



electronica-Sonderausgabe

10-MHz-Referenzgenerator

Hochgenau, mit Verteiler und galvanischer Trennung



CEO-Interview

Sandra Rivera von Altera über den Wechsel zu Intel 18A

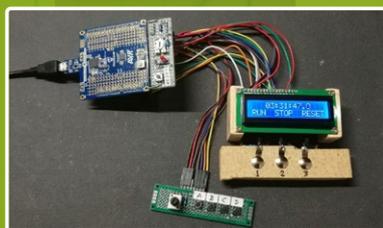


Vertrauen in Rust



Digitale Last für Hochstromtests

Von der Notwendigkeit zur Innovation



Touch-Sensing leicht gemacht

Ein DIY-Leitfaden für jeden Mikrocontroller



Vaire-Mitbegründer diskutieren über adiabatisches Reversible Computing

Elektor @ electronica 2024

Live Elektor Lab Talk Shows

Influencer Foren

Experten auf der Bühne

electronica Fast Forward 2024

und mehr!

UNSER SORTIMENT VON MAKERN FÜR MAKER



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

Nur das Beste für Sie – von über 1.500 Markenherstellern

Unsere Produktmanager sind seit vielen Jahren bei reichelt tätig und kennen die Anforderungen unserer Kunden. Sie stellen ein breites Spektrum an Qualitätsprodukten zusammen, optimal auf den Bedarf in Forschung & Entwicklung, Instandhaltung, IT-Infrastruktur und Kleinserienproduktion sowie auf Maker zugeschnitten.

Entwicklerboards für Ihr Projekt

Arduino Science Kit R3

Tauchen Sie ein in die faszinierende Welt der Wissenschaft mit dem Arduino Science Kit R3! Entwickelt für Lehrkräfte und Schüler kombiniert dieses Kit leistungsstarke Hardware und Software.

- inkl. Nano RP2040 Connect, Science Carrier R3, Sensoren
- ermöglicht praktisches, experimentelles Lernen
- Echtzeit-Datenerfassung und -analyse per Science Journal App
- umfassendes Sensor-Ökosystem zur Erfassung physikalischer Parameter



Bestell-Nr.:
ARD AKX00045

184,⁵⁰



Das reichelt Raspberry Pi 5 B All-In-Bundle

Das Raspberry Pi Bundle beinhaltet alles Nötige um sofort starten zu können. Setzen Sie Projekte, wie HD-Mediaplayer, Internetradio, Web-cam-Server oder Hausautomatisierung, jetzt einfach um!

Im Bundle enthalten sind:

- Raspberry Pi 5 B mit 2 GB Arbeitsspeicher
- hochwertiges, trendiges Gehäuse
- leistungsstarkes Original-Netzteil (USB C)
- 32 GB microSD-Karte inkl. RaspianOS
- 4-teiliger Raspberry Pi Kühlsatz
- microHDMI-auf-HDMI Kabel, 1 m



Bestell-Nr.:
RPI 5B 2GB ALLIN

84,⁵⁰



reichelt
elektronik **MAGAZIN**

Themen-Special – Entwickler-
boards für Ihr Projekt

Jetzt lesen ▶
<https://rch.it/MG797>



RASPBERRY PI, ARDUINO & CO:
**ENTWICKLERBOARDS
FÜR IHR PROJEKT**

Jetzt entdecken ▶
<https://rch.it/boards-b2c>



■ Top Preis-Leistungs-Verhältnis

■ über 150.000 ausgesuchte Produkte

■ zuverlässige Lieferung – aus Deutschland in alle Welt

www.reichelt.de

Bestellhotline: +49 (0)4422 955-333

reichelt
elektronik – The best part of your project

Es gelten die gesetzlichen Widerrufsregelungen. Alle angegebenen Preise in € inklusive der gesetzlichen MwSt., zzgl. Versandkosten für den gesamten Warenkorb. Es gelten ausschließlich unsere AGB (unter www.reichelt.de/agb, im Katalog oder auf Anforderung). Abbildungen ähnlich. Druckfehler, Irrtümer und Preisänderungen vorbehalten. reichelt elektronik GmbH, Elektronikring 1, 26452 Sande, Tel.:+49 (0)4422 955-333

