gloeilampen, wordt dit fenomeen bewust gebruikt om de maximale hoeveelheid elektrische energie om te zetten in warmte. In elektronische schakelingen daarentegen moet het Joule-effect worden geminimaliseerd om de veilige werking van een schakeling te garanderen.

Figuur 9. Het menu Conductor Properties van Saturn PCB Tool toont een kritisch geval: een printspoor voor een stroom van 3 A is (volgens de IPC-2152 norm) slechts toegestaan voor maximaal 1,99 A. Hier is wat re-engineering nodig!



waar de afstand tussen de sporen 2,5 mm is, het absolute minimum volgens de IPC-221B-norm. Een andere goede, maar noodzakelijke, isolatieoplossing werd toegepast in de vorm van de twee uitgefreesde 'U's tussen de hoogspanningsaansluitingen van de relais en de pads die verbonden zijn met de laagspanningswikkelingen.

Houd niet alleen het hoofd koel!

Een ander veiligheidsaspect waarmee rekening moet worden gehouden bij de layout van een print is warmte-dissipatie. In een elektrisch of elektronisch circuit zijn geleiders onderhevig aan verwarming ten gevolge van de stroom, door een natuurkundig fenomeen dat bekend

staat als het **Joule-effect** (meer informatie in het gelijknamige kader).

Voor een goed thermisch beheer van een print moet de geproduceerde warmte worden afgevoerd om de schakeling tijdens bedrijf binnen een aanvaardbaar temperatuurbereik te houden. Omgevingstemperatuur en ventilatie zijn belangrijke factoren en vormen de basis voor elke verdere thermische evaluatie in de ontwerpfase.

Laten we eens kijken naar het tabblad *Conductor Properties* in de Saturn PCB Toolkit (**figuur 9**), waar de meest relevante parameters moeten worden ingevoerd en de opties voor onze doeleinden moeten worden gekozen. Bij PCB-type kunnen we instellen:

- › materiaal
- › printdikte
- › dikte koperspoor
- › dikte platering
- › koperlaag onderzijde (ja/nee)

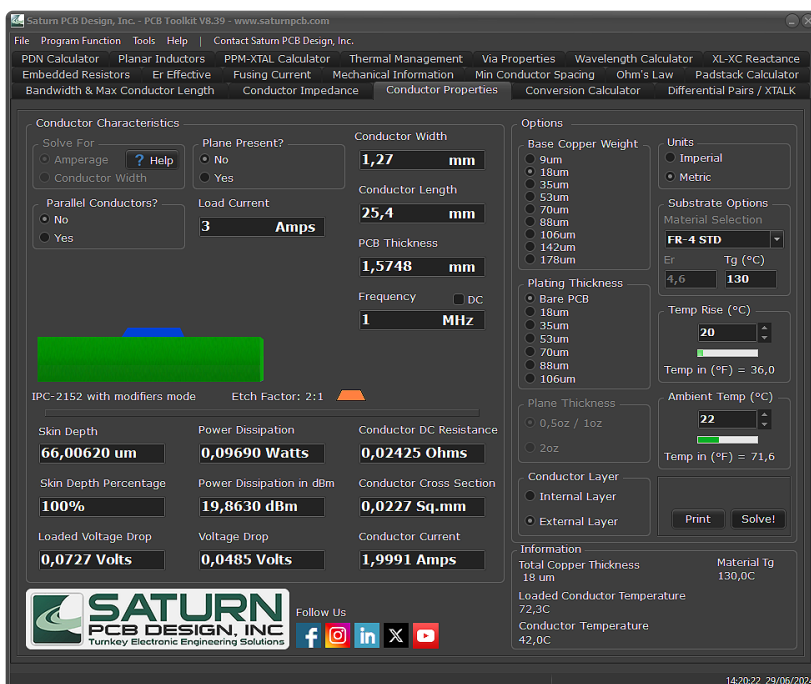
Voor de spoorbreedte:

- › breedte geleider
- › lengte geleider
- › aantal parallelgeschakelde geleiders

Omgevingsparameters:

- › omgevingstemperatuur (°C)
- › temperatuurstijging (°C)

Stel we hebben een 1,6 mm dikke FR4-STD-type print, met een 18 µm dikke, enkelzijdige, niet-geplateerde (blanke) koperlaag, en we willen de thermische prestaties evalueren van een 1,27 mm brede, 25,4 mm lange koperbaan die een stroom van 3 A moet voeren. Uit de resultaten, die verkregen worden door op de knop *Solve* te drukken na het invoeren van de benodigde parameters, blijkt dat volgens de IPC-2152-norm [5] onze geleider een nominale stroom van 1,991 A (*Conductor Current* in het menu) garandeert, terwijl we 3 A wensen. De nominale stroomwaarde is berekend voor een standaard temperatuurstijging van 20 °C, die bij een initiële omgevingstemperatuur van 22 °C zal leiden tot een uiteindelijke bedrijfstemperatuur van de geleider van 22 + 20 = 42 °C. Met een soort reverse engineering stelt het programma ons in staat om een mogelijke eindsituatie te simuleren. Ervan uitgaande dat we de stroom van 3 A door het printspoor willen handhaven – zonder de elektrische eigenschappen (weerstand) te veranderen – en als we op *Temp Rise* klikken om de temperatuur te verhogen totdat de uitlezing in het veld *Conductor Current* een waarde toont die dichtst bij 3 A ligt, dan merken we dat de temperatuur oploopt tot 49 °C, wat opgeteld bij de initiële omgevingstemperatuur van 22 °C zou leiden tot een



werktemperatuur van 71 °C, te hoog voor continu bedrijf. En dat is nog voordat we rekening hebben gehouden met de dissipatie van alle vermogenscomponenten op de print – weerstanden, diodes, vermogenshalfgeleiders, regel-IC's en wat dies meer zij. De algemene thermische evaluatie van een print vereist een complexe modellering die niet het onderwerp is van dit artikel, maar waar we in een volgend artikel op terug zullen komen.

Er zijn verschillende mogelijke oplossingen voor deze situatie; laten we er een paar bekijken.

Vergroting van de fysieke afmetingen van het printspoor: door de breedte en/of dikte van het spoor te vergroten (door een print met een dikkere koperlaag te gebruiken of het koper te plateren, of beide), neemt de nominale stroom aanzienlijk toe. In geval van ruimtebeperkingen moet bij het vergroten van de spoorbreedte echter altijd de onderlinge isolatie worden gehandhaafd (minimale afstand, zoals hierboven beschreven), en deze oplossing is niet altijd haalbaar.

Vergroting van de spoordikte met soldeertin: dit is beslist een van de meest praktische en goedkope oplossingen. Hiermee kan de stroombelastbaarheid van een spoor worden verhoogd zonder dat de breedte toeneemt.

Figuur 10 toont een goed voorbeeld: de print van een schakelende 12V-voeding, waar de sporen die grote stromen voeren in zowel het laag- als het hoogspanningsgebied van een dikke laag soldeertin zijn voorzien.

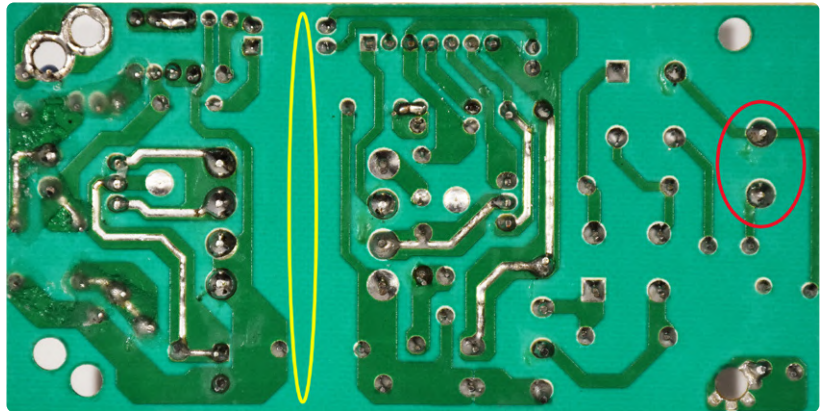
Externe koperlaag: op PCB's met twee of meer lagen werkt de onderste koperlaag als een koellichaam. De aanwezigheid ervan is niet alleen een effectieve afscherming voor de schakeling, maar helpt ook om de warmte af te voeren, waardoor de thermische prestaties van de schakeling toenemen.

Parallele sporen: de stroom kan worden verdeeld over twee of meer parallel geschakelde sporen, resulterend in een aanzienlijke toename van de warmte-afgifte en dus van de stroom. Met Saturn PCB Design kunt u het aantal parallelle sporen instellen en de betreffende berekeningen uitvoeren.

Als de print-layout voldoende ruimte biedt, kan de spoorbreedte worden vergroot in het veld *Conductor Width*, totdat een waarde in de buurt van 3 A in het veld *Conductor Current* wordt afgelezen; in dit geval is dat 2,6 mm, wat conform de specificaties een stroomsterkte van 3,03 A toelaat.

Bij beperkte ruimte op de print is deze eenvoudige oplossing echter niet haalbaar, de verwachte stroomsterkte van 3 A door het spoor kan dan mogelijk worden gemaakt door te kiezen voor een 18µ-geplateerde versie van de print (18 µ koper met een 18 µ dikke coating), of door te kiezen voor een 35 µ dikke koperlaag in plaats van 18 µ. Deze keuzes kunnen echter van invloed zijn op het budget.

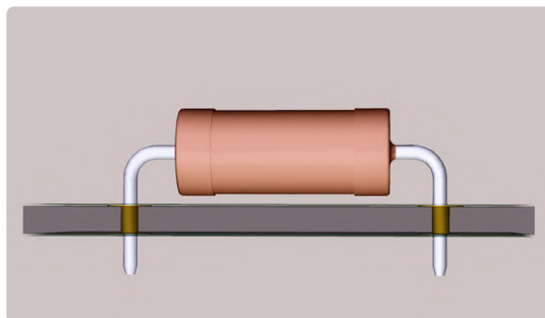
Als we daarentegen hebben gekozen voor de optie het verdikken van de baan met tin, moeten we in gedach-



ten houden dat het na het solderen niet meer mogelijk is om de weerstand van het spoor precies te berekenen; we kunnen die alleen in de praktijk bepalen door met een milliohmeter de weerstand van elk afzonderlijk spoor te meten voordat de print wordt bestukt. Dat kan haalbaar zijn als het aantal sporen dat bedoeld is voor grote stromen zeer beperkt is, maar niet in andere gevallen, waar het vergroten van de koperdikte en plateren zeker professionelere oplossingen zijn.

Naast de warmte die wordt gegenereerd in het vermogensgedeelte, moet natuurlijk ook rekening worden gehouden met alle andere componenten die een niet te verwaarlozen hoeveelheid warmte afgeven, zoals weerstanden en vermogensdiodes. Het is nooit een goed idee om te vertrouwen op de print om de warmte die door een component wordt gegenereerd (gedeeltelijk) via contact af te voeren, tenzij die component speciaal daarvoor is ontworpen. In het voorbeeld van **figuur 11** is de component iets boven het oppervlak van de print gesoldeerd. Dit vergemakkelijkt convectiekoeling (lucht-koeling) en voorkomt kleinschalige thermische belasting van het printmateriaal.

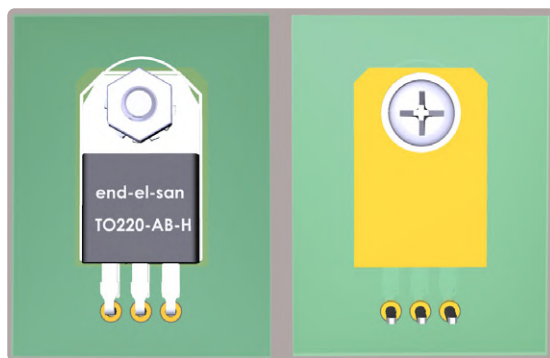
In het voorbeeld van **figuur 12** is de TO-220-component (links) daarentegen direct op de print gemonteerd waar een klein dissiperend oppervlak is aangebracht op de onderste laag (rechts). Deze oplossing is heel praktisch in die gevallen waar de door de component gedissipeerde warmte te groot is voor verticale montage zonder koellichaam, maar te gering om het gebruik van een specifiek metalen koellichaam te rechtvaardigen, wat de footprint zou vergroten.



Figuur 10. Soldeerzijde van een print voor een 12 V schakelende voeding. De verticale sporen zijn goed zichtbaar. Let op de 230V-netingang via een connector met een steek van 7,62 mm rechts (rood omcirkeld) en de brede isolatie (>7 mm, geel) tussen de laag- en hoogspanningsgedeelten van de schakeling (bron: lab van de auteur).

Figuur 11. Een vermogensweerstand is hier iets boven het printoppervlak gemonteerd. Dit verbetert de luchtstroom om de component en vermindert de thermische belasting van de print.

Figuur 12. Een TO-220 halfgeleider gemonteerd op de printplaat met een klein kopervlak op de onderzijde om de geproduceerde warmte beter af te voeren.



Slotopmerkingen

Voordat we dit overzichtsartikel afsluiten, is het waarschijnlijk nuttig om te vermelden dat de IPC-2221B-standaard, waar we in enkele voorbeelden in dit artikel naar hebben verwezen, de voor de industrie minst restrictieve standaard is op het gebied van isolatie, en dat de voorgeschreven afstanden niet mogen worden verkleind. Voor kritieke toepassingen, zoals bepaalde soorten huishoudelijke apparaten of medische apparatuur bestaan er andere, strengere normen, zoals IEC 60335, die we u aanraden om te raadplegen, afhankelijk van waar uw project voor bestemd is.

Ik wil Marco Castiglioni, een getalenteerde professional op het gebied van het layouten van print voor de industrie, bedanken voor het voorbereiden van alle 3D-afbeeldingen en vooral voor zijn onvermoeibare rol als adviseur bij het schrijven van dit artikel. ◀

230570-03

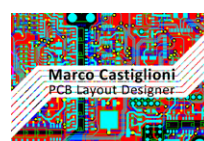
Vragen of opmerkingen?

Hebt u technische vragen of opmerkingen naar aanleiding van dit artikel? Stuur een e-mail naar Roberto Armani via roberto.armani@elektor.com of naar Marco Castiglioni via info@masterista.it.



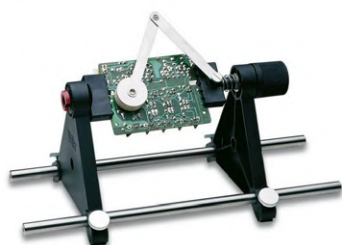
Over Roberto Armani

Roberto Armani is elektrotechnisch ingenieur. Na zijn studie aan de Politecnico di Milano heeft hij meer dan 35 jaar ervaring opgedaan in verschillende sectoren. Voordat hij het Elektor-team kwam versterken als Senior Editor, werkte hij in de computerindustrie, elektronische beeldvorming, telecommunicatie, materiaaltestapparatuur en webpublishing. Naast elektronica luistert hij graag naar klassieke muziek (en zingt ook zelf) en maakt hij wandelingen hoog in de bergen.



Over Marco Castiglioni

Marco Castiglioni is een ingenieur met een graad in elektronica. Na zijn studie ging hij werken als PCB-ontwerper bij een groot Italiaans professioneel audiobedrijf, waar hij programma's als Cadstar, Orcad, Protel, Pcad en Veribest gebruikte. In 1995 opende hij zijn eigen studio en verzorgde hij de PCB-routing voor bedrijven in alle sectoren (audio, medisch, industrieel, LED-verlichting, home automation enzovoort). Na 30 jaar is hij nog steeds actief in die markt, nog steeds lerend en op de hoogte van de jongste regelgeving en nieuwe technologieën gericht op de PCB-productiesector. U kunt hem aantreffen op verschillende strip- en filmconventies bij de Star Trek-stand, verkleed als Klingon. U kunt hem bereiken op: info@masterista.it – www.masterista.it



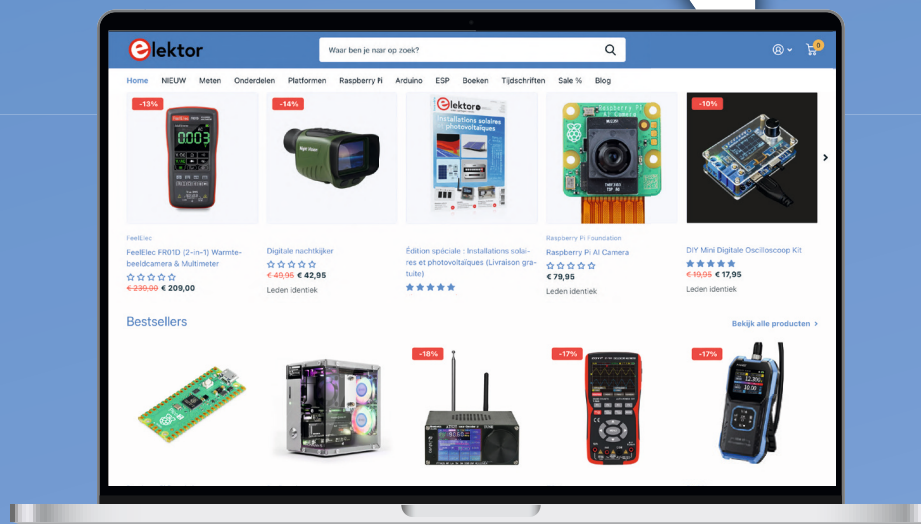
Gerelateerde producten

- > Whadda WTS100 Soldering Starter Set
www.elektor.nl/20426
- > Weller ESF 120ESD PCB Holder
www.elektor.nl/17481

WEBLINKS

- [1] De geschiedenis van de print: <https://www.printedcircuits.com/blog/history-of-pcbs/>
- [2] IPC-norm voor basismaterialen voor printplaten (TOC): <https://www.ipc.org/TOC/TOC-IPC-4101E.pdf>
- [3] Saturn PCB Design Toolkit downloadpagina: <https://saturnpcb.com/saturn-pcb-toolkit/>
- [4] IPC-norm voor stijve en meerlaags printen (TOC): <https://www.ipc.org/TOC/IPC-2221B.pdf>
- [5] IPC-norm voor het bepalen van het stroomvoerend vermogen in printontwerpen (TOC): <https://www.ipc.org/TOC/IPC-2152.pdf>

Wat is uw mening?



Bij Elektor bieden we meer dan alleen elektronica - we creëren een ervaring van kwaliteitsproducten en uitzonderlijke klantenservice, ondersteund door de passie van onze community.

Deel uw mening op
www.elektor.nl/pages/customer-reviews



Zijn prijs waard !!

Werkt prima, snelle levering, goed verpakt, altijd al tevreden geweest van Elektor!



Geleverd zoals beloofd

Het product is uiteraard een zeer goed product, de bestelling werd omwille van de beschikbaarheid later uitgevoerd maar kwam toch vroeger dan verwacht. Prima shop!



Prima!

Snel geleverd, goed verpakt, prima product. Wat wil je nog meer? Zal zeker vaker bestellen bij deze winkel

Opamp-tester

voor audio en andere toepassingen

Alfred Rosenkränzer (Duitsland)

Operationele versterkers zijn in soorten en maten verkrijgbaar. De keuze voor een bepaald type wordt meestal in eerste instantie gebaseerd op de technische specificaties, die bijvoorbeeld op de websites van halfgeleiderdistributeurs te vinden zijn. Als er dan meerdere mogelijkheden blijken te zijn, moet u misschien zelf gaan meten, want het is niet altijd mogelijk om alle relevante eigenschappen onder de beoogde bedrijfscondities af te leiden uit de datasheets. En dat is precies wat u met deze tester kunt doen.

Als u eenmaal een aantal mogelijke kandidaten hebt geselecteerd, zit er niets anders op dan wat exemplaren te bestellen en die te onderzoeken. Vooral de harmonische vervorming is afhankelijk van het ingangsniveau, de versterking, het uitgangsniveau, de belasting en de frequentie. In datasheets worden die waarden vaak alleen vermeld voor bepaalde omstandigheden, en vaak zijn de gegevens van de verschillende fabrikanten ook moeilijk te vergelijken. Met deze kleine testprint kunt u de noodzakelijke tests uitvoeren met verschillende opamps onder identieke voorwaarden. Ook kunnen IC's worden getest op gelijkheid of om het beste exemplaar te selecteren.

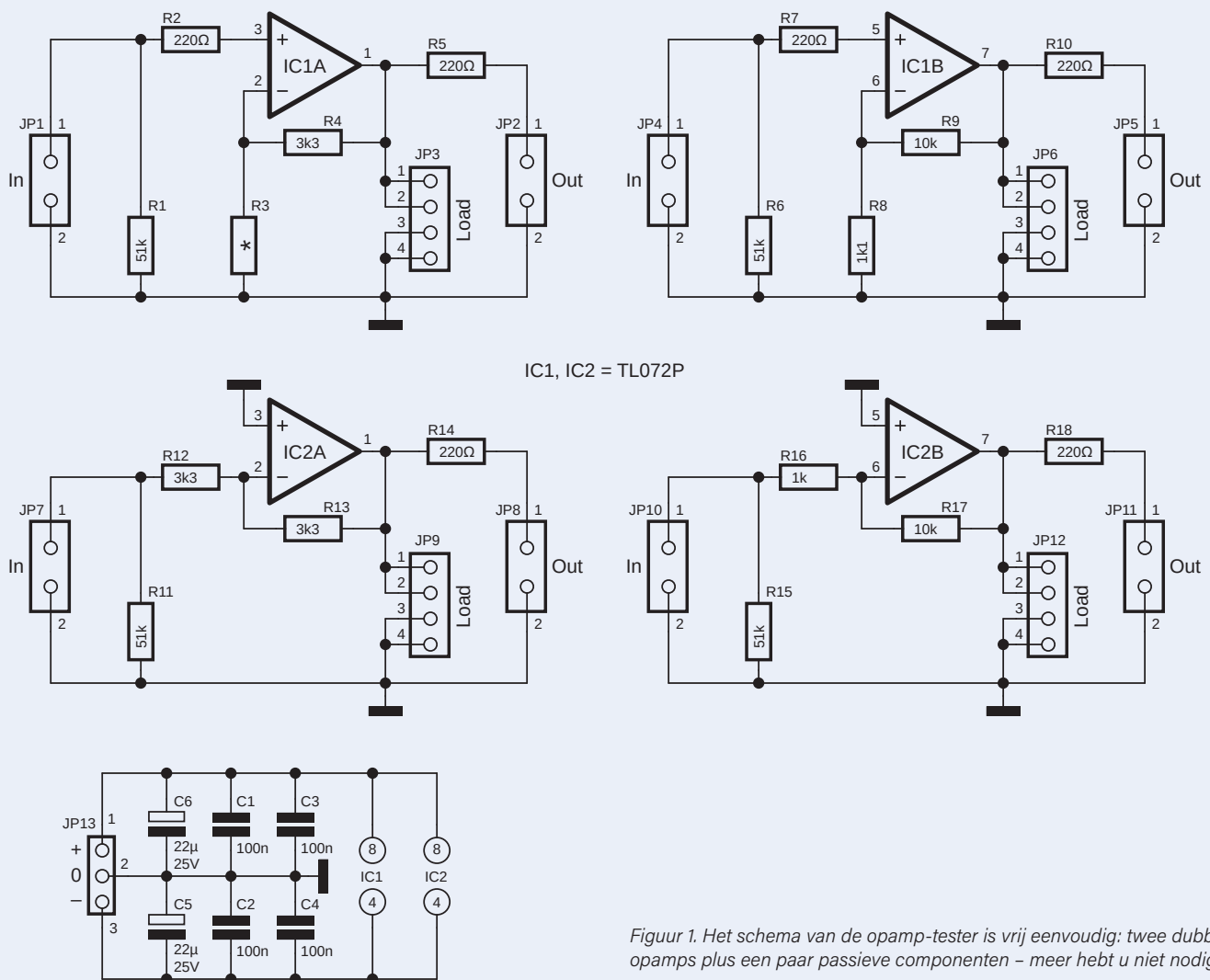
De werking

De schakeling is zó eenvoudig, dat een blokschema niet nodig is. In het schema van **figuur 1** zien we twee dubbele opamps in DIL-behuizing. De schakeling rond IC1 is ontworpen voor niet-inverterend gebruik en die rond IC2 voor inverterend gebruik. De ingangen van IC1A en IC1B worden naar een gedefinieerde ingangsimpedantie van ongeveer 50 kΩ gebracht met R1 respectievelijk R6, want de niet-inverterende ingangen van de beide opamps hebben een hoge impedantie. R3 wordt niet geplaatst voor IC1A. Daardoor is de versterking hier +1. Bij IC1B is de versterking ingesteld op +10 door de verhouding

$(R8 + R9) / R8$. De beide versterkingsfactoren kunnen gemakkelijk worden aangepast aan uw eigen wensen door de waarden te veranderen, of door R3 toe te voegen.

Bij IC2A is de versterking exact -1 vanwege de verhouding $R12 / R13$. De waarden van R16 en R17 geven een versterking van -10 voor IC2B. Zodoende hebt u in deze testschakeling met twee dubbele opamps vier testschakelingen met inverterende en niet-inverterende configuratie en met versterkingsfactoren 1 en 10. De waarden in de schakeling in figuur 1 zijn geschikt voor typische audiotoeepassingen. Let er wel op dat de ingangen van de inverterende schakelingen een aanzienlijk lagere impedantie hebben dan die bij IC1A en IC1B: ongeveer 3 kΩ bij IC2A en ongeveer 1 kΩ bij IC2B.

De uitgang van elke opamp gaat naar twee connectoren. Het meetapparaat wordt verbonden met de tweepolige connectorren via een weerstand van 220 Ω. Die seriële weerstanden zijn bedoeld om overshoot te voorkomen bij capacatieve belastingen (bijvoorbeeld de typische capaciteit van ≥ 30 pF aan de ingang van een oscilloscoop). De exacte waarde is niet kritisch, maar moet ergens tussen 50 en 1000 Ω liggen: het gaat er maar om te verhinderen dat de opamp gaat oscilleren door de capacatieve belasting. Op de vierpolige connectoren kunnen belastingen worden aangesloten om verschillende bedrijfstoestanden te onderzoeken. En daarmee is het schema voldoende toegelicht.

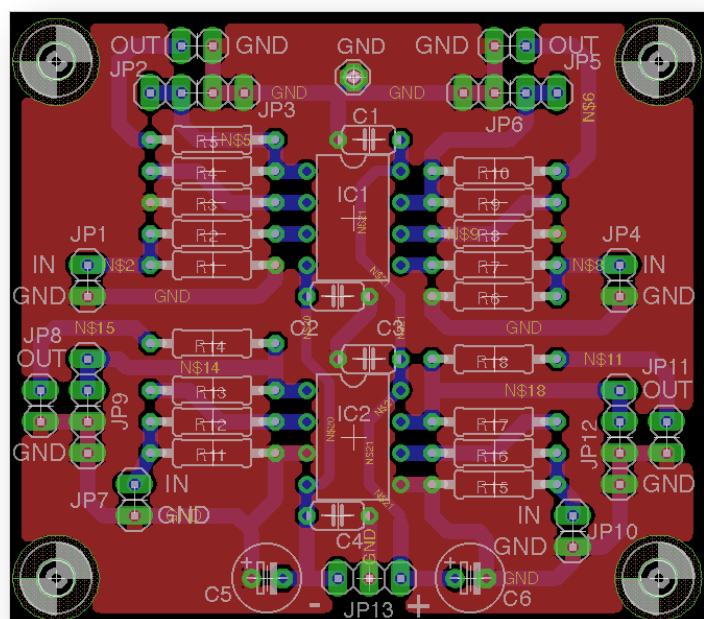


Figuur 1. Het schema van de opamp-tester is vrij eenvoudig; twee dubbele opamps plus een paar passieve componenten – meer hebt u niet nodig.

Enkele opmerkingen

De symmetrische voeding wordt aangesloten op JP13. Twee elektrolytische condensatoren en twee 100nF-condensatoren per IC zorgen voor de ont koppeling. Er zijn bewust geen spanningsregelaars aanwezig op de print, zodat het gedrag van de opamps bij verschillende voedingsspanningen kan worden onderzocht.

De layout-bestanden voor de print kunnen worden gedownload van de Elektor-project-pagina bij dit artikel [4] (**figuur 2**). Zorg voor DIL-voetjes van hoge kwaliteit met gedraaide buscontacten, zodat snel verschillende IC's kunnen worden geplaatst, zonder te solderen. Voor SMD-IC's zullen zogenaamde BoB's (breakout-boards) nodig zijn, die u zelf kunt maken of inkopen. In **figuur 3** ziet u de bestukte print met zo'n SMD-BoB erop.



Figuur 2. De layout-bestanden voor de print kunnen worden gedownload van de Elektor-webpagina bij dit artikel [4].

Bij mijn experimenten vond ik geen meetbare invloed van deze adaptertjes.

Als u opamps voor auditoepassingen wilt testen, moet u letten op de ruis van de componenten. Kies daarom voor metaalfilmweerstand. Rechtsonder in figuur 3 ziet u een belasting in de vorm van een weerstand op een vierpolig SIL-connector. Zo kunt u gemakkelijk testen met verschillende ohmse en/of capacatieve belastingen.

Om geringe vervorming te meten is geschikte meetapparatuur nodig. In de loop der jaren heb ik verschillende artikelen over meettechnologie gepubliceerd in Elektor [1]. Een interessante audio-analyzer is de QA403 van QuantAsylum, die ik in [2] heb besproken. Met bepaalde filters is het mogelijk het meetbereik uit te breiden tot de kleinste vervorming. Een voorbeeld daarvan is te vinden bij [3].

vertaling: Evelien Snel — 230210-03

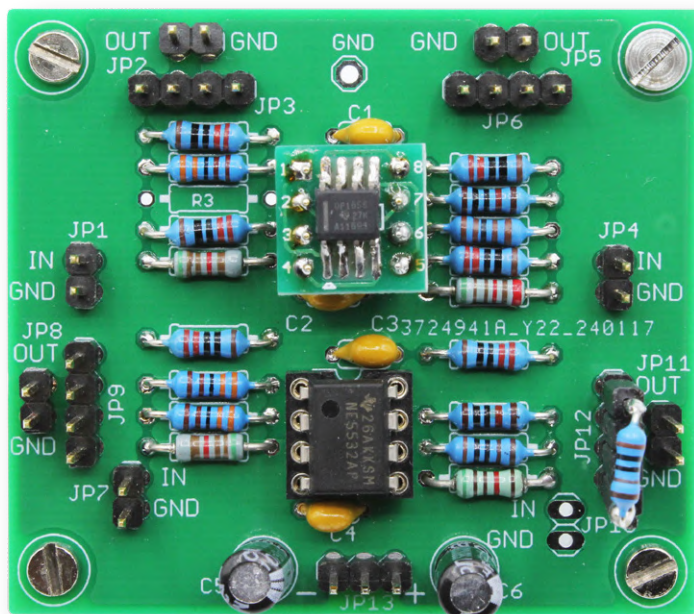
Vragen of opmerkingen?

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



Over de auteur

Alfred Rosenkränzer heeft jarenlang gewerkt als ontwerpingenieur, in het begin op het gebied van professionele televisietechnologie. Sinds eind jaren negentig ontwikkelt hij snelle digitale en analoge schakelingen voor IC-testers. Audio is zijn favoriete stokpaardje.



Figuur 3. De geassembleerde print met IC1 in een SOIC8-behuizing op een adapterprintje. IC2 is een 'grote' DIL-versie. Op uitgang JP12 is een belasting aangesloten.



Onderdelenlijst

Weerstanden (1% metaalfilm, through-hole):

R1,R6,R11,R15 = 10 k
R2,R5,R7,R10,R14,R18 = 4k7
R3 = niet geplaatst*
R4,R12,R13 = 3k3
R8 = 1k1
R9,R17 = 10 k
R16 = 1 k

Condensatoren:

C1...C4 = 100 n, film, steek 2/10"
C5,C6 = 22 µ/25 V, elco, steek 1/10"

Halfgeleiders:

IC1,IC2 = TL072, dual opamp*

Diversen:

4x IC-voetje, 8-polig, gedraaide buscontacten
JP1,JP2,JP4,JP5,JP7,JP8,JP10,JP11 = 2-polige pinheader, steek 1/10"
JP3,JP6,JP9,JP12 = 4-polige header, raster 1/10"
JP13 = 3-polige pinheader, raster 1/10"
4-polige SIL-voetjes voor de belastingen*

Print 230210-01*

* = zie tekst



Gerelateerde producten

- > **QuantAsylum QA403 24-bit Audio Analyzer**
www.elektor.nl/20530
- > **Siglent SDG1032X 2-ch Signal Generator (30 MHz)**
www.elektor.nl/20276
- > **PeakTech 1404 2-ch Oscilloscope (100 MHz)**
www.elektor.nl/20229

WEBLINKS

- [1] Artikelen over meettechnologie door Alfred Rosenkränzer: <https://tinyurl.com/5fpahe5z>
- [2] A. Rosenkränzer, "Comparing the QuantAsylum QA403 to the Gold Standard", 2023: <https://tinyurl.com/yudmy5sk>
- [3] A. Rosenkränzer, "Actief 1kHz-filter voor vervormingsmeting", Elektor mei/juni 2023: <https://www.elektormagazine.nl/magazine/elektor-302/61703>
- [4] Projectpagina bij dit artikel: <https://elektormagazine.nl/230210-03>

Word lid van onze Community



www.elektormagazine.nl/community

Project-update #4: ESP32-gebaseerde energiemeter

energiemonitoring met MQTT



Saad Imtiaz (Elektor)

In een eerdere update hebben we het configureren van de energiemeter met een ESP32 en de integratie ervan in Home Assistant uitgelegd. We bespraken ook de toekomstige mogelijkheden om de ESP32-S3-chip te gebruiken voor AI- en ML-functionaliteit om patronen in energieverbruik te voorspellen en apparaten te identificeren. In deze update zetten we een stap vooruit door firmware te introduceren die real-time energiemonitoring mogelijk maakt met behulp van MQTT, wat de weg vrijmaakt voor geavanceerde functies.

Eerder bespraken we de hele ontwikkeling van de ESP32 energiemeter – van werkbank naar groepenkast – waarbij we zijn begonnen met het verzamelen van de componenten, het instellen van de energiemeter met ESPHome en Home Assistant, kalibreren en testen, en uiteindelijk het installeren in de groepenkast. In de laatste update [1] hebben we de meter geïntegreerd in Home Assistant, met het ambitieuze doel om AI- en ML-mogelijkheden toe te voegen om patronen in energieverbruik te voorspellen

en apparaten te identificeren op basis van hun specifieke energieverbruik.

Terwijl de AI/ML-integratie nog in volle gang is – gezien de noodzakelijke omvangrijke voorbereiding van de data – is deze kleine update gericht op een cruciale tussenstap: real-time energiemonitoring met behulp van MQTT. MQTT is een lichtgewicht berichtenprotocol dat is ontworpen voor efficiënte communicatie. Lees het kader **Wat is MQTT?** voor meer informatie.

Aangepaste firmware en MQTT

In dit artikel bespreken we de volgende fase van het project – het gebruik van MQTT en de Arduino IDE om real-time energiemonitoring mogelijk te maken. Deze update behandelt de ontwikkeling van de firmware via welke de ESP32 kan communiceren met een MQTT-broker, waardoor energiegegevens naar een Home Assistant-server of een ander MQTT-compatibel platform kunnen worden verzonden.

Het voordeel van het gebruik van MQTT met aangepaste firmware ten opzichte van ESPHome is dat de eigen firmware veel meer flexibiliteit biedt op het gebied van integratie en aanpassing. Met aangepaste firmware hebt u volledige controle over hoe de gegevens worden verzameld, verwerkt en verzonden, zodat u het systeem

Wat is MQTT?

MQTT is een eenvoudig berichtenprotocol dat is ontworpen voor efficiënte communicatie tussen apparaten, vooral in IoT-omgevingen. Centraal in dit systeem staat de MQTT-broker, een server die fungeert als een hub voor berichtenuitwisseling. De broker ontvangt berichten van apparaten, ook wel publishers genoemd, en stuurt ze door naar de juiste ontvangers of subscribers, gebaseerd op een systeem van topics.

Een topic in MQTT is een string die berichten categoriseert en fungeert als een kanaal waar informatie wordt gepubliceerd, terwijl een subscriber een apparaat of applicatie is die luistert naar een specifiek topic om deze berichten te ontvangen. Bijvoorbeeld, in een smart home-setup kan een topic als `home/energy/voltage` spanningsmetingen bevatten, en een dashboard (subscriber) dat zich abonneert op dit topic zou deze metingen in real-time ontvangen en weergeven.

De broker zorgt ervoor dat berichten efficiënt en veilig worden afgeleverd, zelfs over onbetrouwbare netwerken. In IoT-toepassingen is de MQTT-broker cruciaal voor het beheer van gegevensuitwisseling tussen sensoren, apparaten en systemen (die de MQTT-clients zijn), waardoor real-time bewaking, controle en automatisering mogelijk wordt.



Listing 1: De firmware (uittreksel).

```
#include <WiFi.h>
#include <SPI.h>
#include <ATM90E32.h>
#include <MQTTPubSubClient.h>
#include <config.ino> // Include configuration file for WiFi and MQTT details

// WiFi Credentials
const char* ssid = WIFISSID;      // Your WiFi SSID
const char* pass = WIFIPASSWORD;  // Your WiFi Password

WiFiClient client;
MQTTPubSubClient mqtt;

ATM90E32 energymeter{};

void setup() {
    ...

    /* Initialize the ATM90E32 energy meter with the specified parameters */
    energymeter.begin(CS_PIN, LINEFREQ, PGA_GAIN, VOLTAGE_GAIN, GAIN_CT_A, GAIN_CT_B, GAIN_CT_C);
    ...

    /* Begin the WiFi connection using the provided SSID and password */
    WiFi.begin(ssid, pass);

    /* Initialize the MQTT client */
    mqtt.begin(client);

    /* Connect to WiFi, MQTT broker, and Home Assistant */
    connect();
    ...
}

void loop() {
    /* Keep the MQTT client updated */
    mqtt.update();

    /* Reconnect to the MQTT broker if the connection is lost */
    if (!mqtt.isConnected()) {
        connect();
    }

    /* Check and send energy data to Home Assistant every 3 seconds */
    static uint32_t prev_ms = millis();
    if (millis() > prev_ms + 3000) {
        prev_ms = millis();
        getEnergyData(); // Retrieve energy data and send via MQTT
    }
}

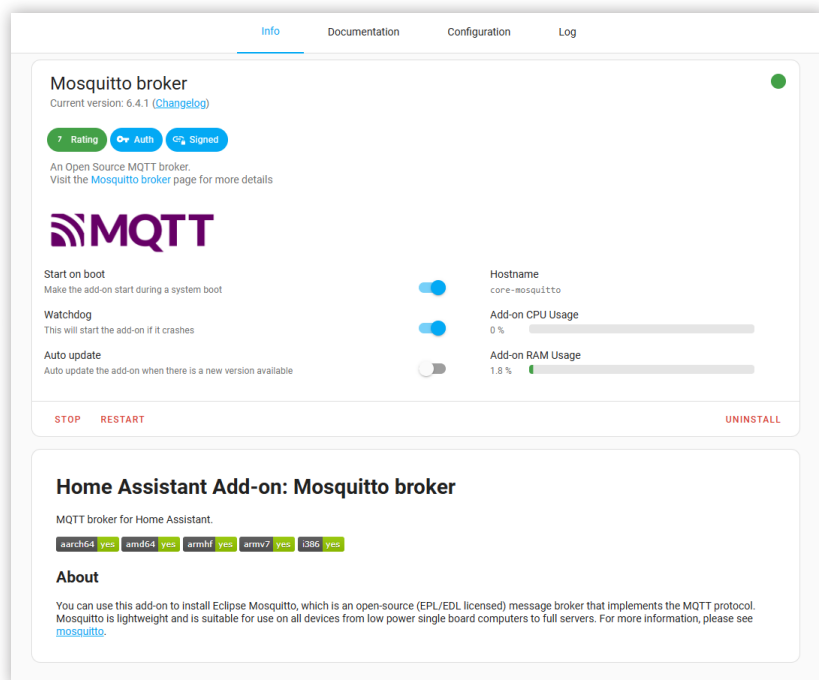
void getEnergyData() {
    // Retrieve system status from the ATM90E32
    unsigned short sys0 = energymeter.GetSysStatus0(); //EMMState0
    unsigned short sys1 = energymeter.GetSysStatus1(); //EMMState1
    unsigned short en0 = energymeter.GetMeterStatus0(); //EMMIntState0
    unsigned short en1 = energymeter.GetMeterStatus1(); //EMMIntState1

    // Print system and meter status for debugging
    Serial.println("Sys Status: S0:0x" + String(sys0, HEX) + " S1:0x" + String(sys1, HEX));
    Serial.println("Meter Status: E0:0x" + String(en0, HEX) + " E1:0x" + String(en1, HEX));
    delay(10);

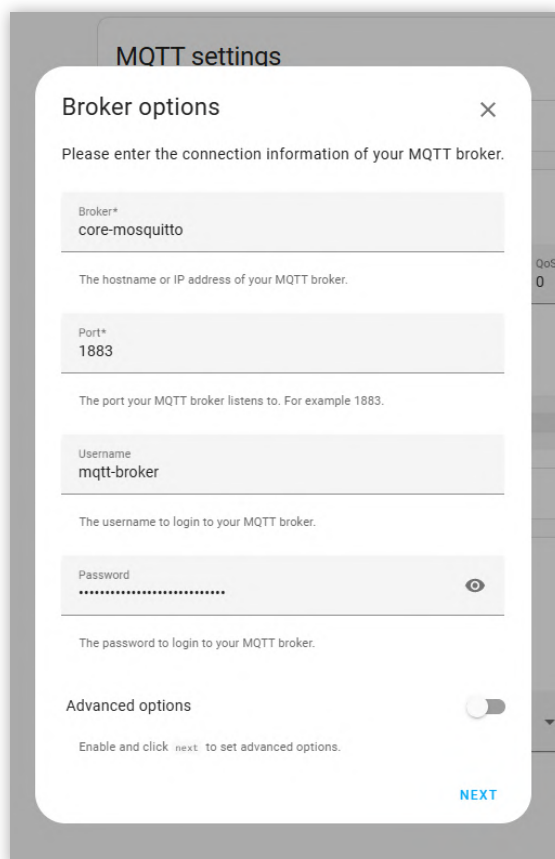
    // Check if the MCU is not receiving data from the energy meter
    if (sys0 == 65535 || sys0 == 0) Serial.println("Error: Not receiving data
                                                    from energy meter - check your connections");

    // Retrieve all parameters from the ATM90E32
    float lineVoltageA = energymeter.GetLineVoltageA();
    float lineVoltageB = energymeter.GetLineVoltageB();
    float lineVoltageC = energymeter.GetLineVoltageC();
    ...

    // Send all the collected energy data via MQTT to Home Assistant
    mqtt.publish("esp32energymeter/lineCurrentA", String(lineCurrentA).c_str());
    mqtt.publish("esp32energymeter/lineCurrentB", String(lineCurrentB).c_str());
    mqtt.publish("esp32energymeter/lineCurrentC", String(lineCurrentC).c_str());
    mqtt.publish("esp32energymeter/totalCurrent", String(totalCurrent).c_str());
    ...
}
```

▲
 Figuur 1.
 Configuratieopties
 voor de MQTT-broker
 in Home Assistant,
 inclusief de optie
 Start on boot om automatisch
 opstarten te garanderen.



►
 Figuur 2. MQTT-
 integratie inrichten in
 Home Assistant met
 IP-adres, poort en
 gebruikersgegevens.

kunt aanpassen aan specifieke projectvereisten. Deze mate van controle is vooral handig voor complexe toepassingen waarbij u de prestaties moet optimaliseren, moet integreren met niet-standaard hardware of geavanceerde functies zoals AI en machine learning-algoritmen moet implementeren.

Bovendien zorgt aangepaste firmware voor een eenvoudigere integratie met een groot aantal platformen buiten Home Assistant, zoals cloud-gebaseerde diensten, aangepaste dashboards en andere IoT-systemen. U kunt ook meer verfijnde beveiligingsmaatregelen implementeren, zoals aangepaste encryptieprotocollen of geavanceerde verificatiemechanismen, om ervoor te zorgen dat uw gegevens over het hele netwerk veilig zijn. Bovendien kan aangepaste firmware worden geoptimaliseerd voor specifieke gebruiksscenario's, waardoor de overhead wordt verminderd en de systeemefficiëntie wordt verbeterd, wat vooral belangrijk is in omgevingen met beperkte resources.

De software

De firmware is geschreven om de ESP32 te verbinden met een WiFi-netwerk en MQTT te gebruiken voor communicatie, zodat de energiegelgegevens naar een Home Assistant-server kunnen worden gestuurd voor monitoring- en automatiseringsdoeleinden. In **listing 1** ziet u een voorbeeldversie van de code; de volledige code en alle hardwarebestanden zijn beschikbaar op de GitHub-repository van dit project [2].

Het project berust op twee belangrijke bibliotheken: de *ATM90E32*-bibliotheek, geleverd door CircuitSetup [3], die de communicatie met het energiemet-IC afhandelt, en de *MQTTPubSubClient*-bibliotheek [4], die de communicatie beheert als een MQTT-client. De *ATM90E32*-bibliotheek is essentieel voor het verzamelen van gegevens van de chip van de energiemeter, inclusief meetgegevens zoals spanning, stroom en vermogen. Tijdens het ontwikkelproces kwam een belangrijke uitdaging naar voren bij het integreren van MQTT met gebruikersnaam- en wachtwoordverificatie. Hoewel veel MQTT-bibliotheken de basistaken aankunnen, viel *MQTTPubSubClient* op als een van de weinige die compatibel was met de ESP32 en de noodzakelijke verificatiefuncties ondersteunde.

De software begint met het opnemen van de noodzakelijke bibliotheken voor de netwerkverbinding, SPI-communicatie, interfacing met het energiemet-IC en het beheren van de MQTT-communicatie. Configuratiegegevens voor WiFi en MQTT worden opgeslagen in een apart configuratiebestand. De `setup()`-functie initialiseert de seriële poort voor debugging, stelt de ATM90E32-energieremeter in met de gespecificeerde parameters en maakt verbinding met het WiFi-netwerk en de MQTT-broker. Deze initiële setup zorgt ervoor dat de ESP32 klaar is om te communiceren met Home Assistant en andere MQTT-compatibele platformen.

In de hoofdloop `loop()` wordt de MQTT-client continu bijgewerkt om de verbinding met de broker in stand te houden.

De MQTT-data als sensoren definiëren in Home Assistant

Om de gegevens te controleren die uw ESP32-energiemeter via MQTT verstuurt, moet u deze meetwaarden definiëren als sensoren in Home Assistant. Dat gaat als volgt:

Het configuratiebestand openen:

Open uw Home Assistant-configuratiebestand (*configuration.yaml*) met File Editor of een andere teksteditor.

MQTT-sensoren definiëren:

Voeg in het *configuration.yaml*-bestand de volgende configuratie toe om uw MQTT-sensoren te definiëren:

```
mqtt:
  sensor:
    - name: Line Voltage A
      unique_id: esp32_voltage_a
      state_topic: "esp32energymeter/lineVoltageA"
      unit_of_measurement: "V"

    - name: Line Current A
      unique_id: esp32_current_a
      state_topic: "esp32energymeter/lineCurrentA"
      unit_of_measurement: "A"
```

Uw sensoren aanpassen:

Vervang *Line Voltage A*, *Line Current A* enzovoort door benamingen naar eigen keuze.

Zorg ervoor dat het *state_topic* overeenkomt met het topic dat wordt gebruikt in je ESP32-firmware voor het publiceren van de gegevens. De *unique_id* moet een unieke identificatie zijn voor elke sensor, zodat Home Assistant ze goed kan volgen en beheren.

Instellingen opslaan en Home Assistant herstarten:

Sla na het toevoegen van de sensordefinities het bestand *configuration.yaml* op en start Home Assistant weer op om de wijzigingen toe te passen.

De sensoren weergeven:

Zodra Home Assistant opnieuw is opgestart, moeten uw MQTT-sensoren verschijnen op het dashboard, zodat u de energiegegevens in realtime kunt controleren.

Als de verbinding op enig moment wordt verbroken, probeert de code automatisch opnieuw verbinding te maken. Daarnaast is de software geprogrammeerd om energiegegevens op te halen van de ATM90E32-chip en deze gegevens naar de MQTT-broker te sturen. Dankzij deze opzet kan Home Assistant het energieverbruik in bijna realtime monitoren, wat waardevolle inzichten oplevert voor domotica-doeleinden.

De `getEnergyData()`-functie speelt een cruciale rol in de software door verschillende energiegegevens te verzamelen van de ATM90E32-chip. Deze gegevens omvatten netspanning, stroom, actief, reactief en schijnbaar vermogen, vermogensfactor, fasehoek, frequentie en temperatuur. De verzamelde gegevens worden vervolgens gepubliceerd naar specifieke MQTT-topics, waardoor ze toegankelijk zijn voor monitoring en analyse binnen Home Assistant. Voor ontwikkelaars en gebruikers die debugging mogelijk maken, worden de energiegegevens ook weergegeven op de seriële monitor, zodat de gegevens eenvoudig kunnen worden gecontroleerd en gevalideerd. Om ervoor te zorgen dat de ESP32 een stabiele verbinding met het netwerk en de MQTT-broker behoudt, is de functie `connect()` opgenomen. Deze functie handelt het herverbindingsproces af als de WiFi- of MQTT-verbinding

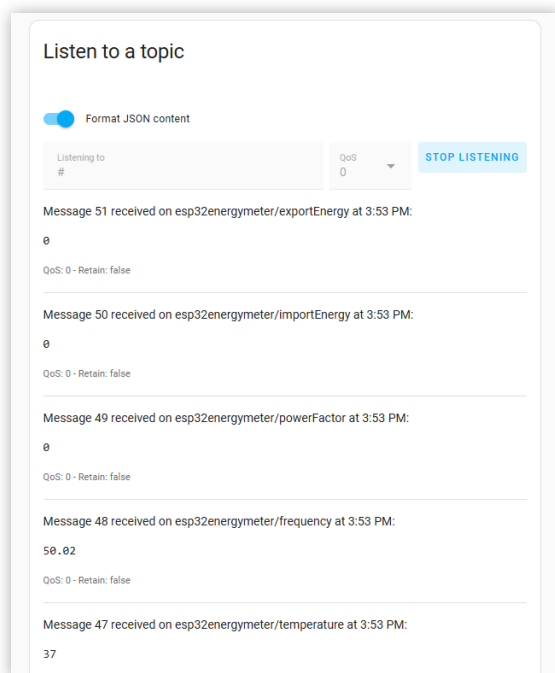
wordt verbroken. Debugberichten geven real-time feedback over de verbindingstatus en een LED wordt gebruikt om een geslaagde verbinding te signaleren.

Een MQTT-broker inrichten in Home Assistant

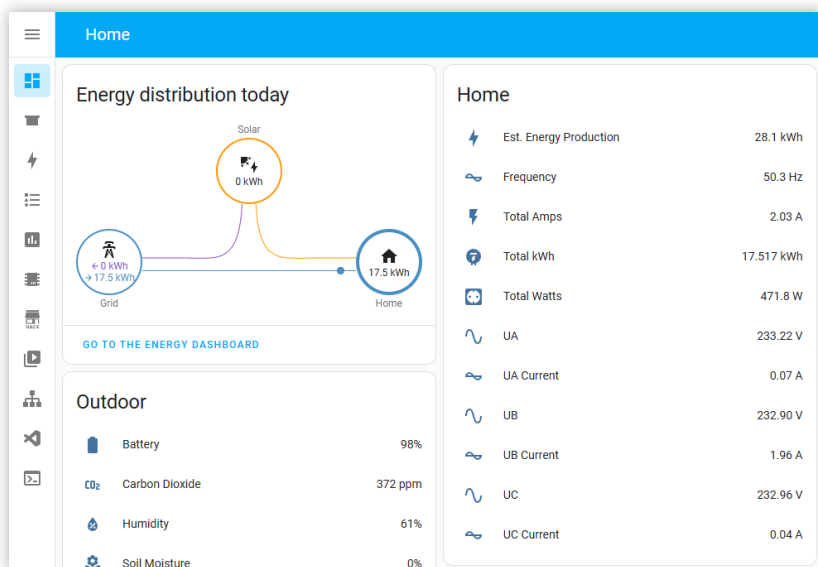
Om de ESP32-energiemeter het MQTT-protocol te laten gebruiken voor het verzenden van de meterstanden, moet u eerst een MQTT-broker inrichten. Een MQTT-broker kan worden ingericht op bijna elke computer die verbonden is met uw thuisnetwerk. Het kan geconfigureerd worden op uw PC met behulp van een Docker-container, direct geïnstalleerd worden op een Raspberry Pi, of zelfs gehost worden op een cloudserver voor toegang op afstand. Om het echter eenvoudig te houden en naadloos te integreren met uw smart home-setup, gaan we het inrichten op Home Assistant.

Om de MQTT Add-on in Home Assistant te installeren, gaat u eerst naar uw Home Assistant-dashboard door te navigeren naar de URL ervan. Ga vanuit de zijbalk naar *Settings*, dan *Add-ons* en open de *Add-on Store*. Zoek naar *MQTT*, waar u de officiële Mosquitto-broker in de resultaten zou moeten vinden. Klik erop en selecteer *Install*; de installatie kan enkele ogenblikken duren.

Figuur 3. Testen van de MQTT-verbinding door u te abonneren op alle onderwerpen om er zeker van te zijn dat berichten worden ontvangen door Home Assistant.



Figuur 4. Aangepast dashboard in Home Assistant; dit visualiseert real-time energiegegevens van de ESP32-energiemeter.



Figuur 5. Voorbeeld van grafieken die in Home Assistant zijn gemaakt om het energieverbruik te monitoren in het History-dashboard.

Eenmaal geïnstalleerd kunt u de MQTT-broker configureren door de instellingen aan te passen – meestal zijn de standaardinstellingen voldoende, maar u kunt en moet een specifieke gebruikersnaam en wachtwoord instellen. Na de configuratie klikt u op de **Start**-knop om de MQTT-broker te activeren, en activeert u de **Start on Boot**-optie om ervoor te zorgen dat hij automatisch start wanneer Home Assistant wordt herstart, zoals getoond in **figuur 1**.

Vervolgens moet u MQTT-integratie configureren binnen Home Assistant. Ga naar **Settings**, dan **Devices & Services**, en selecteer **Integrations**. Klik op **Add Integration**, zoek naar **MQTT** en selecteer het. Home Assistant zal automatisch de draaiende MQTT-broker detecteren. Indien gevraagd, configureer de MQTT-instellingen, zoals het IP-adres van de broker – meestal localhost als het op hetzelfde apparaat draait als Home Assistant (u kunt ook *core-mosquitto* invoeren om hetzelfde resultaat te krijgen). Blijf voor de poort bij de standaard 1833, en zorg ervoor dat de gebruikersnaam en wachtwoord die van een huidige gebruiker in Home Assistant zijn, zoals in **figuur 2**. U kunt ook een aparte gebruiker maken in Home Assistant, alleen voor MQTT in dit geval.

Nu moeten we ervoor zorgen dat Home Assistant is ingesteld om berichten te ontvangen van uw ESP32-energiemeter. U kunt de verbinding testen door u te abonneren op een topic “#” om alle berichten te ontvangen die naar uw MQTT-broker worden gestuurd (**figuur 3**). Deze pagina is toegankelijk door te klikken op **Configure** in **Integration entities** in het MQTT integration menu-item.

U kunt nu uw ESP32 Energy Meter verbinden met de MQTT-broker op Home Assistant. In het bestand *config.ino* van de ESP32-firmware stelt u **HOMEASSISTANT_IP** in op het IP-adres van uw Home Assistant-instantie. Configureer vervolgens de **DEVICE_NAME**, **USER_ID**, en **PASSWORD** als u authenticatie hebt ingesteld op de MQTT-broker. Nadat u deze instellingen hebt geconfigureerd, flasht u de ESP32 met de firmware en zorgt u ervoor dat hij verbinding maakt met de MQTT-broker. Eenmaal verbonden zal de ESP32 Energy Meter beginnen met het publiceren van energiegegevens naar de MQTT-broker, die u kunt monitoren in Home Assistant door u te abonneren op de juiste MQTT-topics.

Om tenslotte energiegegevens zichtbaar te maken in Home Assistant, worden de MQTT-entiteiten automatisch aangemaakt voor elk onderwerp dat uw ESP32 Energy Meter publiceert. Zo niet, wat soms kan gebeuren, dan moet u de MQTT-entiteiten definiëren in het *configuration.yaml* bestand in Home Assistant. U kunt de instructies volgen die worden vermeld in het kader **De MQTT-data als sensoren in Home Assistant definiëren**.

Daarna kunt u de sensor-entiteiten vinden onder **Settings** in Home Assistant, dan **Devices & Services** en **Entities**. Gebruik deze entiteiten om aangepaste dashboards te

maken in Home Assistant, zodat u real-time energiegegevens kunt visualiseren, grafieken kunt maken en waarschuwingen kunt instellen op basis van verbruiks-drempels zoals getoond in **figuur 4** en **figuur 5**. Met MQTT en Home Assistant kunt u ook acties automatiseren op basis van energiegegevens zoals getoond in **figuur 6**, integreren met andere slimme apparaten en krijgt u waardevolle informatie over het energieverbruik van uw huis.

Beginners raad ik aan om de *Getting Started*-handleiding van Home Assistant [5] te lezen, die een uitgebreide inleiding geeft voor het inrichten en gebruiken van Home Assistant. Daarnaast kunt u de *MQTT Integration*-documentatie van Home Assistant [6][7] raadplegen voor gedetailleerde instructies over het configureren van MQTT en het effectief integreren van uw apparaten. Deze bronnen zullen u helpen om aan de slag te gaan met Home Assistant en MQTT, waardoor uw smart home efficiënter en gebruiksvriendelijker wordt. ◀

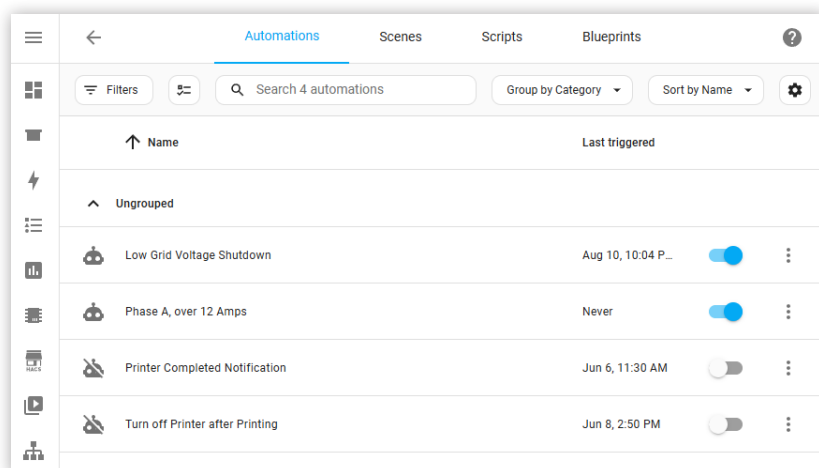
vertaling: Hans Adams — 240349-03

Over de auteur

Saad Imtiaz, Senior Engineer bij Elektor, is een mechatronica-ingenieur met uitgebreide ervaring in embedded systemen en productontwikkeling. Tijdens zijn carrière heeft hij samengewerkt met een breed scala aan bedrijven, van innovatieve startups tot gevestigde globale ondernemingen, om geavanceerde prototypes en projecten te ontwikkelen. Saad heeft een rijke achtergrond, waaronder een periode in de luchtvaartindustrie en het leiden van een technologische startup, en brengt een unieke mix van technische expertise en ondernemersgeest met zich mee in zijn rol bij Elektor. Hier draagt hij bij aan projectontwikkeling in zowel software als hardware.

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.



Figuur 6. Geautomatiseerde acties in Home Assistant gebaseerd op energiegegevens die zijn ontvangen van de ESP32-energiemeter via MQTT.



Gerelateerde producten

- > **Home Assistant Green**
www.elektor.nl/20725
- > **Raspberry Pi 5 (2 GB RAM)**
www.elektor.nl/20951

WEBLINKS

- [1] Saad Imtiaz, "Project Update #3: ESP32-gebaseerde energiemeter", Elektor juli/augustus 2024: <https://elektormagazine.nl/240244-03>
- [2] ESP32 Energy Meter Github-repository: <https://github.com/ElektorLabs/esp32-energymeter>
- [3] ATM90E32 Arduino-bibliotheek door CircuitSetup: <https://github.com/CircuitSetup/ATM90E32>
- [4] MQTTPubSubClient-bibliotheek door hideakitai: <https://github.com/hideakitai/MQTTPubSubClient>
- [5] Getting started, Home Assistant: <https://www.home-assistant.io/getting-started/>
- [6] MQTT Integration, Home Assistant: <https://www.home-assistant.io/integrations/mqtt/>
- [7] MQTT Sensor, Home Assistant : <https://www.home-assistant.io/integrations/sensor.mqtt/>



Real-time spectrum analyzer met golfgeleider-technologie en multi-interface PC's

*Figuur 1.
De SPECTRAN® V6
PLUS XPR 250XB-
WR12 biedt 10 dB
noise floor (NF) bij
77 GHz. Dit maakt
het apparaat perfect
voor radarmetingen in
de automotive sector
(76 GHz tot 81 GHz)*

Aaronia introduceert nieuw productsegment en presenteert eerste prototypes op electronica in München

Een bijdrage van Aaronia AG

Het is weer zover: mensen uit de wereld van de elektronica ontmoeten elkaar op **electronica** in München. Van 12 tot en met 15 november maken meer dan 2.500 exposanten deze toonaangevende vakbeurs tot de belangrijkste inspiratiebron voor de internationale elektronica-industrie. Dit jaar presenteert Aaronia AG uit Strickscheid niet alleen de nieuwste ontwikkelingen in de SPECTRAN®-serie real-time spectrumanalyzers en het Aartos drone-detectiesysteem. De wereldmarktleider uit Duitsland zal de bezoekers daarnaast verrassen met zijn intrede in de PC-sector en prototypes van toekomstige Aaronia PC-boards presenteren.

Real-time spectrumanalyzers (RTSA) zijn onmisbare hulpmiddelen in de moderne radiotechnologie. De steeds meer toenemende complexiteit van RF-signalen, gedreven door technologische ontwikkelingen zoals 5G, IoT en satellietcommunicatie vereist nauwkeurigere en efficiëntere meetmethoden. 5G, WiFi 6 en ultrabreedband (UWB)

communicatiesystemen maken gebruik van complexe modulatie technieken bij een grote bandbreedte.

Klaar voor IEEE 802.11ax

Real-time spectrumanalyzers bieden grote voordelen omdat ze RF-signalen tegelijkertijd kunnen registreren en analyseren. Met name de real-time spectrumanalyzers uit de SPECTRAN® V6-serie van Aaronia maken een continue naadloze data-acquisitie mogelijk zonder korte of intermitterende signalen te missen. Dit maakt het mogelijk om sporadische of eenmalige gebeurtenissen, die een essentiële rol spelen in de moderne communicatietechnologie, te detecteren, te karakteriseren en indien nodig te decoderen. Eenmaal geregistreerd, zijn de gegevens volledig beschikbaar op de aangesloten computer, bijvoorbeeld om kanaaltoewijzingen te optimaliseren, individuele apparaten te lokaliseren of optimale repeaterlocaties te bepalen.



Het verhogen van het aantal beschikbare USB-interfaces was een van de redenen om te beginnen met de ontwikkeling van PC-boards. Dit is waar conventionele apparaten te snel aan hun grenzen komen.

Metingen in de EHF-band

5G maakt gebruik van een breed scala aan frequentiebanden op een veel hogere frequentie dan eerdere mobiele radiostandaarden, zoals de extreem hoge frequentieband (EHF) van 30 GHz tot 300 GHz. De analyse van signalen op die frequenties vereist spectrumanalyzers die een zeer hoge frequentieresolutie naast voldoende bandbreedte bieden om de complexe structuur van deze signalen weer te geven. Daarnaast maken 5G-systemen gebruik van beamforming-technieken en massive MIMO (multiple input multiple output), wat de analyse nog verder bemoeilijkt. Aaronia levert de SPECTRAN® V6 5G voor dit doel en voor het doen van metingen in de mobiele radio-omgeving. Het apparaat ondersteunt ook de WiGig 45 GHz (802.11aj) en 60 GHz (802.11ad/aj/ay) profielen, zoals die zijn opgenomen in de nieuwste versie van de RTSA Suite PRO voor signaalregistratie en gegevensanalyse.

Betaalbare oplossing voor toepassingen in de automotive industrie

Met een real-time bandbreedte tot 490 MHz en een sweepsnelheid van 3 THz/s zet de SPECTRAN® V6 Xplorer een nieuwe standaard op het gebied van snelheid. Uitgerust met aansluitingen voor golfgeleiders, maakt de analyzer metingen in het millimetergolfbereik mogelijk die niet mogelijk zijn met conventionele kabels. Golfgeleiders transporteren signalen praktisch zonder vervorming of verlies. Ze zijn daarnaast veel minder gevoelig voor externe verstoringen door bijvoorbeeld elektromagnetische interferentie wat belangrijk is in omgevingen met veel elektrische apparaten en radiosignalen. Hierdoor blijft het signaal schoon en worden de metingen van de spectrumanalyzer niet verstoord.

De nieuwe SPECTRAN® V6 Xplorer is een efficiënte en vooral betaalbare oplossing voor het onderhouden en controleren van moderne sensoren die de veilige afstand tussen voertuigen bewaken, dodehoek-sensoren en in sommige gevallen voor het afstellen van parkeerhulpmiddelen. Dergelijke sensoren bepalen de afstand tot objecten door elektromagnetische golven uit te zenden en de tijd te meten tot de reflecties terugkeren. Deze golven reizen met vrijwel de snelheid van het licht.

Het onderhouden van dergelijke sensoren is een lastige klus voor gewone garages. Van hen kan tenslotte nauwelijks worden verwacht dat ze apparatuur ter waarde van honderdduizenden euro's aanschaffen voor deze metingen. Technische keuringsinstanties zouden bijvoorbeeld een SPECTRAN® V6-gebaseerd systeem wel kunnen aanschaffen en deze sensoren tijdens voertuiginspecties kunnen controleren.

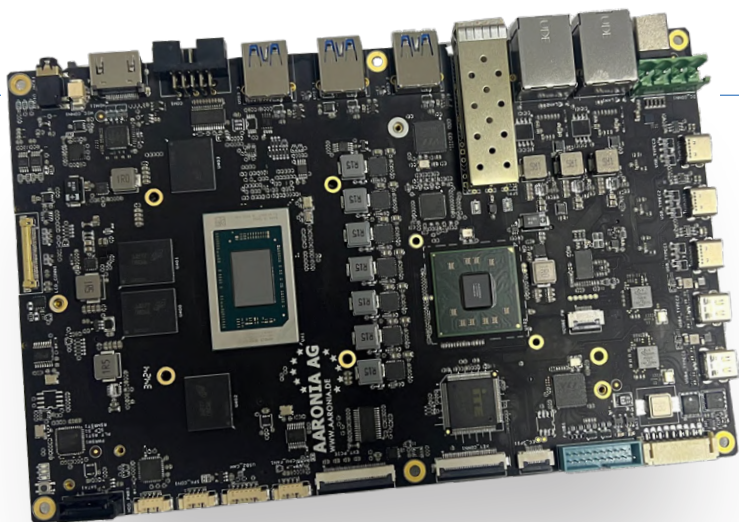
Met de SPECTRAN® V6 real-time spectrumanalyzers met golfgeleider-technologie kunnen deze hoogfrequente en snel veranderende signalen betrouwbaar worden geanalyseerd en geëvalueerd. Dankzij de golfgeleideraansluitingen kunnen de real-time spectrumanalyzers van Aaronia AG worden aangesloten op de eigen versterker- en splitsersystemen, ook volgens de normen voor golfgeleiders die in de toekomst beschikbaar zullen komen. Aaronia biedt daarmee betaalbare oplossingen voor dergelijke toepassingen.

Toetreding tot de PC-markt

Data-analyse is één belangrijk aspect, de benodigde rekenkracht is een ander. Hoewel een zeer efficiënte verwerking van IQ-gegevens mogelijk is met standaardcomputers die gebruik maken van de Aaronia real-time spectrumanalyzers in combinatie met de RTSA-Suite PRO, nemen de gestelde eisen aan bandbreedte en verwerkingssnelheid steeds verder toe.



Figuur 3.
Thorsten Chmielus,
CEO van Aaronia AG



Figuur 2.
De PC-boards op basis van de nieuwste Intel®- of AMD®-processoren zijn echte I/O-allrounders en maken bijvoorbeeld het gelijktijdige gebruik van 4 SPECTRAN® V6 ECO-analyzers (4x USB PD) mogelijk.

“We zijn voortdurend op zoek naar computersystemen die voldoen aan onze eisen op het gebied van snelheid, opslagcapaciteit en interfaces”, legt Thorsten Chmielus, CEO van Aaronia AG, uit. “Daarom hebben we besloten om de benodigde hardware zelf te gaan ontwikkelen en we zijn blij dat we nu de eerste resultaten kunnen presenteren”. De ontwikkelde printen op basis van de nieuwste Intel®- of AMD®-processoren zijn echte I/O-allrounders en maken bijvoorbeeld gelijktijdig gebruik van 4 SPECTRAN® V6 ECO-analyzers (4x USB PD) mogelijk.

Met de SPECTRAN® V6 MOBILE presenteert Aaronia's werelds eerste draagbare real-time spectrumanalyzer met een RTBW van 490 MHz. Dit betekent dat zelfs de 320 MHz brede kanalen uit de nieuwe IEEE 802.11ax-standaard volledig kunnen worden verwerkt. Met een frequentiebereik van 9 kHz tot 140 GHz en een sweepsnelheid tot 3 THz/s zijn de Aaronia-spectrum-analyzers toegerust voor alle taken. De tablet is voorzien van de nieuwste generatie processoren. Er is keuze uit varianten op basis van de Intel Ultra 985H of de AMD® Ryzen 7949 HF. De geïntegreerde 16-bit single-chip sampling analoog/digitaal-converter (ADC) heeft een conversiesnelheid tot 2 gigasamples per seconde (GSPS). Een ongebruikelijk kenmerk zijn de 8 USB-poorten, waarvan er vier PD-compatibel zijn. USB Power Delivery (USB PD) is een uitbreiding van de USB-standaard waarmee tot 100 W kan worden geleverd via een USB-C aansluiting. De meeste gangbare PC-systemen hebben hooguit twee van zulke poorten. Chmielus legt uit: “Een groter aantal beschikbare USB-interfaces was een van de redenen waarom we zijn begonnen met het ontwikkelen

van PC-boards. In de meettechniek moet steeds meer randapparatuur via USB aangesloten kunnen worden op onze real-time spectrumanalyzers. Conventionele apparaten lopen dan snel tegen hun grenzen aan en het gebruik van USB-hubs is uit den boze, onder andere door daar optredende vertragingen. Daarnaast worden USB-apparaten steeds vaker van stroom voorzien via een USB-poort, waardoor het noodzakelijk is om een groter aantal USB PD-interfaces te hebben.”

Een robuuste aluminium behuizing voor gebruik buitenshuis beschermt de elektronica en het scherm. Met de nieuwe SPECTRAN® V6-tablets blijft Aaronia trouw aan zijn filosofie om voor elke toepassing de juiste oplossing te bieden. Klanten kunnen een vooraf geconfigureerde versie kopen of het apparaat laten configureren volgens hun specificaties. 

vertaald door Adrie Kooijman — 240571-03

Over Aaronia AG

Aaronia AG is een technologiebedrijf gevestigd in Strickscheid in de Eifel in Duitsland. Het bedrijf werd in 2003 opgericht door Thorsten Chmielus en produceert voornamelijk spectrumanalyzers op basis van gepatenteerde spectrumanalysetechnieken. Van concept en ontwerp tot eindmontage en software-ontwikkeling, alles gebeurt in Duitsland. Hightech gemaakt in Duitsland.

De eerste spectrumanalyzers werden geproduceerd en geleverd in 2004. In 2008 werd de volgende generatie spectrumanalyzers gepresenteerd met de V4-serie, die een wereldrecord vestigde in handheld-gevoeligheid van DANL (displayed average noise level) -170dBm (Hz). Sinds 2020 is de 6e generatie SPECTRAN® real-time analyzers op de markt.

Met de nieuwe generatie spectrumanalyzers legt AARONIA de lat op het gebied van snelheid weer een stuk hoger. Door meerdere SPECTRAN®-apparaten in serie te plaatsen, kunnen real-time bandbreedtes in het gigahertz-bereik worden gerealiseerd. De SPECTRAN® V6-serie zet daarmee de nieuwe standaard in de compacte USB-klasse. Het systeem wordt wereldwijd gebruikt, van individuele installaties tot complexe samengestelde systemen.

Aaronia AG ontwikkelt, distribueert en verkoopt meetapparatuur, technologieën en rechten op het gebied van laag- en hoogfrequente meettechnologie, robotica en de afscherming van alle soorten laag- en hoogfrequente velden. Daarnaast verricht het bedrijf fundamenteel onderzoek op het gebied van communicatie- en meettechnologie en ontwerpt het zijn eigen schakelingen en meetmethoden, met name voor de ontwikkeling van uiterst gevoelige en nauwkeurige hoogfrequente meettechnologie.

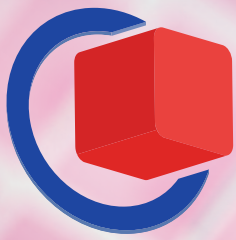
Aaronia AG presenteert zijn nieuwste producten en ontwikkelingen op



electronica 2024

München - 12 t/m 15 november
Hal A3 - stand 516

www.aaronia.com



embeddedworld

Exhibition & Conference

CONNECTING THE
EMBEDDED COMMUNITY

11 – 13.3.2025

NUREMBERG, GERMANY



Get your
free ticket now!

embedded-world.de/codes

Use the voucher code **GGew25**

Media partners

elektroniknet.de

Markt&Technik
Die unabhängige Wochenzeitschrift für Elektronik

Elektronik

Elektronik
automotive

Elektronik
•medical

connect
professional

NÜRNBERG / MESSE

SMT-spoelen

spoelen en ferrieten – selectie gemakkelijk gemaakt

Dr. Heinz Zenkner (Würth Elektronik eiSos)

Hoe kiest u de juiste spoel voor uw toepassing? Dit artikel belicht de verschillen tussen drie inductieve SMT-componenten: keramische spoelen, SMT-ferrieten en draadgewonden ferrietspoelen. Hun elektrische eigenschappen maken ze geschikt voor verschillende toepassingen en hun fysische parasitaire eigenschappen kunnen in uw voordeel worden gebruikt bij het ontwerp van schakelingen.

Inductieve componenten zijn verkrijgbaar in verschillende vormen. SMT-versies zijn erg populair, omdat ze gemakkelijk op printen te monteren zijn. Niet alle inductoren zijn echter hetzelfde, zoals dit artikel laat zien aan de hand van drie voorbeelden van SMT-inductoren: keramische inductoren, SMT-ferrietspoelen en draadgewonden ferrietspoelen.

Figuur 1 toont de impedantiecurves van de drie inductortypen ter vergelijking:

- SMT-ferrietspoel: WE-CBF [1]
- SMT-spoel met keramische kern ('luchtspoel'): WE-KI [2]

- Draadwikkeling op ferrietkern ('wire-wound ferrite'): WE-RFI [3]

De componenten werden zo gekozen dat ze een vergelijkbare impedantiecurve hebben bij frequenties beneden de impedantiepiek. De verschillen in impedantie zijn te zien in de buurt van die pieken, waarbij de SMT-ferrietspoel zijn maximum heeft bij de laagste frequentie en de draadgewonden ferrietspoel bij de hoogste. De keramische spoel heeft de steilste stijging en daling in het gebied van het impedantiemaximum en daarom de hoogste kwaliteitsfactor Q.

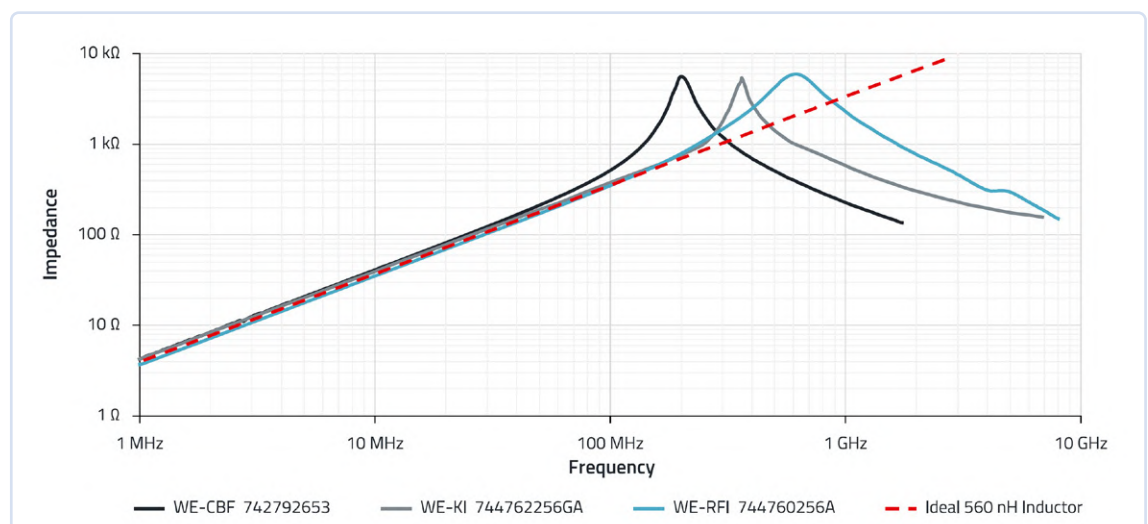
Vergelijking van de elektrische parameters

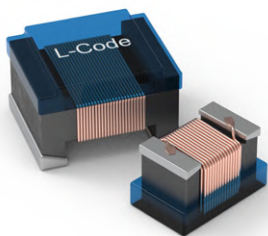
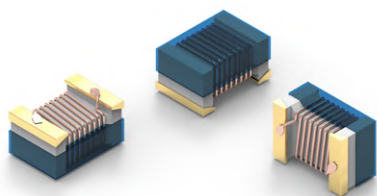
Figuur 2 vergelijkt de elektrische parameters van de spoelen. Voor spoelen zonder ferrietkern (WE-KI) wordt de zelfinductie aangegeven als een waarde in de datasheets, in dit geval 560 nH. Hoewel de waarde van de zelfinductie wordt aangegeven bij een bepaalde meetfrequentie, is de waarde beneden de resonantiefrequentie vrijwel constant (zie datasheet).

Bij nader inzien neemt de reactantie van de spoel niet lineair toe met de frequentie. Twee effecten verhogen de impedantie van de luchtspoel: de toename in reactantie ten gevolge van de wet van Lenz en de toename in weerstand door het skineffect.

In een zuiver inductieve schakeling is de spoel rechtstreeks aangesloten op de wisselspanning. Als de spanning stijgt en daalt met de frequentie, stijgt en daalt de zelf-geïnduceerd elektromagnetische tegenkracht (EMF) in de spoel ook als functie van deze verandering. Deze zelf-geïnduceerde EMF is recht evenredig met de mate van

Figuur 1. Vergelijking van de impedantie van SMT-ferrietspoel, keramisch/luchtspoel en draadgewonden ferrietspoel.





Properties		Test conditions	Value	Unit	Tol.
Inductance	L	25 MHz	560	nH	±2%
Q-Factor	Q	100 MHz	45		min.
DC Resistance	R_{DC}	@ 20 °C	1.5	Ω	max.
Rated Current	I_R	$\Delta T = 15$ K	310	mA	max.
Self Resonant Frequency	f_{res}		430	MHz	min.

Properties		Test conditions	Value	Unit	Tol.
Impedance @ 100 MHz	Z	100 MHz	600	Ω	±25%
Maximum Impedance	Z_{max}	200 MHz	4500	Ω	typ.
Rated Current 1	I_{R1}	$\Delta T = 20$ K	300	mA	max.
Rated Current 2	I_{R2}	$\Delta T = 40$ K	500	mA	max.
DC Resistance	R_{DC}	@ 20 °C	0.65	Ω	max.
Type	High Speed				

Properties		Test conditions	Value	Unit	Tol.
Inductance	L	25.2 MHz	0.56	μ H	±5%
Q-Factor	Q	100 MHz	45		min.
Impedance @ 100 MHz	Z	100 MHz	350	Ω	±25%
Maximum Impedance	Z_{max}	600 MHz	5570	Ω	typ.
Rated Current 1	I_{R1}	$\Delta T = 15$ K	450	mA	max.
Rated Current 2	I_{R2}	$\Delta T = 40$ K	620	mA	max.
DC Resistance	R_{DC}	@ 20 °C	0.55	Ω	max.
Self Resonant Frequency	f_{res}		340	MHz	min.

Figuur 2. Vergelijking van de parameters van SMT-ferrietspoel, keramisch/luchtspoel en draadgewonden ferrietspoel.

verandering van de stroom door de spoel (wet van Lenz) en neemt daarom toe met de frequentie. Bijgevolg neemt de reactantie van de spoel ook toe met de frequentie; dit verband is lineair.

Een verdere toename in impedantie wordt veroorzaakt door het skin-effect. Bij lage frequenties gebruikt een geleider zijn volledige doorsnede als transportmedium voor ladingsdragers. Als de frequentie toeneemt, vormt een toenemend magnetisch veld in de richting van het midden van de geleider een impedantie voor de ladingsdragers, waardoor de stroomdichtheid in het midden van de geleider afneemt en de stroomdichtheid aan de buitenkant van de geleider toeneemt. Deze verhoogde stroomdichtheid aan de buitenkant van de geleider staat bekend als het skin-effect. Dit effect neemt toe met de frequentie en treedt ook op bij alle andere spoelen (met een ferrietkern).

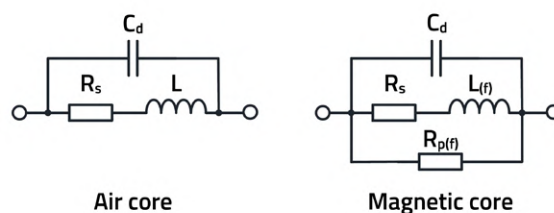
De resonantiefrequentie van de inductor zonder ferrietkern wordt voornamelijk veroorzaakt door de parasitaire capaciteit tussen de afzonderlijke windingen. Wanneer twee geleiders dicht bij elkaar liggen, maar gescheiden zijn door een diëlektricum en met een spanningsverschil daartussen, ontstaat er een condensator.

De serieschakeling van deze windingscapaciteiten staat parallel aan de inductie van de wikkeling en vormt zo een parallelle resonantiekring. Bovendien is er een parasitaire capaciteit tussen de aansluitingen (soldeereilandjes), die parallel staat aan de capaciteit van de wikkeling. Dit resulteert in een totale parasitaire capaciteit parallel aan de wikkeling als een equivalente schakeling. Deze wordt getoond links in **figuur 3**.

Voor spoelen met een ferrietkern (WE-RFI) en SMT-ferrietspoelen

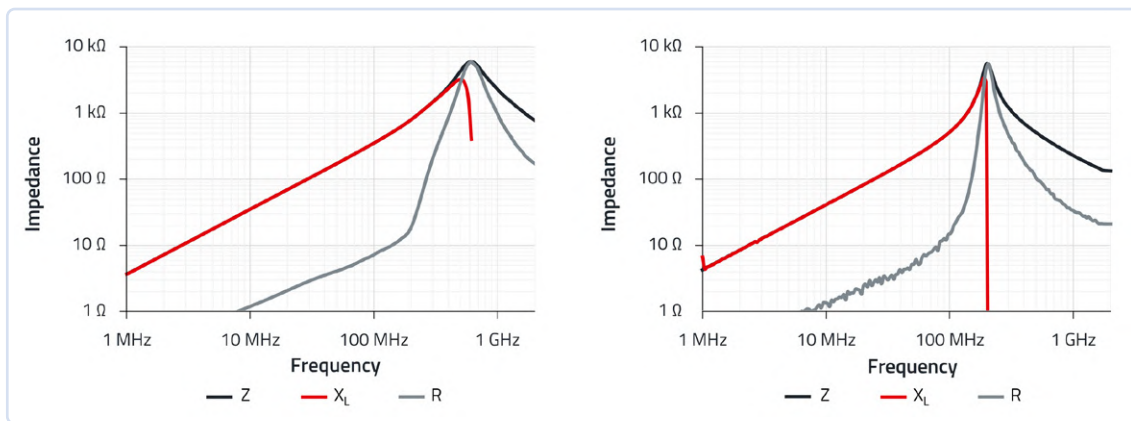
(WE-CBF) specificeert het datablad geen inductiewaarde, maar een impedantie bij een meetfrequentie. Ook is te zien dat het SMT-ferriet de hoogste tolerantie heeft, terwijl de spoel zonder ferriet de laagste tolerantie heeft.

Omdat de WE-KI spoel geen ferrietkern heeft, moet deze meer windingen hebben voor dezelfde impedantie dan de componenten met ferriet, wat verklaart waarom de WE-KI ook de hoogste draadweerstand R_{DC} heeft. Een Q-factor, d.w.z. een kwaliteitsfactor, wordt gespecificeerd voor zowel de WE-KI als de WE-RFI, maar niet voor de WE-CBF. De Q-factor is een maat voor de dissipatieve eigenschap van een spoel. Inductoren met een hoge Q-factor hebben lage verliezen en een smallere impedantiecurve. Inductoren met een lage Q-factor hebben daarentegen hogere verliezen en een bredere impedantiecurve. De grootte van de maximale impedantie van de spoel is gerelateerd aan de kwaliteitsfactor Q.



Figuur 3. Equivalent schema van een spoel zonder (links) en met magnetische kern (rechts).

Figuur 4. Typische impedantiecurven van de WE-RFI 744760256A spoel (links) en de WE-CBF 742792653 SMT-ferrietspoel (rechts).



Inductoren met lage verliezen en een hoge Q-factor hebben een zeer hoge maximale impedantie, terwijl een spoel met hoge verliezen een lagere maximale impedantie heeft. Door de manier waarop een spoel is gewikkeld of door de gebruikte kernmaterialen te veranderen, kan de maximale impedantie en het frequentiebereik van de maximale impedantie worden aangepast. Maar waar draait het om bij de maximale impedantie?

Magnetische kernmaterialen

Figuur 4 toont de impedantiegrafieken als functie van de frequentie van de WE-RFI spoel en de WE-CBF SMT-ferrietspoel. Beide componenten gebruiken ferriet als kernmateriaal. De diagrammen tonen elk drie verschillende curven, R – als ohmse weerstand, X_L – als reactantie en Z – als de waarde van de impedantie van de component. Het is belangrijk om deze grafieken te begrijpen om spoelen met ferrietmateriaal met succes in schakelingen in te kunnen zetten.

In veel radiofrequente toepassingen waar grote inductiewaarden in een kleine ruimte nodig zijn, kunnen spoelen met een ‘luchtkern’ niet worden gebruikt vanwege hun afmetingen. De spoel kan kleiner worden uitgevoerd als de luchtkern wordt vervangen door een kernmateriaal met een hogere magnetische permeabiliteit ($\mu_r > 1$).

Bij gelijke grootte blijft de waarde van de zelfinductie behouden ondanks het kleinere aantal windingen.

Dit biedt verschillende voordelen:

- Geringere afmetingen – door het kleinere aantal windingen dat nodig is voor een bepaalde zelfinductie.
- Hogere Q – minder windingen betekent minder draadweerstand.
- De impedantie van de inductor aanpassen aan de frequentie – door een gerichte selectie/menging van het kernmateriaal.

Het gebruik van magnetische kernen brengt echter enkele grote problemen met zich mee en er moet voor worden gezorgd dat het gekozen kernmateriaal het juiste is voor de taak; enkele van deze problemen zijn:

- Elk kernmateriaal veroorzaakt grote verliezen boven een bepaald frequentiebereik. Het toevoegen van een magnetische kern aan een luchtkernspoel kan bijvoorbeeld de kwaliteit van de inductor verminderen, afhankelijk van het gebruikte materiaal en de werkfrequentie.
- De permeabiliteit van alle magnetische kernen verandert met de frequentie en daalt meestal tot een zeer kleine waarde aan de hoge kant van het werkbereik. Uiteindelijk benadert hij de

permeabiliteit van lucht ($\mu_r = 1$) en wordt hij ‘onzichtbaar’ voor de schakeling.

- Hoe hoger de permeabiliteit van de kern, hoe gevoeliger deze is voor temperatuurschommelingen. De zelfinductie van de spoel kan daarom aanzienlijk fluctueren over een groot temperatuurbereik.
- De permeabiliteit van de magnetische kern verandert met het aangelegde signaalniveau. Als de stroom door de spoel te hoog is en de magnetische fluxdichtheid door de kern te hoog wordt, gaat de kern in verzadiging.

Deze problemen kunnen worden opgelost als er tijdens de ontwikkelingsfase voor wordt gezorgd dat de spoelen op de juiste manier worden geselecteerd voor het beoogde gebruik. Hiervoor zijn de impedantiegrafieken met de drie verschillende impedantiecurven R, X_L en Z nodig. Het verloop van de curven als functie van de frequentie is sterk afhankelijk van de magnetische eigenschappen van het kernmateriaal.