TAGESPREISE! Preisstand: 22. 10. 2024

55. Jahrgang
electronica digitale Ausgabe 2024
ISSN 0932-5468

Das Elektor Magazin wird 8 Mal im Jahr
herausgegeben von
Elektor Verlag GmbH
Lukasstraße 1, 52070 Aachen (Deutschland)
Tel. +49 (0)241 95509190
www.elektor.de | www.elektormagazine.de

Content Director: C. J. Abate
Herausgeber: Erik Jansen

Für Ihre Fragen: service@elektor.de
Technische Fragen: redaktion@elektor.de

Grafik & Layout: Harmen Heida,
Sylvia Sopamena, Patrick Wielders

Mitglied werden: www.elektormagazine.de/abo

Anzeigen: Büsra Kas
Tel. +49 (0)241 95509178 – busra.kas@elektor.com
www.elektormagazine.de/mediadaten

Urheberrecht
© Elektor International Media b.v. 2024

Die in dieser Zeitschrift veröffentlichten Beiträge, insbesondere alle Aufsätze und Artikel sowie alle Entwürfe, Pläne, Zeichnungen einschließlich Platinen sind urheberrechtlich geschützt. Ihre auch teilweise Vervielfältigung und Verbreitung ist grundsätzlich nur mit vorheriger schriftlicher Zustimmung des Herausgebers gestattet. Die veröffentlichten Schaltungen können unter Patent- oder Gebrauchsmusterschutz stehen. Herstellen, Feilhalten, Inverkehrbringen und gewerblicher Gebrauch der Beiträge sind nur mit Zustimmung des Verlages und ggf. des Schutzrechtsinhabers zulässig. Nur der private Gebrauch ist frei. Bei den benutzten Warenbezeichnungen kann es sich um geschützte Warenzeichen handeln, die nur mit Zustimmung ihrer Inhaber warenzeichengemäß benutzt werden dürfen. Die geltenden gesetzlichen Bestimmungen hinsichtlich Bau, Erwerb und Betrieb von Sende- und Empfangseinrichtungen und der elektrischen Sicherheit sind unbedingt zu beachten. Eine Haftung des Herausgebers für die Richtigkeit und Brauchbarkeit der veröffentlichten Schaltungen und sonstigen Anordnungen sowie für die Richtigkeit des technischen Inhalts der veröffentlichten Aufsätze und sonstigen Beiträge ist ausgeschlossen.

DEUTSCHE
FACHPRESSE

Elektor ist Mitglied des 1929 gegründeten VDZ (Verband Deutscher Zeitschriftenverleger), der „die gemeinsamen Interessen von 500 deutschen Consumer- und B2B-Verlagen vertritt.“



Nick Flaherty
Chefredakteur, eeNews Europe

Jens Nickel
Chefredakteur, Elektor



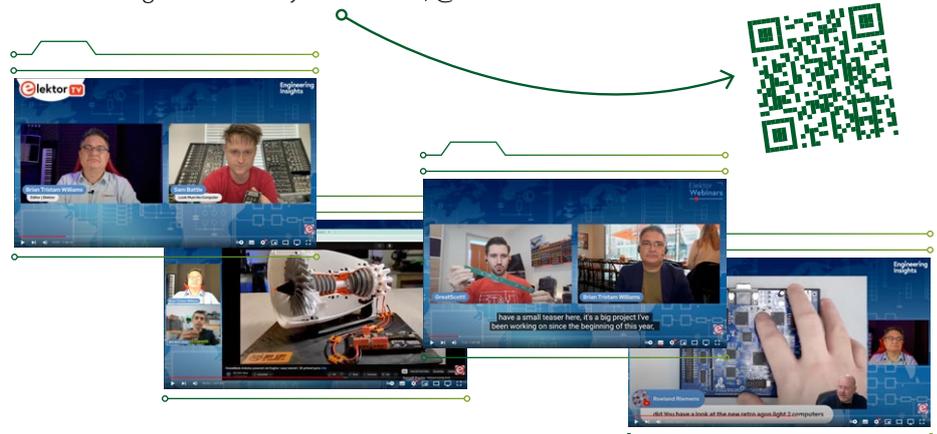
Innovation fördern auf der electronica 2024