De equivalente schakeling van een spoel zonder magnetische kern is geschetst in figuur 3 (links).

De kwaliteitsfactor van een spoel met een ‘luchtkern’ wordt beschreven door **vergelijking 1**:

$$Q = \frac{X_L}{R_S} \quad (1)$$

terwijl **vergelijking 2** X_L definieert:

$$X_L = \omega \cdot L \quad (2)$$

met R_S de weerstand van de wikkeling.

Als aan de spoel een magnetische kern wordt toegevoegd, ziet de equivalente schakeling eruit als in figuur 3 (rechts). De weerstand $R_p(f)$ is toegevoegd om de verliezen weer te geven die optreden in de kern zelf. Deze frequentieafhankelijke verliezen treden op in de vorm van magnetische hysteresis. Hysteresis is het vermogensverlies in de kern dat optreedt door wervelstromen en de herschikking van de magnetische deeltjes in het materiaal wanneer de magnetisatie verandert. Er vloeien wervelstromen in de kern door de stromen die erin worden geïnduceerd. Daarnaast heeft de zelfinductie L ook een frequentie-afhankelijkheid $L(f)$, aangezien (zoals al eerder opgemerkt) de magnetische permeabiliteit van het materiaal niet-lineair varieert met frequentie f. De kwaliteit van een spoel met een ferriekern is daarom een variabele parameter die afhangt van de stroom door de spoel, en moet daarom per geval worden bepaald.

Ferriet is een materiaal dat voornamelijk uit ijzer bestaat. Het is gemaakt van een mengsel van ijzeroxide en andere micro-metalen. Omdat het materiaal een gering elektrisch geleidingsvermogen heeft, vermindert het wervelstromen en daardoor blijven wervelstroomverliezen laag. Een speciale eigenschap van deze materialen is hun sterke afhankelijkheid van frequentie, magnetische fluxdichtheid en temperatuur.

Complexe permeabiliteit

De magnetische eigenschappen van materialen kunnen worden beschreven door de 'magnetische permeabiliteit' μ . μ beschrijft een eigenschap die de magnetische respons van de fluxdichtheid B kwantificeert wanneer het materiaal wordt blootgesteld aan een magnetische veldsterkte H . Het is evenredig met de magnetische veldsterkte en met de verhouding van de veranderingen in B en H (**vergelijking 3**):

$$\mu = \frac{\Delta B}{\Delta H} \quad (3)$$

De waarde van de absolute permeabiliteit μ drukt de directe verhouding uit tussen B (T) en H (A/m), met als SI-eenheid (H/m). De relatieve permeabiliteit heeft geen eenheid en is de verhouding tot de permeabiliteit van vacuüm (μ_0) en wordt meestal gespecificeerd in databladen van spoelen. De relatieve waarden geven een gemakkelijk te begrijpen indicator aan van de mate waarin het materiaal in kwestie het magnetische veld 'beter' concentreert dan vacuüm. Dit resulteert in de relatie van **vergelijking 4**:

$$\mu = \mu_r \cdot \mu_0 \quad (4)$$

met μ_0 de magnetische permeabiliteit van vacuüm = $1,26 \times 10^{-6}$ (H/m).

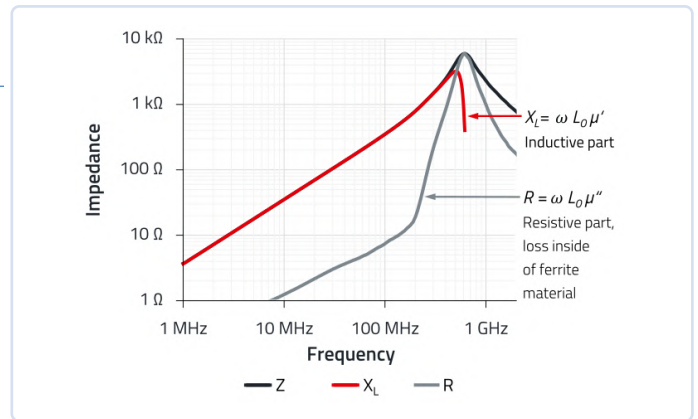
De meeste ferrietmaterialen die gebruikt worden zijn ijzerpoeder-mengsels met toevoegingen van mangaan-zink (MnZn) en nikkel-zink (NiZn); μ_r ligt meestal in het bereik van 600 tot 15.000 voor MnZn en 10 tot 1500 voor NiZn. Het is belangrijk op te merken dat de relatieve permeabiliteit sterk afhangt van de frequentie van het magnetische veld. Daarom geven de curven in figuur 4 al aan dat de relatieve magnetische permeabiliteit twee componenten heeft, een reële component μ_r' en een imaginaire component μ_r'' . Deze complexe permeabiliteit wordt relevant bij hoogfrequente magneetveldeffecten waarbij een faseverschuiving optreedt tussen H en B . Deze relatie resulteert in **vergelijking 5**:

$$\mu = \frac{B_0 \cdot e^{j(\omega t - \delta)}}{H_0 \cdot e^{j\omega t}} = \frac{B_0}{H_0} \cdot e^{-\delta} = \frac{B_0}{H_0} \cdot \cos(\delta) - j \cdot \frac{B_0}{H_0} \cdot \sin(\delta) \quad (5)$$

Toegepast op een spoel met ferrietkern resulteert dit in **vergelijking 6** en **vergelijking 7**:

$$L_S = \mu' \cdot L_0 \quad (6) \quad \text{en} \quad R_S = \omega \cdot L_0 \cdot \mu'' \quad (7)$$

waarbij L_0 de inductie van de wikkeling zonder ferriet is.



Figuur 5. Impedantiecurven van de spoel WE-RFI 744760256A.

De relatie van **vergelijking 8** is daarom van toepassing:

$$\underline{Z} = j \cdot \omega \cdot L_0 \cdot (\mu' - j \cdot \mu'') = R + j \cdot X_L \quad (8)$$

met L_0 de inductie zonder ferriet.

Uit de formules is gemakkelijk af te leiden dat een hoge permeabiliteit leidt tot een hoge zelfinductie, maar dit gaat meestal ook gepaard met hogere kernverliezen.

De afzonderlijke componenten van de impedantie, dus $Z(f)$, $X_L(f)$ en $R(f)$, worden gegeven in de databladen van ferrietspoelen. **Figuur 5** geeft nogmaals de impedantiegrafieken van de WE-RFI 744760256A spoel.

Dit maakt ook duidelijk waarom de impedantiecurven van groot belang zijn voor een goed werkende schakeling bij het gebruik van spoelen met een ferrietkern. De impedantie (Z) is een vectorcombinatie van weerstand en fase. De ohmse weerstand R heeft een dissipatieve eigenschap; energie wordt omgezet in warmte en niet teruggewonnen. De reactantie X_L is het deel van de impedantie dat wordt veroorzaakt door de inductie. De fase is de vertraging tussen een spanning die op de component wordt gezet en de stroom die door de component loopt. Zowel de ohmse weerstand als de reactantie variëren met de frequentie en dus ook de fase.

Maar dat is niet alles. Magnetische materialen vertonen verzadigingseffecten die boven bepaalde frequenties voornamelijk afhangen van de magnetische fluxdichtheid, dat wil zeggen van de stroom die door de spoel vloeit. Dit wordt kernverzadiging genoemd, een effect dat een 'luchtspoel' niet ondervindt. **Figuur 6** toont de impedantie van de twee spoelen WE-RFI 744760256A en WE-CBF 742792653 met verschillende DC-bias als functie van de frequentie. Het verschil is duidelijk zichtbaar.

Draadgewonden spoelen zijn minder gevoelig voor DC-bias dan SMT-ferrietspoelen bij dezelfde nominale stroom.

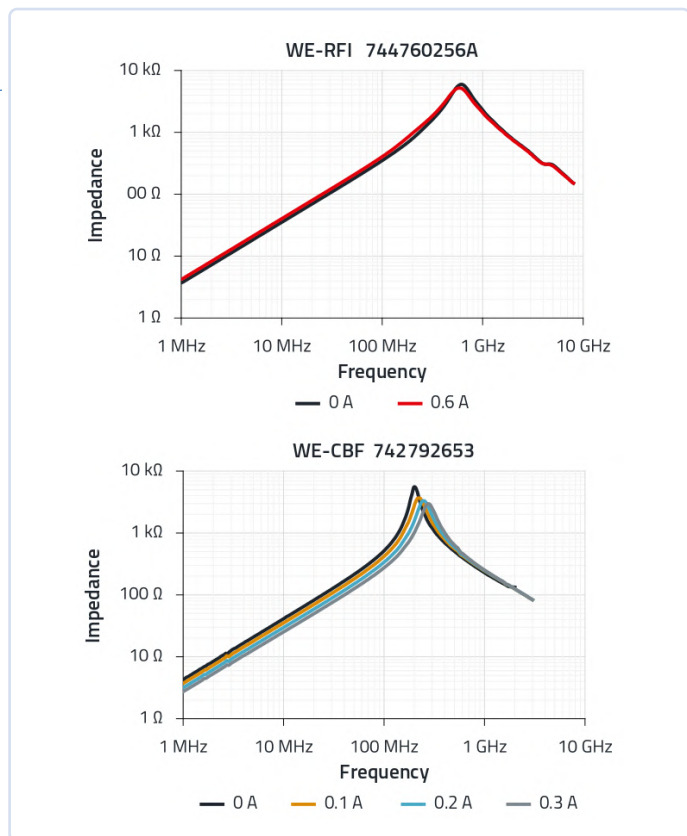
De invloed van biasmagnetisaties van verschillende sterkte op de impedantiecurven kan voor alle onderdeelnummers worden gesimuleerd met het online simulatieplatform RedExpert van Würth Elektronik [4].

Aanbevolen toepassingsgebieden voor inductoren

Tabel 1 geeft een overzicht van de belangrijkste parameters van de drie inductortypes en hun aanbevolen toepassingsgebieden.

Aspecten van het meten van impedantiegedrag en gedetailleerde tips over het gebruik van de juiste spoel in diverse toepassingen vallen buiten het bestek van dit artikel.

De AppNote ANP129 van Würth Elektronik [5], waarop dit artikel is gebaseerd, suggereert een meer gedetailleerde opstelling voor



Figuur 6. Impedantie van de twee spoelen WE-RFI 744760256A en WE-CBF 742792653 met verschillende DC-biasstroom als functie van de frequentie.



Over de auteur

Dr.-Ing. Heinz Zenkner studeerde elektrotechniek met de nadruk op communicatie- en radiofrequentietechnologie en is gepromoveerd. Hij is al vele jaren een door de overheid aangestelde en beëdigde expert voor EMC. Naast talrijke wetenschappelijke publicaties is hij een frequent auteur van vele werken over EMC. Heinz heeft ook gewerkt als docent aan verschillende universiteiten, bij de Kamer van Koophandel en Industrie en op talloze seminars. Hij is al vele jaren betrokken bij industriële elektronica, van het eerste idee van een product tot serieproductie. Hij is vooral geïnteresseerd in draadloze energietransmissie, waarvoor hij zijn eigen theoretische en praktische concepten heeft ontwikkeld.

het meten van impedantiegedrag en presenteert een eenvoudige methode voor het meten van impedantie. Daarnaast worden de verschillende toepassingsgebieden van de verschillende inductortypen geïllustreerd aan de hand van het voorbeeld van een 20MHz-sigitaalgenerator. [K](#)

240520-03

Tabel 1. Overzicht en vergelijking van de belangrijkste parameters van SMT-ferrietspoel, keramische spoel en draadgewonden ferrietspoel.

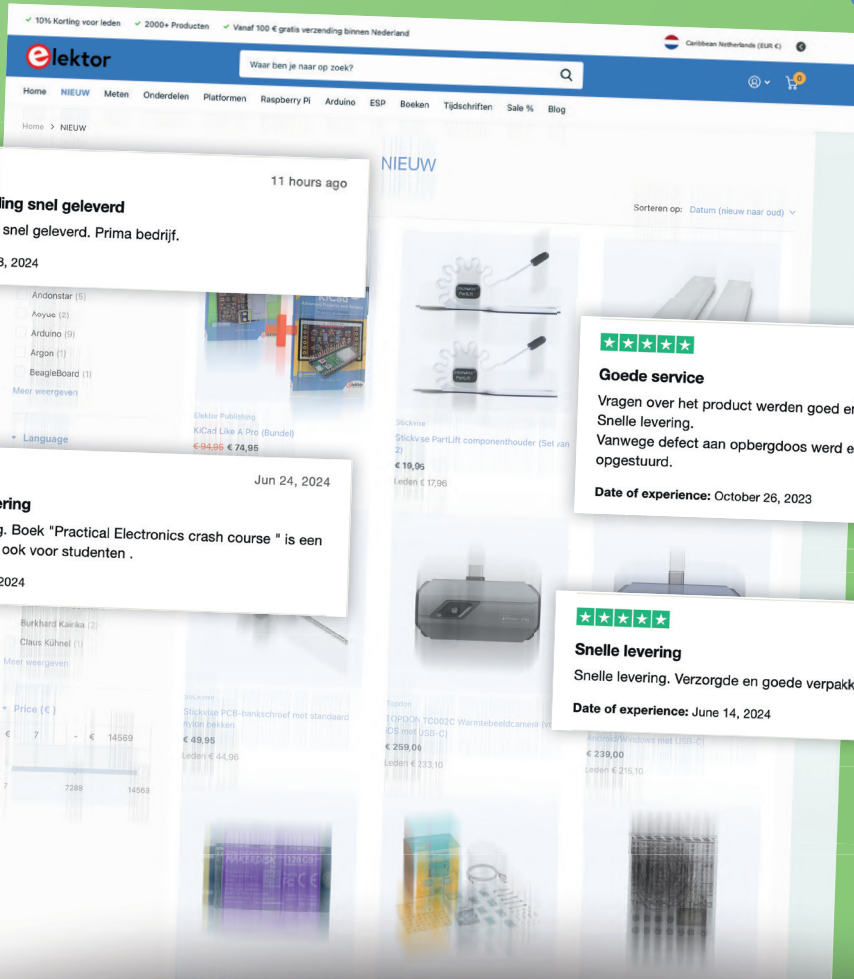
Parameter	SMT ferriet	Keramische inductor	Draadgewonden ferriet inductor
Inductantiebereik	---	laag	hoog
Impedantiebereik	hoog	laag	hoog
Tolerantie van de inductor	hoog	zeer laag	laag
Nominaal stroombereik	hoog	zeer hoog	laag
Verliesweerstand RDC	laag	zeer laag	gemiddeld/hoog
Eigenresonantiefrequentie	hoog	zeer hoog	laag/gemiddeld
Vorm van de resonantiefrequentie (bandbreedte)	breed	smal	smal, meervoudig
Kwaliteitsfactor Q in het bereik onder de resonantiefrequentie	laag	zeer hoog	gemiddeld
Voorkeusapplicatie	verzwakking/reductie van HF-stromen	HF-filters en resonantiekringen	HF-ontkoppeling, steile filters, verzwakking/reductie van HF-stromen

WEBLINKS

- [1] SMT-ferriet WE-CBF van Würth Elektronik: <https://www.we-online.com/en/components/products/WE-CBF>
- [2] SMT-inductor met keramische kern van Würth Elektronik: <https://www.we-online.com/en/components/products/WE-KI>
- [3] Draadgewonden SMT-kraalferriet van Würth Elektronik: https://www.we-online.com/en/components/products/WE-RFI_FERRITE_BEAD
- [4] Voorbeeldsimulatie in RedExpert: <https://we-online.com/re/5oGcZLA5>
- [5] Zenkner, H., "Inductors, SMT ferrites and wire-wound SMT ferrites - The wire makes the difference," AppNote ANP129 van Würth Elektronik: <https://www.we-online.com/ANP129>

Zij vertrouwen ons, u ook?

elektor.nl



Wij houden van elektronica en van projecten, en doen ons uiterste best om u te helpen aan de behoeften van onze klanten te voldoen.

De Elektor Store: 'Nooit duur, altijd verrassend'

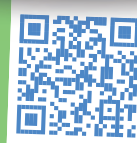
Elektor Store

Reviews 606 • Excellent



✓ VERIFIED COMPANY

Bekijk meer beoordelingen op onze Trustpilot-pagina: www.elektor.com/TP/nl



of oordeel zelf door een bezoek te brengen aan onze Elektor Store, www.elektor.nl



EMC-conformiteit bereiken met EMI-afscherming

Mark Patrick (Mouser Electronics)

In dit artikel bespreken we het belang van afscherming tegen elektromagnetische interferentie (EMI) voor het bereiken van conformiteit voor elektromagnetische compatibiliteit (EMC), met name in de context van moderne technologieën zoals 5G en het Internet of Things (IoT). In dit artikel onderzoeken we ook diverse EMI-afschermingstechnieken, -materialen en -strategieën die ingenieurs in het ontwerpproces kunnen toepassen om interferentie tegen te gaan en de betrouwbaarheid van het product te garanderen.

Technologische ontwikkelingen, zoals de uitdijende beschikbaarheid van 5G en de groeiende populariteit van het Internet of Things (IoT), vergroten de noodzaak tot afscherming tegen elektromagnetische interferentie (EMI). EMC-conformiteit bereiken en EMI-bronnen vroeg in de ontwerp-fase verminderen zijn van cruciaal belang om inefficiëntie te elimineren, kostbare herontwerpen te vermijden en vertragingen bij de productlancering te voorkomen. In elk ontwerpelement of subsysteem – van behuizing over module tot printplaat ('pcb' of 'printed circuit board') – kan EMI-afscherming ingebouwd worden.

Ingenieurs hebben de keuze uit een uitgebreide reeks afschermingsopties voor elke fase van het ontwerpproces in haast alle mogelijke toepassingen, van commerciële toepassingen in energie-infrastructuur en defensie tot auto's. Dit artikel wil ingenieurs enig inzicht geven in de technologische ontwikkelingen die een uitdaging vormen voor bestaande EMI-afschermingstechnieken en een overzicht geven van de verkrijgbare materialen.

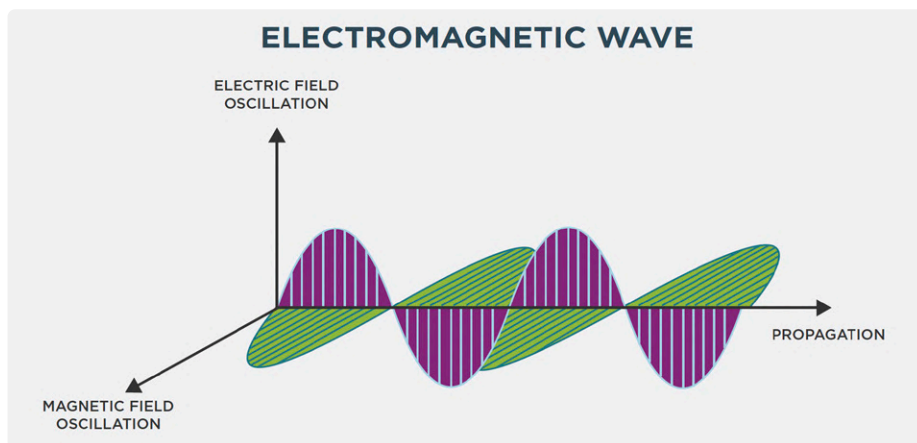
Elektromagnetische interferentie is overal

Elektromagnetische velden treden in zo goed als elke schakeling op. Wisselstroom die door een draad of printspoor loopt, wekt rondom zijn pad oscillerende elektrische velden en magnetische fluxlijnen op (**figuur 1**). Worden die velden

geïnduceerd of verspringen ze naar een ander circuit of een andere verbinding, dan worden ze ongewenste ruis of interferentie. Die ongewenste ruis, aangeduid met de algemene term EMI, kan de werking van dat andere circuit verstoren of ermee interfereren.

Een elektrostatische ontlading (ESD of electrostatic discharge) is een andere vorm van EMI. Elektrostatische ontladingen vertonen eerder een wisselende frequentie, terwijl EMI doorgaans constant is. Elke kortstondige transiënte overspanning ('high dV/dt') kan een slechte werking van of permanente schade aan gevoelige elektronische systemen veroorzaken. De meeste elektronische systemen, zoals klokschakelingen, snelle digitale schakelaars, DC/DC-converteren en draadloze interfaces wekken onbedoelde EMI op.

Die EMI-emissies vinden via geleiding of straling hun weg in andere schakelingen. Zo kunnen kloksignalen die via een printspoor worden getransporteerd straling uitzenden, vaak op meer dan 10 MHz, omdat zo'n printspoor als antenne werkt. De achterlig-



Figuur 1. De magnetische en elektrische velden van een elektromagnetische golf (bron van alle figuren: Kemtron Ltd, nu onderdeel van TE Connectivity).

gende gedachte van EMC is dat een circuit of systeem immuun moet zijn voor EMI (**figuur 2**).

Marktdynamiek en -trends

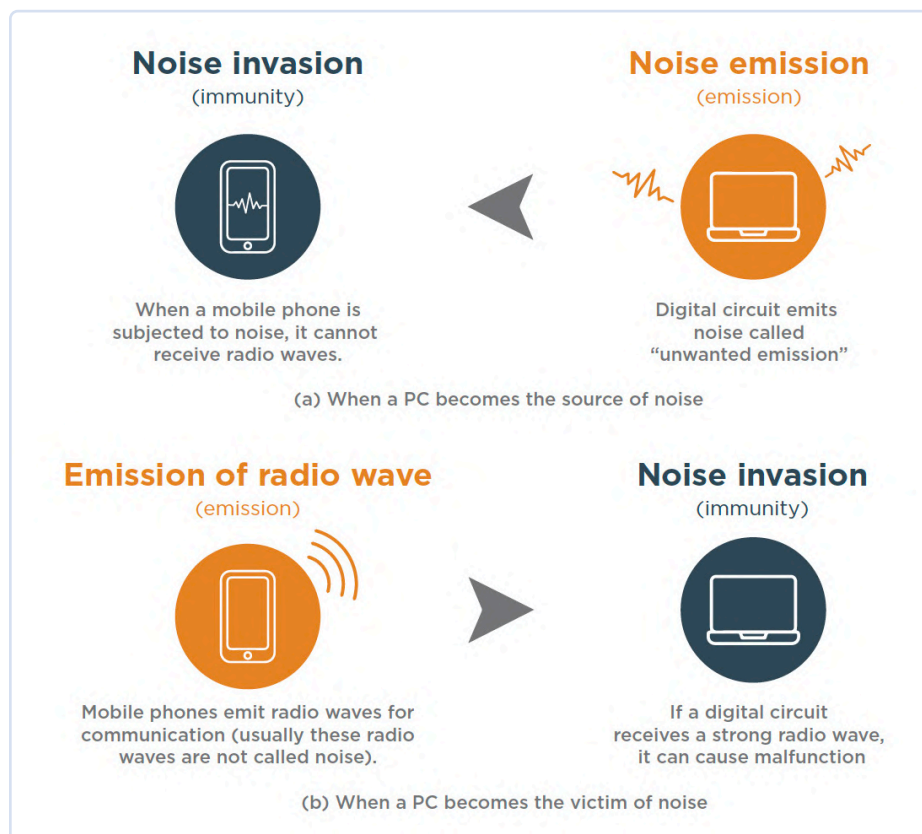
Permanente connectiviteit is alomtegenwoordig geworden. Onze samenleving vond nooit eerder zoveel baat bij een betrouwbare en veerkrachtige communicatie-infrastructuur als nu, en dit zowel thuis, onderweg, op het werk als in de auto. De opkomst van het IoT en zijn industriële tegenhanger, het IIoT (Industrial Internet of Things), en de groei van mobiele communicatie hebben onze behoefte aan en onze afhankelijkheid van draadloze communicatie vergroot, die omgekeerd helaas gevoelig voor en een potentiële bron van EMI is. De uitrol van draadloze 5G-infrastructuur die gebruikmaakt van een voorheen onbenut ultrahoogfrequent radiospectrum maakt het optreden van EMI des te waarschijnlijker. Daarom is het nu belangrijker dan ooit om producten immuun tegen EMI te maken.

Normen voor elektromagnetische compatibiliteit

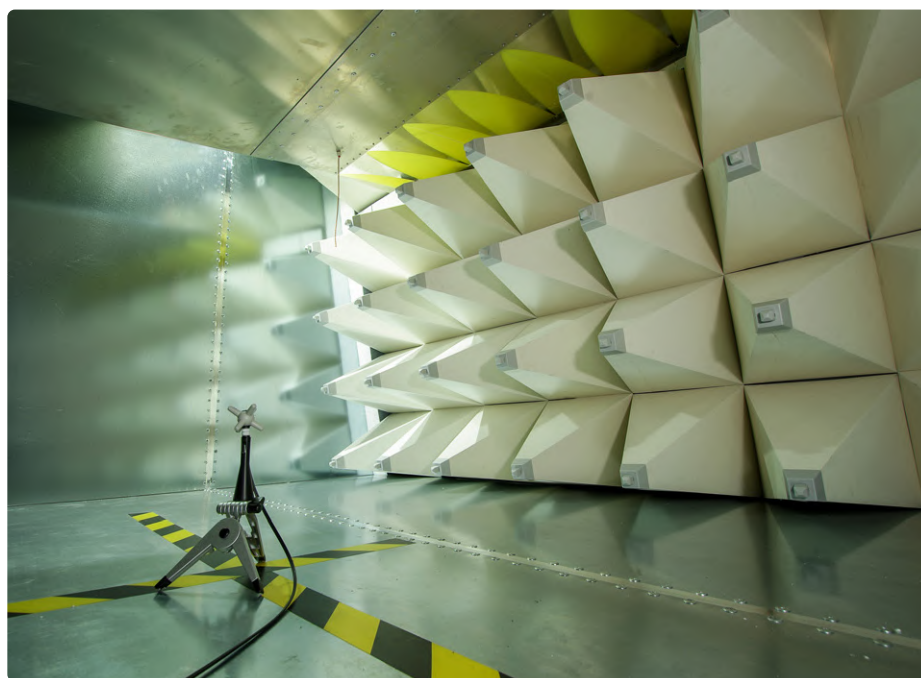
Nationale en regionale EMC-normen, die doorgaans in overeenstemming zijn met internationaal erkende EMC-normen (**figuur 3**), leggen specificaties vast waaraan producten moeten voldoen voordat ze worden verkocht. De normen stipuleren de maximaal toegestane emissies voor een ontwikkeld product en de immuunheid of gevoeligheid ervan voor uitgestraalde of geleide emissies. Bij elke nieuwe productontwikkeling doen ontwerpingenieurs er goed aan bij de prototypingfase al rekening te houden met het inbouwen van potentiële maatregelen tegen EMI en voor EMC in plaats van als nagedachte. Een degelijk begrip van de toepasselijke EMI- en EMC-normen, plausibele emissiebronnen en de kringen die wellicht gevoeliger zijn voor EMI-ruis is van eminent belang (zie **tabel 1**).

EMC-certificering behalen

Hoewel een geaccrediteerde EMC-testinstelling alleen de EMC-certificering mag uitvoeren, kan het technische team op heel wat punten zelf onderzoek uitvoeren voordat het product naar het testlaboratorium wordt



Figuur 2. Immuunheid tegen EMI-emissies staat centraal voor het bereiken van EMC-conformiteit.



Figuur 3. Tests voorafgaand aan de conformiteitstests op EMI-emissies.

Tabel 1. Populaire EMI- en EMC-normen per sector en toepassing.

Application / Industry	EMC Standard
Aerospace, Defense and Marine equipment	DEF STAN 59-411 MIL-STD-461 MIL-STD-704 MIL-STD-1275 MIL-STD-1399
Automotive components	IEC CISPR 25 ISO 11451 ISO 11452 ISO 7637 SAE (multiple numbers)
Commercial equipment	FCC Part 15 class B IEC 61000-6-1 (generic) IEC 61000-6-3 (generic)
Industrial devices	FCC Part 15 class A IEC 61000-6-2 (generic) IEC 61000-6-4 (generic)
Medical devices	IEC 60601-1-2
Power station and substitution equipment	IEC 60000-6-5
Power station and measurement equipment (<1000 V AC, 1500 V DC)	IEC 61326-1
Switch gears and control gears (1000 V AC, 1500 V DC)	IEC 60947-1

IEC: International Electrotechnical Commission
ISO: International Organization for Standards
SAE: Society of Automotive Engineers
FCC: Federal Communications Commission

(Bron: Kemtron Ltd, nu onderdeel van TE Connectivity)

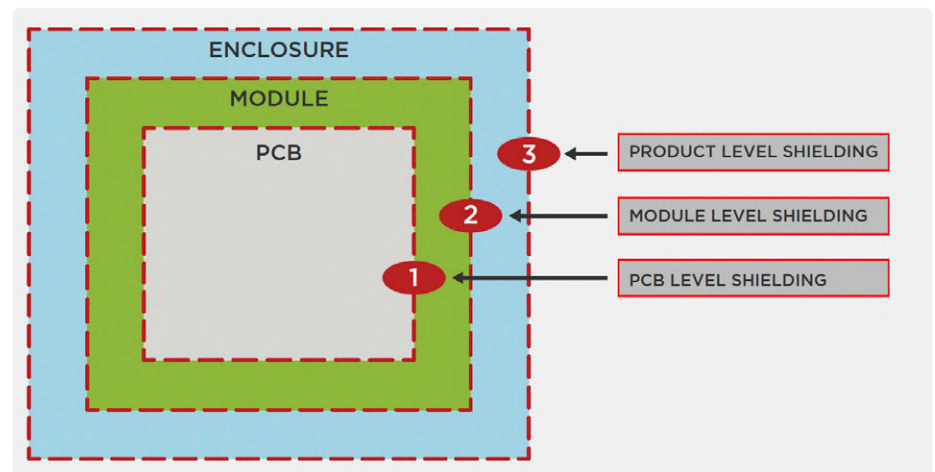
gebracht. Basismetingen van uitgestraalde en geleide emissies met een spectrumanalyse-instrument of een EMI-ontvanger uitgerust met de passende H- en E-veldsondes zullen aanwijzingen geven over de noodzaak tot verdere tests of EMI-tegenmaatregelen. Voor een klein productontwerpteam is dit dure testapparatuur in de aanschaf, maar gespecialiseerde verhuurbedrijven voor EMI-test- en -meetapparatuur bieden een voordelig alternatief. Tests voorafgaand aan de conformiteitstests zijn stellig aanbevolen, want hiermee kan het ontwerpteam potentiële bronnen van storing lokaliseren en technieken inzetten om EMI te verminderen, zoals afscherming, aardvlakken en ontkoppeling. Een product blootstellen aan EMI-emissies is eveneens belangrijk.

EMI-afschermingsklassen

EMI verminderen en de werking van schakelingen immuun maken voor EMI

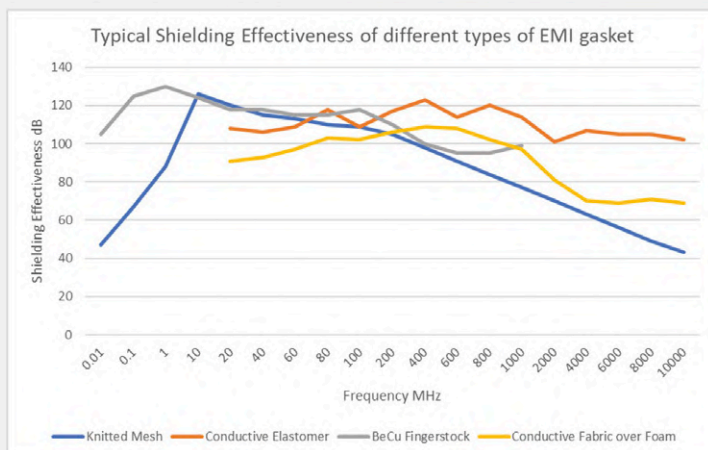
vergt een systematische benadering in alle stappen van het productontwerpproces. Dit laatste behelst aspecten van het printontwerp, de integratie van aardvlak-

ken en het scheiden van sterk ruis producerende schakelingen van gevoelige analoge signaalketens. Afschermingscomponenten, -modules en functionele onderdelen



Figuur 4. De drieledige aanpak bij de implementatie van EMI-afscherming.

SHIELDING EFFECTIVENESS



KNITTED WIRE MESH

H field (magnetic)
shielding 62dB @
10Khz achievable.
SE falls off after 1GHz

CONDUCTIVE ELASTOMERS

Shielding with wide
frequency range,
>100dB upto 10GHz
E field.

FABRIC OVER FOAM

Shielding with wide
frequency range,
>100dB upto 10GHz
E field.

BERYLLIUM COPPER FINGERS

Shielding with wide
frequency range,
>100dB upto 10GHz
E field.

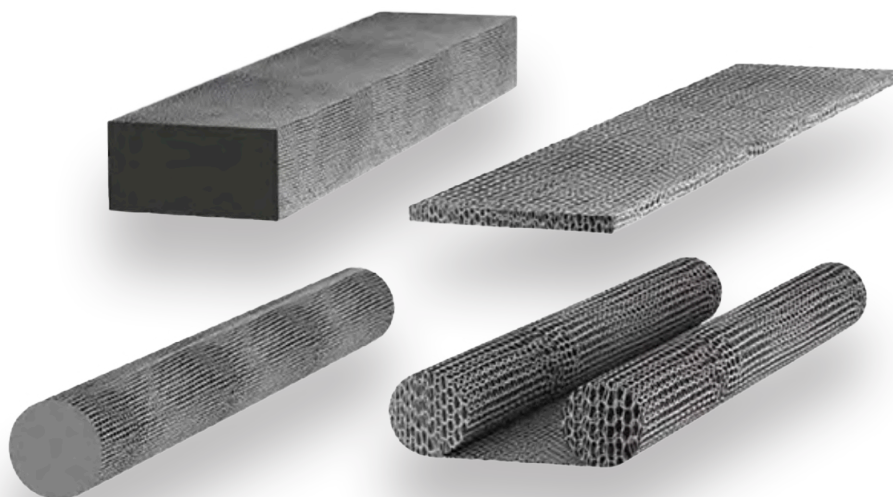
Figuur 5. De EMI-dempende karakteristieken van vier afschermingsmethoden als functie van de frequentie.

bieden voor veel toepassingen een praktische aanpak op basis van een driedelige methodiek, namelijk gericht op behuizing, module en print (**figuur 4**).

Uitgestraalde emissies worden afgeschermd door rondom de EMI-bron een kooi van Faraday te bouwen. Een afscherming op het niveau van de behuizing vermindert het binnendringen en ontsnappen van alle mogelijke bronnen van storing. Sommige circuitfuncties vergen echter extra niveaus van bescherming om de inwerking van interne EMI op de werking van andere circuits te voorkomen. Afscherming op module-niveau is nuttig en wordt doorgaans toegepast rond draadloze modules, schakelende DC/DC-omvormers en LC-displays. Een afscherming op print-niveau kan noodzakelijk zijn voor gevoelige componenten, zoals een ADC-IC. Afscherming is ook van belang voor alle soorten verbindingen; vergeet dus zeker niet om uitgestraalde emissies via kabelwartels, stekkers en pluggen tegen te gaan.

Materialen voor EMI-afscherming

EMI-afschermingscomponenten zijn onder meer omhullingen van draadgaas, elektrisch geleidende elastomeren, elektrisch geleidende weefsels en metalen vingerpakkingen. Elk type materiaal vertoont enigszins andere EMI-dempende



Figuur 6. De Kemtron-draadgaaspakkingen van TE Connectivity zijn verkrijgbaar per strekkende meter en in specifieke maten.

eigenschappen en is bedoeld voor specifieke gebruikssituaties. **Figuur 5** illustreert het frequentiedempende vermogen van deze vier soorten afscherming.

Draadgaas: meerdere lagen geweven draad op een spons- of buisvormige kern (vervaardigd van verschillende gaasmaterialen) vormt een effectieve EMI-oplossing en biedt galvanische compatibiliteit. Met de weeftechniek kan de afscherming aangepast worden aan complexe vormen

en verbindingen met draagmaterialen die bescherming bieden tegen binnendringen van storing. Afscherming met gaas is geschikt in diverse gebruikssituaties, zoals kastdeuren, deksels en afneembare afdekkingen. De effectiviteit van de afscherming neemt doorgaans af boven 1 GHz, tenzij er extra lagen worden aangebracht. Een voorbeeld is het Kemtron-portfolio draadgaas-pakkingen van TE Connectivity (**figuur 6**), verkrijgbaar op lengte gesneden of als kant-en-klare pakking [1].



Figuur 7. Elektrisch geleidende elastomeren van Kemtron/TE Connectivity bieden een dempend vermogen tot 100 dB bij 10 GHz.

Elektrisch geleidende elastomeren:

deze zijn verkrijgbaar van diverse materialen en vormen bij Kemtron Ltd, nu onderdeel van TE Connectivity (**figuur 7**). Ze bieden een demping van meer dan 100 dB tot 10 GHz [2]. Mogelijke vulmaterialen zijn verzilverd aluminium en vernikkeld grafiet; opties voor bindmiddelen omvatten siliconen of fluorsiliconen. Tot de populaire vormen behoren vellen, platte pakkingen en O-ringen. 'Jam nut' O-ringpakkingen zijn expliciet vervaardigd voor RF EMI-afschermingsdoeleinden en zijn beschikbaar in de meest populaire connectorformaten [3].

Honingraat-ventilatieafdekking: voor toepassingen van geforceerde koeling met een ventilator biedt de ventilatieopening een directe uitgang voor storing om uit de anderszins EMI-dichte behuizing te ontsnappen. Een honingraat-ventilatieaf-

dekking van Kemtron/TE Connectivity kan dit beletten. Deze bieden naast EMI-demping een toereikend luchtdebiet dankzij de gelamineerde, enkellaags honingraat-celconstructie van aluminiumfolie. De ventilatieafdekkingen zijn verkrijgbaar in alle populaire ventilatorformaten van 40 mm tot 120 mm [4].

EMC-conformiteit bereiken met EMI-afschermingen

EMI ten gevolge van ongewenste emissie vanuit apparatuur verstoort de betrouwbare werking van systemen. EMC bereiken is een wettelijke verplichting en een noodzaak om onvoorspelbaar systeemgedrag te voorkomen. Dit korte artikel belichtte een aantal afschermingsmethoden die ingenieurs kunnen inzetten om de EMI-immuniteit te verbeteren. ◀

240531-01



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 engineers 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 'hands-on' engineer 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] Draadgaas: <https://www.mouser.de/new/te-connectivity/te-kemtron-knitted-wire-mesh-gaskets/>
- [2] Elektrisch geleidende elastomeren: <https://www.mouser.de/new/te-connectivity/te-kemtron-emi-connector-gaskets/>
- [3] Jam Nut Seals: <https://www.mouser.de/new/te-connectivity/te-kemtron-jam-nut-seals/>
- [4] Honingraat-ventilatieafdekkingen: <https://www.mouser.de/new/te-connectivity/te-kemtron-honeycomb-air-vents/>

De perfecte tool voor elke elektronicaliefhebber

eindeloze mogelijkheden met Red Pitaya en 1.000+ Click Boards™

Een bijdrage van Red Pitaya

Voor elke elektronicaontwikkelaar die projecten naar een hoger niveau wil tillen is een Red Pitaya-board het perfecte hulpmiddel. Dit revolutionaire open-source platform combineert meerdere instrumenten in één compact apparaat, waardoor het een must-have is voor ingenieurs, hobbyisten en onderzoekers. Het Red Pitaya-board wordt ook wel het Zwitserse zakmes van de elektronica genoemd en vervangt een scala aan laboratoriumapparatuur zoals oscilloscopen, signaalgeneratoren en spectrumanalyzers en levert daarbij krachtige functionaliteiten in een compact en betaalbaar pakket ter grootte van een creditcard. Met een open-source ontwerp bevordert het ook de innovatie door gebruikers in staat te stellen eigen applicaties te ontwikkelen en deze te delen, waardoor het de ultieme alles-in-één oplossing is voor elektronica-projecten.

Waarom Red Pitaya?

- > **Veelzijdigheid op zijn best:** een Red Pitaya-board kan worden aangepast aan een breed scala aan toepassingen, van signaalverwerking en telecommunicatie tot robotica en IoT-projecten. Dankzij een modulair ontwerp kunt u het altijd aanpassen aan uw specifieke behoeften.
- > **Kosteneffectieve innovatie:** zeg vaarwel tegen dure, gespecialiseerde apparatuur. Een Red Pitaya-board biedt deze hoogwaardige functionaliteit voor

een aanvaardbare prijs waardoor deze geavanceerde elektronica voor vrijwel iedereen toegankelijk is.

- > **Draagbaar en gemakkelijk:** het creditcardformaat van het Red Pitaya-board betekent dat u uw lab overal mee naartoe kunt nemen. In het veld of aan de werkbank: Red Pitaya is uw trouwe metgezel.
- > **Open-source community:** sluit aan bij een wereldwijd netwerk van enthousiastelingen en professionals die toepassingen, tutorials en ideeën delen. Met de uitgebreide documentatie en ondersteuning zult u zich nooit verloren voelen.

Maak kennis met het Red Pitaya Click Shield: eindeloze mogelijkheden

Alsof Red Pitaya nog niet veelzijdig genoeg was, tilt het nieuwe Red Pitaya Click Shield het systeem naar een geheel nieuw niveau. Met dit innovatieve uitbreidingsboard kunt u meer dan 1.000 verschillende Click-boards™ van MikroElektronika verbinden, waardoor een wereld aan mogelijkheden wordt geopend. Deze reeks plug-and-play modules omvat bijna alles, van sensoren en communicatie-interfaces tot motorcontrollers en displays. Met het Red Pitaya Click Shield is het integreren van nieuwe functionaliteiten in projecten eenvoudiger dan ooit tevoren.

Wat is het Red Pitaya Click Shield?

Het Red Pitaya Click Shield fungeert als brug tussen Red Pitaya en het uitgebreide assortiment Click boards™. Het maakt naadloze integratie mogelijk zonder dat complexe bedrading of diepgaande technische kennis nodig is. Bevestig gewoon het Click Shield aan Red Pitaya, sluit de gekozen Click boards™ aan en u bent klaar om te innoveren.

Hoe Red Pitaya Click Shield bij uw projecten helpt

- > **Grenzeloos maatwerk:** stelt u zich voor dat u met minimale inspanning vrijwel elke functionaliteit toevoegt die nodig is. De omgeving monitoren, motoren aansturen of draadloze communicatie implementeren? Voor alles bestaat een Click board™!
- > **Gebruiksgemak:** het Red Pitaya Click Shield is ontworpen voor naadloze integratie en elimineert ingewikkelde instellingen. Niet solderen of ingewikkelde bedrading aanleggen, sluit gewoon het Click board™ aan en begin met innoveren.
- > **Kosteneffectief:** breid de mogelijkheden van Red Pitaya uit zonder te investeren in prijzige gespecialiseerde apparatuur. Het Red Pitaya Click Shield is een budgetvriendelijke manier om de reikwijdte van projecten uit te breiden.
- > **Gebruikersgemeenschap:** met een grote gebruikersgemeenschap en uitgebreide documentatie beschikt u over alle middelen om te slagen. Deel ideeën, doe inspiratie op en krijg hulp wanneer dat nodig is. ◀

vertaling: Adrie Kooijman — 240590-03



Bezoek ons op de electronica 2024 beurs, stand A3/572!

We verheugen ons om onze Red Pitaya boards en het nieuwe Red Pitaya Click Shield te kunnen presenteren op de komende **electronica, van 12 tot 15 november in München**. Of u nu een doorgewinterd engineer bent of nieuw bent in de elektronica, dit is de kans om uit de eerste hand te zien hoe dit veelzijdige platform projecten naar een hoger niveau kan tillen.