Während sich die weltweit führenden Elektronikinnovatoren auf der electronica 2024 in München versammeln, freuen sich Elektor und eeNews Europe, diese gemeinsame Sonderausgabe zu präsentieren – eine exklusive Zusammenarbeit, die die Stärken beider Publikationen hervorhebt. Dieses einzigartige Magazin, das speziell für die electronica 2024 entwickelt wurde, kombiniert die praxisnahen Hintergrundartikel und Projekte von Elektor mit den tiefgreifenden Brancheneinblicken von eeNews Europe und enthält viele der Artikel, die in unserer Printausgabe erscheinen, die bei der Veranstaltung verteilt wird.

In dieser digitalen Ausgabe finden Sie eine Vielzahl interessanter Inhalte für Ingenieure, Maker und Branchenexperten gleichermaßen. Elektor stellt praktische und kreative Elektronikprojekte vor, die die Grenzen der Innovation erweitern, während eeNews Europe Interviews, Berichte über wichtige Branchentrends und Expertenanalysen zu Entwicklungen bietet, die die Zukunft der Elektronik prägen.

Wenn Sie die electronica 2024 besuchen, laden wir Sie ganz herzlich an unseren Stand (B4.440) ein, wo unsere Teams über die neuesten Technologien diskutieren, Einblicke in die Elektronikindustrie geben und Live-Interviews mit wichtigen Entscheidungsträgern führen werden. Für Führungskräfte aus der Wirtschaft bieten wir außerdem die Möglichkeit zu erkunden, wie Elektor und eeNews Europe Ihre Marketing- und Innovationsziele unterstützen können. Wir hoffen, Ihnen gefällt diese digitale Ausgabe und freuen uns darauf, Sie auf der electronica 2024 kennenzulernen! Sie können nicht dabei sein? Sehen Sie sich unsere Live-Streams und Veranstaltungsberichte auf youtube.com/@ElektorTV an.



Unser Elektor Team

Chefredakteur: Jens Nickel (v.i.S.d.P.) | **Redaktion:** Asma Adhimi, Roberto Armani, Eric Bogers, Jan Buiting, Rolf Gerstendorf (RG), Ton Giesberts, Saad Imtiaz, Alina Neacsu, Dr. Thomas Scherer, Jean-Francois Simon, Clemens Valens, Brian Tristram Williams

Unser eeNews Team

Chefredakteur: Nick Flaherty | **Business Redakteur:** Peter Clarke | **Embedded Redakteur:** Jean-Pierre Joosting | **Smart 2.0 Redakteur:** Wisse Hettinga | **ECINews Redakteur:** Nicolas Feste