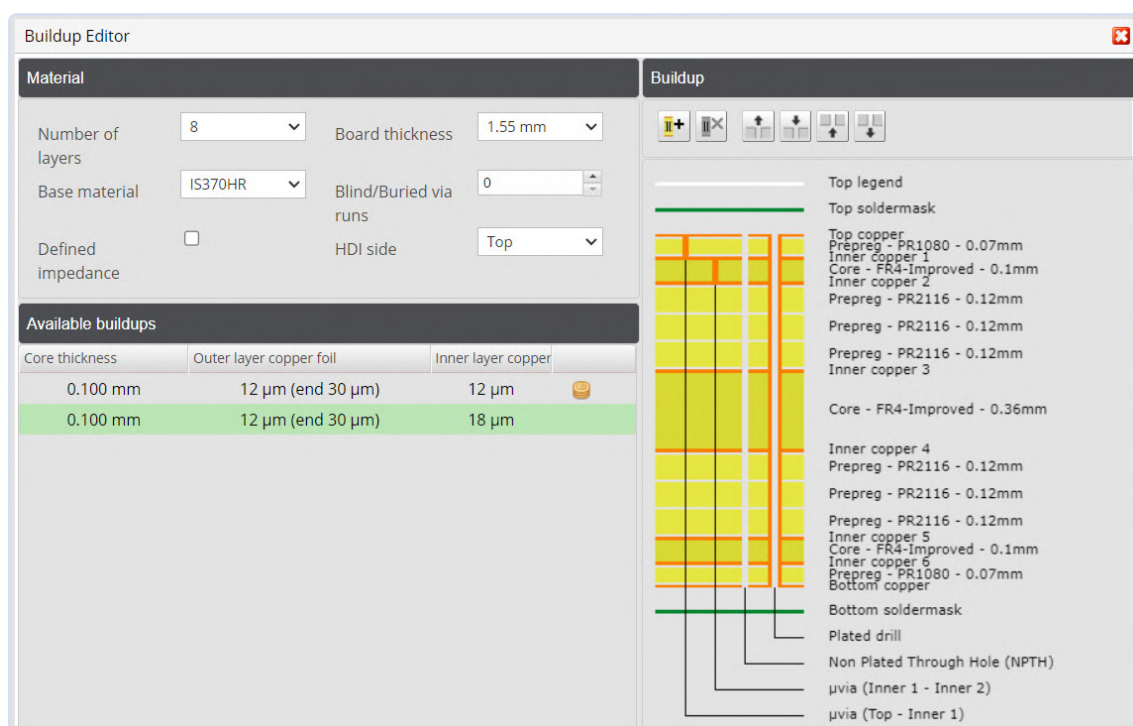
HDI in het midden

een nieuwe kosteneffectieve PCB-poolingservice voor kleine BGA's

Een bijdrage van Eurocircuits

Soms is er een onderdeel dat we echt nodig hebben, maar is het alleen beschikbaar in een 'fine pitch' BGA-behuizing – het gebruik ervan zou ons ontwerp over de grens van 'standaard PCB-technologie' duwen, richting HDI. HDI betekent technisch 'high density interconnect', en in de praktijk betekent het dat we kunnen ontwerpen met kleinere isolatieafstanden en dunnere sporen. En we kunnen 'microvias' gebruiken: via's met kleinere pads en kleinere boorgaten dan normaal mogelijk is met mechanisch boren.

HDI maakt miniaturisatie mogelijk, wat geweldig is, maar het kan vervelend zijn als het ons 'opgedrongen' wordt door een enkel klein onderdeel, waardoor de print als geheel te duur wordt. Bij Eurocircuits hebben we de oplossing – 'in het midden' – die onze klanten kan helpen om zowel de ergernis als de kosten aan te pakken. Onze HDI-pool (**figuur 1**), een 8-laags opbouw, behoudt de 'standaardtechnologie' patroonclassificaties zoals ze zijn, en voegt microvias toe tussen lagen 1-2 en 2-3 of tussen 8-7 en 7-6. Dit stelt onze klanten



Figuur 1. Onze 8-laags HDI-poolopbouw.

Pattern and hole size classification (μm)

Revision 20242808-1

Pattern classification

		7	8	9
Copper clearance, any layer	≥	125	100	90
Pad diameter, outer layers Add this value to N/PTH diameter	≥	+350	+300	+300
Pad diameter, inner layers Add this value to N/PTH diameter	≥	+350	+350	+300
Clearance from PTH, inner layers From hole edge	≥	250	250	250
Clearance from NPTH, inner layers From hole edge	≥	200	200	200
HDI microvia pad diameter Available only for layers 1-2 and 2-3	≥	280	230	210
HDI microvia diameter Available only for layers 1-2 and 2-3	=	100	100	100

Hole diameter classification

		A	B	C	D	E
Plated through-hole (PTH) diameter	≥	500	350	250	150	100
Non-plated through-hole (NPTH) diameter	≥	600	450	350	250	200
Max PCB thickness (mm)	=	3.20	3.20	2.40	2.00	1.60



in staat om te ontwerpen met die 'fine pitch' BGA's, waarbij de kosten beheersbaar blijven, omdat de 'HDI' beperkt blijft tot slechts een klein gebied en tot twee microvia-'runs'.

In de praktijk

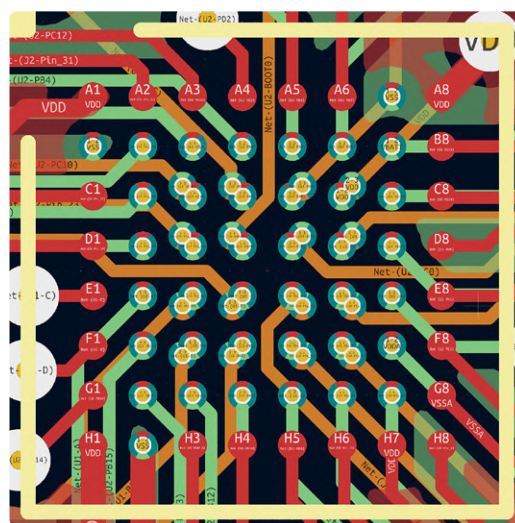
Wat betekent dit in de praktijk? Laten we kijken naar patroonklasse 7 met boorklasse E (figuur 2), waar de kleinste paddiameter 0,45 mm is (0,1 + 0,35 mm); dat past niet in de meeste 'fine pitch' BGA-pad-diameters. Wanneer we echter dezelfde classificatie samen met de HDI-pool gebruiken, wordt de kleinste diameter 0,28 mm, wat wel past! Dit stelt ontwerpers in staat om via's in het midden van BGA-pads te plaatsen zonder de pads groter te hoeven maken dan de aanbevelingen van de fabrikant. De kleinere microvia-pads betekenen ook dat het gebruik van dogbone-patronen een mogelijkheid wordt.

Het is uiteraard onmogelijk om alle BGA-pinafstanden en hun aansluitpatronen te onderzoeken om te bepalen welk onderdeel routeerbaar is en welk niet. We hebben echter onze poolparameters zo geconfigureerd dat 8x8 arrays volledig routeerbaar zouden moeten zijn voor BGA's tot 0,4 mm pitch (figuur 3 toont een voorbeeld van een volledig uitgerold 8x8 0,4mm-pitch-onderdeel.) Maar natuurlijk zijn grotere arrays ook mogelijk, en het hangt allemaal af van de grootte van de array, de pinconfiguratie en hoe die pinnen worden gebruikt. In veel behuizingen zijn

er 'no connect'-pinnen, en in de meeste ontwerpen worden niet alle pinnen van een microcontroller of processor gebruikt, wat het routen van grote BGA-arrays met slechts twee microvia-'runs' kan vergemakkelijken.

Wat nu? We nodigen u uit om uw ontwerpen te uploaden naar onze Visualizer [1] en ze te controleren op maakbaarheid. Zoals altijd verwelkomen we uw feedback over hoe deze service uw fabricageproblemen kan oplossen.

240593-03



Figuur 2. De parameters van onze patroonklassen waarvoor de HDI-pool beschikbaar is (let op dat patroonklasse 9 niet poolbaar is.)

Figuur 3. Een voorbeeld van een fan-out van een STM32F412 in een WLCSF64 0,4mm-pitch-behuizing. De eerste BGA-'ring' krijgt zijn aansluitingen op de bovenste laag (rood), de tweede ring op de tweede laag (groen) met L1-L2 microvias in het midden van de pads, en de derde en vierde ringen sluiten we aan op de derde laag (oranje) met tussen L1-L2 en L2-L3 verspringende via's.

WEB LINK

[1] <http://be.eurocircuits.com/shop/orders/configurator.aspx?loadfrom=web&service=hdipool&deliverycountry=nl&invcountry=nl&country=nl&lang=nl>

Uitdagingen van DFM-analyse voor flex- en rigid-flex-ontwerpen

Flex- en rigid-flex-PCB's verschillen van stijve PCB's met betrekking tot materialen, constructie en ontwerpuitdagingen. Ze worden gebruikt in gespecialiseerde toepassingen zoals medische apparaten. Analysetools evolueren om aan hun unieke vereisten te voldoen.

Een bijdrage van DownStream Technologies

Flex- en rigid-flex-printen zijn geen nieuw idee. Ze worden tegenwoordig heel vaak toegepast, omdat we op zoek zijn naar alternatieve behuizingen voor steeds kleinere elektronische producten. Een eenvoudig schema voor een rechte, platte kabel is een analogie van zijn fysiek plat substraat. Een schema op meerdere pagina's voor een rigid-flex-ontwerp lijkt nauwelijks op het driedimensionale eindproduct, dat uit verschillende materialen bestaat. Toch kunnen bij beide voorbeelden analysetools worden gebruikt die op basis van dat schema werken. Dat geldt ook voor gewone twee- of meerlaags FR4-printen. Moderne print-analysetools zijn geschikt voor alle combinaties van starre printen, ongeacht het aantal lagen en de afmetingen. Maar voor de unieke eigenschappen van flexibele substraten en van de combinatie van flexibele en starre substraten zijn specifieke analyses nodig, zowel voor de functionaliteit als voor de fabricage. Analyse van de impedantie, koppeling, overspraak en storingsgevoeligheid is ingewikkeld door de verschillende stack-ups bij flexibele printen. Eén en dezelfde transmissielijn kan een stripline zijn in een star deel en een microstrip in een flexibel deel van het ontwerp. Materiaaltypen en dielektrische constanten boven en onder een spoor kunnen onderweg verschillen als het het ontwerp doorloopt. Hoewel de uitdagingen voor signaalintegriteitsanalyse voor flexibele ontwerpen het bespreken waard zijn, behandelen we in dit artikel vooral de huidige uitdagingen bij Design for Manufacture-analyse (DFM) van flex- en rigid-flex-ontwerpen.

Het verschil tussen starre, flex- en rigid-flex-printen

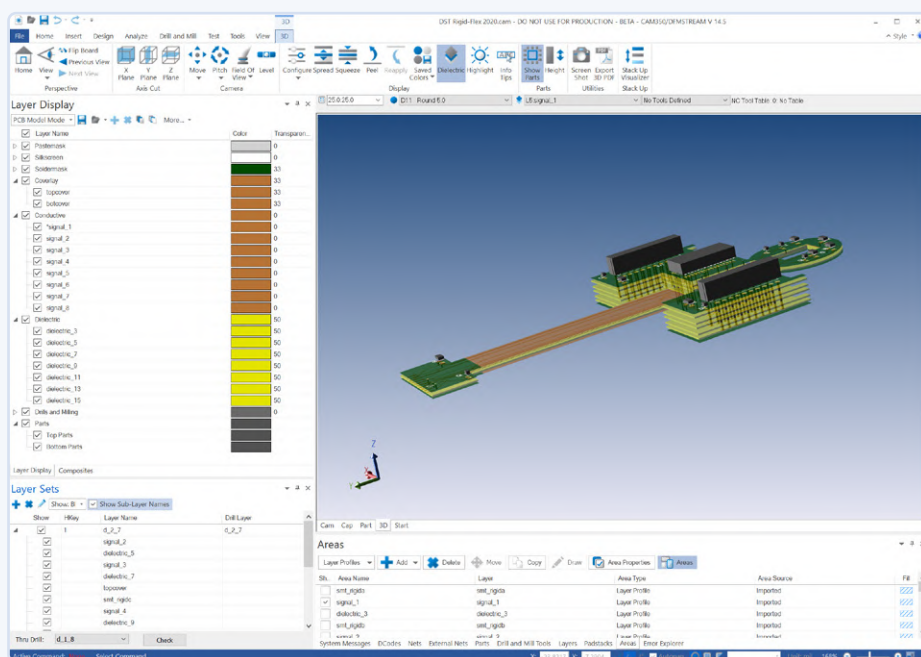
Sommige engineers ontwerpen flexibele PCB's gewoon als buigzame printen, maar er zijn grote verschillen tussen star en flexibel.

Beide technologieën zorgen voor elektrische verbindingen, maar ze worden gefabriceerd met verschillende materialen en processen. Ze hebben ook verschillende toepassingen. Voor het moederbord van een desktop-PC hoeven we geen rigid-flex-PCB te ontwerpen, maar dat is wel nodig voor de meeste medische implantaten.

Een typische starre print bestaat uit lagen van met koper beklede glasvezelversterkte kunststofsubstraten op elkaar. Er bestaan wel variaties in de materialen die worden gebruikt om de substraten te binden, maar het zijn over het algemeen geweven lagen die zijn geïmpregneerd met niet-uitgehard epoxy. Dit materiaal is niet ontworpen om flexibel te zijn. Het koper wordt chemisch geëet om een patroon voor de schakeling te creëren. De hardheid van de verbonden substraten maakt mecha-

nisch frezen nodig om de ruwe printen op maat te maken. Alle lagen van de print zijn normaal gesproken even groot en gelijk van vorm, tenzij er sprake is van holtes, ingebodde componenten of andere exotische constructies. De stapeling van lagen is over de hele print hetzelfde. Er worden vrijwel altijd een soldeermasker en opdruk aangebracht.

Flexibele printen bestaan uit gewalst, gegloeid koper op flexibele polyimide-substraten. Flexibele lagen of cores worden geproduceerd met of zonder lijm. Lijmloze flex is gangbaar bij toepassingen waar grote prestaties verlangd worden, flex met lijm wordt vaak gebruikt voor toepassingen met een beperkt aantal lagen. De meest gebruikelijke vorm is koperfolie op een substraat met epoxy- of acryllijm. Zowel het substraatmateriaal als de lijm zijn ontworpen om te kunnen buigen, zodat het risico van

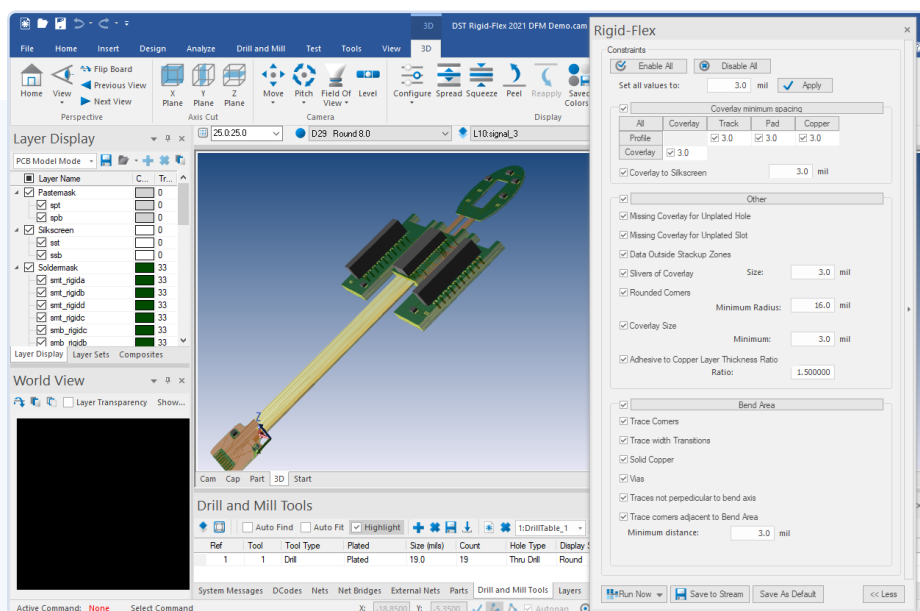


Figuur 1. Een rigid-flex ontwerp in 3D; de lagen voor de duidelijkheid zijn van elkaar gescheiden.

breuk wordt geminimaliseerd. Ook hier wordt een chemisch etsproces gebruikt voor het vormen van een patroon. Het flexibele karakter van de materialen vraagt om die-cutting of 'blanking' in plaats van mechanisch frezen. Elke laag van een flexibele dubbelzijdige core heeft een identieke vorm. Maar meerlaags flex zal vaak een verschillende vorm hebben voor elke laag of core. Flexibele PCB's hebben een dunne film-isolator over de geleiders nodig, een zogenaamde coverlay. In tegenstelling tot de soldeermaskers van starre printen, zijn coverlays meestal die-cut, net als de flexibele lagen die ze isoleren. De stapeling van een meerlaags flexibele print kan variëren over het oppervlak. Dat geldt vooral voor meerlaags flex, waar de vorm van de lagen onderling varieert. Een flexibel massa- of voedingsvlak wordt meestal gearceerd in plaats van volledig gevuld, zoals bij starre printen. De arcering reduceert de kans op breuk van de geleiders. Flexibele lagen kunnen ook worden afgeschermd met een laag koper- of zilverfolie. Maskering en opdruk van flexibele lagen is niet echt zeldzaam, maar wel ongebruikelijk. Rigid-flex PCB's zijn uiteraard een combinatie van starre en flexibele materialen. Rigid-flex is in feite een hybride combinatie van materialen en processen van zowel starre als flexibele printen. De twee materiaaltypen worden in het algemeen afzonderlijk verwerkt en later met elkaar verbonden tijdens het fabricageproces. De stapeling van lagen varieert meestal enorm over de print (**figuur 1**). Er kunnen rigid-flex gebieden zijn en ook verschillende combinaties van alleen star en flexibel enzovoort. Er bestaat ook verstevigd flex, waar kaal FR4 of ander star materiaal selectief wordt verbonden met flexibele substraten om ze star te maken. Het starre verstevigingsmateriaal heeft zelden geleiders.

Toepassingen van starre printen versus flex en rigid-flex

Starre printen zijn een fundamentele technologie in hedendaagse elektronische producten. Starre printen bieden mechanische integriteit, elektrische verbindingen en betrouwbaarheid, maar worden beperkt door hun tweedimensionale vorm. De vlakheid beperkt ontwerpers tot twee dimensies, wat de ontwerpflexibiliteit sterk beperkt, vooral als elektronische apparaten steeds kleiner worden. Flexibele printen worden gebogen om te profiteren van een driedimensionale ruimte, terwijl er toch componenten op zitten. Flexibele printen maken optimaal gebruik van de ruimte in de



Figuur 2. Rigid-Flex DFM-analyse die momenteel beschikbaar is in DFMStream van DownStream.

behuizing van elektronica mogelijk, maar daar zijn wel grotere kosten mee verbonden dan bij traditionele PCB's.

Starre en flexibele printen zitten in veel elektronische producten. Maar sommige toepassingen hebben meer voordeel van één type PCB. Starre printen zijn op hun plaats in producten zoals televisies, desktop-PC's, Blu-ray-spelers en andere grote elektronische producten. Flexibele printen zijn te vinden in smartphones, smartwatches, tablets, camera's, printers en laptops. Ze zijn essentieel voor medische implantaten zoals pacemakers, hoor-implantaten en ICD's. Ingewikkelde assemblages met meerdere, onderling met draden of kabels verbonden printen, worden vaak opnieuw ontworpen met rigid-flex-PCB's om de bedrijfszekerheid te verbeteren en te besparen op gewicht en ruimte. Dit werkt als katalysator voor veel militaire en luchtvaart-producten die worden ontworpen met rigid-flex. Een voorbeeld is een slimme kogel die zijn baan kan veranderen als het doel beweegt. De introductie van kleine SMD-halfgeleiders heeft geleid tot een revolutie van geminiaturiseerde nieuwe behuizingen. Vergelijk maar eens de Sony Walkman met een moderne boom box. Jarenlang werden flexibele printen alleen gebruikt om meeraderige kabels te vervangen. Iedereen kan zich nog wel herinneren hoe de kop van een matrix-printer werd aangesloten met een flatcable. De kop ging heen-en-weer over het papier en de kabel paste zich dynamisch aan voor het verbinden van de kop met het moederbord. De introductie van rigid-flex is niet zo'n game-changer als die van SMD-componenten, omdat het toepassingsgebied beperkt is en ook de kosten een rol spelen. We hoeven niet te rekenen op een nieuwe generatie van desktop-PC's met rigid-flex-moederborden om

de kosten te drukken. Maar geminiaturiseerde betrouwbare technologie zoals pil-camera's, opvouwbare telefoons of implantaten kunnen niet bestaan zonder rigid-flex-technologie.

Conclusie

Ontwerpers en fabrikanten hebben zich tot nu toe goed gered met beperkte toegang tot flex-specifieke DFM-analysetools. Maar flex en rigid-flex zijn intussen steeds meer gemeengoed geworden en de onderliggende technologie ontwikkelt zich voortdurend. Net als bij alle andere nieuwe technologieën, lopen de printontwerp en -analysetools daar achteraan. PCB-CAD-tools ondersteunen nu het ontwerp voor flex en rigid-flex, maar vaak ontbreekt nog de ondersteuning voor het doorgeven van de gegevens naar fabrikanten. Ook de meeste DFM-tools zijn nog onvoldoende geschikt voor het analyseren van fabricageproblemen bij flex- en rigid-flex-ontwerpen. Bij DownStream hebben we gelukkig een groot aantal gebruikers, die zich volledig op flex-ontwerpen hebben gestort en met ons samenwerken bij het ontwikkelen van een geschikte DFM-oplossing. We blijven met deze klanten werken om onze mogelijkheden voor DFM-analyse te verbeteren. Naast de ondersteuning van DFM-analyse die we in dit artikel beschrijven, zijn we onder meer van plan om de mogelijkheid toe te voegen de kans op breuken, zoals I-beaming, te analyseren en de 3D-visualisatie en DFM voor flex en rigid-flex in gebogen toestand te verbeteren (**figuur 2**). Dit zijn slechts enkele voorbeelden. Net als de onderliggende technologie moeten printontwerp en -analysetools zich permanent ontwikkelen om klantsucces te garanderen. Dat is een hoeksteen van DownStream's toewijding aan onze industrie. ◀

www.downstreamtech.com

240570-03

Open source-tools

antennesimulator, componentenbeheer, rekenmachine en meer

Tam Hanna (Hongarije)

Open-source tools zijn leuk – en niet alleen omdat ze gratis zijn. Voor mensen met een interesse in software bieden ze de mogelijkheid om een kijkje ‘onder de motorkap’ van een tool te nemen die elke dag wordt gebruikt. Hier zijn enkele tools die zowel open source als nuttig zijn.

Converter NOW: gemakkelijk eenheden omrekenen

Problemen met het gebruik van de juiste eenheden horen bij internationale teams – terwijl de Brit dol is op zijn Angelsaksische eenheden, gebruikt de continentale Europeaan SI-eenheden. Dat zulke fouten tot grote en dure problemen kunnen leiden, wordt prima geïllustreerd door het verlies van de MCO-ruimtesonde.

Converter NOW [1], ontwikkeld door Damiano Ferrari, biedt een oplossing – in principe is het een gewoon omrekenprogramma dat probleemloos zijn werk doet, zoals te zien is in **figuur 1** en **figuur 2**. Converter NOW is ook interessant vanuit software-oogpunt: het product is gebaseerd op de cross platform-omgeving Flutter van Google. Iedereen die op zoek is naar een kennismaking met dit nieuwe systeem doet er dus goed aan om de code te bestuderen.

Een gratis zakrekenmachine

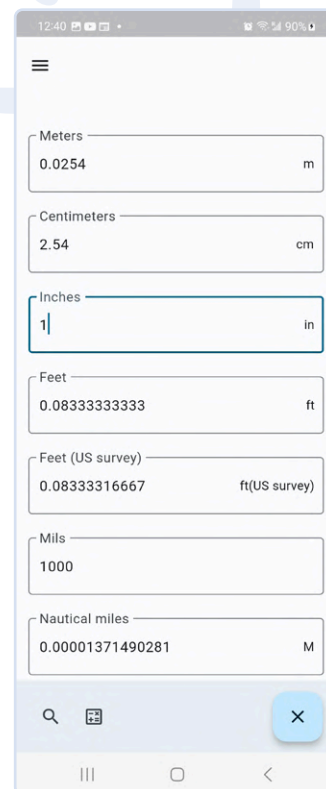
Als je nieuwe apps op je Android-smartphone wilt installeren, dan kun je **Calculator N+** [2] overwegen. Dit is een op Symja gebaseerd programma [3] dat een krachtige wetenschappelijke rekenmachine emuleert op je smartphone (**figuur 3**). Als het aankomt op het praktische gebruik van deze app, is het natuurlijk altijd de vraag of een hardware-rekenmachine misschien handiger in het gebruik is – maar per saldo is dat een kwestie van smaak.

Onderdelenbeheer

Ooit was het niet ongebruikelijk in ontwikkellaboratoria: een speciale componentenmanager die zorgde voor de inventarisatie en

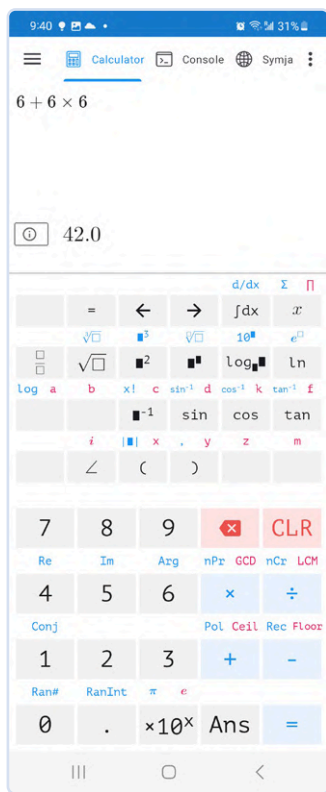


Figuur 1. Converter NOW helpt zowel in de strijd met SI-eenheden...

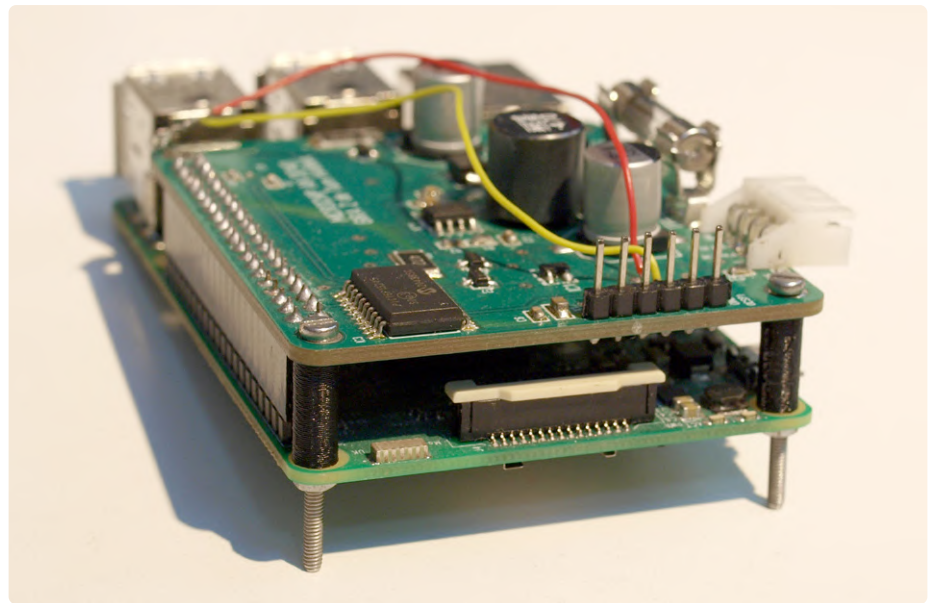


Figuur 2. ...als bij het omrekenen van lengtes.

bevoorrading van de benodigde componenten. Alleenwerkenden maken in plaats daarvan vaak gebruik van een distributeur: elke onderdelenlijst wordt nieuw ingekocht, overgebleven componenten worden opgeslagen, weggegeven of in de prullenbak gegooid. Oplossingen voor het beheer van onderdelen zijn er in overvloed in zowel het freeware- als het commerciële segment. **InvenTree** en **PartKeepr** zijn beide open source – het zijn webapplicaties, waardoor het wat ingewikkelder is om ze op te zetten. Er is een webserver nodig, waartoe de (verschillende) clients toegang hebben via een webbrowser.



Figuur 3. Elke gelijkenis met TI, Casio en co. berust op toeval.



Figuur 4. Deze afgeschreven oudere Raspberry Pi is een 'manusje van alles' in het lab van de auteur.

Een handige manier om dit probleem te omzeilen is het gebruik van een Raspberry Pi of soortgelijke procescomputer. Op Thingiverse kun je verschillende behuizingen vinden die je onder een bureau in het lab kunt schroeven. Eenmaal geïnstalleerd heeft de Raspberry Pi dan een discreet en ruimtebesparend onderkomen (figuur 4). Over de vraag of InvenTree (figuur 5) of PartKeeper (figuur 6) handiger is, is discussie mogelijk. Ik raad je aan de demoversies te proberen [4, 5]. Test ze allebei en beslis dan welk systeem beter bij je favoriete werkwijze past.

Bij het gebruik van een van beide systemen moet de geïnvesteerde moeite passen bij je situatie. Beide producten bieden bijvoorbeeld BOM-beheer, wat overkill kan zijn, vooral voor kleinere, prototype-georiënteerde bedrijven.

Simulatie spaart tijd en werk

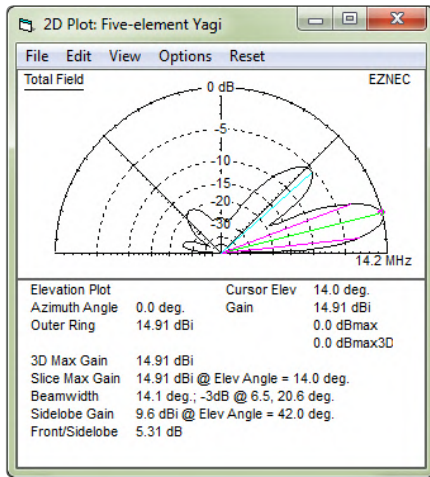
Vooral bij het ontwerpen van antennes is het een feit dat simulatie kan voorkomen dat er te veel geld naar fabrikanten van RF-hardware vloeit. Over het algemeen zijn de makers van de verschillende simulatie-algoritmen zich daarvan maar al te bewust en daarom zijn antenne-simulatoren allesbehalve goedkoop.

Part	IPN	Revision	Description	Category	Stock	Price Range	Link	Last Stocktake
HS [known]	HS			Bag1	10			
Cgpy [Ba]	Cgpy			Bag1	0			
Silicon Wire 10AWG Red			Silicon wire, 10AWG, red	Electronics/Wire	0	\$1.97 - \$3.5		
Silicon Wire 10AWG White			Silicon wire, 10AWG, white	Electronics/Wire	501	\$2.058 - \$1.029		
Silicon Wire 10AWG Black			Silicon wire, 10AWG, black	Electronics/Wire	203	\$2.5 - \$250		
Pinheader, 1x03x1.27mm			Male pin header connector, 1 rows, 3 positions, 1.27mm pitch, vertical	Electronics/Connectors/Pin Headers	11			
Pinheader, 1x02x1.27mm			Male pin header connector, 1 rows, 2 positions, 1.27mm pitch, vertical	Electronics/Connectors/Pin Headers	0			
Pinheader, 1x04x1.27mm			Male pin header connector, 1 rows, 4 positions, 1.27mm pitch, vertical	Electronics/Connectors/Pin Headers	19			2023-01-06
Pinheader, 1x07x1.27mm			Male pin header connector, 1 rows, 7 positions, 1.27mm pitch, vertical	Electronics/Connectors/Pin Headers	19			
Pinheader, 1x05x1.27mm			Male pin header connector, 1 rows, 5 positions, 1.27mm pitch, vertical	Electronics/Connectors/Pin Headers	25			

Figuur 5. De verschillen tussen de GUI van InvenTree ...

Part Name	Storage Location	Status	Condition	Stock	Min. Stock	Avg. Price	Partnote
100K 1/4W 5%	R01PLM001	0	0	0	0	0.006	1808 (1/2W)
100K 1/4W 5%	R01PLM002	0	0	0	0	0.006	1808 (1/2W)
100K 1/4W 5%	R01PLM003	0	0	0	0	0.006	1808 (1/2W)
100K 1/4W 5%	R01PLM004	0	0	0	0	0.006	1808 (1/2W)
100K 1/4W 5%	R01PLM005	0	0	0	0	0.006	1808 (1/2W)
100K 1/4W 5%	R01PLM006	0	0	0	0	0.006	1808 (1/2W)
100K 1/4W 5%	R01PLM007	0	0	0	0	0.006	1808 (1/2W)
100K 1/4W 5%	R01PLM008	0	0	0	0	0.006	1808 (1/2W)
100K 1/4W 5%	R01PLM009	0	0	0	0	0.006	1808 (1/2W)
100K 1/4W 5%	R01PLM010	0	0	0	0	0.006	1808 (1/2W)

Figuur 6. ...en die van PartKeeper zijn aanzienlijk.



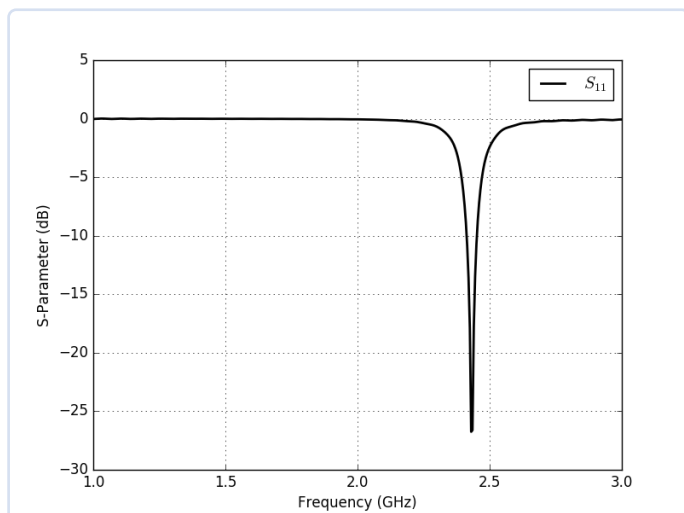
Figuur 7. EZNEC vergemakkelijkt het gebruik van NEC.

De beste open source-antennesimulator is **NEC**. Achter deze term zit niet de gelijknamige Japanse electronicagigant: het is een acronym voor *Numerical Electromagnetics Code*. Dit is een antenne-simulator die is ontwikkeld door Lawrence Livermore National Laboratory en ten tijde van het schrijven van dit artikel gedeeltelijk open source is. Om precies te zijn: versie 2 van het product is open source, terwijl voor latere versies betaald moet worden.

De populariteit is deels te danken aan het feit dat **EZNEC** [6], een grafische gebruikersinterface voor het product, sinds ongeveer een jaar gratis beschikbaar is (figuur 7). De American Radio Relay League (ARRL) heeft dit programma jarenlang in het Antenna Book als 'demosysteem' gebruikt, dus het gebruik van de scripttaal zou op zijn minst enigszins bekend moeten zijn bij veel technici.

Met **openEMS** – een product dat in de EU is ontwikkeld – is een vergelijkbare simulator beschikbaar [7]. Het grootste voordeel hiervan is de mogelijkheid om de modelleringsscripts samen te stellen met behulp van de veelgebruikte taal Python. **Figuur 8**, afkomstig uit de documentatie [8], toont een S-parametersimulatie over een bepaald frequentiebereik.

Tot slot moet **Elmer** nog (zij het kort) worden vermeld (figuur 9).



Figuur 8. De grafische resultaten van Open EMS zijn behoorlijk indrukwekkend (bron: [8]).

Dit is een volwassen tool [9] die geoptimaliseerd is voor het oplossen van verschillende problemen met de 'eindige elementen methode'. Opgemerkt moet worden dat het gebruik een uitgebreide training vereist.

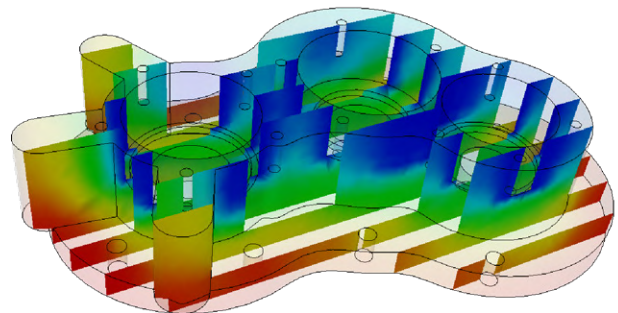
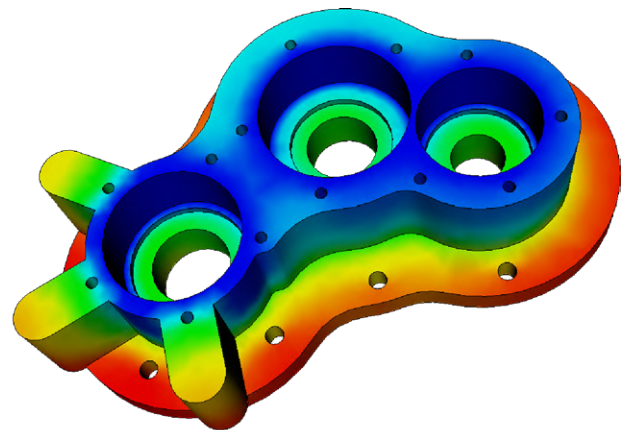
Bonus: OpenSCAD!

Het ontwerpen van behuizingen en technische mallen in de bekende CAD-programma's is iets dat vooral elektronica-veteranen, die zijn opgegroeid met klassieke gereedschappen, niet zo gemakkelijk onder de knie krijgen. **OpenSCAD** [11] is een systeem dat een 'bottom-up' benadering gebruikt om dit probleem aan te pakken. Er wordt een beschrijvingstaal gebruikt die doet denken aan Python en C, en het compileert de te genereren objecten uit 'geometrische primitieven' (figuur 10 en figuur 11). Het resultaat van de compilatie is een STL-bestand dat door diverse 3D-printers wordt begrepen. ◀

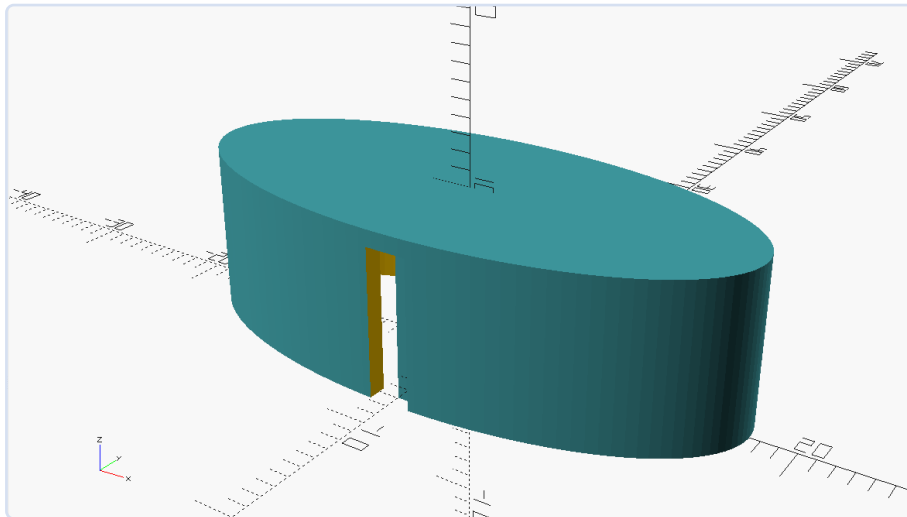
230282-03 (vertaling: Hans Adams)

Vragen of opmerkingen?

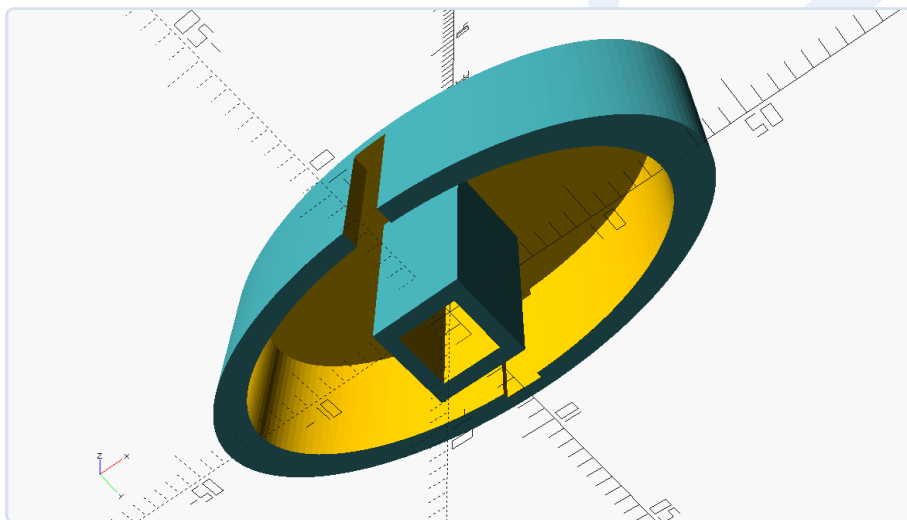
Hebt u technische vragen of opmerkingen naar aanleiding van dit artikel? Stuur een e-mail naar de redactie van Elektor via redactie@elektor.com.



Figuur 9. Dit object is niet berekend met CATIA, maar met Elmer (bron: [10]).



Figuur 10. De nieuwe knop ziet er goed uit, zowel van boven...

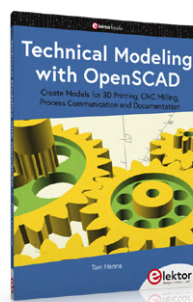


Figuur 11. ...als van onder.



Gerelateerde producten

- T. Hanna, Technical Modeling with OpenSCAD (Elektor 2020)
www.elektor.nl/194188



WEBLINKS

- [1] Converter NOW op GitHub: <https://github.com/ferraridamiano/ConverterNOW>
- [2] Calculator N+ op GitHub: <https://github.com/tranleduy2000/ncalc>
- [3] Symja library op GitHub: https://github.com/axkr/symja_android_library
- [4] InvenTree-demo: <https://inventree.org/demo>
- [5] PartKeepr-demo: <https://demo.partkeepr.org>
- [6] EZNEC antennesoftware: <https://eznec.com>
- [7] openEMS: <https://openems.de>
- [8] openEMS, documentatie van de patch-antenne: <https://bit.ly/43W71ak>
- [9] Elmer: <https://csc.fi/web/elmer>
- [10] Elmer, teopassingsvoorbeelden: <https://csc.fi/web/elmer/application-examples>
- [11] OpenSCAD: <https://openscad.org>

Op naar de top: industriële 3D-printers

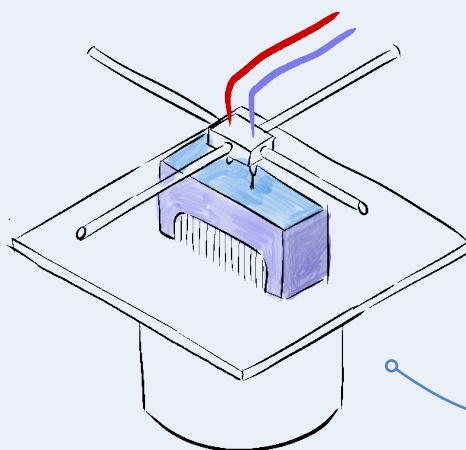
In 2023 domineerden industriële 3D-printers de globale markt, goed voor ongeveer 76% van de totale inkomsten dankzij hun uitgebreide gebruik bij de productie van ingewikkelde en nauwkeurige onderdelen in verschillende zware industrieën. Ondertussen winnen

desktop-3D-printers, aanvankelijk geliefd bij hobbyisten, aanzienlijk aan populariteit. Het 'instapsegment', dat bestaat uit printers met een prijs van \$2500 en lager, zag een jaarlijkse groei van 9% in het derde kwartaal van 2023 [6]. Bedrijven als Creality, Anycubic en

Bambu Lab zijn belangrijke spelers in dit segment. De opkomst van 'fabshops' in de VS, die 3D-printservices op aanvraag aanbieden, benadrukt de toenemende vraag naar desktop-printers naast de nog steeds dominerende industriële printers.

Belangrijkste 3D-printmethoden

Opkomende 3D-printtechnologieën zoals stereolithografie (SLA), selective laser sintering (SLS) en fused deposition modeling (FDM) winnen aan belang en bieden gespecialiseerde oplossingen. SLA staat bekend om zijn precisie bij het maken van fijne details, SLS wordt geprefereerd vanwege zijn vermogen om duurzame, functionele onderdelen te maken zonder dat er ondersteunende structuren nodig zijn en FDM wordt veel gebruikt vanwege zijn veelzijdigheid en kosteneffectiviteit bij prototyping en productie in kleine aantallen. Stereolithografie was marktleider in 2023, met 10% van de wereldwijde omzet [3], vanwege de betrouwbaarheid en het gebruiksgemak. FDM vertegenwoordigde een aanzienlijk deel van de omzet in 2023 door de wijdverspreide toepassing in verschillende 3DP-processen.