10-MHz-Referenz-generator

Hochgenau, mit Verteiler und galvanischer Trennung



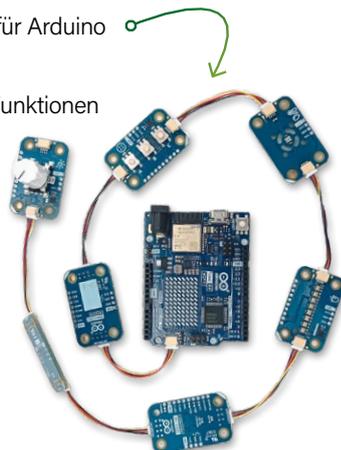
10

Elektor und eeNews

- 3 **Impressum**
- 6 **Elektor @ electronica 2024**
electronica Fast Forward 2024, Experten auf der Bühne, Influencer Foren, Live Elektor Lab Talk Shows und mehr
- 42 **Elektor-Webinare**
Technische Einblicke für Elektronik-Innovatoren
- 78 **Gast-Ausgaben von Elektor**
Kooperationen, die Innovationen in der Elektronik vorantreiben
- 92 **ECINews berichtet über Neuigkeiten aus der Elektronikindustrie für den französischen Markt**
Ein Magazin, eine Website und ein Newsletter zum Thema Elektronik

Features

- 26 **Plug-and-Make-Kit**
Ein modulares Konzept für Arduino
- 46 **KiCad 8**
Neue und aktualisierte Funktionen



Projekte

- 10 **10-MHz-Referenzgenerator**
Hochgenau, mit Verteiler und galvanischer Trennung
- 18 **Digitale Last für Hochstromtests**
Von der Notwendigkeit zur Innovation
- 82 **Open Vario**
Open-Source Multifunktions-Variometer für Gleitschirmflieger
- 94 **Touch-Sensing leicht gemacht**
Ein DIY-Leitfaden für jeden Mikrocontroller

News

- 22 **Vertrauen in Rust**
- 90 **Paragraf rüstet sich für die nächste Phase der Graphen-Entwicklung**
- 98 **Vaire-Mitbegründer diskutieren über adiabatisches Reversible Computing**





Interviews

- 16 **CEO-Interview:**
Sandra Rivera von Altera über den Wechsel zu Intel 18A
- 36 **CEO-Interview:**
Tintenstrahl Druck für Halbleiteranlagen
- 38 **CEO-Interview:**
Sameer Wasson von MIPS über einen RISC-V-Neustart
- 88 **CTO-Interview:**
Die Geopolitik von GaN



Industrie

- 32 **Innovativ mit NXP**
Die Entwicklung der FRDM-Plattform
- 52 **Induktivitäten**
Spulen und Ferrite anwendungsorientiert selektieren
- 57 **Das ultimative Werkzeug für jeden Elektronik-Enthusiasten**
Unendliche Möglichkeiten mit Red Pitaya und 1.000+ Click Boards™
- 58 **Siglent stellt seine neue Vektornetzwerkanalysator-Plattform SNA6000A vor**
- 60 **Herausforderungen der DFM-Analyse für Flex- und Rigid-Flex-Design**
- 62 **EMI-Abschirmung zur Einhaltung der elektromagnetischen Konformität**
- 67 **electronica 2024: Highspeed und robuste Board-to-Board Steckverbinder**
- 68 **Echtzeit-Spektrumanalyser mit Waveguide-Technologie und Multi-Schnittstellen-PCs**
- 72 **Die 100 % durchgängige Flussmittelseele**
- 74 **HDI der Mittelklasse**
Ein neuer ökonomischer PCB Pooling Service für hochpolige BGAs
- 76 **Ferngesteuerte IoT-Entwicklung**
Die einzige Lösung für Fernunterricht und Entwicklung in der Embedded-Industrie



Elektor @ electronica 2024

electronica Fast Forward 2024, Experten auf der Bühne, Influencer Foren, Live Elektor Lab Talk Shows und mehr

Vom Elektor-Team

Die electronica 2024 (12.-15. November) in München ist auf dem besten Weg, größer zu werden als je zuvor. Rund 2.800 Aussteller aus 50 Ländern werden in 18 Hallen ihre neuesten Produkte und Entwicklungen präsentieren. Natürlich ist auch Elektor mit einem eigenen Stand vertreten. In diesem Jahr kooperieren wir wieder mit der Messe München für den electronica Fast Forward Award. Außerdem stellen bekannte Elektronik Content-Creator wie GreatScott! ihre neuesten Projekte vor, wir interviewen Experten und es gibt täglich einen Live Lab Talk. Wir sehen uns in München!