FDM
fused deposition modeling

- > smelt en extrudeert thermoplastisch filament
- > laagste instapprijs en materiaalkosten
- > laagste resolutie en nauwkeurigheid

GESCHIKT VOOR:
eenvoudige proof-of-concept modellen en simpele prototypes

SLA
stereolithografie

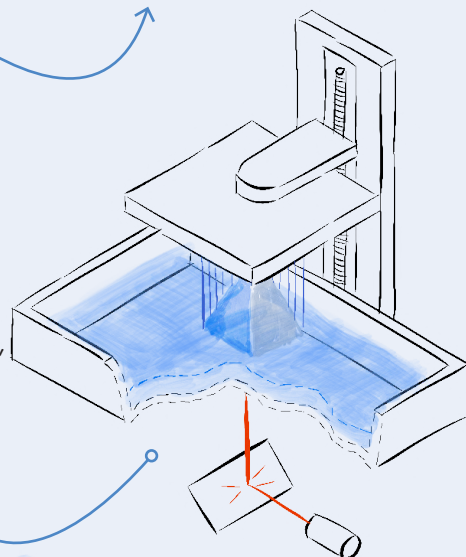
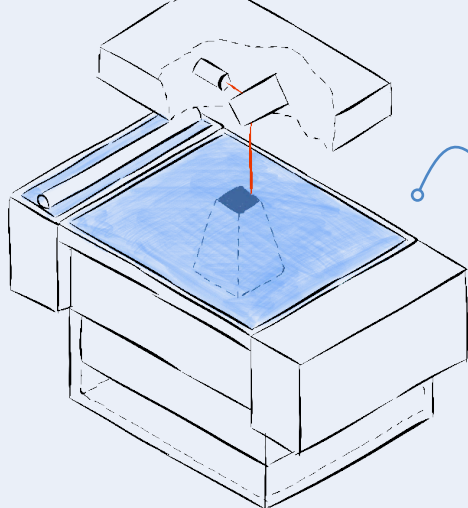
- > fotopolymeerhars hardt uit met laserlicht
- > uiterst veelzijdige materiaalkenmerken
- > hoogste resolutie en nauwkeurigheid, fijne details

GESCHIKT VOOR:
functionerende prototypes, patronen, gietvormen en tooling

SLS
selective laser sintering

- > laser 'bakt' polymeerpoeder
- > lage kosten per onderdeel, hoge productiviteit, geen ondersteunende structuren
- > uitstekende mechanische eigenschappen, vergelijkbaar met spuitgegoten onderdelen

GESCHIKT VOOR:
functionele prototypes en productie voor eindgebruik



Bron: 3D Printers Perth

3D-printen: de nieuwste statistieken nader bekeken

De 3D-printindustrie wordt steeds toegankelijker voor een breder publiek [1], nu het onderscheid tussen consumenten- en professionele machines kleiner wordt. Betaalbare 3D-printers van hoge kwaliteit zorgen ervoor dat meer bedrijven deze technologie in hun dagelijkse werkzaamheden kunnen opnemen. Dit versnelt de marktgroei [2] en bevordert innovatie bij gevestigde bedrijven. De trend geeft aan dat 3D-printen binnenkort net zo gewoon en bereikbaar zal zijn op de werkplek als traditionele kantoorprinters, waardoor de manier waarop bedrijven productie en ontwerp benaderen zal veranderen.

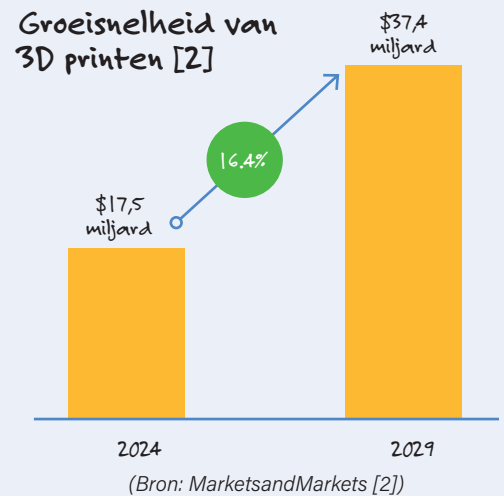
54%

van de wereldwijde omzet in 2023 voor het prototypingsegment in de 3D-printmarkt [3]

23%

van de wereldwijde omzet in 2023 voor de automotive sector in de 3D-printmarkt [3]

Groeisnelheid van 3D printen [2]



CNC-verspaning: vergelijking van frezen en draaien

De traditionele productiemethoden zoals spuitgieten en CNC-verspaning spelen nog steeds een belangrijke rol als alternatief voor 3D-printen, vooral voor massaproductie en wanneer hoge precisie vereist is.

Overzicht draaien vs. frezen

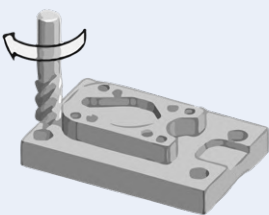
Draaien	Frezen
ronde staaf	uitgangsmateriaal
cilindrisch of konisch	uiteindelijke vorm
draaibank	machine
werkstuk draait	beweging
snijgereedschap stationair	freesmchine
	rechthoekig/vierkant
	vierkant/rechthoekig blok
	werkstuk stationair
	snijgereedschap draait

Bron: Pioneer Service Inc.

Toepassingen

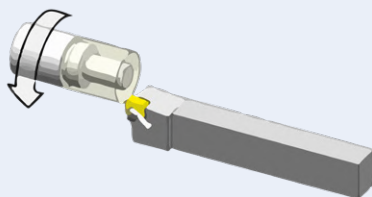
CNC-frezen

Gebruikt voor complexe vormen: tandwielen, gietvormen, ingewikkelde onderdelen



CNC-draaien

Ideaal voor cilindrische onderdelen: assen, bouten, symmetrische onderdelen



WEBLINKS

- [1] C. Schwaar, "A 3D Printer On Every Desk? Why Companies Are Buying More 3D Printers," Forbes, May 2024: <https://tinyurl.com/desktop-3d-printers>
- [2] MarketsandMarkets, "3D Printing Market," 2023: <https://tinyurl.com/mam-3d-printing>
- [3] GVR, "3D Printing Market Size & Trends," 2023: <https://tinyurl.com/gvr-3d-printing>
- [4] 3D Printers Perth, "FDM vs SLA vs SLS 3D Printers": <https://tinyurl.com/fdm-vs-sla-vs-sls>
- [5] Pioneer Service Inc., "Turning Vs. Milling: What's the Difference for Machining?," 2020: <https://tinyurl.com/turning-vs-milling>
- [6] Kety S., "The 'fall and rise' of desktop 3D printing," 3D ADEPT Media, July 2024: <https://3dadept.com/business-the-fall-and-rise-of-desktop-3d-printing/>

240427-03

Uit het leven gegrepen

microtechnofobie

Ilse Joostens (België)

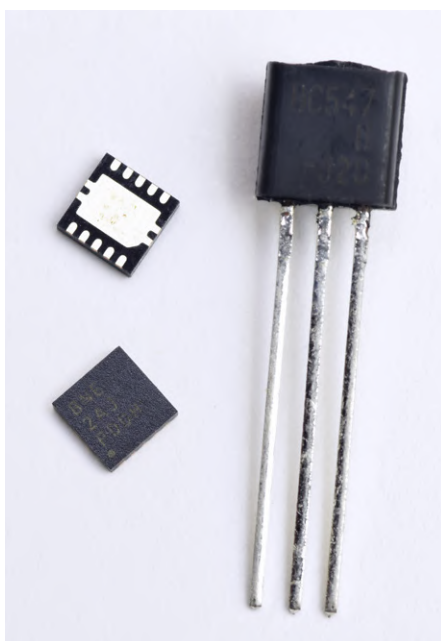
Microtechnofobie, zelfstandig naamwoord, van het Griekse μικρός (mikrós, 'klein'), τέχνη (technē, 'kunst, vaardigheid, ambacht') en φόβος (phobos, 'angst'). Een samenvoeging van 'microfobie' ofwel angst voor kleine objecten zoals insecten, miniaturen of microben en 'technofobie', angst voor (nieuwe) technologie. Microtechnofobie is zodoende de angst voor kleine technologische voorwerpen, SMD-onderdelen dus.

Het voorgaande is weliswaar niet al te serieus bedoeld, maar angst voor het solderen van SMD-componenten is reëel. Zelfs met jaren ervaring, met alle mogelijk gereedschap, waaronder een heteluchtstation en een reflow-oven en na het bouwen van duizenden printen met SMD-onderdelen, bekruipt mij soms nog altijd een ongemakkelijk gevoel bij het aanschouwen van sommige SMD-onderdelen. Het lijkt wel alsof fabrikanten er een sadistisch genoegen in scheppen om die dingen steeds kleiner te maken met steeds meer soldeerverbindingen per vierkante millimeter.

Koudwatervrees

Onder elektronica-hobbyisten hebben er altijd al vooroordelen over SMD-onderdelen de ronde gedaan. Zo zouden ze niet met de hand te solderen zijn, zou men er moeilijk mee kunnen experimenteren en prototypes

mee kunnen bouwen en zou men er nauwelijks kunnen aan meten. Dat veel zelfbouw-kits klassieke through-hole onderdelen gebruiken en sommige aanbieders adverteren dat hun kits beginnersvriendelijk zijn en geen SMD-onderdelen bevatten, helpt niet meteen om uw angsten te overwinnen. Door de steeds toenemende functionaliteit van smartphones worden fabrikanten van onderdelen steeds meer in de richting van miniaturisatie gedreven. SMD-onderdelen zijn inderdaad door de band genomen vrij klein (**figuur 1**), maar als u onderdelen met nanopartikel-ambities links laat liggen dan valt het handmatig solderen van SMD-onderdelen in de praktijk best mee [1]. Flux is uw vriend en met een aantal aangepaste soldeerstiften, een pincet en een loep(lamp) komt u al een heel eind. Het is natuurlijk wel zaak om goed op te letten als u moet kiezen en het hoofd af te wenden wanneer u niet wilt dat de losse onderdelen alle kanten op vliegen. Dat doet mij trouwens denken aan mijn eerder onrealistische fantasie om ooit in het holst van de nacht met de stofzuiger langs de rekken van mijn elektronica-grootgrutter te gaan, kwestie van illegaal wat gratis voorraad in te slaan dus. Nu, alle gekheid op een stokje, als u serieus aan de slag wilt met SMD-onderdelen, kunt u ook de aanschaf van een heteluchtstation [2] [3] overwegen. Die zijn niet alleen betaalbaar, maar u kunt zo'n station niet alleen voor het werken met SMD-onderdelen inzetten, maar ook voor tal van andere klusjes – van het krimpen van krimpous tot zelfs het 'vlampolijsten' en buigen van acrylglas-onderdelen. Ook het desolderen van SMD-onderdelen gaat prima met zo'n heteluchtstation en eigenlijk is dat zelfs veel makkelijker dan het desolderen van through-hole onderdelen, zeker op printen met doorgemetalliseerde gaten. Om sneller



Figuur 1. Een uiterst klein SMT-IC, met daarnaast ter vergelijking een through-hole BC547 zoals we die allemaal kennen en liefhebben (foto: Ilse Joostens).

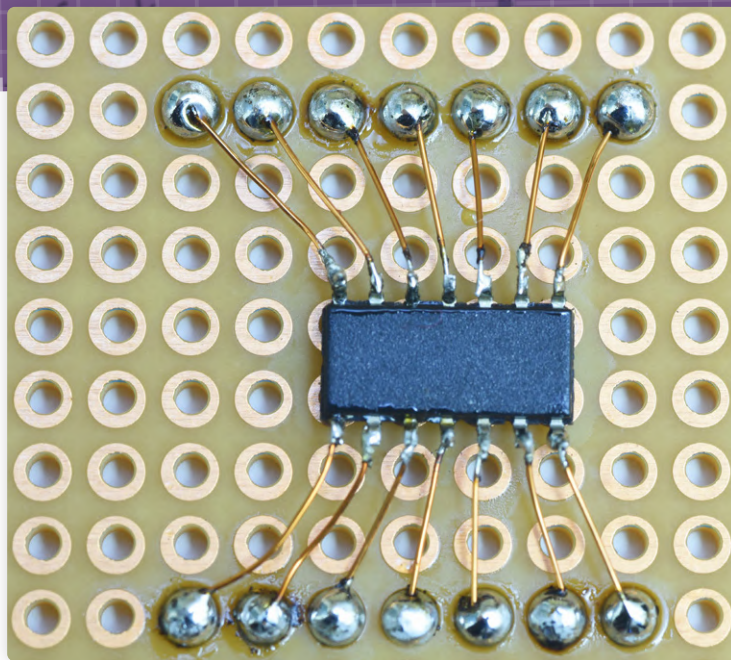


te werken en bij het desolderen van onderdelen met veel pootjes kunt u eventueel ook wat bismut-soldeer pasta toevoegen. Dat verlaagt het smeltpunt van het soldeer wat een en ander vlotter laat verlopen. Goed schoonmaken met desoldeerlitze achteraf en klaar!

Prototypes bouwen

Experimenteren en prototypes bouwen met SMD-onderdelen gaat eigenlijk ook prima. Ze lenen zich misschien niet meteen tot gebruik in combinatie met een klassiek breadboard maar passieve onderdeeljes en zelfs SOT-23 transistoren kunt u perfect op gaatjesprint solderen. Voor meer complexe onderdelen zoals IC's is er gewoonlijk een keur aan adapterprintjes, breakout-boards en soms zelfs evaluatieboards beschikbaar. Desnoods kunt u nog het IC op zijn rug vastlijmen en met dunne koperlakdraadjes met uw schakeling verbinden [4]. De 'dead bug'-methode noemt men dat (figuur 2) en dan is het zaak uw entomofobie wat onder controle te houden. De échte diehards kunnen natuurlijk desgewenst hun gehele schakeling met koperlakdraad opbouwen [5].

Wat testen en meten betreft moet ik u corrigeren als u nu het beeld van een *wafer prober* voor ogen zweeft. U kunt het slim spelen en al bij het printontwerp in test- en meetpunten voorzien. Ook met een paar scherpe meetpennen komt u al een heel eind. Mijn excuses mocht u aan aichmofobie lijden en mocht u zich nu ongemakkelijk beginnen te voelen. U kunt in de plaats van extreem vlijmscherpe meetpennen nog altijd opteren voor speciale meetpro-



Figuur 2. De dead bug-methode in de praktijk (foto: Ilse Joostens).

bes voor SMD-onderdelen [6], een aanrader als u regelmatig aan dergelijke schakelingen wenst te meten.

Megalotechnofobie, helixafobie en andere angsten

Als tiener had ik een behoorlijke angst voor spoelen, helixafobie [7] zeg maar – zie de kopfoto bij dit artikel. Het was nu niet zo dat ik bij het aanschouwen van een spoel in zwijm viel of spontaan begon te hyperventileren, maar ik liet doorgaans ontwerpen met zelf te wikkelen spoelen links liggen. In die tijd kon men nog niet zomaar onderdelen online bij elkaar shoppen en zaken als ferrietstaven, spoel- en transformatorkernen waren erg moeilijk verkrijgbaar bij de lokale elektronica-boer. Ik denk dat ik met deze 'fobie' ook lang niet alleen was.

Elektronica is een zeer uitgebreide technische en wetenschappelijke discipline met talrijke takken van de sport waar niet ieder-

een, zelfs de doorgewinterde elektronicus, zich altijd even makkelijk bij voelt. Klassiek is de al wat oudere generatie die het niet zo begrepen heeft op al het moderne digitale geweld van microcontrollers, FPGA's en softwareontwikkeling. Hoogfrequent en radiotechniek kunnen ook behoorlijk complex zijn en er hangt toch nog altijd een aura van geheimzinnigheid omheen. Ik voel me daar zelf ook niet erg op mijn gemak bij.

Ook hoogspanningstechniek en vermogens-elektronica zijn behoorlijk griezelig omdat fouten in deze vakgebieden keihard afgestraft worden. Doorgaans gaat het hier om macroscopische SMD-onderdelen (*Screw-Mounted Devices*), vandaar de kreet 'megalotechnofobie', angst voor grote technische dingen dus. Hoe dan ook, probeer uw angsten te overwinnen en durf te experimenteren, u zult uzelf achteraf dankbaar zijn. ◀

240432-03

WEBLINKS

- [1] YouTube – TkkrLab: CyberSaturday: SMD for terrified beginners by Kliment Yanev: www.youtube.com/watch?v=xkVVXaF9smY
- [2] Zhongdi – 2-in-1 SMD Hotelucht Rework Station ZD-8922: www.elektor.nl/products/2-in-1-smd-hot-air-rework-station-zd-8922
- [3] Quick 861DW Hotelucht Soldeerstation (1000 W): www.elektor.nl/products/quick-861dw-hot-air-rework-station-1000-w
- [4] Dangerous Prototypes: Fine pitch BGA deadbug soldering: <http://dangerousprototypes.com/blog/2012/11/15/fine-pitch-bga-deadbug-soldering/>
- [5] The Electronic Lives Manufacturing – presented by ChaN: Extreme Wiring on the Prototyping Board: www.youtube.com/watch?v=i5MNLtc7YhY
- [6] Sensepeek 4019 PCBite Kit met 2x 200 MHz en 4x SP10 handsfree Probe: www.elektor.nl/products/sensepeek-4019-pcbite-kit-with-2x-200-mhz-and-4x-sp10-handsfree-probe
- [7] Fun with Transistors by Max Robinson: Winding Coils: www.angelfire.com/planet/funwithtransistors/Coils-1.html



3D-kerstboom

driedimensionale print met een goedkope 32bit-microcontroller

André Araújo (Brazilië)

De nachten zijn lang en de etalages in winkelstraten fonkelen verlokkelijk, maar kunnen ook uw portemonnee leegzuigen. U kunt echter dezelfde fonkeling ook zelf maken. En uw bankrekening zal blij zijn als u goedkope elektronica gebruikt, zoals een microcontroller van slechts een dubbeltje. Wat dacht u van deze moderne kerstverlichting?

In oktober vorig jaar lanceerde het Braziliaanse Franzininho-project [1], een open-source hardware-initiatief, een kerstuitdaging. Het doel was om PCB-projecten te maken met een goedkope microcontroller die werd gevoed door een knooppel, met de nadruk op een laag energieverbruik. Er werd een basisproject ontworpen en gedeeld op Franzininho's GitHub [2]. De minimale vereisten waren:

- WCH CH32V003 RISC-V microcontroller
- CR2032-batterij
- LED-animaties of andere grafische uitvoer
- optioneel: knoppen, zoemers enzovoort
- printontwerp met KiCad

Deelnemers werden aangemoedigd een eigen weg in te slaan en hun eigen versies te maken, idealiter door zelf hun printen te fabriceren. Mijn idee was een print in de vorm van een

kerstboom die kruislings in elkaar wordt gestoken om een 3D-schakeling te vormen die als een op zichzelf staande decoratie of (kerst) boomversiering kon dienen.

De microcontroller

Dankzij de vooruitgang in de halfgeleidertech-nologie brengen fabrikanten van microcon-trollers nu nieuwere en betaalbare 32bit-versies op de markt die concurreren met oudere 8bit-microcontrollers en deze vaak vervan-gen. Chips op basis van de ARM Cortex-M0+ kern, zoals de STMicroelectronics STM32C0-serie, NXP LPC800- en MCX C-serie of de Raspberry Pi RP2040 illustreren deze trend. WCH, een Chinese fabrikant die bekend staat om zijn WCH340 USB/UART-transceivers [3], heeft onlangs een nieuwe lijn RISC-V microcon-trollers geïntroduceerd met de CH32V-serie. Deze MCU's zijn opmerkelijk betaalbaar, sommige kosten maar 10 cent – waardoor ze

de bijnaam '10-cent-MCU' hebben gekregen. Sommige leden van de gemeenschap waren zich al aan het verdiepen in deze nieuwe microcontroller, dus de kerstuitdaging werd een manier om mensen rond een gemeen-schappelijk doel te verenigen, hun kennis van deze chips te verdiepen en deze kennis te delen.

Een belangrijk aspect van de uitdaging was hardware. Het lijkt erop dat de meeste mensen die betrokken zijn bij het ontwer-pen van embedded systemen zich richten op software en het ontwerpen van hardware overlaten aan een paar enthousiastelingen. Met veel gratis open-source EDA-software-pakketten van hoge kwaliteit, zoals KiCad [4] en EasyEDA [5], en betaalbare PCB-fabricage en -assemblagediensten (Google helpt), is deelname aan deze uitdaging niet beperkt tot experts met uitgebreide vaardigheden en een ruim budget.

De printen in mijn project hebben slechts twee koperlagen, waarvoor basiskennis van PCB-ontwerp volstaat. Om tijdens de uiteindelijke assemblage te voorkomen dat onderdelen elkaar in de weg zitten, heb ik een papieren model gebruikt om te controleren op eventuele problemen en om een indruk van het ontwerp te krijgen voordat ik aan de uiteindelijke realisatie begon. Een eenvoudige methode voor dit 3D-project is om de voor- en achterkant van de printplaat op een schaal van 1:1 af te drukken, ze op een dun stuk karton te lijmen, de randen af te snijden en de twee helften uiteindelijk in elkaar te steken. Dit zorgt voor de juiste footprints en positionering van de componenten.

Twee softwaretechnieken zijn belangrijk: de stand-by modus en het aansturen van de LED's met software-PWM. Dit laatste is cruciaal omdat slechts enkele pinnen hardware PWM ondersteunen. Beide technieken dragen bij aan een lager stroomverbruik.

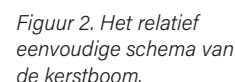


De hardware is onderverdeeld in de volgende blokken (zie **figuur 1**):

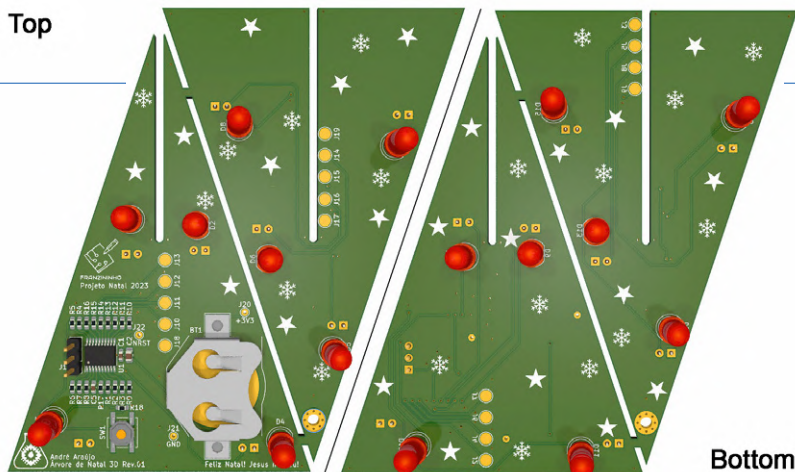
- **MCU:** de belangrijkste component is de CH32V003F4P6-microcontroller [10] met een kloksnelheid tot 48 MHz, 16 KB flashgeheugen, 2KB RAM, 18 I/O-lijnen, twee 16bit-timers, een watchdog-timer, 8-kanaals 10bit-ADC, USART, I²C en SPI. De voeding mag tussen 2,7 V en 5,5 V liggen. De chip is verkrijgbaar in een TSSOP20-behuizing.
- **Batterij:** de print heeft een houder voor een CR2032-batterij (3V-voeding).
- **Aansluitingen:** een driepolige header maakt externe voeding mogelijk en biedt bidirectionele communicatie voor programmeren en debuggen.
- **Interface:** een gebruikersknop veran-

➤ **Display:** 16 LED's zijn aangesloten op de MCU, elk op een eigen pin, waardoor talloze animaties mogelijk zijn.

De hardware is eenvoudig, met elke LED aangesloten op een individuele GPIO-pin via stroombegrenzende weerstanden. De batterij is rechtstreeks op de MCU aangesloten, die het grootste deel van de tijd in stand-by verkeert. Jumpers op de print verbinden de twee helften van de 3D-assemblage. **Figuur 2** geeft het schema weer. Merk op dat de knop de SWIO-lijn deelt (toegankelijk via J1), die wordt gebruikt voor softwareprogrammering en debuggen; daarom is debuggen niet mogelijk als de knop is ingedrukt. Het RC-netwerke R17/C5 zorgt voor een reset bij



Top



Bottom

Figuur 3. 3D-impressie van de boven- en onderzijde van de print.



Figuur 4. WCH-Link, het tool dat wordt gebruikt voor programmeren en debuggen (bron: WCH [11]).

het inschakelen. De resetpin NRST is toegankelijk via J22 op de print.

Figuur 3 geeft een 3D-impressie van de bestuikte boven- en onderkant van de met KiCad ontworpen print. De twee helften zijn verbonden door twee kleine tabjes die moeten worden weggesneden om ze te scheiden. De twee lange sleuven in elke helft maken het mogelijk om de twee delen samen te voegen en zo de uiteindelijke 3D-‘kerstboom’ te vormen. De soldeerjumper bevinden zich dicht bij deze sleuven en moeten worden gesoldeerd om de elektrische verbindingen tussen de twee helften te maken.

Software

De firmware is ontwikkeld met MounRiver Studio [6], een aangepaste versie van Eclipse IDE, die verschillende microcontrollers van WCH ondersteunt en de HAL bevat voor het versnellen van de softwareontwikkeling. De bronbestanden kunnen worden gedownload van [14].

Figuur 4 toont de WCH-Link [11], een gespecialiseerd tool voor het programmeren en debuggen van de MCU. De ene kant is verbonden met een PC via USB en de andere kant heeft een header voor aansluiting op een MCU. Hij bevat ook een USB/UART-converter, wat erg handig is voor embedded ontwikkeling. Ik heb die functie overigens niet gebruikt in dit project.

Het programma heeft vier animatiemodi:

- **Interleaved:** twee kleuren worden tegelijk ingeschakeld en als de ene wordt

uitgeschakeld, wordt de andere aansluitend ingeschakeld (bijvoorbeeld geel en rood, rood en oranje, oranje en blauw, blauw en geel enzovoort).

- **Sequentieel:** schakelt elke kleur na elkaar in totdat alle kleuren branden en schakelt ze vervolgens ook weer na elkaar uit totdat alle LED's uit zijn.
- **Blinky:** elke kleur knippert afzonderlijk, één tegelijk.
- **Pulserend:** elke kleur dooft afzonderlijk langzaam; het geleidelijk doven wordt bereikt door een software-PWM met variabele pulsbreedte.

Elke animatiemodus wordt een bepaald aantal keren herhaald en gaat dan over naar de volgende. Nadat de laatste animatie is afgelopen, schakelt de MCU over naar de stand-by modus. De knop kan worden gebruikt om de volgende animatiemodus in te schakelen, of



Onderdelenlijst

Weerstanden:

R1...R16 = 1 k, 1%, SMD 0603
R17,R18 = 10 k, 1%, SMD 0603

Condensatoren:

C1,C5 = 100 n/50 V, SMD 0603
C2 = 10 µ/25 V, SMD 0805

Halfgeleiders:

D1,D5,D9,D13 = LED rood, 5 mm
D2,D6,D10,D14 = LED groen of oranje, 5 mm
D3,D7,D11,D15 = LED blauw, 5 mm
D4,D8,D12,D16 = LED geel, 5 mm
U1 = CH32003F4P6, TSSOP20

Diversen:

BT1 = 3V-CR2032
houder voor CR2032
SW1 = TPS526, C&K (Littelfuse)
print

om het apparaat in stand-by modus te zetten. In de stand-by modus genereert het indrukken van de knop een interrupt die de microcontroller wekt en bij de eerste animatie doet starten.

Bouw en test

Na het afwerken van de print-layout bestelde ik tien stuks ervan bij een Chinese fabrikant, compleet met gemonteerde SMD's – behalve de microcontroller die niet op voorraad was. Toen ik de printen ontving, soldeerde ik de MCU en de through-hole componenten (de LED's en de driepolige header) en tenslotte soldeerde ik de beide helften aan elkaar. **Figuur 5** toont drie volledig functionerende kerstbomen.

Voor het testen van het stroomverbruik van de uiteindelijke schakeling werd een Nordic Power Profiler Kit II gebruikt. Deze kan het apparaat voeden met een instelbare spanning en ook de stroom meten die door het apparaat

Het Franzininho-project

Het Franzininho Project [1] is een Braziliaans initiatief dat zich richt op embedded systemen, IoT en maker education door middel van open-source hardware en software tools. De missie is om kennis te bevorderen, expertise over huidige technologieën te delen en mensen te inspireren om hun eigen projecten te creëren.

Momenteel heeft het project verschillende development boards ontwikkeld, waaronder ontwerpen gebaseerd op de ESP32-S2 (Franzininho WiFi en Franzininho WiFi LAB), STM32C0 (Franzininho C0) enzovoort. Alle ontwerpen hebben uitgebreide documentatie en codevoorbeelden, waardoor ze geschikt zijn voor zowel beginners als ervaren ontwikkelaars. Code voor deze boards kan worden ontwikkeld op beginnersvriendelijke platforms zoals Arduino, MicroPython en CircuitPython, of op meer geavanceerde platforms zoals ESP-IDF, STM32CubeIDE, Zephyr en NuTTX.



Figuur 5. Drie compleet gemonteerde kerstbomen; eentje schittert al naar hartelust.

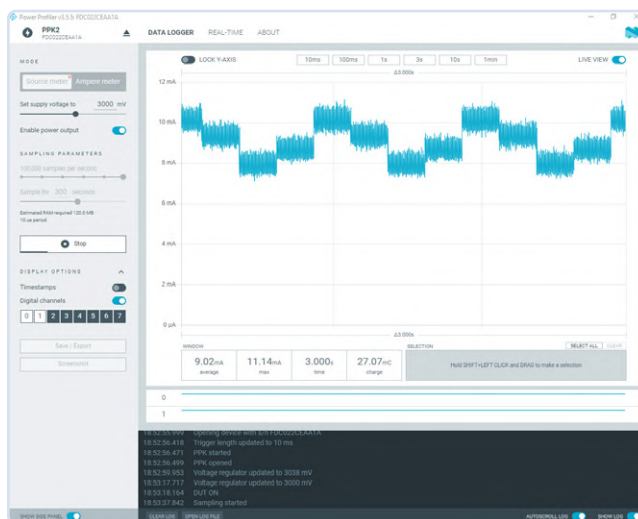
wordt opgenomen. Figuur 5 toont ook de testopstelling. De printen werden getest met een voeding van 3 V van de tester (batterij niet geplaatst tijdens de tests).

De LED's leveren de grootste bijdrage aan het stroomverbruik. Het screenshot in **figuur 6** laat zien dat de kerstboom gemiddeld 9 mA gebruikt. Een typische CR2032-batterij gaat daarom ongeveer 24 uur mee. Wanneer de MCU in stand-by modus gaat, worden alle LED's uitgeschakeld en daalt de opgenomen stroom tot gemiddeld ongeveer 9 μ A. Er is geen aan/uit-schakelaar nodig omdat een CR2032-cel theoretisch genoeg capaciteit heeft voor ongeveer 25.000 uur of 2,8 jaar in stand-by modus!

Het is misschien een goed idee om oranje LED's te gebruiken in plaats van de groene. Dit zou resulteren in een hoger contrast ten opzichte van de groene printen.

Een nieuw project met deze chip

Vier animatiemodi putten de mogelijkheden bij lange na niet uit. Dankzij dit project kon de Franzininho-community (en u nu dus ook) een goed inzicht krijgen in deze nieuwe microcontroller. Na deze eerste gezamenlijke ervaring met de CH32V-familie waren de leden enthousiast om een nieuw project met deze chip



Figuur 6. Screenshot van de vermogensmeting met de Nordic Power Profiler Kit II.

uit te proberen. Dit nieuwe project is nog in ontwikkeling en zou tegen het einde van dit jaar uitgebracht moeten worden! 

240155-03



Over de auteur

André Araújo heeft een Master of Science in Mechatronica Engineering van de Polytechnic School van de universiteit van São Paulo en heeft bijna 15 jaar ervaring in het ontwikkelen van medische apparatuur. Hij werkt momenteel als Engineering Manager bij J.G. Moriya en is mentor van de cursus 'Making Embedded Systems' die wordt aangeboden door Elecia White aan Classpert (<https://tinyurl.com/yc7us3ja>). André deelt ook persoonlijke projecten op Instagram (www.instagram.com/mechatronixlab).

Vragen of opmerkingen?

Hebt u technische vragen of opmerkingen naar aanleiding van dit artikel? Stuur een e-mail naar de auteur via LinkedIn (www.linkedin.com/in/andremdaraujo) of naar de redactie van Elektor via redactie@elektor.com.



Gerelateerde producten

- > **ZD-8961-A Temperature-Controlled Soldering Station**
www.elektor.nl/20536
- > **Whadda WSPXL103 Poly Reindeer XL Soldering & Programming Kit (incl. Arduino Nano Every)**
www.elektor.nl/20325

WEB LINKS

- [1] Franzininho-project: <https://franzininho.com.br>
- [2] GitHub-pagina van Franzininho: <https://github.com/Franzininho/Projeto-Natal-2023>
- [3] WCH340 USB/UART-transceivers: <https://www.wch-ic.com/products/CH340.html>
- [4] KiCad: <https://www.kicad.org>
- [5] EasyEDA: <https://www.easyeda.com>
- [6] MounRiver Studio: <http://www.mounriver.com>
- [7] CH32V003EVT-archief: <https://tinyurl.com/49sfjzmr>
- [8] CH32V003-datasheet: <https://tinyurl.com/7zyz5jb>
- [9] CH32V003-referentiehandboek: <https://tinyurl.com/bde8tvmk>
- [10] MCU CH32V003F4P6: <https://www.wch-ic.com/products/CH32V003.html>
- [11] WCH-Link: <https://www.wch-ic.com/products/WCH-Link.html>
- [12] Nordic Power Profiler Kit: <https://tinyurl.com/3urhseh5>
- [13] Projectbestanden op GitHub: <https://tinyurl.com/54fdyuaa>
- [14] Project op Elektor Labs: <https://www.elektormagazine.com/labs/3d-christmas-tree-pcb>



Alle begin...

...houdt nog lang niet op(amp)!

Eric Bogers (Elektor)

We hebben de laatste aflevering afgesloten met een paar generatoren met opamps: de blok golf- en de driehoekgenerator. In de laatste “Alle begin...” van dit jaar bekijken we onder andere de sinusgenerator en enkele multivibratoren.

De sinusgenerator

Een sinusvormige trilling is misschien de “natuurlijkste” aller trillingen, maar in de elektronische praktijk blijkt een sinus verdraaid lastig te genereren – vooral wanneer dat met zo min mogelijk vervorming dient te gebeuren.

Figuur 1 toont een zogenaamde Wienbrug-oscillator; deze levert een sinus waarvan de frequentie wordt gegeven door:

$$f_0 = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot R \cdot C}$$

Met de instelpotmeter wordt de overall-versterking ingesteld. Deze afregeling is tamelijk kritisch: wanneer de totale versterkingsfactor kleiner dan één is, dan loopt de oscillator niet aan. En als de versterking groter dan één is, dan gaat de schakeling in verzadiging, gaat clippen en dus ook vervormen.

Er bestaan allerlei trucs om deze oscillator stabiel te krijgen – maar die hebben allemaal zo hun nadelen. Bij begrenzing met behulp van

diodes gaat de schakeling vaak nog sterker clippen. Stabilisatie door middel van een PTC-weerstand (in de vorm van een gloeilampje) komt de amplitudestabiliteit niet ten goede. Daarom zouden we aan de in figuur 1 getoonde schakeling eigenlijk liever niets willen veranderen en een vervorming van 1% voor lief nemen.

Wanneer een geringere vervormingsfactor vereist is, kunnen we met behulp van een hoog- of banddoorlaatfilter aan de uitgang de harmonischen onderdrukken. Een andere mogelijkheid is de sinus digitaal te genereren en met behulp van een D/A-omzetter in een analoog uitgangssignaal om te zetten – de op die manier haalbare frequentie- en amplitudestabiliteit alsmede vervorming kunnen door geen enkele analoge schakeling zelfs maar worden benaderd.

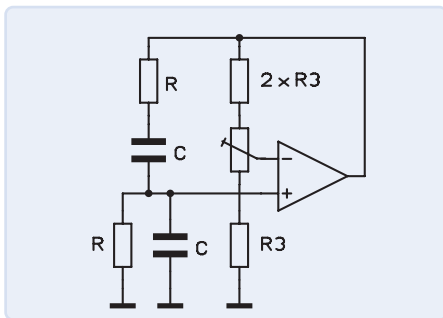
Bistabiele multivibrator

In een nog niet zo verschrikkelijk grijs verleden hebben we de bistabiele multivibrator of flipflop al leren kennen – toen opgebouwd met discrete (“losse”) transistoren. Met een opamp kan het echter ook, zoals **figuur 2** bewijst.

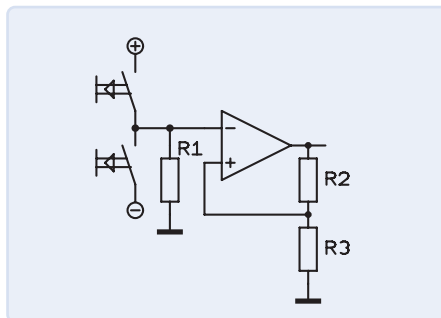
Met behulp van weerstanden R2 en R3 wordt (net als bij de blok golf-generator uit de vorige aflevering) voorzien in meekoppeling. Het maakt daarbij nauwelijks uit met welke factor de uitgangsspanning wordt gedeeld – de schakeling zal bij nagenoeg elke dimensionering wel functioneren.

Weerstand R1 trekt de inverterende ingang in rust naar massa. Wanneer op een van beide drukknoppen wordt gedrukt, dan wordt de inverterende ingang aan de positieve of de negatieve voedingsspanning gelegd en zal de uitgang van de opamp de tegengestelde potentiaal gaan voeren – en blijven voeren, ook wanneer de drukknop weer wordt losgelaten.

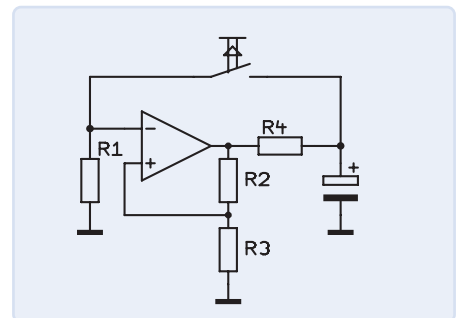
Figuur 3 toont een bistabiele multivibrator die met slechts één drukknop wordt bediend. Veronderstel dat de uitgang positief is.



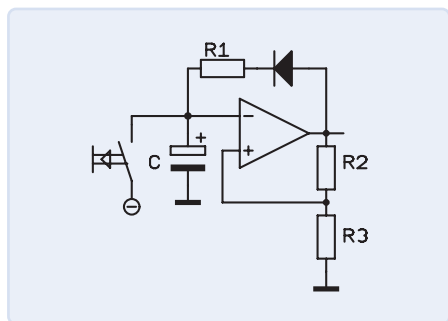
Figuur 1. Sinusgenerator.



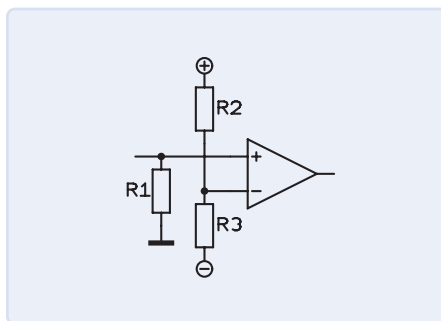
Figuur 2. Bistabiele multivibrator.



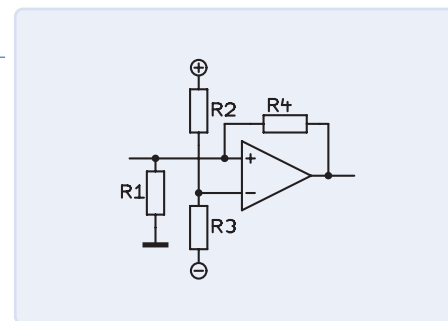
Figuur 3. Flipflop met één knop.



Figuur 4. Monostabiele multivibrator.



Figuur 5. Een gewone comparator.



Figuur 6. De Schmitt-trigger.

De condensator wordt dan via R4 tot dezelfde positieve potentiaal opgeladen. Wanneer we dan op de drukknop drukken, wordt deze spanning op de inverterende ingang van de opamp gezet, die daardoor positiever wordt dan de niet-inverterende ingang. Dat heeft dan weer tot gevolg dat de uitgang van de opamp omklapt en negatief wordt – waarna de condensator tot deze negatieve potentiaal wordt omgeladen.

Met behulp van de spanningsdelers R2/R3 en R4/R1 kan worden ingesteld hoe de schakeling zich gedraagt als de druktoets voortdurend ingedrukt wordt gehouden. Als de spanning over R1 lager is dan die over R3, dan kan men op de knop drukken tot men een ons weegt, maar de uitgangstoestand zal niet veranderen.

Als de spanning over R1 echter groter is, dan gedraagt de schakeling zich als een astabiele multivibrator waarvan de uitgang blijft omklappen zolang men de knop ingedrukt houdt.

Monostabiele multivibrator

Ook een monoflop kan met behulp van een opamp worden opgebouwd. De schakeling van **figuur 4** is afgeleid van de astabiele multivibrator (blokgolfgenerator). Met behulp van een diode wordt er hier voor gezorgd dat de condensator via de uitgang alleen kan worden opgeladen maar niet kan worden ontladen. Voor dat laatste wordt de drukknop gebruikt.

Comparator

De naam comparator is terug te voeren op het Latijnse *comparare* dat “vergelijken” betekent. Een comparator is een schakeling die twee spanningen vergelijkt en die in de meeste gevallen een actie in gang zet zodra een spanning onder of boven een ingestelde drempelwaarde komt.

De referentiespanning (de drempelwaarde) wordt in **figuur 5** ingesteld met R2 en R3. Als de spanning op de niet-inverterende ingang hoger is dan die referentiespanning, dan is de uitgang van de opamp positief – en in het andere geval negatief.

Voor “normale” toepassingen is een gewone comparator zonder meer toereikend. Er zijn echter toepassingen waarbij de te controleren spanning slechts in geringe mate van de referentiespanning afwijkt, en er bovendien ruis op is gesuperponeerd. Het kan dan gebeuren dat de uitgang van de als comparator geschakelde opamp tussen positief en negatief heen en weer gaat “klapperen”. Dat is in de meeste gevallen een ongewenste situatie die kan worden voorkomen door een zogenaamde Schmitt-trigger te gebruiken.

Schmitt-trigger

De Schmitt-trigger (**figuur 6**) lijkt sterk op een comparator, maar is uitgerust met een extra meekoppelweerstand. Deze schakeling mag niet al te laagohmig worden aangestuurd; in voorkomende gevallen

moet een weerstand in serie met de ingang worden opgenomen. De meekoppelweerstand zorgt voor een zekere hysteresis: de spanning waarbij de uitgang positief wordt, ligt hoger dan de spanning waarbij de uitgang weer naar negatief omklapt. Het is de bedoeling dat deze hysteresis een stuk groter wordt ingesteld dan de te verwachten ruis op hetingangssignaal.

Filterschakelingen

Het totale audiobereik beslaat drie decaden – namelijk het frequentiebereik van 20 Hz tot 20 kHz. Een luidspreker is met een beetje goede wil in staat om wellicht één decade fatsoenlijk weer te geven. Het totale audiobereik moet zodoende (als we een tenminste acceptabele kwaliteit wensen) in verschillende delen worden opgesplitst die door verschillende (gespecialiseerde) luidsprekers worden weergegeven.

De daarvoor vereiste wisselfilters kunnen natuurlijk met behulp van passieve filterschakelingen worden gerealiseerd, zoals we eerder in deze basiscursus hebben gezien. Deze passieve filters hebben echter enkele nadelen: bij hogere-orde filters zorgen onderdelenverliezen (en dan vooral de koperweerstand van het wikkeldraad van de gebruikte spoelen) voor steeds grotere problemen, de demping van de luidsprekers gaat duidelijk achteruit, en “dikke” zelfinducties en capaciteiten zijn zwaar en duur.

Dat is de reden waarom men het frequentiebereik bij voorkeur al vóór de eindversterker in deelbereiken opsplijst; we spreken dan van een actief wisselfilter.

Bij actieve wisselfilters kunnen de onderdelenverliezen zonder veel problemen met behulp van een simpel versterkertrapje worden gecompenseerd. Doorgaans wordt geen gebruik gemaakt van zelfinducties en wordt de schakeling uitsluitend met RC-netwerkjes opgebouwd – dus met vernuftige combinaties van weerstanden en condensatoren.

Hebben we uw interesse gewekt? Helaas moet u dan tot het januari/februari-nummer 2025 wachten, wanneer we een duik nemen in de opwindende wereld van de actieve wisselfilters... 

240431-03

De artikelreeks “Alle begin...” is gebaseerd op het boek “Basiscursus elektronica” van Michael Ebner, dat bij Elektor is verschenen (www.elektor.nl/18232).

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.



Autonome sensor-node (project-update #1)

RTC en voedingsschakelaar

Saad Intiaz (Elektor)

In het vorige artikel hebben we de ontwikkeling van een autonome sensornode voor het verzamelen van milieudata besproken. Die schakeling werkte wel, maar op het gebied van het stroomverbruik, vooral in standby, was er duidelijk ruimte voor verbetering. In deze update bespreken we hoe we met een MAX3134-RTC met een ingebouwde voedingsschakelaar het vermogensverbruik kunnen optimaliseren en de gebruiksduur van de accu kunnen verlengen.