Alle zwei Jahre verwandelt sich München in ein Mekka für Elektronikprofis und -enthusiasten. Auf der electronica 2024 (12.-15. November, Messe München) können Sie die neuesten Entwicklungen in den Bereichen KI, IoT, Smart Energy, GaN- und SiC-Halbleiter und vieles mehr sehen. Wenn Sie teilnehmen, laden wir Sie ein, Elektor am Stand B4.440 zu besuchen,

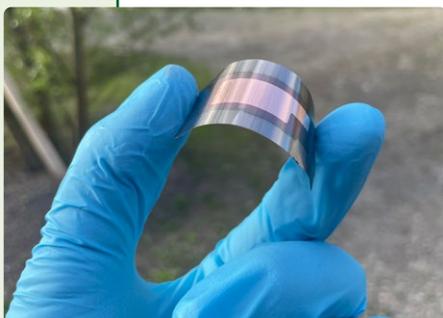
wo unsere Teams zur Verfügung stehen, um die neuesten Technologien zu diskutieren, Einblicke in die Elektronikindustrie zu geben und Live-Interviews mit wichtigen Einflussnehmern und Experten zu führen. Wenn Sie ein Unternehmen führen, stellen wir Ihnen auch die Möglichkeit vor, wie Elektor und eeNews Europe Ihre Marketing- und Innovationsziele unterstützen können.

Egal, ob Sie ein Branchenprofi oder ein Technik-enthusiast sind, besuchen Sie auf jeden Fall den **Stand B4.440**, um die innovativen Startups, Influencer und Experten aus nächster Nähe zu erleben. Dies ist Ihre Gelegenheit, Spitzentechnologie aus erster Hand zu sehen und mit den Menschen dahinter ins Gespräch zu kommen. Kommen Sie zu uns!

electronica Fast Forward 2024

Auf der electronica Fast Forward 2024 stehen Startups im Mittelpunkt, um die Zukunft der Elektronik zu präsentieren. In dieser sechsten Ausgabe unseres Startup-Events, das von der electronica und Elektor organisiert wird, werden die Startups bahnbrechende Innovationen in den Bereichen IoT, Robotik, Batterieentwicklung und mehr vorstellen. Die fünf ausgewählten Startups auf der electronica Fast Forward beschäftigen sich mit einigen der wichtigsten Herausforderungen im Elektroniksek-

tor. Wie immer ist die electronica Fast Forward nicht nur eine Präsentation, sondern auch ein Wettbewerb. Die Startups werden ihre Technologien vor Branchenführern und Entscheidern präsentieren und um ein Medienbudget von insgesamt 85.000 Euro wetteifern. Der Sieger erhält außerdem einen voll bezahlten Messestand auf der electronica 2026. Am Freitag findet die Zeremonie statt, bei der die drei Preisträger vorgestellt werden (siehe **Zeitplan**).

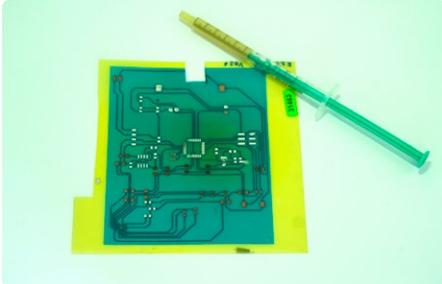


BTRY AG (Schweiz)

BTRY ist ein ETH-Spinoff, das die branchenweit erste energiedichte Festkörperbatterie entwickelt, die mit fortschrittlichen Halbleiterfertigungsmethoden hergestellt wird. Das Produkt ist eine fortschrittliche Lithium-Ionen-Batterie, die innerhalb einer Minute aufgeladen werden kann. Sie funktioniert bei sehr hohen und niedrigen Temperaturen und kann mehrere tausend Lade-/Entladezyklen überstehen.
www.btry.ch

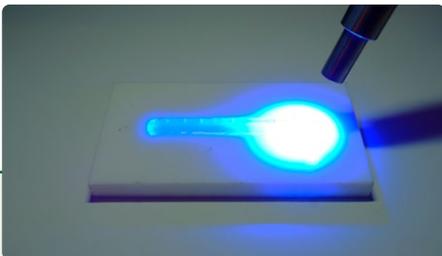


SPEEDPOX



SpeedPox (Österreich)

SpeedPox bietet innovative und ultraschnell härtende Epoxidharze, leitfähige Klebstoffe und Tinten. Ihre Epoxide sind Einkomponentensysteme mit praktisch unbegrenzter Topfzeit bei Raumtemperatur. Bei Wärme- oder UV-Anregung wird ein patentierter Selbsthärtungsmechanismus ausgelöst, der 99 % der Zeit und Energie spart. Anstatt mehrere Stunden in einem Industrieofen zu verbringen, ermöglicht SpeedPox eine Aushärtung innerhalb von Sekunden.
www.speedpox.com



Nightjar Technologies (Indien)

Nightjar Technologies ist ein Spin-off von RESOLVE, einer in Washington DC ansässigen Umwelt-NGO. Ihr Vorzeigeprodukt, TrailGuard AI, ist ein KI-fähiges Kamerasystem zur Bekämpfung von Wilderei und zur Entschärfung von Konflikten zwischen Mensch und Tier in Entwicklungsländern.
www.nightjar.in



ICECAP Systems (Malta)

Das Ziel von ICECAP Systems ist es, ein kompaktes Kühlsystem für die breite Anwendung in verschiedenen Produkten zu entwickeln. Durch den Einsatz von mehrstufigen thermoelektrischen Modulen (TEMs), neuartigen Montagetechniken und innovativen Optimierungsalgorithmen können niedrigere Temperaturen in kleineren Gehäusen erreicht werden, was eine einfache Integration in tragbare Geräte ermöglicht. Zu den Anwendungen gehören unter anderem Hochgeschwindigkeitskameras, Radioempfänger, Teleskope, medizinische Transporter, Laborgeräte und Hochleistungsprozessoren.
www.icecapsystems.com



Banyan.eco (Frankreich)

Banyan.eco hat sich zum Ziel gesetzt, der Welt der Elektronik zu helfen, eine Netto-Null zu erreichen, was bedeutet, dass die Gesamtmenge der erzeugten Treibhausgase durch die aus der Atmosphäre entfernte Menge ausgeglichen wird. Die vielschichtige Lieferkette und der industrielle Prozess in der Elektronikindustrie ist einer der komplexesten Industriezweige, so dass es äußerst schwierig ist, die Emissionen über den gesamten Lebenszyklus eines Produkts zu messen, von der Wiege bis zum Grab. Banyan.eco nutzt künstliche Intelligenz und digitale Öko-Zwillinge, um den Kohlenstoff-Fußabdruck von Produkten und Unternehmen im Elektronikbereich innerhalb von Minuten zu ermitteln.
www.banyan.eco



electronica Fast Forward 2024 Sponsoren

Wichtige Industriesponsoren, darunter **NXP**, **MikroE**, **Mouser** und **PCBWay**, unterstützen die Veranstaltung, um das Wachstum und die Zusammenarbeit in der Elektronikbranche zu fördern.



Elektor @ electronica: Zeitplan

Dienstag, 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)

Mittwoch, 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: Ungarisches Konsulat** (B4.440)
- 17:00 **Elektor Lab Talk live** (B4.440)

Donnerstag, 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, Europäischer Innovationsrat 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)

Freitag, 15. November

- 10:00 **Interview: Nick Flaherty, eeNews Europe** (B4.440)
- 11:00 **Influencer Marketing für Studenten** (B4.131, Visionary Stage)
- 12:00 **electronica Fast Forward 2024 Preisverleihung** (B4.131, Visionary Stage)
- 13:00 **Lötettbewerb mit DIY GUY Chris** (B4.440)

Einen Plan der Halle B4 finden Sie hier

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



Dieser Zeitplan kann sich noch ändern.