Bij de eerste versie van de Autonome LoRaWAN sensor-node [1] hebben we ons geconcentreerd op het bouwen van een werkend systeem voor het versturen van sensordata via LoRaWAN, dat werkt op zonne-energie om milieu-applicaties van gegevens te voorzien. Het systeem bleek te werken, maar het had een duidelijk probleem: het energieverbruik, vooral in standby-modus.

Zoals in het eerste artikel al besproken, gebruikt het systeem in de diepste slaaptoestand altijd nog ongeveer 4,32 mA. Dat is al beter dan het verbruik in actieve toestand, maar door het verder reduceren van het inactieve vermogensverbruik zou het systeem veel langer op één acculading kunnen werken. Dat is vooral kritiek bij mobiele toepassingen, waar niet de hele maand zonlicht beschikbaar is.

Een manier om dat te bereiken is het integreren van een externe RTC met een voedingsschakelaar om het systeem helemaal uit te schakelen als het niet in gebruik is. Het systeem wordt dan alleen maar gevoed als het tijd is om metingen te doen of om data te verzenden. We hebben verschillende mogelijkheden overwogen; daarvan bleef de

MAX3134 Ultra-Low-Power Real-Time Clock van Analog Devices [2] over vanwege zijn unieke mogelijkheid om de timing te verzorgen bij een minimaal vermogensverbruik, plus de ingebouwde voedingsschakelaar die de stroomopname automatisch kan besturen.

In deze update concentreren we ons op het verbeteren van de efficiëntie van de sensor-node met een nieuwe module rondom de MAX3134 RTC.

Waarom de MAX3134?

We hebben de MAX3134 gekozen vanwege zijn uitstekende energie-efficiëntie en zijn veelzijdigheid. Die maken hem ideaal voor accugevoede low-power systemen. We zetten hier de voordelen op een rij.

Uiterst laag stroomverbruik

Bij een stroomverbruik van slechts 70 nA in klokmodus is de MAX3134 één van de zuinigste RTC's op de markt. Dat verlengt de accu-gebruiksduur tijdens inactieve perioden aanzienlijk. Hierdoor is hij perfect voor langdurige remote IoT-toepassingen waar vermogensbesparing essentieel is.

Geïntegreerde voedingsschakelaar

De MAX3134 heeft een geïntegreerde voedingsschakelaar voor maximaal 500 mA die de voeding van de ESP32-C3 en de sensoren regelt. Hiermee kan het systeem tijdens inactieve periodes helemaal worden uitgeschakeld, zodat er vrijwel geen stroom wordt verbruikt en de gebruiksduur van de accu verbeterd.

Interne druppellader

De ingebouwde druppellader kan een supercap rechtstreeks laden. Meer hierover is te vinden in het kader **Waarom een RTC een backup-voeding nodig heeft**. Dit vereenvoudigt het ontwerp omdat er geen externe laadcomponenten nodig zijn. De laadinstellingen kunnen via een register worden aangepast, zodat er veilig en efficiënt wordt geladen en een betrouwbare backup-voeding beschikbaar is.

Programmeerbare alarmen en timing

Dankzij de programmeerbare alarmen en timers kan de MAX31334 het systeem met specifieke tussenpozen activeren. De twee interruptpinnen (INT1 en INT2) maken de module flexibel inzetbaar voor diverse toepassingen.

Groot spanningsbereik en voordelig

Het voedingsspanningsbereik loopt van 1,1 V tot 5,5 V. De combinatie van timing, voedingsschakelaar en laadfunctie in één IC reduceert het aantal componenten en de totale ontwerpkosten. Deze combinatie van eigenschappen vereenvoudigt het ontwerp en garandeert een robuuste controle over het energieverbruik.

Het schema

Het hart van het ontwerp (**figuur 1**) is de MAX31334 (IC1). Die verzorgt zowel de timing als het vermogensbeheer. De supercap (C2) is rechtstreeks verbonden met de RTC en wordt opgeladen door de interne druppellader van de MAX31334, zodat de backup-voeding garandeert dat de RTC blijft werken, ook als de batterij wordt vervangen. Zo blijft de tijdmeting gehandhaafd en kan het systeem naadloos verder werken zodra de voeding is hersteld.

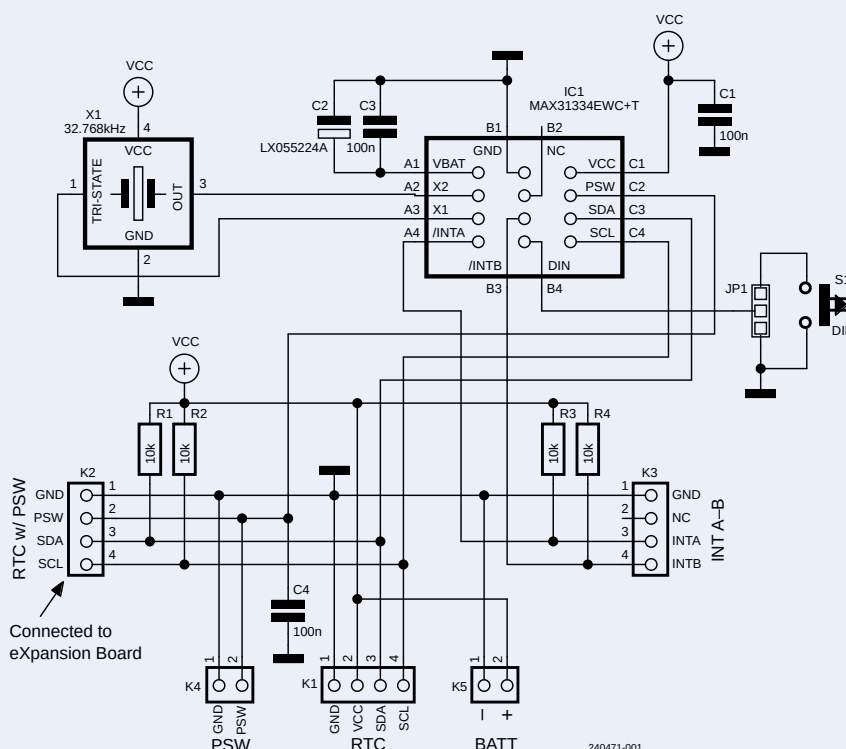
K5 is de accu-aansluiting, waardoor het hele systeem wordt gevoed, inclusief de RTC en de aangesloten sensoren. K1 verzorgt de I²C-communicatie tussen de RTC en de microcontroller. Via deze interface kan de MCU tijdgegevens opvragen en de werking van de voedingsschakelaar beheren die het hele systeem in- en uitschakelt. Merk op

Waarom een RTC een backup-voeding nodig heeft

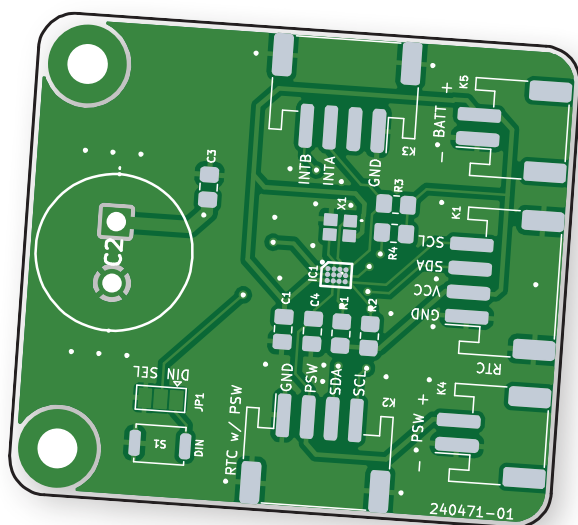
Een supercap wordt gebruikt als backup-voeding voor de MAX31334 RTC om de tijdgegevens te behouden wanneer de voedingsspanning wegvalt. Dat is essentieel om de geplande events en de datum en tijd te behouden in langdurige toepassingen, zoals sensornetwerken of remote IoT-apparaten. De supercap levert tijdelijk voeding aan de RTC, om te voorkomen dat data verloren gaat bij onderbreking van de voedingsspanning. De interne druppellader van de MAX31334 zorgt voor efficiënt opladen van de supercap, zonder dat daar externe componenten aan te pas komen. Door de RTC operationeel te houden tijdens deze perioden, kan het systeem naadloos blijven functioneren wanneer de reguliere voedingsspanning weer terugkomt.

dat elk microcontroller-board dat hier wordt aangesloten altijd gevoed wordt, omdat K1 en K5 zijn doorverbonden.

Als een board alleen met tussenpozen hoeft te worden gevoed, moet dat worden aangesloten op K2 of K4. Deze connectoren worden gebruikt om dochterkaarten of externe modules te voeden, zodat de MAX31334 specifieke apparaten kan in- en uitschakelen afhankelijk van wat het systeem nodig heeft. Op K2 is ook de I²C-bus beschikbaar. Op K3 zijn de twee interruptlijnen (INT1 en INT2) toegankelijk; R4 en R5 werken als pullup-weerstanden. Met deze interrupts kan het systeem op van te voren bepaalde momenten of als reactie op externe



Figuur 1. Het schema van de module.



Figuur 2. Printontwerp voor de module.

gebeurtenissen worden geactiveerd. Dit geeft het systeem een grotere flexibiliteit bij hoe en wanneer het inschakelt.

Verder zorgen jumper JP1 en drukknop S1 voor besturing van de DIN-pin met een Schmitt-trigger. Daarmee is handmatige regeling van de voedingstoestand mogelijk. Deze mogelijkheid kan worden uitgeschakeld als die niet nodig is, door de pin via JP1 aan massa te leggen. Het hele schema is ontworpen voor efficiënt vermogensbeheer met optimaal gebruik maken van de mogelijkheden van de MAX31334 voor het schakelen van de voeding en het laden van de supercap zonder externe componenten. De eenvoud van dit ontwerp maakt het zeer aanpasbaar voor diverse IoT- en sensortoepassingen.

Het printontwerp

De dubbelzijdige print meet 40x45 mm (**figuur 2**) en is ontworpen voor veelzijdig en efficiënt vermogensbeheer. De print beschikt over Grove-connectoren voor compatibiliteit met een grote reeks sensoren, modules en microcontrollers. K1 wordt gebruikt voor I²C-communicatie met de MCU en K2 en K4 voor het voeden van dochterkaarten of externe modules. K5 is de voedingsconnector van het systeem en de supercondensator (C2) voor de backup-voeding zit middenop de print. In **figuur 3** ziet u een 3D-impressie van de voor- en achterzijde van de print.

Er zijn montagegaten voor de installatie in de behuizing, zodat de module robuust en flexibel inzetbaar is voor verschillende projecten. De Grove-connectoren garanderen snelle en eenvoudige integratie met andere ontwikkelkaarten, wat weer bijdraagt aan de flexibiliteit.

En dan nu: testen en valideren

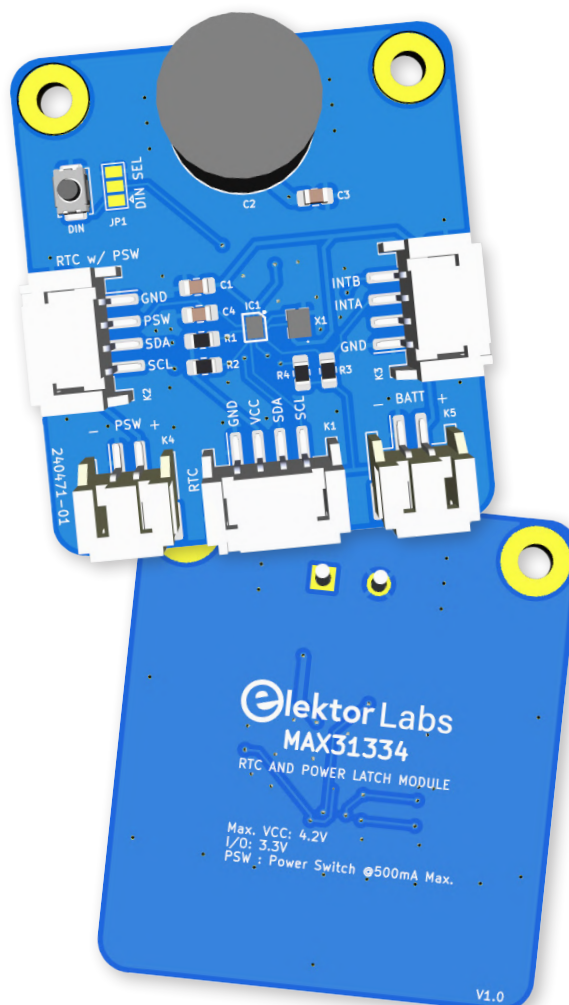
De module is ontworpen, schema en print zijn klaar; nu moet hij zich in de praktijk bewijzen. Als de hardware is geassembleerd, kan een uitgebreide test met behulp van de Joulescope JS200 aantonen of de module voldoet aan de ontwerpeisen: reductie van het stroomverbruik in standby tot bijna nul. Verder zal de betrouwbaarheid over langere perioden worden getest om te garanderen dat ook de backup-voeding en de voedingsschakelaar naar behoren functioneren. ◀

vertaling: Evelien Snel — 240471-03



Over de auteur

Saad Imtiaz, Senior Engineer bij Elektor, is een mechatronica-ingenieur met uitgebreide ervaring in embedded systemen en productontwikkeling. Tijdens zijn carrière heeft hij samengewerkt met een breed scala aan bedrijven, van innovatieve startups tot gevestigde globale ondernemingen, om geavanceerde prototypes en projecten te ontwikkelen. Saad heeft een rijke achtergrond, waaronder een periode in de luchtvaartindustrie en het leiden van een technologische startup, en brengt een unieke mix van technische expertise en ondernemersgeest met zich mee in zijn rol bij Elektor. Hier draagt hij bij aan projectontwikkeling in zowel software als hardware.



Figuur 3. 3D-impressie van de print.

Vragen of opmerkingen?

Hebr 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.

WEBLINKS

- [1] Saad Imtiaz, "Autonome sensor-node," Elektor september/ oktober 2024: <https://elektormagazine.nl/240354-03>
- [2] MAX31334 Ultra-Low-Power Real Time Clock with Integrated Power Switch: <https://www.analog.com/en/products/max31334.html>



Gerelateerde producten

- > Seedeo Studio XIAO ESP32C3
www.elektor.nl/20265
- > Seedeo Studio Grove SCD30 CO2
www.elektor.nl/20012
- > Seedeo Studio LoRa-E5 STM32WLE5JC
www.elektor.nl/19956
- > Seedeo Studio Solar Panel (3 W)
www.elektor.nl/19131
- > Waveshare Solar Power Management Module
www.elektor.nl/20488
- > Dragino LoRa/LoRaWAN IoT Kit v3 (EU868)
www.elektor.nl/20775

PCBWay

PCBWay – Flex- en Rigid-flex PCB's voor onverslaanbare prijzen

Krijg hoogwaardige Flex- en Rigid-flex PCB's
vanaf slechts **\$46,74**

- 1-16 lagen
- 100% E-test
- Zeer aanpasbaar

Bezoek ons op
electronica 2024,
stand **A1.163**

 www.pcbway.com

 service@pcbway.com

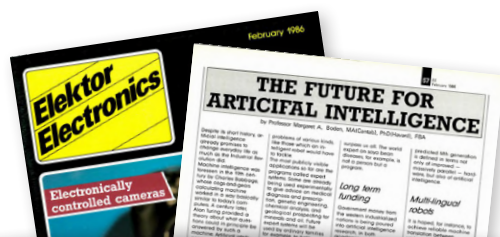




een terugblik op de toekomst

Brian Tristam Williams (Elektor)

In minder dan twee jaar tijd heeft AI de elektronica- en codeerwereld stormenderhand veroverd. Van geavanceerde tools voor printontwerp tot AI-gestuurde firmware-automatisering, de industrie heeft snelle veranderingen doorgemaakt. Ingenieurs en hobbyisten hebben nu toegang tot slimmere, efficiëntere systemen die de ontwikkeltijd verkorten en de prestaties verbeteren. De rol van AI in embedded systemen, real-time edge-verwerking en zelfs chipontwerp geeft de toekomst van elektronica vorm op manieren die weinigen een jaar geleden hadden kunnen voorspellen.



Een artikel in *Elektor Electronics* van februari 1986 begon als volgt:

"Ondanks haar korte geschiedenis belooft kunstmatige intelligentie het dagelijks leven nu al net zo te veranderen als de industriële revolutie dat deed. Machine-intelligentie werd in de 19e eeuw voorzien door Charles Babbage, wiens rekenmachine met radertjes en tandwielen op een manier werkte die in grote lijnen lijkt op de computers van vandaag. Een eeuw later kwam Alan Turing met een theorie over welke vragen in principe beantwoord zouden kunnen worden door zo'n machine. Kunstmatige intelligentie groeide uit het werk aan digitale computers in de Tweede Wereldoorlog en kreeg in 1956 een naam. Sinds de eerste pogingen in het midden van de jaren '50 heeft het enkele opmerkelijke successen geboekt. De computers van vandaag kunnen sommige taken uitvoeren die normaal gesproken alleen aan ons verstand zijn voorbehouden – maar slechts in zeer beperkte mate. Sommige programma's kunnen bijvoorbeeld zinvol reageren op vragen of verklaringen die zijn uitgedrukt in natuurlijke talen zoals Duits of Engels – wat betekent dat gewone mensen geen speciale programmeertaal hoeven te leren voordat ze ermee kunnen communiceren." [1]

36 jaar later schudde de wereld eindelijk op zijn grondvesten toen OpenAI in november 2022 het generatieve chatmodel lanceerde dat mensen opviel, GPT-3.5 (figuur 1).

Het schokte mensen en deed alarmbellen rinkelen. Sommige leiders uit de industrie en de publieke sector riepen zelfs op tot een moratorium van zes maanden op verdere AI-ontwikkeling. Dat is er nooit van gekomen en de negatieve implicaties werden grotendeels overschat. Maar mensen, sectoren en industrieën werden beïnvloed, ten goede of ten kwade. Het heeft banen gekost, sommigen pijn gedaan en anderen de kans gegeven om hun productiviteit te verhogen en middelen vrij te maken voor meer creativiteit.

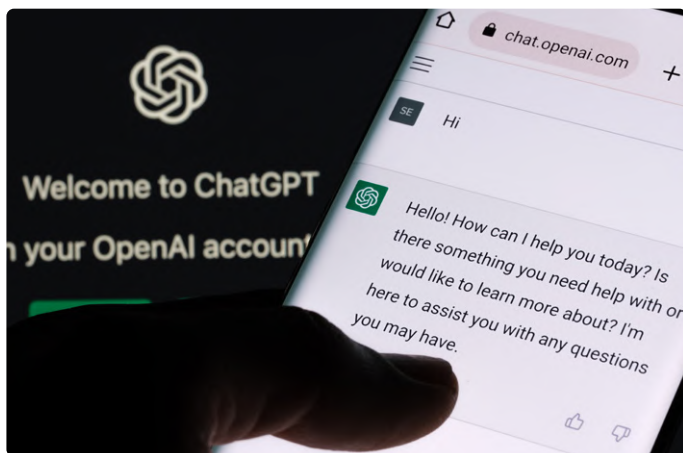
Laten we, voordat we de wereld in het algemeen beschouwen, eerst eens kijken naar de impact op onze favoriete sectoren.

AI in elektronica en programmeren

Kunstmatige intelligentie heeft een revolutie teweeggebracht in de ontwikkeling van elektronica en software, waardoor het voor ingenieurs en ontwikkelaars eenvoudiger is geworden om geavanceerdere en efficiëntere systemen te maken. AI wordt gebruikt in verschillende aspecten van elektronica, van het ontwerp van een schakeling tot de ontwikkeling van firmware en automatisering.

AI-gestuurd elektronica-ontwerp

Op het gebied van elektronica-ontwerp helpen AI-tools zoals SnapMagic van Natasha Baker [2] bij het stroomlijnen van processen door taken zoals print-layout en componentselectie te automatiseren. SnapMagic is een hulpmiddel dat is gemaakt om het PCB-ontwerpproces te optimaliseren en het sneller en efficiënter te maken, vooral voor hobbyisten en kleinschalige ontwikkelaars. Door eerdere ontwerpen te analyseren en intelligente suggesties te doen, hoeft er minder tijd te worden besteed aan handmatige aanpassingen, waardoor ingenieurs zich kunnen richten op ingewikkelder ontwerpuitdagingen. Bovendien is het vermogen van AI om potentiële ontwerpfouten vroeg in het ontwikkelproces te voorspellen van onschatbare waarde gebleken in industrieën waar precisie en betrouwbaarheid cruciaal zijn. AI-gestuurde tools kunnen de prestaties van schakelingen onder verschillende omstandigheden simuleren, waardoor dure fouten kunnen worden vermeden die het gevolg kunnen zijn van conventionele controles [3].



Figuur 1. GPT-3.5 van ChatGPT was het eerste AI-product dat tot de verbeelding sprak (bron: Ascannio / stock.adobe.com).



Figuur 2. BeagleY-AI, Raspberry Pi 5 en Raspberry Pi Pico 2 profiteren allemaal van edge-AI.

Embedded systemen en edge-AI

Embedded systemen, met name op platformen zoals BeagleBoard, Raspberry Pi en zelfs Raspberry Pi Pico (figuur 2), profiteren steeds meer van AI-gestuurde verbeteringen. Edge-AI stelt deze apparaten in staat om gegevens in real-time te verwerken, waardoor toepassingen als machine vision en spraakherkenning toegankelijker worden voor zowel hobbyisten als professionals [4].

AI-modellen kunnen nu rechtstreeks in hardware worden geïntegreerd om sensorfusie, voorspellend onderhoud en zelfs adaptief energiebeheer te realiseren. Deze edge-gebaseerde AI-oplossingen zijn van vitaal belang voor IoT-apparaten en smart home-systemen, waar realtime lokale verwerking de voorkeur heeft boven cloudgebaseerde alternatieven vanwege latentie en privacyproblemen.

AI in firmwareontwikkeling en automatisering

AI heeft ook een grote invloed gehad op de manier waarop ontwikkelaars firmware schrijven en beheren. Tools zoals GitHub Copilot [5] en OpenAI's Codex [6] worden gebruikt om repetitieve codeertaken te automatiseren, te helpen bij het debuggen en zelfs 'boilerplate'-code te genereren op basis van aanwijzingen in natuurlijke taal. Hierdoor kunnen ontwikkelaars zich richten op complexere aspecten van hun projecten, waardoor ontwikkelcycli korter worden en de productiviteit toeneemt [7].

Als ontwikkelaars bijvoorbeeld werken aan firmware voor een wmbwd-systeem, kunnen ze AI gebruiken om geoptimaliseerde code te genereren voor apparaatdrivers, waardoor de prestaties verbeteren en de kans op bugs bij hardware-integratie afneemt. AI-ondersteunde codeertools zijn vooral nuttig in omgevingen met beperkte resources, zoals microcontrollers, waar efficiënte code essentieel is voor zowel de prestaties als de levensduur van de batterij.

AI-ondersteund chipontwerp

Het gebruik van AI in chipontwerp is een andere game-changer. Bedrijven als Google en Apple gebruiken AI om de plaatsing en routing van transistors op siliciumwafers te automatiseren, waarbij prestaties en energiezuinigheid worden geoptimaliseerd. Google's AI-ondersteunde ontwerp voor zijn Tensor Processing Units (TPU's) heeft het mogelijk gemaakt om sneller efficiëntere chips te ontwikkelen dan met traditionele methoden – dus AI om AI te versnellen!

Ook worden er AI-gestuurde maatgesneden ASIC's (Application-Specific Integrated Circuits) ontwikkeld om AI-taken te versnellen in consumentenelektronica, zoals smartphones en smart home-apparaten. Deze chips zijn geoptimaliseerd voor taken als gezichtsherkenning, verwerking van natuurlijke taal en beeldverwerking, waardoor real-time AI-toepassingen mogelijk worden zonder afhankelijk te zijn van cloud computing.

De toekomst van elektronica en codering transformeren

De integratie van AI in elektronica en codering stimuleert de ontwikkeling van slimmere, efficiëntere systemen. Van tools zoals SnapMagic, die het printontwerp vereenvoudigen, tot AI-ondersteunde codeerplatforms en chipontwerp, AI verandert de manier waarop ingenieurs en hobbyisten elektronica benaderen. Naarmate AI zich verder ontwikkelt, zal het ongetwijfeld een nog crucialer onderdeel worden van het elektronica-ontwikkelingslandschap en de weg vrijmaken voor innovaties in ingebedde systemen, IoT en daarbuiten.

Generatieve AI's transformatie in verschillende sectoren

Generatieve AI heeft sectoren buiten de techwereld een nieuwe vorm gegeven. De toename van generatieve AI-financiering in 2023 werd gedreven door bedrijven die op zoek waren naar manieren om het maken van content, marketing, productontwerp en klantenservice te automatiseren. AI-gestuurde tools voor het maken van content hebben bedrijven bijvoorbeeld in staat gesteld om gepersonaliseerde marketingstrategieën op grote schaal te ontwikkelen, waardoor de tijd die nodig is om geschreven en visuele content te genereren drastisch wordt teruggebracht. Industrieën zoals entertainment hebben (ten goede of ten kwade) AI ook omarmd en gebruiken modellen zoals Google DeepMind's Lyria [8] om muziek en visuele effecten te genereren, wat een nieuw tijdperk van AI-gestuurde creativiteit inluidt.

Op het gebied van klantenservice zijn AI-chatbots zoals OpenAI's ChatGPT [9] en Google's Gemini (voorheen Bard) [10] steeds geavanceerder geworden en kunnen ze een breder scala aan gebruikersvragen aan, gepersonaliseerde ervaringen bieden en zelfs assisteren bij complexe taken zoals codering en medische diagnoses. Nu deze tools steeds breder worden toegepast, onderzoeken bedrijven steeds vaker of AI kan worden gebruikt voor het genereren van rapporten, het opstellen van juridische documenten en zelfs het bieden van ondersteuning op het gebied van geestelijke gezondheid.

AI en verschuivingen op de arbeidsmarkt

De integratie van AI in de beroepsbevolking heeft geleid tot aanzienlijke productiviteitswinsten, maar heeft ook discussies aangewakkerd over de verstoring van de arbeidsmarkt. In een studie uit 2023 werd benadrukt hoe AI de vaardigheidskloof tussen hoogopgeleide en laagopgeleide werknemers kan verkleinen door tools te bieden waarmee werknemers taken sneller en kwalitatief beter kunnen uitvoeren. De impact van AI op banen is echter polariserend, met zorgen over het potentieel van automatisering om functies te vervangen in sectoren zoals de detailhandel, transport en zelfs professionele diensten zoals recht en geneeskunde.

Aan de andere kant heeft AI nieuwe functies gecreëerd in data science, machine learning engineering en AI-ethiek, omdat bedrijven specialisten inhuren om AI-systemen te beheren, te interpreteren en te ontwikkelen. Bedrijven investeren in het opleiden en bijscholen van werknemers om met AI te kunnen werken, waardoor sommige zorgen over banenverlies worden verzacht.

De rol van AI bij klimaatverandering en duurzaamheid

AI speelt een steeds belangrijkere rol bij het aanpakken van wereldwijde uitdagingen zoals klimaatverandering. Modellen zoals DeepMind van Google zijn gebruikt om het energieverbruik in datacenters te optima-

liseren, waardoor hun CO₂-footprint aanzienlijk is verminderd. Andere AI-gedreven initiatieven hebben zich gericht op voorspellende analyses voor klimaatmodellering, waardoor wetenschappers weerpatronen nauwkeuriger kunnen voorspellen, natuurrampen kunnen voorspellen en het gebruik van hernieuwbare energie kunnen optimaliseren.

Startups zijn ook begonnen met het gebruik van AI voor duurzaamheidsoplossingen. AI wordt bijvoorbeeld gebruikt om toeleveringsketens te optimaliseren, afval te verminderen en het beheer van hulpbronnen te verbeteren. Het vermogen van AI om enorme hoeveelheden gegevens te verwerken heeft doorbraken mogelijk gemaakt in bijvoorbeeld de landbouw, waar precisie-landbouwtechnieken op basis van AI hebben geholpen om het waterverbruik en de toepassing van pesticiden te reduceren, wat heeft geleid tot duurzamere landbouwpraktijken.

AI in het onderwijs: een tweesnijdend zwaard

De rol van AI in het onderwijs is transformatief maar controversieel. Tools zoals ChatGPT worden op grote schaal gebruikt door studenten als hulp bij huiswerk, onderzoek en zelfs het schrijven van essays. Dit heeft geleid tot bezorgdheid over academische integriteit, waarbij docenten zich steeds vaker wenden tot AI-detectietools zoals Detect-GPT [11] om te bepalen of studenten AI-gegenereerd werk insturen. Deze detectieprogramma's hebben echter een vertekend beeld gegeven, vooral bij mensen die niet het Engels als moedertaal hebben – hun werk vaak ten onrechte geclassificeerd als AI-gegenereerd vanwege een andere schrijfstijl.

Deze hulpmiddelen vereisen echter ook dat leerkrachten ervan op de hoogte zijn en weten waarom ze nodig zijn. Ze moeten de leerlingen voor zijn met deze technologie en dat is niet altijd mijn ervaring geweest – ik heb kinderen op de basisschool lui AI-werk zien inleveren bij leraren die nog nooit van AI hebben gehoord en die nog steeds denken dat het voldoende is om een paar zinnen te googelen om te controleren op plagiaat. De evolutie gaat door, zoals altijd – niets en niemand is op langere termijn onfeilbaar.

Aan de positieve kant wordt AI gebruikt om gepersonaliseerde leerervaringen te creëren. AI-leraren kunnen nu de zwakke punten van studenten beoordelen in vakken zoals wiskunde en oefeningen daarop afstemmen. Dit niveau van maatwerk helpt leemtes op te vullen en biedt studenten de mogelijkheid om in hun eigen tempo te leren. Voor leerkrachten die vooruitlopen op de ontwikkelingen wordt AI ook gebruikt om opdrachten en examens efficiënter te beoordelen, zodat leerkrachten zich kunnen richten op de betrokkenheid van leerlingen en instructie.

Ethiek en AI: een mijnenveld

Nu AI steeds algemener wordt, is de bezorgdheid over ethische kwesties toegenomen. Een van de belangrijkste discussies draait om de transparantie van AI-modellen. Met de opkomst van gesloten modellen zoals GPT-4 en Gemini hebben onderzoekers erop gewezen dat het steeds moeilijker wordt om te begrijpen hoe deze modellen tot hun conclusies komen. Deze ondoorzichtigheid, bekend als het 'black box-probleem', heeft geleid tot oproepen voor meer transparantie in de ontwikkeling van AI-modellen.

Ethische kwesties rond vooroordelen binnen AI blijven een belangrijk punt van zorg. AI-modellen, getraind op basis van historische gegevens, weerspiegelen vaak maatschappelijke vooroordelen, wat leidt tot discriminatie op gebieden als personeelswerving, wetshandhaving

en kredietverlening. De introductie van de Foundation Model Transparency Index in 2023, die AI-modellen beoordeelt op 100 aspecten van transparantie, is een stap in de richting van het aanpakken van deze zorgen. Toch kunnen AI-systemen, zoals we hebben gezien bij AI-detectietools, onbedoeld vooroordelen versterken, waardoor de roep om beter toezicht luid wordt.

Een andere opkomende ethische kwestie is het potentieel van AI om deepfakes en verkeerde informatie te genereren, vooral in de politieke sfeer. Met verkiezingen in het vooruitzicht in verschillende landen heeft het gebruik van AI om overtuigende – maar vervalste – verhalen te creëren alarmbellen doen rinkelen over de mogelijkheid om de democratie te ondermijnen. Wetgevende instanties over de hele wereld, waaronder de VS en de Europese Unie, zijn begonnen met het opstellen van regelgeving om deze uitdagingen aan te pakken, maar de vooruitgang is traag en gefragmenteerd.

AI en gezondheidszorg: uitdagingen en kansen

De intrede van AI in de gezondheidszorg is zowel veelbelovend als problematisch. Aan de ene kant worden AI-modellen zoals Gemini Pro gebruikt om artsen te helpen bij het diagnosticeren van aandoeningen en het geven van behandeladviezen. Uit een onderzoek in 2023 bleek dat AI 91 tot 93% van de tijd veilige klinische antwoorden kon genereren. Uit hetzelfde onderzoek bleek echter dat AI-modellen vaak onjuiste citaten leveren en af en toe schadelijke behandelingen aanbevelen als gevolg van 'gehallucinerde' gegevens, wat zorgen baart over hun betrouwbaarheid in kritieke gezondheidszorgscenario's. [4]

Bovendien heeft AI veelbelovende mogelijkheden laten zien in de medische beeldvorming, waardoor aandoeningen zoals kanker sneller en nauwkeuriger gediagnosticeerd kunnen worden. Er zijn ook AI-modellen ontwikkeld om uitbraken van ziekten te voorspellen en de zorg voor patiënten te verbeteren door middel van gepersonaliseerde behandelplannen. De integratie van AI in de gezondheidszorg verloopt echter traag vanwege hordes in de regelgeving, zorgen over privacy en de behoefte aan menselijk toezicht bij kritieke besluitvorming. In de consumentgerichte sfeer raden tools zoals ChatGPT u uit voorzichtigheid altijd aan om naar de dokter te gaan zodra u iets vermeldt dat ook maar enigszins te maken heeft met een afwijking op/aan/in het menselijk lichaam, van een droog zacht gehemelte tot een jeukende elleboog. Ik werd daar op den duur moe van en moest GPT aanpassen met wat gerichte instructies.



Naar de volgende grens van AI

AI heeft het afgelopen jaar enorme vooruitgang geboekt op het gebied van generatieve modellen, wetenschappelijk onderzoek en de gezondheidszorg, naast meer investeringen en een bredere toepassing in verschillende sectoren. De snelle evolutie van AI brengt echter aanzienlijke uitdagingen met zich mee op het gebied van ethiek, regelgeving en publieke perceptie. Nu AI steeds meer ingebed raakt in het dagelijks leven, is het cruciaal om een evenwicht te vinden tussen innovatie en verantwoordelijkheid om ervoor te zorgen dat AI de samenleving als geheel ten goede komt. Met de voortdurende ontwikkelingen in wetgeving, ethische kaders en technologie blijft de toekomst van AI zowel spannend als onzeker. ◀



230181-J-03

Over de auteur

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

Vragen of opmerkingen?

We horen graag hoe u AI gebruikt en wat de invloed ervan is geweest in de afgelopen twee jaar. Als u vragen of opmerkingen hebt, stuur dan een e-mail naar brian.williams@elektor.com. U kunt me ook elke maand zien op Elektor Engineering Insights op YouTube, en u kunt me vinden @briantw op X.

WEBLINKS

- [1] Prof. M. Boden, "Artificial Intelligence," Elektor February 1986: <https://elektormagazine.com/magazine/elektor-198602/46891>
- [2] Elektor TV, "Innovation with AI: Interview with Natasha Baker of SnapMagic": <https://youtu.be.com/iWnPgEctO8Q>
- [3] Google Research, "2023: A year of groundbreaking advances in AI and computing": <https://tinyurl.com/googleresearch2023>
- [4] Stanford University Human-Centered Artificial Intelligence, "13 Biggest AI Stories of 2023": <https://tinyurl.com/stanford13aistories>
- [5] GitHub Copilot: <https://github.com/features/copilot>
- [6] OpenAI Codex: <https://openai.com/index/openai-codex>
- [7] Forbes Australia, "The 2024 AI Index is out. Here are the Top 10 takeaways": <https://tinyurl.com/forbesai2024index>
- [8] Google DeepMind's Lyria: <https://deepmind.google/discover/blog/transforming-the-future-of-music-creation>
- [9] OpenAI's ChatGPT: <https://chat.openai.com>
- [10] Gemini van Google: <https://gemini.google.com>
- [11] DetectGPT: <https://detectgpt.com>

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).



PTS200 slimme soldeerbout (incl. 4 soldeertips + 100 W voeding)

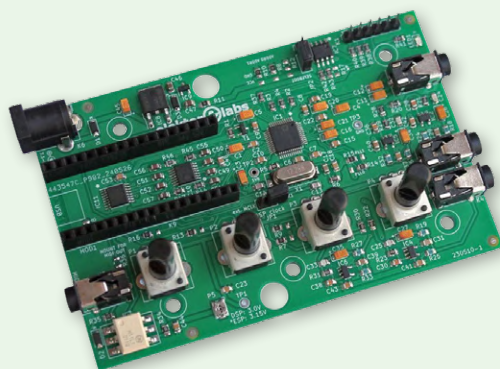
De PTS200 is een krachtige, ESP32-gestuurde draagbare slimme soldeerbout met een instelbaar uitgangsvermogen van 18 tot 100 W. In combinatie met een voeding van 100 W en een soldeerstift van 4 Ω maakt deze soldeerbout een traditioneel soldeerstation overbodig en voldoet hij volledig aan de eisen van verschillende soldeertaken. Hij beschikt over 4 instelbare bedrijfsspanningen, waardoor hij voor verschillende stroombronnen kan worden geconfigureerd.

Prijs: ~~€ 124,95~~

Actieprijs: € 99,95

 www.elektor.nl/20940

Elektor Audio DSP FX Processor



De Elektor Audio DSP FX Processor combineert een Espressif ESP32-microcontroller en een ADAU1701 Audio DSP van Analog Devices. Naast een door de gebruiker programmeerbare DSP-kern heeft de ADAU1701 hoogwaardige analoog-naar-digitaal en digitaal-naar-analoog converters ingebouwd en is hij voorzien van een I²S-poort. Dit maakt hem geschikt als hoogwaardige audio-interface voor de ESP32.

Prijs: ~~€ 99,95~~

Actieprijs: € 79,95

 www.elektor.nl/20895



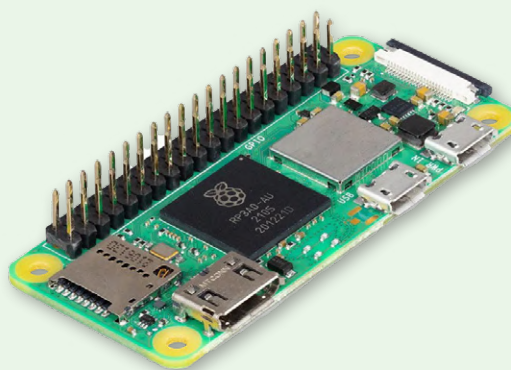
Raspberry Pi AI Camera



Prijs: € 79,95

 www.elektor.nl/20953

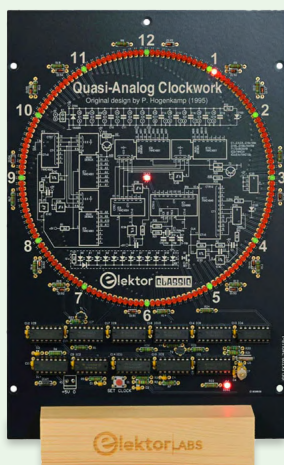
Raspberry Pi Zero 2 WH (met Header)



Prijs: € 22,95

 www.elektor.nl/20952

Elektor Quasi-Analog Clockwork Kit

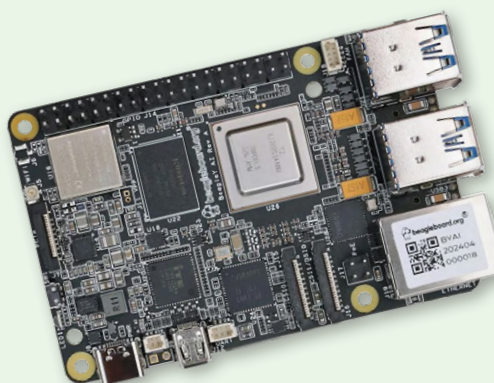


Prijs: ~~€ 79,95~~

Actieprijs: € 64,95

 www.elektor.nl/20944

BeagleY-AI SBC met GPU, DSP en KI-accelerators

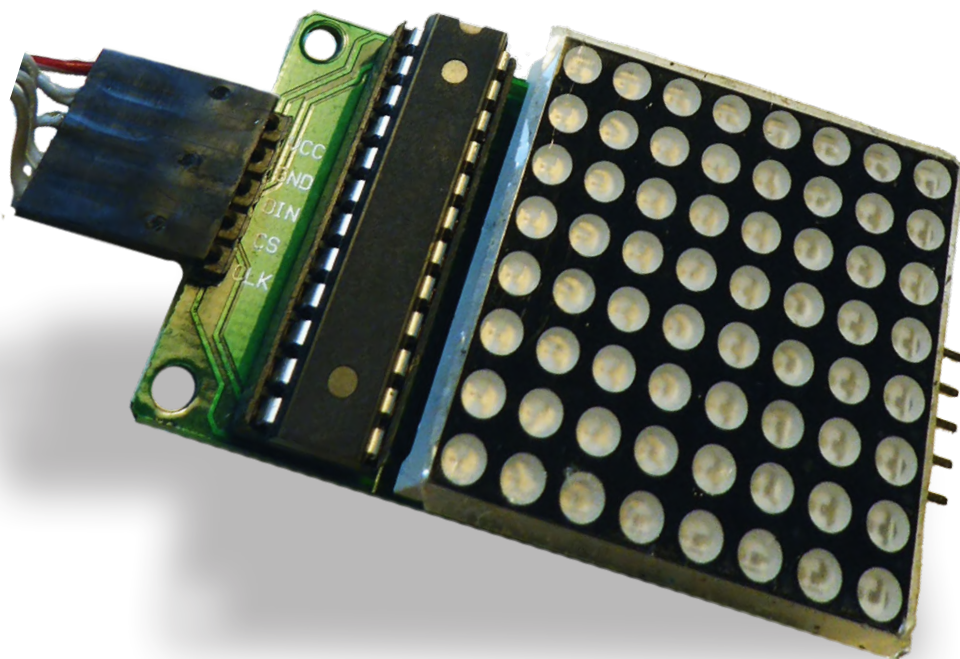


Prijs: € 89,95

 www.elektor.nl/20991

LED-displays met de MAX7219

aan de slag met een grandioze chip



*Figuur 1.
Een goedkope
MAX7219-module.*

Dr. Jonathan Hare (Verenigd Koninkrijk)

De MAX7219 is een nuttige en veelzijdige displaydriver die tot 64 LED's onafhankelijk van elkaar kan aansturen. Hij is al lang geen onbekende meer, maar bestaande tutorials gebruiken vaak kant-en-klare bibliotheken. Ik stel daarentegen een nuchtere aanpak voor door de registers van de component voor een beter begrip rechtstreeks aan te sturen. Dit biedt praktische informatie om met deze nuttige, zuinige en leuke chip aan de slag te gaan.

De MAX7219 [1] van Maxim Integrated in zijn 24-pins behuizing kan maximaal acht rijen van acht LED's onafhankelijk van elkaar aansturen, of als alternatief tot acht zeven-segment-displays, wat ideaal is voor projecten waarbij een reeks LED's voor een visueel display wordt gebruikt. Ik heb onlangs acht van deze chips ingezet om een kubus van 512 LED's aan te sturen in een interactief spel om matrix- en tensorwiskunde te leren [2]. Er zijn veel interessante projecten op het internet te vinden die er gebruik van maken, die geweldig zijn als je eenvoudigweg wilt kopiëren wat er te zien is. U hebt er echter vaak niet veel aan als u uw eigen projecten wilt bouwen. Laten we het anders aanpakken en direct met de registers werken.

MAX7219-modules

U kunt natuurlijk de 'kale' chip kopen in een DIP- of SMD-behuizing, maar het is gemakkelijker en goedkoper om een kant-en-klare module te kopen op eBay of soortgelijke websites. Deze hebben een 8x8 LED-array op de print (**figuur 1**). Een typische module heeft vijf aansluitingen: VCC = 5 V, GND = 0 V, DIN = SPI-data, CS = chip select en CLK = SPI-klok. U ziet dat er twee vijfpolige connectoren zijn. De linker, die het dichtst bij de chip zit, dient voor de communicatie

met het board. De tweede, rechts, kan worden gebruikt om meerdere modules door te lussen, om zo een groter display te maken.

Schema

Het schema van de module is gegeven in **figuur 2**. Het is heel eenvoudig: de chip wordt gevoed via pin 19 (VCC, 5 V) en de pinnen 4 en 9 (GND). Dan gaan pinnen 2, 3, 5, 6, 7, 8, 10 en 11 naar de kathodes van de LED's. Deze worden Dig 0...Dig 7 genoemd in de datasheet, omdat ze ook kunnen worden gebruikt om zeven-segment-displays aan te sturen. Pinnen 14, 15, 16, 17, 20, 21, 22 en 23 gaan naar de anodes van de LED's. Ze worden om dezelfde reden SEG A...SEG DP genoemd in de datasheet. Pin 18 wordt gebruikt om de maximale helderheid van alle LED's in te stellen, dit wordt gedaan door deze pin via een weerstand (meestal 10 kΩ) met de positieve voeding te verbinden. Pinnen 1, 12 en 13 zijn de SPI-ingangen. Als u deze schakeling zelf wilt nabouwen, plaats dan de condensatoren C1 en C2 zo dicht mogelijk bij de voedingspinnen van de chip.

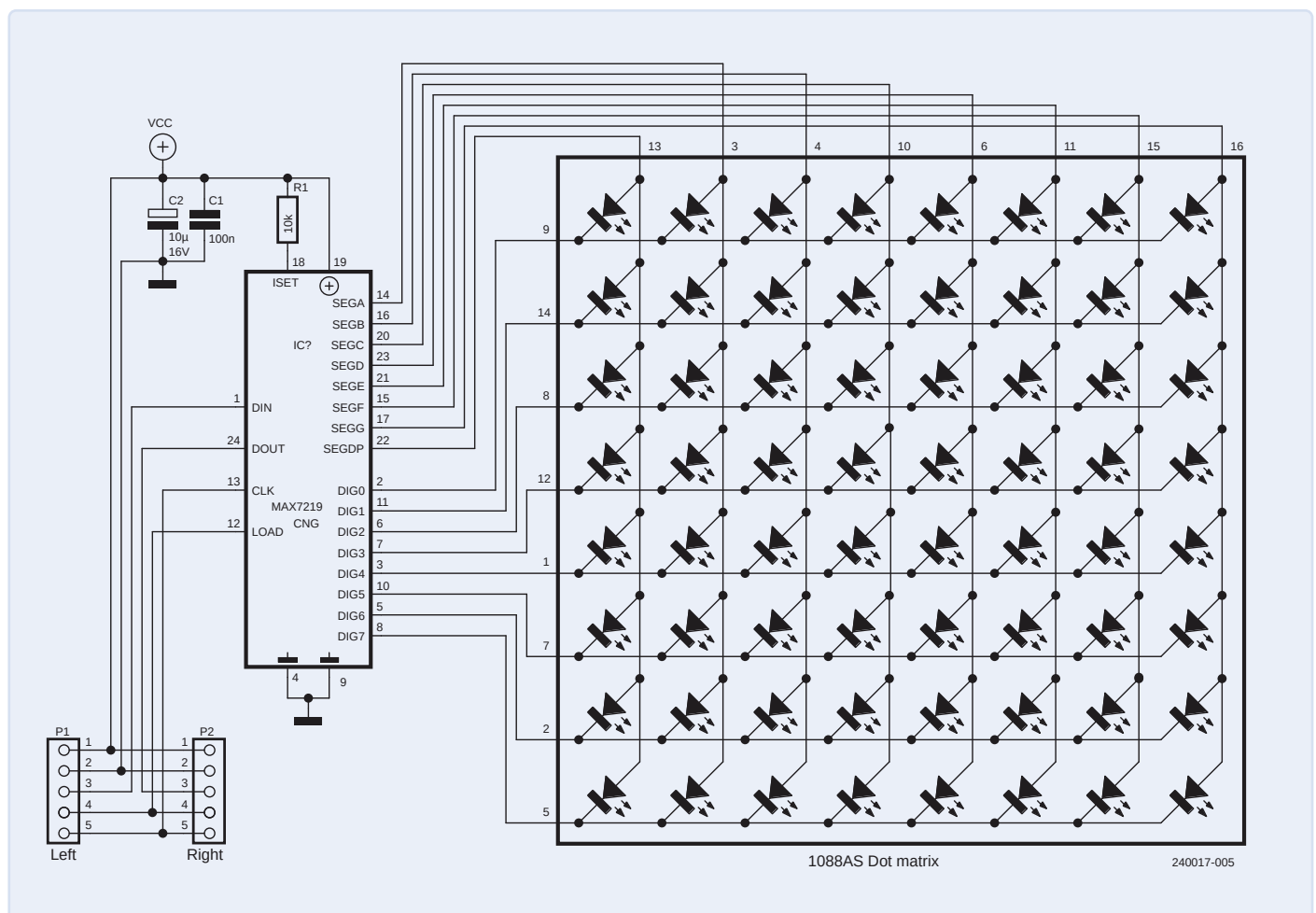
Over registers gesproken

De meeste displaydrivers, waaronder de MAX7219, zetten geen signalen op hun uitgangen als ze worden ingeschakeld. U moet met ze commu-

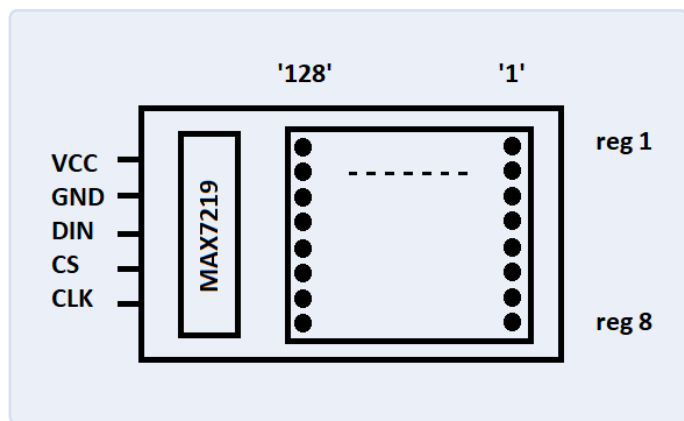
niseren om ze te configureren en om ze van data te voorzien. Meestal kan hiervoor een microcontroller of computer worden gebruikt via een seriële poort. Deze chips zijn registergestuurd in plaats van commandogestuurd; ze worden ingesteld en bestuurd door gegevens in hun registers te laden. Er zijn 13 registers toegankelijk via een seriële bus. Dat is niet zo moeilijk als het klinkt als u eenmaal weet wat u moet doen met Python of een andere high-level taal. Als u de registers eenmaal hebt ingesteld, hoeft u ze niet steeds allemaal opnieuw te schrijven wanneer u een andere LED wilt laten oplichten of iets anders van de weergave wilt wijzigen. In de praktijk schrijft u een setup-routine die aan het begin van het programma wordt uitgevoerd, en vervolgens stuurt u alleen gegevens naar de registers die moeten worden gewijzigd.

Seriële communicatie met chips en sensoren

Hoewel sommige IC's gegevens kunnen ontvangen via een parallelle bus (dus via meerdere – vaak acht – datalijnen tegelijk), is seriële communicatie gebruikelijker. De drie belangrijkste seriële interfaces die in embedded systemen worden gebruikt zijn UART [3], I²C [4] en SPI [5]. De MAX7219 gebruikt SPI, wat relatief eenvoudig is als u het eenmaal onder de knie hebt. Als u SPI gebruikt, is het handig om de datasheet van het apparaat te bestuderen om te weten te komen wat



Figuur 2. Schema van de module.



Figuur 3. Oriëntatie en adressering van de LED's.

nodig is voor uw specifieke applicatie. In tegenstelling tot UART hoeft u de snelheid (baudrate) van een SPI-bus niet op te geven, hoewel het soms nodig kan zijn om de bus langzamer te laten lopen dan de standaardinstelling, bijvoorbeeld als er een lange kabelverbinding is tussen de hoofd-PIC en de MAX7219-chip.

Afgezien van de gemeenschappelijke massaverbinding (GND, pin 4) gebruikt SPI twee lijnen om gegevens van en naar een chip te sturen: een datalijn (DATA IN/DIN, pin 1) en een kloklijn (CLK, pin 13). Een derde lijn, Chip Select (CS/LOAD, pin 12), wordt gebruikt om de ontvangen gegevens in het apparaat te laden. De SPI-gegevens die nodig zijn om de MAX7219-chip aan te sturen zijn vrij eenvoudig. U stuurt gegevens ter waarde van 16 bit naar de chip en maakt de chip select-pin kort hoog om de gegevens in de chip te laden. Wanneer u de MAX7219 gebruikt, hoeft u er alleen gegevens naar toe te sturen, u krijgt er geen data van terug.

5V- of 3,3V-logica

Doorgaans moeten we controleren of de voedingsspanningen van de twee apparaten die met elkaar communiceren hetzelfde zijn. 5 V en 3,3 V zijn twee veelvoorkomende varianten. De datasheet van de MAX7219 geeft een nominale voedingsspanning van 5 V aan (4...5,5 V). Als de microcontroller die u wilt gebruiken een andere voedingsspanning gebruikt, kan het nodig zijn een spanningsomvormer te gebruiken. De datasheet geeft aan dat de minimale logisch-hoog ingangsspanning (*Logic High Input Voltage*, V_{IH}) 3,5 V bedraagt. Een 'hoog' niveau van 3,3 V (afkomstig van een 3,3V-microcontroller) is dus in theorie niet hoog genoeg. In de praktijk heb ik gemerkt dat de drempel lager ligt en dat de MAX7219-modules die ik heb gebruikt goed werken met Microchip-PIC's of een Raspberry Pi Pico bij 3,3 V of 5 V zonder dat er level shifters nodig zijn, zelfs als dat buiten de in de datasheet genoemde specificaties valt.

De registers van de MAX7219

Er zijn 13 registers waar u mee te maken hebt wanneer u de MAX7219 gebruikt. Elk register heeft 8 databits en een 8-bit-adres.

- Register 1 stelt de toestand in (aan of uit) van de eerste rij LED's. Het adres is 00000001 binair.
- De volgende registers 2...8, met de adressen 00000010...00001000, stellen de andere rijen LED's in (rij 2 tot en met rij 8).
- Register 9 (adres 00001001) stelt de decodeermodus in voor data bedoeld voor 7-segment-displays.
- Register 10 (adres 00001010) stelt de helderheid in.
- Register 11 (adres 00001011) stelt de scanlimiet in.
- Register 12 (adres 00001100) stelt de uitschakel-/startmodus in.

- Register 13 (merk op dat het adres 00001111 is, niet 00001101) wordt gebruikt om het display te testen.

Merk op dat het register op adres 00000000 niets doet wanneer u slechts één MAX7219-module gebruikt; vandaar de naam no-op register. Dit register kan worden gebruikt wanneer meerdere MAX7219's in serie worden geschakeld; ik kom daar later nog kort op terug. Voor meer details over al deze registers verwijs ik naar de datasheet en de kaders **Meer over registers 9...13** en **MAX7219-modules doorlussen**.

Oriëntatie van de module

Als we de in dit artikel getoonde module zo vasthouden dat de chip aan de linkerkant zit (**figuur 3**), komt register 1 overeen met de bovenste rij LED's en is de LED die overeenkomt met het minst significante van de acht databits de LED die het verst van de MAX7219 is verwijderd (dus aan de rechterkant).

Gebruik van de registers

De SPI-data worden in 16 bit per keer verzonden. Het registeradres komt daarbij als eerste, daarna de gegevens die u in het register wilt zetten. De MAX7219 wenst het meest significante bit (MSB) als eerste. Dat is in de code eenvoudig te regelen. Als u bijvoorbeeld in de derde rij elke

MAX7219-modules doorlussen

De MAX7219 heeft een slimme ingebouwde functie waarmee meer dan één chip kan worden aangestuurd om zo grotere LED-arrays te maken. Hiermee kunt u boards doorlussen om een langwerpig LED-display te maken, zoals we kennen van 'lichtkranten' in bussen en treinen. Om dit te doen, wordt de Data Out-pin van de eerste module verbonden met de Data In-pin van de volgende module enzovoort. De gegevens die een chip op zijn Data In-pin ontvangt, verschijnen zestien klokcycli later op zijn Data Out-pin. Als u bijvoorbeeld twee MAX7219-modules hebt aangesloten zoals beschreven, communiceert u daarmee door twee 16bit-woorden achter elkaar te verzenden. De gegevens worden bit voor bit van de ene chip naar de andere verschoven. Daarna stuurt u een puls naar de CS-pin om de gegevens te vergrendelen. De eerste chip (het dichtst bij de microcontroller) slaat dus de laatste 16 bits op die werden verzonden, terwijl de tweede chip de eerste 16 bits opslaat. Dit is wanneer het no-op register (adres 00000000) van pas komt: om alleen de tweede chip aan te spreken, stuurt u deze het 16bit-woord dat u wilt, gevolgd door een no-op commando (zestien nullen). Op die manier ontvangt de tweede chip de bedoelde gegevens en verandert de eerste chip niets. Dit kan worden uitgebreid naar een willekeurig aantal MAX7219-chips; de enige beperkende factor is dat het onpraktisch kan worden om getallen met een groot aantal bits te manipuleren. Hoewel deze methode de bedrading heel eenvoudig maakt, maakt het de codering ietwat complexer. Voor mijn educatieve 8x8x8 LED-kubus heb ik, omdat de Raspberry Pi Pico genoeg uitgangen heeft, ervoor gekozen om in plaats daarvan alle SPI-datalijnen samen te bekabelen, zodat alle chips de data tegelijk ontvangen, maar alleen de chip select-pinnen (LOAD) te pulsen van de 8x8-arrays die ik op elk moment wilde adresseren.

tweede LED wilt inschakelen, moeten we het volgende naar de chip sturen via de SPI-bus: 00000011 10101010. Die 00000011 is het adres van het 3e register, terwijl de 10101010 de LED's om en om inschakelt.

MSB eerst en SPI-configuratie

De eis om het meest significante bit eerst te verzenden kan voor enige verwarring zorgen. De SPI-periferie op de microcontroller die u gebruikt heeft andere parameters die soms moeten worden ingesteld, bijvoorbeeld of de gegevens worden herkend op de neergaande of opgaande flank van de pulsen. In veel gevallen kan de high-level taal die u gebruikt dit voor u regelen. De standaardinstellingen werken vaak; controleer in elk geval de documentatie van uw microcontroller.

Voorbeeld in PIC BASIC

Ik vind de PIC BASIC-compiler van Crownhill [6] erg prettig in het gebruik. Ik gebruik het met PIC16F877-chips, die nu weliswaar erg oud zijn, maar nog steeds erg bruikbaar voor prototyping. Hier is een voorbeeldregel in PIC BASIC om de SPI-code van de PIC naar de MAX7219 te sturen, via poort B.2, met het MSB:

```
SHOut PORTB.2, PORTB.0, MsbFirst, [%0000001011111111]
```

Dit stuurt een stroom van 16 bits uit, met eerst het adres (00000101, dat is 5) en dan de data (allemaal enen). Dit commando schakelt alle LED's op rij vijf in.

Voorbeeld in MicroPython op de Raspberry Pi Pico

Sommige versies van MicroPython hebben modules voor de MAX7219 die u kunt gebruiken om lijnen, vierkanten, letters en cijfers enzovoort op de LED-array te tekenen. Ik zal hier niet verder op ingaan, omdat ik hier in detail wil uitleggen hoe u zelf de registers kunt aansturen en zo volledige controle over de chip en de LED's krijgt. Verbind de pinnen 4 (CLK), 5 (DATA) en 21 (CS) met de corresponderende pinnen van de MAX7219-module, zoals samengevat in **tabel 1**. MicroPython wil dat u code importeert om de SPI-functie af te handelen. Dat doet u door `from machine import Pin, SPI` toe te voegen aan het begin van uw programma. De Python-code die u moet gebruiken om dezelfde SPI-gegevens uit het vorige voorbeeld naar de MAX7219 te sturen is dan:

```
from machine import Pin, SPI
buff = [0,0]
buff[0] = 0b00000101
buff[1] = 0b11111111
spi.write(bytearray(buff))
```

Tabel 1. Pinnen en aansluitingen.

Pi Pico-pinnummer	Pi Pico-poortpinnummer	MAX7219-board connector
pin 4	GP2	CLK
pin 5	GP3	DIN (DATA)
pin 21	GP16	CS (LOAD)
pin 40	VBUS	VCC (+5 V)
pin 38	GND	GND (0 V)



Listing 1. Een setup-module.

```
from machine import Pin, SPI
import utime
import urandom
spi_sck = Pin(2)
spi_tx = Pin(3)
spi_rx = Pin(0)
spi = SPI(0, sck=spi_sck, mosi=spi_tx, bits=8,
miso=spi_rx, baudrate=100000, firstbit=SPI.MSB)
cs = Pin(16, Pin.OUT)
cs.value(0)

# chip select 'pulse'
def cs_ping_set():
    cs.value(1)
    utime.sleep(.001)
    cs.value(0)

def setup_max7219():
    for i in range (1,9):
        # Note: zero = nop
        # clear led rows 1 to 8
        # in registers 1 to 8
        buff = [0,0]
        buff[0] = i
        buff[1] = 0b00000000
        spi.write(bytearray(buff))
        cs_ping_set()

# set shutdown to start
# register 9
buff = [0,0]
buff[0] = 0b00001100
buff[1] = 0b00000001
spi.write(bytearray(buff))
cs_ping_set()
# adjust brightness
# register 10
buff = [0,0]
buff[0] = 0b00001010
buff[1] = 0b00001111
spi.write(bytearray(buff))
cs_ping_set()
# scan limit register -set all rows and col.s
# register 11
buff = [0,0]
buff[0] = 0b00001011
buff[1] = 0b00000111
spi.write(bytearray(buff))
cs_ping_set()
# set decode mode
# register 12
buff = [0,0]
buff[0] = 0b00001001
buff[1] = 0b00000000
spi.write(bytearray(buff))
cs_ping_set()
# set test mode off
# register 13 but Note address 15
buff = [0,0]
buff[0] = 0b00001111
buff[1] = 0b00000000
spi.write(bytearray(buff))
cs_ping_set()
```

Meer voorbeelden

De bovenstaande regels code zijn fragmenten om de belangrijkste onderdelen te illustreren. Bekijk de volledige programma's op mijn website [7]. In beide voorbeelden moet u onmiddellijk een positieve puls op de chip select-pin (CS of LOAD) om de gegevens in het register te laden. Dat kan eenvoudig als volgt worden gedaan:

```
cs.value(1)
utime.sleep(0.001)
cs.value(0)
```

Programma's schrijven

Voordat u de LED's van uw display gaat adresseren, moet u een set-up subroutine schrijven die alles zo instelt als u het wilt gebruiken. Voer deze uit aan het begin van uw programma; vanaf dat moment kunt u gewoon LED's adresseren door het register van de betreffende rij te herschrijven. De registers kunnen in elke willekeurige volgorde worden geschreven. In **listing 1** ziet u de setup-module `setup_max7219()` die ik heb geschreven en die ook beschikbaar is op mijn website. Het eerste deel is een lus die nullen stuurt naar de registers 1...8, waardoor alle LED's worden gewist (uitgeschakeld). Vervolgens stellen we register 9 (de decodeermodus) in op 0 zodat de MAX7219 is ingesteld voor afzonderlijke LED's (in plaats van zeven-segment-displays), daarna wordt register 10 (helderheid) ingesteld op maximaal (15 oftewel 1111), register 11 (scanlimiet) op 7 (gebruik alle rijen LED's), register 12 (shutdown) op 0 en tenslotte register 13 (testmodus) op 0.

Display wissen

Een andere essentiële functie is om het hele display in één keer te wissen zonder de andere instellingen te veranderen; dit kan eenvoudig worden gedaan door een lus te maken die '0' (dat wil zeggen alle LED's UIT) naar alle eerste acht registers stuurt (registers 1...8). SPI is vrij snel, dus als het nodig is, kunt u alle acht registers in een paar milliseconden resetten, zodat het display gewist is zonder dat ons oog enige vertraging merkt.



Figuur 4. De LED-kubus.



Listing 2. Looplicht-display.

```
# display set-up
setup_max7219()
while True:
    # sweep rows
    for j in range(1,9):
        buff = [0,0]
        buff[0] = j      # register no.
        buff[1] = 255    # value (all ON)
        spi.write(bytearray(buff))
        cs_ping_set()
        utime.sleep(.2)

        setup_max7219() # clear screen

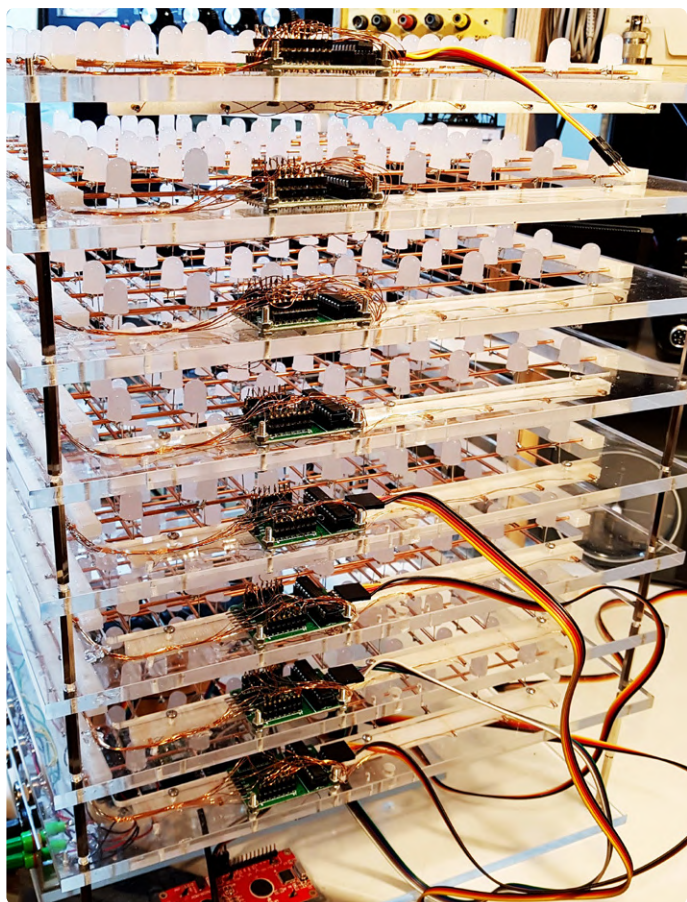
    # sweep columns
    for k in range(0,8):
        for l in range(1,9):
            buff = [0,0]
            buff[0] = l    # register no.
            buff[1] = 2**k # value 2^k
            spi.write(bytearray(buff))
            cs_ping_set()
            utime.sleep(.2)

        setup_max7219() # clear screen
```

Looplicht-voorbeelden

Laten we aannemen dat u alle LED's in een rij wilt laten oplichten en dan die rij oplichtende LED's naar beneden over het display wilt laten bewegen. Eerst moet u het scherm wissen. Vervolgens moet u 11111111 (alle LED's AAN) naar register 1 sturen. Dan, na een pauze, maakt u het display weer leeg en stuurt u dezelfde gegevens naar register 2 enzovoort. Maak een lus zodat u alle acht registers na elkaar kunt adresseren, en u krijgt een mooie effect waarbij de LED's over het scherm vegen. Als u het wissen van het display na elk register achterwege laat, zal de code een groeiend gordijn van oplichtende LED's produceren die het display langzaam vult. De delay-waarde bepaalt hoe snel de lampjes over het scherm vegen. Dit is te zien in **listing 2**. Hier heb ik, om het programma korter te maken, de functie `setup_max7219()` weer gebruikt om het display te wissen. Dit werkt goed; hoewel de registers 9 tot 13 telkens onnodig worden geschreven, maakt het voor ons oog geen verschil. Een andere mogelijkheid zou zijn om een speciale `clear_screen()`-functie te schrijven.

Als u de LED's per kolom wilt schakelen in plaats van per rij (dat wil zeggen, doen wat we net hebben gedaan, maar dan 90° gedraaid), dan moet u 00000001 naar alle registers sturen. Doe dit in een lus. Hierdoor wordt alleen de eerste LED van elke kolom ingeschakeld, zodat er een kolom van oplichtende LED's ontstaat. Gebruik de volgende lus om 000000010 naar alle registers te sturen, vervolgens 00000100 enzovoort. U zou hiervoor een bitgewijze schuifoperatie kunnen gebruiken, maar in het voorbeeld heb ik gewoon oplopende machten van twee



Figuur 5. Zijaanzicht met acht MAX7219-modules.

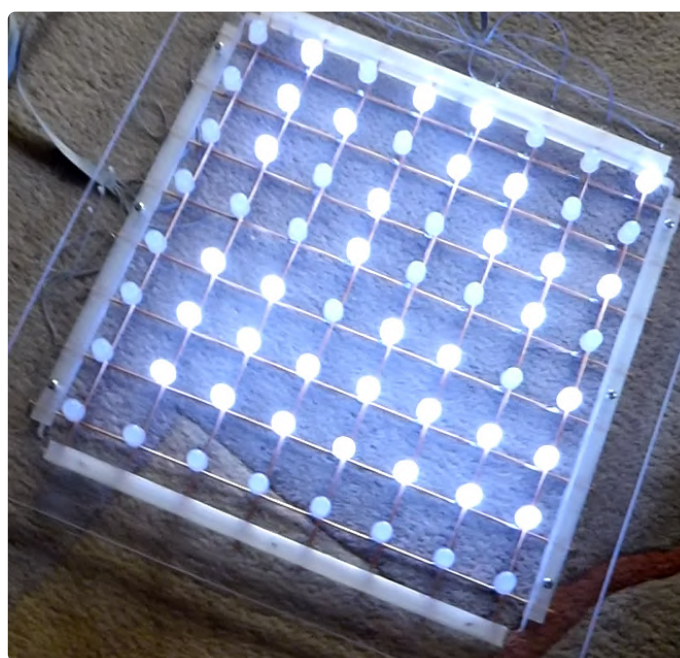
gebruikt, wat hetzelfde effect heeft aangezien $2^1 = 2 = 0b00000010$, $2^2 = 4 = 0b00000100$ enzovoort. U hoeft het display niet elke keer te wissen, want u verandert telkens alle registers. Ook hier bepaalt de delay-waarde hoe snel de LED's na elkaar oplichten. Door te spelen met de verschillende bitwaarden die u naar de acht registers 1...8 stuurt, kunt u allerlei fraaie patronen, flitsen, lichtgordijnen enzovoort maken. U kunt ook de random-functie van Python gebruiken om verrassende visuele effecten te creëren. Werp eens een blik op de andere voorbeelden op mijn website, waaronder gesimuleerde golven, bliksem, vlammen, 'random walks' en zelfs enkele wiskunde-gerelateerde projecten [7].

Scalaren, vectoren, matrices en tensoren aanschouwelijk maken

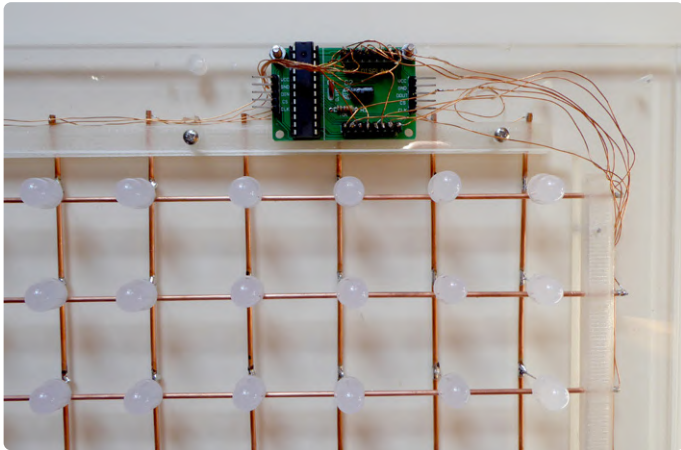
Onlangs heb ik samengewerkt met de universiteit van Sussex (VK) om een spel te ontwikkelen waarmee scholieren en studenten kunnen kennismaken met vectoren, matrices en tensoren. Het spel kan ook gebruikt worden in een 'demo-modus' om andere aspecten van wiskunde te demonstreren. Het apparaat (figuur 4) is een kubus die bestaat uit acht MAX7219-modules (figuur 5) die elk 64 witte 10mm-LED's aansturen, dus in totaal $8 \times 8 \times 8 = 512$ LED's! Omdat de LED's ofwel aan ofwel uit zijn, zijn dit binaire arrays. Het spel is bedoeld voor 10- tot 16-jarigen, maar is leuk voor veel verschillende leeftijden, zoals we hebben ontdekt op STEM-familie-evenementen (science, technology, engineering & mathematics). Elke laag (figuur 6)

Meer over registers 9...13

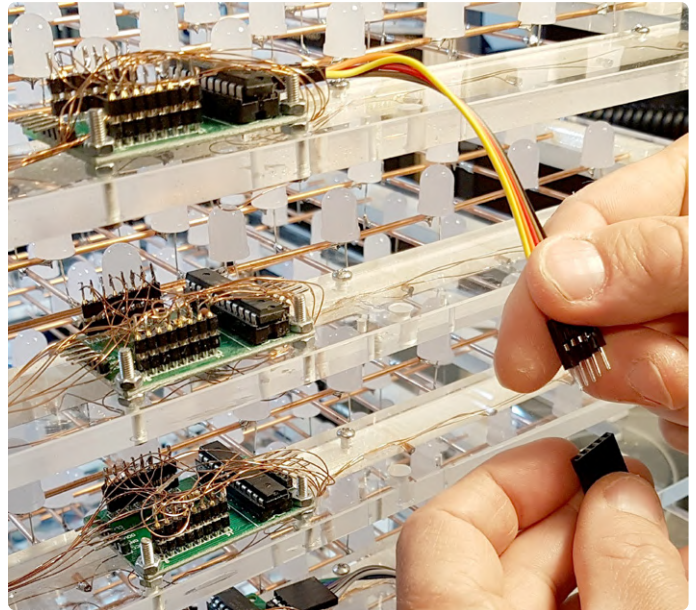
- Register 9 stelt de decodermodus in. U kunt de MAX7219 chip configureren om rijen LED's of 7-segment-displays aan te sturen. De standaardinstelling is voor een enkele rij LED's (zie register 11 hieronder). In decodeermodus kunt u 7-segment-displays rechtstreeks aansturen, wat het programmeren vergemakkelijkt: door bijvoorbeeld '00000000' als data te verzenden, wat decimaal nul is, worden 6 van de uitgangen ingeschakeld om segmenten A tot en met F van het 7-segment-display aan te sturen om een nul te tonen; hetzelfde geldt voor de andere decimale cijfers 1 tot en met 9 en enkele andere symbolen (zie de datasheet).
- Register 10 stelt de helderheid van de LED's in. De chip gebruikt pulsbreedtemodulatie (PWM) om de helderheid van de LED's te regelen. Er zijn 32 niveaus, waarbij de onderste nibble de helderheid regelt: 0000 is maximaal gedimd (1:32 PWM) en 1111 is bijna volledig aan (31:32 PWM). U kunt de minst heldere instelling bijvoorbeeld als nachtmodus gebruiken, maar vergeet niet om deze later weer op volledige helderheid in te stellen.
- Register 11 stelt het aantal rijen LED's in dat u wilt gebruiken. Wanneer de chip is ingeschakeld, is deze ingesteld om slechts één rij van 8 LED's aan te sturen. Als u een enkele rij van 8 LED's wilt aansturen (of een enkel 7-segments display), stel dit register dan in op 00000000. Om alle acht rijen (64 LED's) te gebruiken, stelt u dit register in op 00000111 – enzovoort.
- Registers 12 en 13 kunnen worden gebruikt om het display uit te schakelen (bijvoorbeeld om stroom te sparen) en om een testmodus te starten, wat handig is om te controleren of alle LED's correct werken. Merk op dat de meeste registers een binair adres hebben dat overeenkomt met hun decimale registernummer, maar deze laatste niet: het adres daarvan is 00001111 – dus 15, niet 13.



Figuur 6. Een van de acht lagen.



Figuur 7. Verbinding met rijen en kolommen.



Figuur 8. Alle modules op elkaar aansluiten.

bestaat uit een transparante acrylplaat ('perspex') en koperbuisjes, zoals verderop beschreven. Alles wordt aangestuurd door een Raspberry Pi Pico met behulp van MicroPython.

Het gebruik van programmeerbare, serieel adresseerbare RGB LED's zou ook een optie zijn geweest, maar ik heb geen grote, 10-mm through-hole versies kunnen vinden. Het spel bevat vier banken van acht schakelaars; drie worden gebruikt door de deelnemers om x-, y- en z-gegevens in te voeren om te spelen. De vierde wordt gebruikt om het spelmenu te selecteren. Zie voor meer details mijn website en mijn YouTube-kanaal [8]. Ik wil graag het team van prof. Hazel Cox aan de Universiteit van Sussex (VK) bedanken, waaronder prof. Michael Melgaard en dr. Yevgen Petrov, Brice Kammegne en Tom Baird-Taylor. Met dank ook aan het Lewes STEM-festival. Dit matrix-tensor spelproject werd gefinancierd door een Royal Society APEX Public Engagement Award.

Een groter display maken

Als u uw eigen 8x8 LED-display wilt maken (bijvoorbeeld omdat u een groot display nodig hebt), zoals ik heb gedaan voor de educatieve 8x8x8 LED-kubus, dan loont het nog steeds om een kant-en-klare MAX7219-module te gebruiken. Verwijder gewoon het ingebouwde LED-display en soldeer de aansluitingen voor uw eigen display (figuur 7). U moet een LED-array maken met de anodes aangesloten op acht gemeenschappelijke horizontale rails (opmerking: u hebt geen stroombegrenzende weerstanden nodig) en de kathodes aangesloten op acht gemeenschappelijke verticale rails. Ik heb 2mm-koperbuisjes gebruikt (in plaats van koperstaafjes of -draad, die veel gemakkelijker te solderen zijn), die ondersteund werden op een stuk transparant acryl met behulp van 3D-geprinte houders. De acht anode-rails en acht kathode-rails kunnen met dunner draad worden verbonden met de corresponderende aansluitingen op de module. Zodra de 64 LED's zijn aangesloten, maakt u de SPI-lijnen en de voedingsaansluitingen

in orde (figuur 8) en kunt u aan de slag. Ik hoop dat dit artikel u inspireert om een MAX7219-module te pakken, te gaan experimenteren en daar plezier aan te hebben! ◀

240017-03

Vragen of opmerkingen?

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



Over de auteur

Dr. Jonathan Hare is freelance wetenschapper en wetenschaps-journalist. Zijn PhD-werk met Sir Harry Kroto leidde tot een methode voor het synthetiseren van moleculen van buckminsterfullerenen (C60), vaak 'voetbalmolecuul' genoemd vanwege de ongebruikelijke vorm. Jonathan is momenteel een Visiting Outreach and Public Engagement Fellow aan de afdeling scheikunde van de universiteit van Sussex. Hij is ook te zien geweest in verschillende BBC-programma's zoals Rough Science, Coast en Horizon. Hij houdt van dingen maken, jongleren, bergwandelen, schilderen en natuurlijk elektronica – hij is ook radio-amateur. Zie voor meer informatie zijn website [9].



Gerelateerde producten

- > Dogan Ibrahim, *Raspberry Pi Pico Essentials* (Elektor, 2021)
www.elektor.nl/19673
- > MAX7219 Dot Matrix Module (Set of 8)
www.elektor.nl/18422



WEBLINKS

- [1] MAX7219-datasheet: <https://tinyurl.com/5n6nbyv6>
- [2] Tensor Game-demo: <https://www.youtube.com/watch?v=VaoEBamceXg>
- [3] UART (Wikipedia): https://en.wikipedia.org/wiki/Universal_asynchronous_receiver-transmitter
- [4] I²C (Wikipedia): <https://en.wikipedia.org/wiki/I%C2%B2C>
- [5] SPI (Wikipedia): https://en.wikipedia.org/wiki/Serial_Peripheral_Interface
- [6] PIC BASIC-compiler: https://www.crownhill.co.uk/pic_basic
- [7] Python-voorbeelden op de website van de auteur: <http://www.creative-science.org.uk/max7219.html>
- [8] YouTube-kanaal van de auteur: <https://www.youtube.com/@jonathanhare6644>
- [9] Website van de auteur: <https://www.zoomscience.co.uk>

EURO
CIRCUITS

**Snel en eenvoudig
voor PCB- & PCBA-diensten
uit één bron**

- Direct online prijzen
- Snelle gegevenscontrole
- Click & go bestellen met real-time tracking
- snelle levering



**Scannen voor
MEER INFO**

Project 2.0

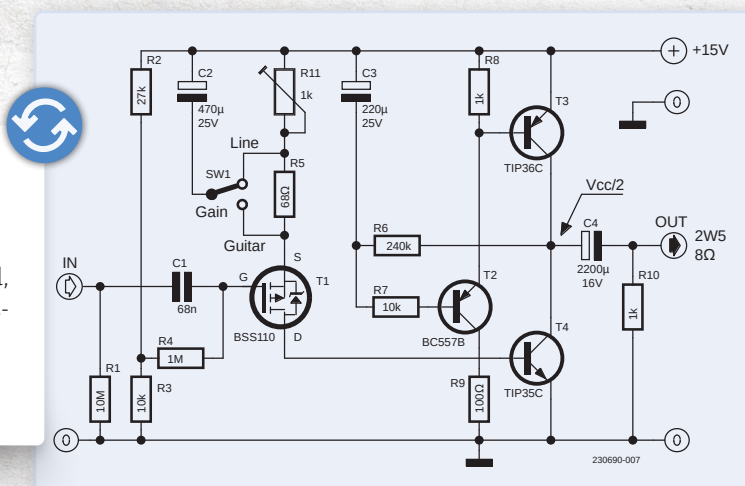
correcties, updates en brieven van lezers

samengesteld door Jean-François Simon (Elektor)

Kleine klasse-A audioversterker met stroomuitgang

Elektor Circuit Special 2024, p. 32 (230690)

Hoewel MOSFET T1 in het schema correct is getekend, zijn de labels voor drain en source per ongeluk omgewisseld. Zie het gecorrigeerde schema hiernaast.

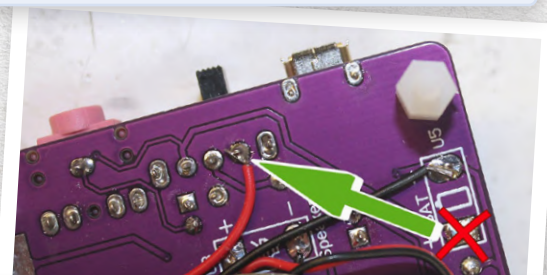
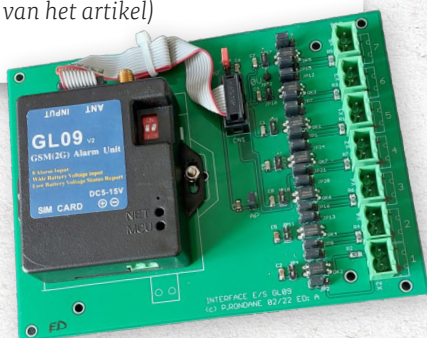


GSM-alarm

Elektor juli/augustus 2024, p. 34 (230650)

Hier is een update over een onderwerp die ik vergeten was te vermelden in het artikel. In veel landen wordt het 2G/3G-netwerk uitgefaseerd. In Frankrijk heeft Orange aangekondigd dat de dienst in 2025 stopt; SFR en Bouygues hebben dat voor 2026 aangekondigd. Free heeft geen eigen 2G-infrastructuur en maakt gebruik van het roamingnetwerk van Orange. Sommige Free-gebruikers hebben echter al geen toegang meer tot de 2G-dienst. Wat mij betreft werkt mijn alarm nog steeds. De meest duurzame optie is natuurlijk om de hardware te actualiseren. Ik heb wat onderzoek gedaan naar de GL09-modem en vond een nieuwe 4G-versie (www.google.com/search?q=GL09+4G). Ik heb het nog niet geprobeerd, maar de nieuwe module lijkt volledig compatibel met de oude. Een zoektocht op de gebruikelijke Chinese sites zou concurrerende prijs moeten opleveren.

Pascal Rondane (auteur van het artikel)



Modden van een RDA5807-gebaseerde FM-radiokit

Elektor Reverse Project E-zine Exclusive #1, juni 2024, p. 4 (240196)

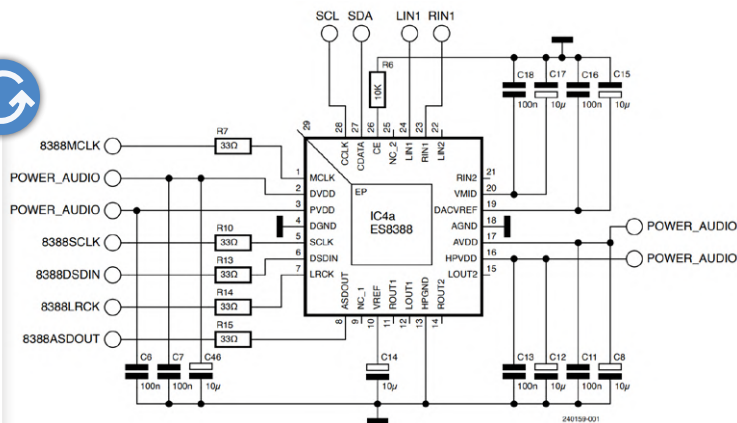
Zoals vermeld in het artikel biedt de radiokit geen bescherming voor de batterijen als er tegelijkertijd USB-voeding wordt gebruikt. Daarom moeten de batterijen worden verwijderd bij gebruik van een USB-voeding om te voorkomen dat de batterijen worden beschadigd. Een eenvoudige maar effectieve oplossing is om de plusdraad (rood) van de batterijhouder aan te sluiten op de ongebruikte pin van de aan/uit-schakelaar (in plaats van op connector U5, zie de foto hierboven). Het nadeel van deze oplossing is dat u de radio niet kunt uitschakelen als beide voedingen zijn aangesloten, maar de batterijen zullen in elk geval niet ontploffen. Eelco Groenberg (Nederland)

Bedankt voor deze veilige suggestie!
Clemens Valens (Elektor)

Stereo audio-codec voor ESP32 en co.

Elektor Circuit Special 2024, p. 96 (240159)

Er is een fout in het schema geslopen die we niet hebben opgemerkt, onze excuses daarvoor! Alle elektrolytische condensatoren in figuur 1 zijn met de verkeerde polariteit getekend. De juiste polariteit is hiernaast te zien. Ook was de nominale spanning van deze condensatoren niet gespecificeerd in het artikel. Aangezien de ES8388 een component is met een nominale spanning van (maximaal) 3,3 V, zijn condensatoren van 6,3 V of 10 V geschikt.



Project 2.0 - Universele logger voor de tuin / Sensoren voor weerstations

Elektor september/oktober 2024, p. 109 (240397)

Ik heb vele jaren ervaring met weersensoren en wil graag een opmerking maken. Mijn ervaring is dat geen van beide genoemde sensoren geschikt is om de hoeveelheid regen te meten. Noch het bepalen van het gewicht van het water, noch het tellen van de druppels met een dauwsensor werkt.

De dauwsensor met de meanderstructuur is goed bruikbaar als u mist, dauw, sneeuw en het begin van regenval wilt detecteren. Er moet echter wel een verwarmings-element aan de onderkant worden geïnstalleerd om de sensor weer te drogen. Kleine weerstanden die gedurende een bepaalde tijd worden bekrachtigd wanneer neerslag wordt gedetecteerd, volstaan.

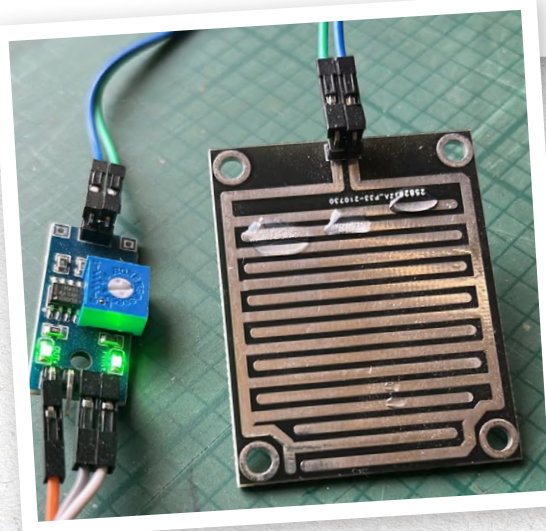
Een wipsensor is de methode bij uitstek om neerslag te meten. Als het bakje aan de ene kant vol is, kantelt de wip om en geeft een puls af, waarna het bakje aan de andere kant zich kan vullen via de trechter. Dit zorgt er ook voor dat er geen regen verloren gaat. In de winter moet de trechter met het kantelmechanisme natuurlijk verwarmd worden zodat de sneeuw smelt en het mechanisme niet

bevriest. Verwarmingsfolies, zoals voor autospiegels, zijn hiervoor geschikt. Overigens zijn deze wip- of kantelbakensensoren verkrijgbaar bij diverse leveranciers wereldwijd.