Treffen Sie die Influencer: Engagement und Innovation fördern

Influencer spielen eine entscheidende Rolle bei der Überbrückung der Kluft zwischen innovativer Technologie und der allgemeinen Akzeptanz. Am Elektor-Stand stellen drei namhafte Influencer aus der Elektronikbranche ihre neuesten Projekte vor: GreatScott!, Max Imagination und DIY GUY Chris. Zusammen repräsentieren diese kreativen Innovatoren mehr als 2 Millionen Follower.



GreatScott! ist bekannt für seine ausführlichen Elektronik-Tutorials, die sowohl für Enthusiasten als auch für Profis geeignet sind. Seine beliebten DIY Projekte, wie zum Beispiel sein Tutorial für eine eigene Powerbank, haben unzählige Zuschauer dazu inspiriert, sich mit Elektronik zu beschäftigen.

www.youtube.com/@greatscottlab



Max Imagination bringt einen kreativen, künstlerischen Ansatz in seine Projekte ein und verbindet Technik mit Innovation. Auf seinem Kanal finden sich einzigartige Konstruktionen wie maßgeschneiderte Roboter und 3D-gedruckte Gadgets, die komplexe Ideen zugänglich machen.

www.youtube.com/@MaxImagination



DIY GUY Chris vereinfacht fortschrittliche Elektronik durch Schritt-für-Schritt-Anleitungen zu Themen wie LED-Anzeigen und CNC-Maschinen und ermutigt Anfänger, sich neuen Herausforderungen zu stellen. Außerdem wird er auf unserer electronica Fast Forward Streaming Stage einen Lötettbewerb veranstalten. Das sollten Sie nicht verpassen.

www.instagram.com/diyyguychris

Die Teilnehmer können die Influencer am Elektor-Stand treffen, wo sie Live-Demonstrationen veranstalten, Fragerunden leiten und vieles mehr. Ihre Anwesenheit verleiht der Veranstaltung eine zusätzliche Dynamik und verstärkt die Reichweite und Wirkung der ausgestellten Innovationen.

Experten Live / Elektor Lab Talk

Jeden Nachmittag (Dienstag bis Donnerstag) werden Elektor-Redakteur Brian Tristram Williams und seine Kollegen am Elektor-Stand verschiedene Experten interviewen, wie z.B. Peter Dalmaris, der über die neueste Version von KiCad, der beliebten Open-Source ECAD-Softwarelösung, sprechen wird. Wenn Sie die electronica nicht persönlich besuchen können, können Sie unsere Interviews und Lab Talk Shows unter www.youtube.com/@ElektorTV verfolgen. Details finden Sie im obigen **Zeitplan**.

Katja Stolle

Ausstellungsleiterin,
electronica

Caroline Pannier

Stellvertretende
Ausstellungsleiterin,
electronica

electronica: 60 Jahre und immer noch wachsend!

Die Zukunft der Elektronik durch Jahrzehnte der Innovation gestalten

Die electronica ist seit sechs Jahrzehnten eine treibende Kraft in der Elektronikbranche. Die Verantwortlichen der Veranstaltung erzählen die Geschichte ihres Aufstiegs und geben einen Einblick in die Zukunft der Elektronik, die auf der Veranstaltung 2024 zu sehen sein wird. In diesem Jahr feiert die Messe ihr 60-jähriges Bestehen und wird größer sein als je zuvor. Zum ersten Mal werden alle 18 Hallen der Münchner Messe genutzt. In diesem kurzen Interview sprechen Katja Stolle (Ausstellungsleiterin electronica) und Caroline Pannier (Stellvertretende Ausstellungsleiterin electronica) über 60 Jahre electronica und darüber hinaus.

Elektor: Was war die Mission der electronica, als sie vor 60 Jahren ins Leben gerufen wurde? Hat sich der zentrale Auftrag seither verändert?