Helmut Bayerlein (Duitsland)

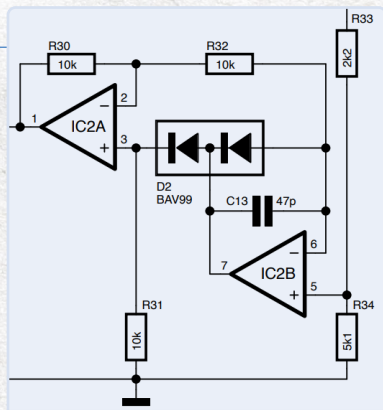
Hartelijk dank voor uw opmerkingen. Ik weet zeker dat uw ideeën over het verwarmen van de sensoren in de winter nuttig zullen zijn voor veel lezers. Met de regensensoren van het type 'wipsensor' heb ik opnieuw geen ervaring uit de eerste hand, maar uw opmerkingen over de doeltreffendheid van deze sensoren is zeer welkom. Ik geloof dat de sensor die Wim Sanders in de vorige uitgave noemde, hiernaast afgebeeld in de lichtgrijze plastic behuizing, inderdaad intern gebruik maakt van een wipmechanisme. Foto's van het binnenwerk zijn beschikbaar op het internet.

Jean-François Simon (Elektor)



Ideeën of feedback?

Hebt u een goed idee of waardevolle feedback voor Elektor? Neem contact met ons op via redactie@elektor.com. We horen graag van u!



Analoge 1kHz-generator

Elektor juli/augustus 2024, p. 89 (230704)

Er is een fout gemaakt bij het hertekenen van het schema. De rechteraansluiting van R32 gaat naar de inverterende ingang van IC2B; zie het gecorrigeerde schemageedeelte hierboven. Het Eagle-schema en de print-layout zijn correct en hoeven niet te worden aangepast.



Bewaking voor een boiler

Elektor Circuit Special 2024, p. 50 (240039)

Volgens het schema wordt de fase door de stroom-meetspoel geleid. In figuur 4 is een groen/gele draad (aardgeleider, PE) te zien. Als de elektrische voorschriften in Italië dit toestaan, moet dit in de tekst worden aangegeven.

Dieter Becker (Duitsland)

Bedankt voor uw e-mail. Ik heb de betreffende foto nog een keer gecontroleerd (zie hierboven) en zag een ongebruikelijke situatie: een uniform gele draad bevindt zich voor een andere (groen/gele) draad daarachter. Als u de foto nauwkeuriger bekijkt, ziet u beslist de twee verschillende draden; in de gedrukte editie van het tijdschrift is dat niet erg duidelijk. De groen/gele draad gaat naar een geïsoleerde aardaansluiting achter de schakelaar.

Voor speciale toepassingen of signaalfuncties is het gebruik van een gele draad in deze gevallen toegestaan in Italië (naast andere kleuren). Zoals u correct hebt opgemerkt, is het gebruik van een geel/groene (PE-)draad voor de fase natuurlijk verboden. Ik hoop dat dit helpt!

Roberto Armani (Elektor)



Breedbandige magnetische lange golf-antenne

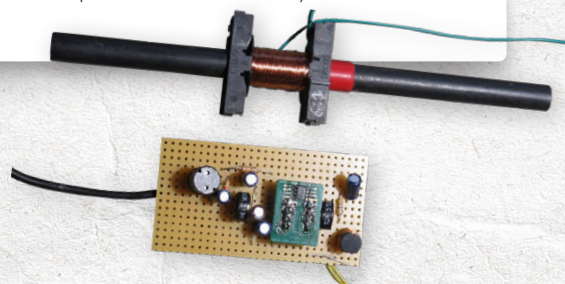
Elektor september/oktober 2024, p. 28 (220073)

Ik geloof niet dat 20 windingen draad genoeg zijn voor een lange golf-ferrietantenne. Op de foto (figuur 6) lijken het zelfs veel meer te zijn (200 windingen?) Kunt u dit bevestigen of corrigeren?

Yves Georges (Frankrijk)

Bij een gewone ferrietantenne neemt de spanning toe met het aantal windingen en de spanning is de parameter waar we in geïnteresseerd zijn. Vaak wordt een LC-resonantiekkring gebruikt met een versterker met hoge ingangsimpedantie. In mijn antenne voedt de spoel een transimpedantie-versterker. Dat betekent dat de antennespoel effectief wordt kortgesloten en dat de stroom de belangrijke parameter is. Als u het aantal windingen verhoogt, neemt de impedantie L toe en neemt de stroom af. Het heeft dus geen zin om het aantal windingen te verhogen. Ik heb geëxperimenteerd en vond 20...30 windingen optimaal. Het lijkt dat er meer wikkelingen zijn omdat ik litzedraad heb gebruikt (30 x 0,1mm-adertjes parallel).

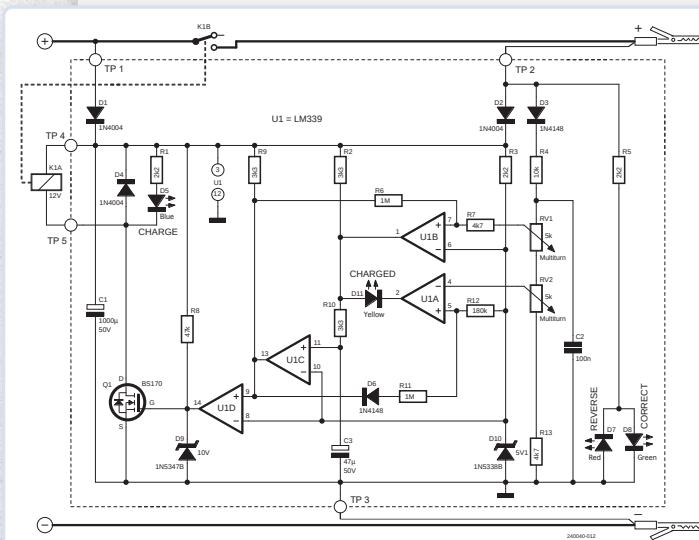
Martin Ossmann (auteur van het artikel)



Poets uw acculader op (2)

Elektor Circuit Special 2024, p. 83 (240040-B)

In het schema van figuur 1 zijn we vergeten de testpunten TP1...TP5 te labelen die in de tekst worden genoemd. Onze excuses voor deze ommissie; we bedanken de lezers die ons hierop hebben gewezen. De testpunten zijn aangegeven in het schema hieronder.



240475-03

GRATIS
DOWNLOAD





Vibrotactiele handschoenen

doorbraak voor Parkinson-patiënten

Hans van Essen (Nederland)

Dit project is voortgekomen uit de winnende inzending van Hans van Essen in de Elektor Labs 2024 Project Contest [1], waar zijn vibrotactiele handschoenen voor Parkinsonpatiënten indruk maakten op de juryleden met de innovatieve benadering van de handschoenen om motorische beperkingen te verbeteren door middel van vibrotactiele stimulering. Ze zijn speciaal ontworpen voor patiënten met de ziekte van Parkinson en maken gebruik van stimulatie om motorische beperkingen effectief te bestrijden. Door zich te richten op de vingertoppen zorgen deze handschoenen voor verlichting en revolutioneren ze de aanpak van motorische ongemakken die gepaard gaan met Parkinson.

Nadat bij een familielid de diagnose Parkinson was gesteld, begon ik aan een missie om een paar vibrotactiele handschoenen te ontwikkelen op basis van de bevindingen van een onderzoek van Peter A. Tass [2]. Het is bekend dat hersencellen bij Parkinsonpatiënten een soort synchroniciteit vertonen. Wanneer bepaalde neuronen worden geactiveerd, bijvoorbeeld tijdens acties zoals lopen, worden aangrenzende neuronen ook gestimuleerd, wat leidt tot ongecontroleerde bewegingen. Deze synchronisatie kan de motorische functie ernstig belemmeren, waardoor zelfs lopen voor sommige patiënten onmogelijk wordt.

De oplossing

Onderzoek heeft aangetoond dat het stimuleren van deze hersengebieden met een specifiek patroon neuronen kan 'desynchroniseren', waardoor ze weer onafhankelijk kunnen werken en de motorische vaardigheden van de patiënt aanzienlijk verbeteren.



Figuur 1. Een van de vinger-pads.

Hoewel sommige patiënten te behoeve van deze stimulatie kiezen voor invasieve hersenimplantaten, geeft het eerdergenoemde onderzoek aan dat het stimuleren van de gevoelige vingertoppen vergelijkbare positieve effecten kan hebben. Sessies die tot vier uur per dag duurden hebben een significante verbetering laten zien, zoals gemeld in een nieuwsbericht van NBC Today [3].

Zoals gedemonstreerd in mijn prototype video op [4], zenden de handschoenen tijdens de behandeling willekeurige pulsen uit via speciale pads (figuur 1) op de vingertoppen. Deze pulsen zijn willekeurig voor elke vinger, met een willekeurige puls jitter, maar synchronisatie tussen de handen is cruciaal. Beide handen en de corresponderende vingers moeten hetzelfde gesynchroniseerde willekeurige patroon ontvangen.

Mijn ontwerp

De hardware die tijdens het onderzoek werd gebruikt, vereiste een onhandig grote externe controller met schouderbanden en lange draden die naar de handen leidden, wat de kwaliteit van het dagelijks leven behoorlijk beperkte, zoals te zien is in de NBC-video. De handschoenen die ik heb ontwikkeld bieden enkele belangrijke voordelen:

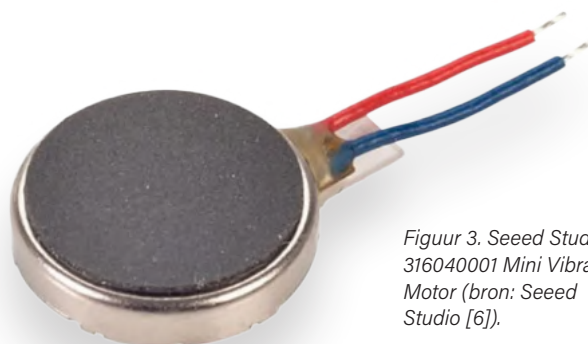
- > Ze zijn draadloos. Op de pols gemonteerde batterijen zorgen voor minstens vier dagen gebruik tussen het opladen via USB-C.
- > Een aanraakscherm op de achterkant van de hand (figuur 2) regelt alle functies – start/stop, instellingen en gebruiksinformatie.
- > Synchronisatie is gegarandeerd omdat stimulatie weliswaar willekeurig is, maar gespiegeld wordt tussen de handen. De handschoenen blijven gesynchroniseerd tot op 320 μ s met behulp van het draadloze ESP-NOW protocol en een aangepaste versie van NTP (Network Time Protocol).
- > Ze hebben BLE-ondersteuning (Bluetooth Low Energy), waardoor gebruikers instellingen, batterijlading en gebruiksinformatie kunnen controleren via een smartphone-app.

Dit project bracht verschillende disciplines samen, waaronder CAD, 3D-printen, elektronica-ontwerp, printontwerp, een ESP32-board en uitgebreide firmware-ontwikkeling in C++ voor de ESP, inclusief displaydrivers (en zelfs Home Assistant-integratie).

Het oorspronkelijke doel was om handschoenen te maken die mijn familielid kon dragen tijdens dagelijkse activiteiten zoals de hond uitlaten of koken, zonder het ongemak van lange draden en een omvangrijke controller, zodat ze een 'normaler' leven kon leiden.



Figuur 2. De aanraakinterface met de twee hardwareknoppen zichtbaar aan de linkerkant.



Figuur 3. Seeed Studio 316040001 Mini Vibration Motor (bron: Seeed Studio [6]).

Het project sluit ook aan bij nummer 3 van de Sustainable Development Goals [5] – 'goede gezondheid en welbevinden'.



Waarschuwing: raadpleeg altijd een neuroloog voordat u een ontwerp als dit implementeert. Noch de auteur, noch Elektor aanvaarden enige aansprakelijkheid voor schade of letsel als gevolg van het gebruik van dit ontwerp.

De theorie

De theorie achter deze handschoenen is dat, door de vingertoppen te stimuleren met kleine trillingen, deze prikkels de hersenen zullen bereiken via het zenuwstelsel, waardoor de 'plakkerige' neuronen gedesynchroniseerd worden. Het creëren van trillingen op de vingertoppen lijkt eenvoudig genoeg. Ik gebruikte hiervoor een vibratiemotor voor elke vingertop, namelijk de Seeed Studio 316040001 Mini Vibration Motor (figuur 3) [6]. Dit zijn eigenlijk PCB-motortjes, met een contragewichtje dat ronddraait en trillingen creëert. Als men er dus spanning op zet, gaat hij trillen. Makkelijk genoeg!

Het hart

Het hart van deze handschoenen wordt gevormd door twee Lilygo T-Display-S3 modules [7], zoals te zien in het voltooide prototype (figuur 4). Deze modules hebben een mooi en helder full-color TFT-scherm (diagonaal 1,9") met een capacitieve aanraaksensor. De Lilygo wordt aangestuurd door een ESP32-S3, dus dit geeft genoeg rekenkracht en geheugen om mee te werken – we moeten alleen op het stroomverbruik letten.



Figuur 4. Het voltooide prototype.

Natuurlijk heeft de ESP32 WiFi en BLE, zodat we verbinding kunnen maken met smartphones of WiFi-netwerken. Die WiFi-interface, waar ik het later over zal hebben, is overigens onontbeerlijk voor dit project. Een ander leuk aspect van het Lilygo-board is de ingebouwde Lilon-acculader. Omdat het ontwerpdoel was om deze handschoenen draadloos en mobiel te maken, moeten ze natuurlijk op accu's of batterijen werken. De lader kan de ingebouwde USB-C connector gebruiken als voedingsbron om de Lilon-accu op te laden, dus het laden van deze handschoenen zou net zo eenvoudig moeten zijn als het aansluiten van een smartphone.

Realisatie: de vingertoppen

Inmiddels hebben we alle basisingrediënten besproken: microprocessor, aanraakscherm, USB-lader, Lilon-accu, trilmotoren... Wat kan er nog misgaan? Nou, een heleboel.

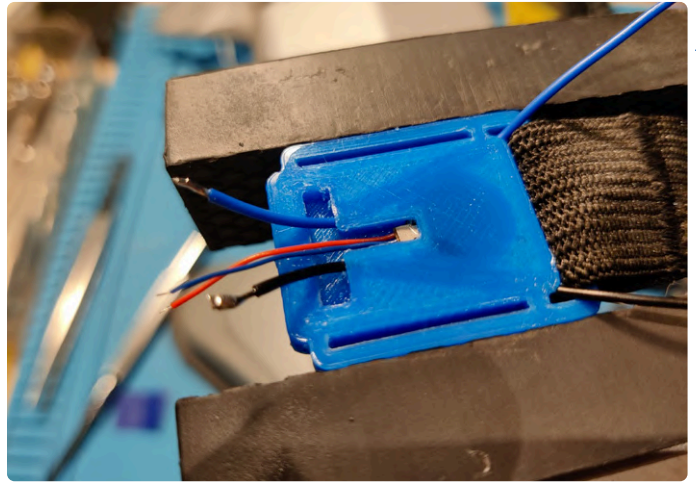
Het begint allemaal bij de vingertoppen. In de eerste ontwerpfasen probeerde ik de handschoenen zo comfortabel mogelijk te maken. Ik nam een paar standaard wandel-handschoenen en begon te prutsen met mijn motortjes. Het doel was om deze motortjes zo aan de handschoenen te bevestigen dat ze op precies dezelfde plek op elke vingertop zouden blijven zitten.

Ik knipte wat gaten in de vingers, plaatste de motoren en probeerde ze vast te naaien. Dit werkte niet – bij het aantrekken van de handschoenen schoof de motor door de druk van de vingers van zijn plaats, waardoor de draadjes braken.

Het volgende: warme lijm (hotmelt) – natuurlijk heb je hotmelt nodig! Tenminste, dat dacht ik. Ik lijmde de motoren op een stuk klittenband en wikkeld dat om de vingers. Dit leek een goede oplossing. Maar helaas, door de (roterende) trillingen van de motoren zouden de dunne aansluitdraden uiteindelijk toch breken. Elke keer dat we deze handschoenen probeerden, ging een van de motoren kapot. De beste ging maar een half uur mee. Dus wat nu? Zitten we opgescheept met motoren die uiteindelijk vanzelf kapotgaan?

Terug naar de tekentafel. Ik had een manier nodig om deze fragiele draadjes te fixeren. Toen ben ik begonnen met het maken van 3D-geprinte pads. Dit loste eigenlijk drie problemen tegelijk op:

- Door een kleine uitsparing op te nemen in het ontwerp van de pads en de motoren plat daarin te monteren, wordt het comfort aanzienlijk verbeterd.
- De motordraden zijn nu volledig beschermd omdat ze binnen kanalen in de pad lopen (figuur 5) en verbonden zijn met de dikkere geïsoleerde breakout-draden. In de pad is er een ruimte



Figuur 5. De binnenkant van een vinger-pad.

waar deze draden aan elkaar gesoldeerd worden. Deze holte wordt later opgevuld met lijm. Dit ontwerp omhult de motor – inclusief de minuscule draden – volledig met lijm, waardoor het een solide component wordt. Trillingen veroorzaken niet langer gebroken aansluitdraden.

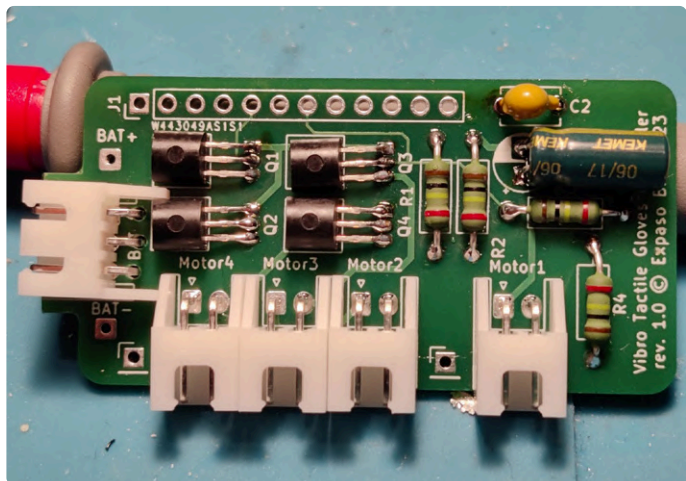
- Om de pad aan de dikte van de vinger van de patiënt aan te passen, konden we nu klittenband gebruiken dat rond speciaal ontworpen 'beugels' op de pad werd gewikkeld (ook zichtbaar in figuur 5). Dit zijn mooie bevestigingspunten voor de verschillende onderdelen van de handschoenen.

Realisatie: de accu's

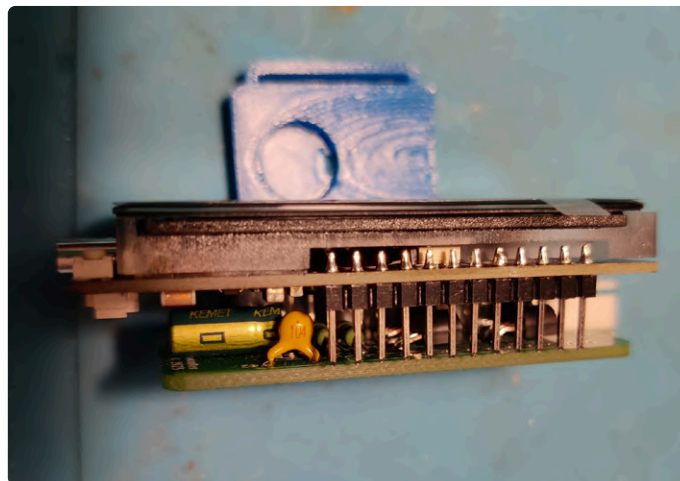
De handschoenen zelf zijn gewone wandel-handschoenen. Niet echt dik, en comfortabel om te dragen. Ik heb de vingers eraf geknipt en het handgedeelte behouden (figuur 6). Omdat de batterijen ergens



Figuur 6. Zijaanzicht van de handpalm.



Figuur 7. De print die ik heb ontworpen en door PCBWay liet produceren.



Figuur 8. Zo zijn mijn print en de Lilygo met elkaar verbonden.

moesten komen, koos ik voor een ontwerp waarbij de controller op de rug van de hand zit en de batterij op de pols.

Dit laat ruimte over voor twee 18650 Lilon-cellen parallel. Ik heb de cellen gebruikt in een batterijhouder geplaatst in plaats van in een zakje dat ergens is verstopt, zodat men de cellen kan vervangen door vers geladen cellen in een situatie waarin de handschoenen niet kunnen worden opgeladen.

De batterijhouder is verstopt in een hoes van de handschoen om scherpe randen te vermijden. Men kan ook een enkele 18650-cel gebruiken, waardoor de batterij de helft lichter wordt en minder groot aanvoelt.

De totale gebruikstijd van de handschoenen hangt af van de capaciteit van de accu's. Bij gebruik van cellen met een hoge capaciteit konden de handschoenen 16 uur achter elkaar werken met één cel per handschoen, wat een maximum van vier dagen gebruik oplevert (bij vier uur per dag). Als we twee van deze cellen per handschoen gebruiken, wordt dit ruwweg verdubbeld tot acht dagen.

Als men de print van de controller bekijkt (figuur 7), ziet men links de JST-voedingsconnector. Hiermee kan men de accu volledig loskoppelen als de handschoenen voor langere tijd niet worden gebruikt, zodat de controller de accu's niet langzaam ontladent. De laadregelaar van de Lilygo zal dat niet voorkomen. Ik raad aan om beschermde accu's te gebruiken. Zie een selectie van types op [8].

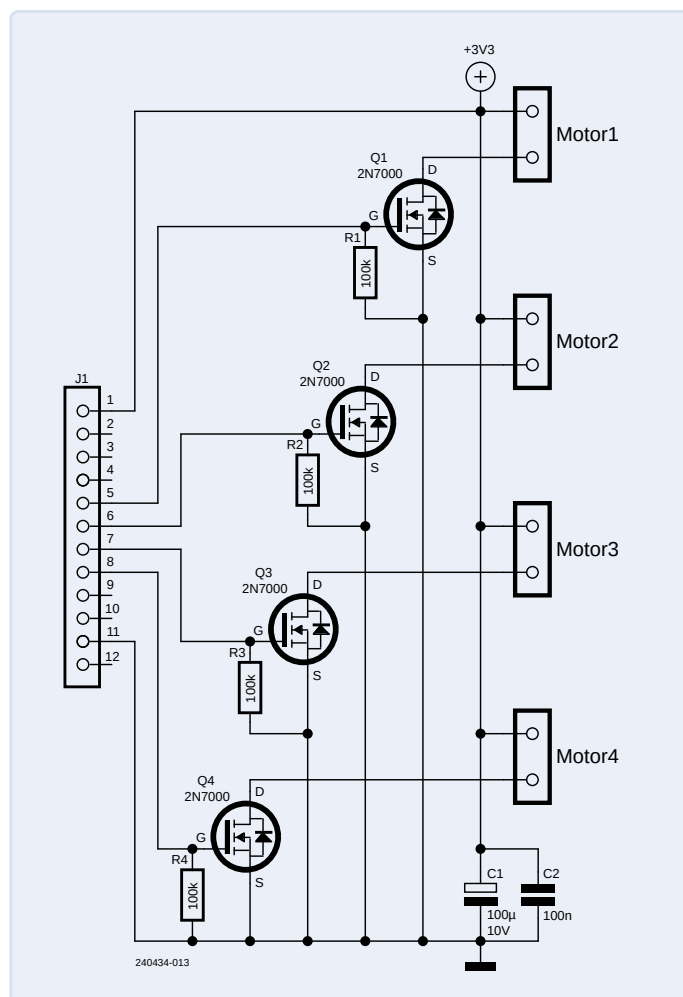
Omdat men deze accu's dicht op het lichaam draagt, voorkomt deze bescherming oververhitting van de accu's.

Realisatie: de controller

Het Lilygo T-Display-S3 met touchscreen vormt de basis van dit project. Aan de onderkant van het display zitten verschillende connectorpinnen. Ik heb een kleine print gemaakt die op deze pinnen gestoken wordt, zodat er een sandwich ontstaat (figuur 8). Deze print bevat de JST-connectoren voor de accu, de motoren op de vingertoppen en wat bufferschakelingen.

Er is niets bijzonders aan deze print. Als we naar een deel van het schema kijken (figuur 9), zien we een paar condensatoren (C1 en C2). Omdat we 'gepulste' motoren gebruiken, genereren we veel storing op de voedingslijnen, vooral als de accu's bijna leeg zijn. C2 filtert hogere frequenties, terwijl C1 wordt gebruikt om de inschakelstromen af te vlakken wanneer een motor wordt geactiveerd. Dit zou moeten helpen om de spanning op de controller zelf te stabiliseren. Hoewel de Lilygo een kleine condensator naast de processor heeft om de voeding te stabiliseren, is het een goed gebruik om deze gedeeltes van het circuit te ontkoppelen.

De volgende stap is het bufferen van de uitgangssignalen naar de motoren. Het zou een heel slecht idee zijn om de motoren direct via de uitgangsspannen van de processor van stroom te voorzien (als dat al mogelijk is, gezien de stroom). Dus moeten we die taak delegeren aan enkele externe MOSFET's. Q1 tot en met Q4 zijn 2N7000-MOSFET's, die een ingebouwde diode hebben die de tegen-EMF van de motoren kortsluit. Tegen-EMF wordt gegenereerd wanneer een motor wordt losgekoppeld van zijn voeding. Het bestaande magnetische veld rond de spoelen stort plotseling in en genereert een spanning die



Figuur 9. Condensatoren C1 en C2 vlakken de voedingsspanning af.

tegengesteld is aan de voedingsspanning. Deze negatieve spanning kan mogelijk de microcontroller of de MOSFET vernielen, dus deze diode is cruciaal om die negatieve spanning te begrenzen tot een veilig niveau. Aangezien de meeste diodes niet ontworpen zijn voor deze taak, zou het toevoegen van een aparte snelle Schottky-diode als vrijlooptiode parallel aan de motor een betere optie zijn. Gelukkig laten metingen van dit effect zien dat ik er in dit specifieke geval mee wegg kwam.

Een 100 kΩ pulldown-weerstand werd toegevoegd van de gate naar massa. Deze weerstand trekt de gate van de MOSFET laag en zorgt ervoor dat er geen motoren onverwacht uit zichzelf geactiveerd worden wanneer de microcontroller ze niet actief aanstuurt. Dit is geen voorzorgsmaatregel – het is een noodzaak. Tijdens het opstarten van de processor zijn de meeste pinnen als ingang geconfigureerd en hebben een hoge impedantie, waardoor de gate van de MOSFET's zweeft en willekeurig motoren geactiveerd kunnen worden.

Als de handschoenen niet actief worden gebruikt, wordt de processor in een spaarmodus gezet. Deze toestand schakelt de meeste hardware in de processor uit en stopt ook het hoog of laag maken van de pinnen. Een eenvoudige weerstand geeft ons een vaste UIT-toestand wanneer er de pinnen niet actief zijn.

De waarde van 100 kΩ lijkt vrij hoog, maar is gekozen als compromis tussen stroomverbruik en pulldown-functionaliteit. Elke extra pulldown-weerstand veroorzaakt een stroomtoename wanneer de betreffende pin hoog geschakeld wordt.

De rest van het board wordt gebruikt om alle JST-connectoren op de juiste plaats te krijgen. Ik had SMD-componenten kunnen gebruiken, maar dat zou de sandwich niet dunner hebben gemaakt vanwege de hoogte die nodig is voor de JST-connectoren. In plaats daarvan koos ik voor through-hole componenten. Dat maakt het bouwen wat prettiger en geeft de print wat meer 'body'. De printontwerpen zijn beschikbaar op de Elektor Labs-pagina bij dit project [9], maar iedereen kan het ook op zijn eigen manier doen.

Ik bestelde tien stuks van de printen bij PCBWay. Het ging allemaal vlot en ze zagen er geweldig uit.

Aangezien we hier DC-belastingen schakelen, is het een goed idee om de draden die van het controllerboard naar de motoren lopen te twisten. Hierdoor voorkomt men dat er veel storingen worden uitgestraald. Om EMI nog meer te reduceren, kan men eventueel nog een paar kleine ferrietkralen gebruiken.

De software

En dan nu het hoogtepunt! Ik ben een softwareontwikkelaar in hart en nieren, dus toen dit deel was aangebroken, kwam ik pas echt op gang. Het belangrijkste ontwerpdoel was: weinig draden. Dit betekent dat men twee handschoenen heeft, beide met identieke hardware. Volgens het onderzoek van Peter A. Tass werd het genereren van de pulsen als volgt aangepakt:

"Reeksen trilstimuli (met 250 Hz trillingsfrequentie en 100 ms duur) werden afgeleverd in een tempo van 1,5 Hz, wat overeenkomt met een cyclus van 667 ms (Tass, 2017; Syrkin-Nikolau et al., 2018; Pfeifer et al., 2021). Tijdens een reeks werd elke vingertop van de vingers één tot en met vier precies één keer gestimuleerd, waarbij beide handen gespiegeld werden gestimuleerd. De volgorde van de sequenties werd willekeurig gevarieerd. De intervallen tussen de stimuli waren constant

(voor regelmatige vCR [vibrotactile coordinated reset]) of onderhevig aan matige jitter (voor noisy vCR)."

Oké, dus eigenlijk hebben we cycli van 667 milliseconden, waarin de vier vingers (de duim doet niet mee) een trilling van 100 ms nodig hebben. Dan blijft er $667 - (4 \times 100) = 267$ ms 'tussenruimte' over. Deze is niet gelijkmatig verdeeld, maar wordt gevarieerd om jitter te genereren. Deze jitter wordt vervolgens willekeurig toegepast op elke serie. Bovendien wordt de volgorde van welke vinger wordt geactiveerd ook willekeurig gekozen per sequentie, maar zoals gezegd, met beide handen perfect gespiegeld. Als klap op de vuurpijl moesten we ook nog PWM gebruiken om de intensiteit van de motoren te variëren. Dat is een probleem op zich. Het betekent dat de handschoenen veel willekeurig gedrag vertonen, maar dat ze allebei moeten weten wat ze doen. Dit is bijna onmogelijk zonder een vorm van communicatie tussen de handschoenen.

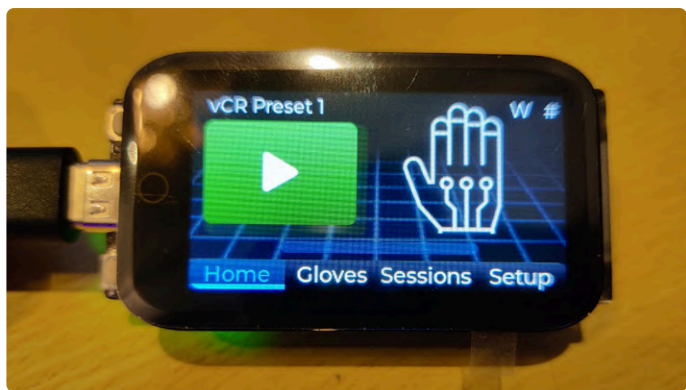
In eerste instantie wilde ik de handschoenen verbinden met een smartphone-app via Bluetooth Low Energy (BLE). De app zou alle benodigde reeksen voor een sessie vooraf genereren, naar de handschoenen sturen en tegelijkertijd de afspeelknop activeren. Het probleem is dat er veel geheugen nodig is om duizenden sequenties op te slaan voor een sessie van vier uur, en dat ze uiteindelijk niet meer synchroon lopen ten gevolge van drift.

Dus uiteindelijk koos ik voor een directe verbinding tussen de handschoenen. Bij het bekijken van de opties (Bluetooth, WiFi) koos ik voor ESP-NOW. ESP-NOW is een aangepast draadloos communicatie-protocol ontwikkeld door Espressif [10] en wordt ondersteund op de meeste van hun controllers. Het protocol lijkt op WiFi en gebruikt dezelfde hardware, maar is veel eenvoudiger en deterministisch. Nog beter, het heeft geen WiFi-accesspoint nodig – communicatie is puur gebaseerd op MAC-adressen. Goed. Nu kunnen we communiceren! Wanneer de handschoenen actief zijn, wordt elke reeks die op de motoren moet 'spelen' vooraf berekend en op een primaire/secundaire manier naar de andere handschoen gestuurd. Beide handschoenen spelen de reeks af en gedurende die tijd berekent de primaire handschoen de volgende reeks en stuurt die net op tijd door naar de secundaire handschoen, samen met de precieze starttijd.

Wanneer de huidige teeks voltooid is, weten beide handschoenen wat de volgende reeks is en wat de exacte starttijd daarvan is. Ze wachten allebei op dit 'tijdstempel' en beginnen tegelijkertijd de nieuwe reeks af te spelen terwijl ze de daaropvolgende berekenen. Op deze manier spelen de handschoenen willekeurige reeksen af, maar spiegelen ze elkaar nog steeds.

De secundaire handschoen berekent zelf ook nieuwe reeksen, maar zal deze niet gebruiken tenzij hij de nieuwe af te spelen reeks niet op tijd ontvangt van de primaire handschoen. Dit kan gebeuren wanneer de communicatie op de 2,4GHz-band wordt verstoord door microgolven of soortgelijke interferentie – dit is een reële overweging, aangezien men in de keuken kan rondlopen terwijl men deze handschoenen gebruikt. Na een onderbreking zijn beide handschoenen binnen 700 ms weer gesynchroniseerd.

Dus hoe vergelijken de handschoenen een starttijd van een reeks met een betrouwbare tijdsbron? Ik heb overwogen een real-time klok (RTC) of een kristal op de controller aan te sluiten om een permanente tijdsbron te creëren. Maar dat zou het aantal componenten doen toenemen en niet passen in dit ontwerp. (Dit zou echter wel mogelijk



Figuur 10. SquareLine voor het ontwerpen van de gebruikersinterface.

zijn door SMD-componenten te gebruiken in plaats van through-hole exemplaren).

Ik heb voor een andere mogelijkheid gekozen: de handschoenen hoeven niet te weten hoe laat het is, maar hoeven het alleen eens te zijn over 'een' tijd, zoals het aantal microseconden sinds het opstarten. Het is deze waarde die elke seconde van de primaire naar de secundaire wordt gestuurd, waarbij de round-trip time (RTT) tussen de handschoenen wordt gemeten. De secundaire handschoen ontvangt het tijdsbericht en telt de helft van de RTT bij deze tijd op om zijn eigen klok in te stellen. Na een hoop geknutsel zorgt deze methode (die een variant is op het NTP-protocol) ervoor dat de interne klokken van de handschoenen tot op 320 μ s nauwkeurig gesynchroniseerd zijn! Dat is een precisie van minder dan een derde van een milliseconde, nauwkeurig genoeg voor ons doel.

De meeste obstakels zijn nu uit de weg geruimd. Wat overblijft is de gebruikersinterface. Ik zal niet in detail treden over het feit dat ik een nieuwe displaydriver en een nieuwe touchscreen-driver moest schrijven, maar het komt allemaal neer op het feit dat bestaande documentatie hier erg schaars was. Ja, er zijn programmaproblemen, maar die zijn op zijn best middelmatig of gebruiken verouderde frameworkversies. Voor de gebruikersinterface vond ik dat ik een kleine mentale rustpauze verdiende na weken van low-level C++ bitshifts en bytes tellen. Ik wilde iets eenvoudigers, dus koos ik voor LVGL (Light and Versatile Embedded Graphics Library) [11]. LVGL is een embedded grafische bibliotheek met alle toeters en bellen die men nodig heeft om touch-gebruikersinterfaces te maken.

Om mijn leven nog gemakkelijker te maken, trakteerde ik mezelf op SquareLine Studio [12] met een WYSIWYG (what-you-see-is-what-you-get) editor, die de UI-code genereert. Mijn SquareLine-ontwerp in uitvoering is te zien in **figuur 10**.

Met deze tools leek het maken van de 'software-applicatie' zelf meer op het maken van desktopsoftware. Abstraheer alle technische zaken, maak user stories voor de UI en implementeer deze zoals men dat voor elke applicatie zou doen. Dit betekent het implementeren van verschillende menu's, knoppen, schermen en instellingen. Natuurlijk worden deze instellingen tussen de handschoenen gesynchroniseerd via het communicatiekanaal dat eerder met ESP-NOW is gemaakt. Hierdoor blijft Bluetooth ongebruikt, vrij om de handschoenen met de smartphone te verbinden! Ik begon met de basis-app hiervoor, maar had nog niet veel functies geïmplementeerd, omdat ik op dat moment niet eens wist of de handschoenen wel werkten. Ja, de projectkoorts heeft me te pakken, ik weet het!

Realisatie: de accu's

Dit was mijn eerste project waarbij ik accu's gebruikte om de ESP32 van stroom te voorzien. Die kan veel stroom verslinden, dus dat moest

ik beperken. Ten eerste wilde ik mijn accu's niet belasten wanneer de handschoenen niet werden gebruikt. Ik had dus een deep-sleep modus nodig. Ik begon met het voor de hand liggende:

- > schakel de achtergrondverlichting uit;
- > schakel de displaycontroller uit;
- > stel de touchscreen-chip in op een lagere energiemodus;
- > zet de processor in de slaapstand.

Gelukkig ontdekte ik bij het bestuderen van de schema's voor de Lilygo-controller dat ze echt heel ver zijn gegaan in het optimaliseren van het ontwerp voor lage ruststroom.

Ze gebruiken niet veel pullup- en pulldown-weerstanden, en als ze dat doen hebben die erg grote waarden, zoals 100 k Ω . Zelfs de schakeling voor het detecteren van de accuspanning, die een resistieve spanningsdeler gebruikt, is verbonden met een IO-pin, zodat men de bovenste weerstand van de spanningsdeler kan 'ontkoppelen' om lekkage via die weerstandsdeler te minimaliseren. Heel slim!

Bij de ESP32 kan men veel van de zogenaamde 'power domains', of discrete periferie op de chip, uitschakelen. Dit vermindert het stroomverbruik nog verder. Er is zelfs een speciale ULP-coprocessor (ultra-low-power) waarmee men de normale processor volledig kan uitschakelen, inclusief het geheugen en alle hardware, terwijl men nog steeds luistert naar gebeurtenissen op bepaalde IO-pinnen.

Met deze trucs heb ik het stroomverbruik tijdens deep-sleep teruggebracht tot slechts 390 μ A. Dit is zo laag dat het in deze modus jaren zou duren voordat de accu's leeg zouden raken.

Niettemin zorgt een simpele druk op een van de knoppen ervoor dat de controller wakker wordt en de handschoenen starten – perfect voor wat we willen. De handschoenen controleren voortdurend de accuspanning. Als deze onder een bepaalde drempel komt, worden de accu's als leeg beschouwd en schakelt de controller alles uit wat mogelijk is. De accu wordt opgeladen via USB-C.

Gebruik

De handschoenen spreken voor zich. Doe ze gewoon aan en druk op de grote Play-knop van de UI of op de bovenste hardwareknop (zie figuur 2).

Men kan naar links of rechts vegen om door de onderdelen van de gebruikersinterface te bladeren, die informatie geven over de huidige sessie, de resterende tijd, vorige sessies, het accuniveau, de connectiviteit tussen handschoenen en verschillende presets en instellingen die men kan gebruiken.

Om stroom te sparen gaat de achtergrondverlichting na 30 seconden automatisch uit, zelfs als de handschoenen aan staan. Een simpele tik op het scherm schakelt de achtergrondverlichting weer in.

Nadat de sessietimer is afgelopen, stoppen de handschoenen automatisch, afhankelijk van de voorinstelling. Ze gaan ook automatisch in deep-sleep na vijf minuten inactiviteit. Men kan deze slaapstand ook forceren door de onderste hardwareknop ingedrukt te houden. Hierdoor worden de handschoenen uitgeschakeld. Om ze weer te activeren, drukt men gewoon op de onderste hardwareknop. Pictogrammen op het scherm geven het accuniveau aan. Als het tijd is om op te laden, wordt een USB-C oplaadkabel op de zijkant van de controller aangesloten. Het opladen stopt automatisch als de accu vol is.

Als de controller detecteert dat de accuspanning te laag is, schakelt



hij automatisch uit naar de diepste mogelijke slaapmodus om te voorkomen dat de batterijen zich volledig ontladen.

Tijdens het opladen zijn de handschoenen nog steeds operationeel. Men kan dus gedurende deze tijd bijvoorbeeld een boek lezen. De USB-C poort wordt ook gebruikt om nieuwe firmware te uploaden.

Vooruitblik

Alles bij elkaar was dit een hele reis! Maar ik vond elke stap geweldig. En mijn tante?

Welnu – willekeurige signalen rechtstreeks naar een brein sturen is niet iets om lichtvaardig op te vatten. Het zal nog wel een paar jaar duren voordat bewezen is dat dit een veilige methode is. Aangezien deze handschoenen gebaseerd zijn op vroeg onderzoek, is het niet aan mij om te beweren of ze werken of niet, of dat ze echt veilig zijn om te gebruiken. Gebruik deze handschoenen daarom op eigen risico en raadpleeg altijd een neuroloog. Start of stop nooit met enige vorm van medicatie of andere interventie zonder arts of neuroloog te raadplegen. Maar ik heb op zijn minst perspectief gecreëerd. Hopelijk komen deze handschoenen beschikbaar als haar toestand verslechtert.

Het zou geweldig zijn als het onderzoek van Peter A. Tass uiteindelijk de levenskwaliteit zou verbeteren van de velen die lijden aan de ziekte van Parkinson.

Ik ben dankbaar dat ik een kleine rol kon spelen in de poging om mijn familielid te helpen die de diagnose Parkinson had gekregen. Het was tenminste iets wat ik kon doen, in plaats van hulpeloos toe te kijken hoe een vreselijke ziekte zo veel schade aanricht. 

vertaling: Willem den Hollander — 240434-03

Over de auteur

Hans van Essen is al vanaf zijn vijfde jaar geïnteresseerd in elektronica, geleid door de lessen van zijn grootvader over vacuümbuizen, transistors en vroege geïntegreerde schakelingen. Aan het eind van de jaren tachtig breidde hij zijn belangstelling uit naar computertechnologie en software-ontwikkeling, waardoor zijn interesse in de digitale wereld groeide. Op zijn 25ste was Hans medeoprichter van een succesvol internationaal softwarebedrijf dat zich richtte op bedrijfsoplossingen voor logistiek en magazijnbeheer. Vandaag de dag biedt hij end-to-end slimme oplossingen die het volledige spectrum van hardware tot schaalbare cloudsoftware omvatten, waarbij hij put uit zijn uitgebreide ervaring op beide gebieden. Hoewel Hans al jaren software-architect van beroep is, is elektronica altijd zijn grootste hobby gebleven. Hij zoekt voortdurend naar manieren om deze passies te combineren, waarbij hij hardware en software combineert om innovatieve gecombineerde oplossingen te creëren.



Gerelateerd product

> **Lilygo T-Display-S3 ESP32-S3 Development Board (with Headers)**
www.elektor.nl/20299



Vragen of opmerkingen?

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

WEBLINKS

- [1] Elektor Labs maakt de winnaars van de projectwedstrijd van 2024 bekend: <https://elektormagazine.com/articles/winners-of-the-2024-project-contest>
- [2] Vibrotactile coordinated reset stimulation for the treatment of Parkinson's disease: <https://ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC8771098>
- [3] NBC Today, "Scientists Develop Glove That Eliminates Parkinson's Tremor" (YouTube): <https://youtu.be/YEEwbxFT4Bc&t=79s>
- [4] Mijn video: VibroTactile Gloves: <https://youtu.be/RJwAdNKXpX8>
- [5] United Nations – Sustainable Development: The 17 Goals: <https://sdgs.un.org/goals>
- [6] Seeed Studio Mini Vibration Motor 2.0 mm: <https://tinyurl.com/seedminivib>
- [7] Lilygo T-Display-S3: <https://www.lilygo.cc/products/t-display-s3>
- [8] Soorten 18650-accu's: <https://nkon.nl/blog/protectedunprotectedbattery>
- [9] Firmware en printbestanden op de Elektor Labs-pagina bij dit project: <https://elektormagazine.com/labs/vibrotactile-gloves-against-parkinsons-disease>
- [10] ESP-NOW: A wireless communication protocol for quick responses and low-power control: <https://espressif.com/en/solutions/low-power-solutions/esp-now>
- [11] LVGL – Light and Versatile Graphics Library: <https://lvgl.io>
- [12] Squareline Studio: <https://squareline.io>

Word lid van de Elektor Community



Neem **nu** een
lidmaatschap!



- ✓ Toegang tot het compleet web-archief t/m 1960!
- ✓ 8x Elektor Magazine (Print)
- ✓ 8x digitaal (PDF)
- ✓ 10% korting in de Elektor Store, en exclusieve aanbiedingen
- ✓ Toegang tot meer dan 5000 Gerberfiles



Ook verkrijgbaar

Het digitale
lidmaatschap!



- ✓ Toegang tot het compleet web-archief
- ✓ 10% korting in de Elektor Store
- ✓ 8x Elektor Magazine (PDF)
- ✓ Toegang tot meer dan 5000 Gerberfiles



www.elektormagazine.nl/abo





Ingenieursstudenten helpen de uitdagingen van morgen aan te gaan

- Universiteitssponsoring
- Onderwijskortingen
- Technische onderwijsmiddelen

mouser.com/educationalsales-emea