Katja Stolle: Während die Kernaufgabe der electronica - die Präsentation von Innovationen und die Förderung der Zusammenarbeit mit der Industrie - in den letzten 60 Jahren gleich geblieben ist, hat sich ihr Fokus deutlich erweitert. Im Jahr 1964 startete die Veranstaltung als erste Messe in Deutschland, die sich ausschließlich elektronischen Komponenten widmete, während sie bereits einen internationalen Fokus hatte. In den folgenden Jahren wuchs die electronica stetig und wurde schnell zum wichtigsten Treffpunkt der internationalen Elektronikindustrie. Heute bieten wir eine Plattform, um das gesamte Spektrum an Technologien, Produkten und Lösungen aus der gesamten Elektronikindustrie zu präsentieren, Menschen aus aller Welt zu vernetzen, die neuesten Trends aufzuzeigen und so Innovation und Wachstum in der Branche zu fördern.

Elektor: Zahlreiche technologische Meilensteine wurden erstmals auf der electronica vorgestellt. Welche Innovationen haben die Branche und die Welt am nachhaltigsten beeinflusst?

Caroline Pannier: Die electronica war in den vergangenen Jahrzehnten Schauplatz einer Reihe von technologischen Meilensteinen. Dazu gehören zum Beispiel die Einführung von Mikroprozessoren in den 1970er Jahren, die Entwicklung der mobilen Kommunikation in den 1980er und 1990er Jahren und die rasanten Fortschritte in der Digitalisierung in den 2000er Jahren mit der Verbreitung des drahtlosen Internets. Diese

Innovationen haben die Welt nachhaltig verändert, indem sie die Elektronik kleiner, schneller und effizienter gemacht und ganz neue Branchen wie IoT, autonome Fahrzeuge und Smart Cities ermöglicht haben. Diese Durchbrüche prägen weiterhin die Zukunft der Technologie in praktisch jedem Sektor.

Elektor: Welche aufstrebenden Technologien werden Ihrer Meinung nach in den nächsten Jahren die electronica dominieren, wenn wir den technologischen Fortschritt betrachten?

Katja Stolle: Auch in den kommenden Jahren wird die electronica eine globale Bühne für die neuesten Innovationen sein, die die Elektronikindustrie voranbringen. Dazu gehören mehrere Technologien, die wahrscheinlich auch bei zukünftigen Ausgaben der electronica eine dominierende Rolle spielen werden, wie künstliche Intelligenz und maschinelles Lernen oder nachhaltige Elektronik mit einem breiten Fokus auf Energieeffizienz, Wiederverwertbarkeit und Abfallreduzierung.

Elektor: Anlässlich ihres Jubiläums wird die Messe in diesem Jahr das Thema einer rein elektrischen Gesellschaft in den Mittelpunkt stellen. Erzählen Sie uns mehr über die Entscheidung, dieses Thema in den Mittelpunkt zu stellen, und darüber, was die Besucher auf der Veranstaltung vom 12. bis 15. November 2024 erwarten können.

Caroline Pannier: Die All Electric Society (AES) beschreibt eine Zukunftsvision, in der der gesamte Energiebedarf durch CO₂-neutralen Strom gedeckt wird. Es ist ein Konzept, das den Klimawandel bekämpfen und gleichzeitig die Energieversorgung sichern soll. Wir haben es in enger Zusammenarbeit mit der Industrie als Motto für die diesjährige electronica gewählt. Die AES und Nachhaltigkeit werden sich wie ein roter Faden durch die Ausstellung und das Rahmenprogramm ziehen. Neben der Präsentation nachhaltiger Technologien an den Ständen gibt es verschiedene Vorträge und eine Reihe von Sonderveranstaltungen zu diesem Thema. So zum Beispiel ein ganztägiges Vortragsprogramm und Podiumsdiskussionen des Green Leaders Network oder eine vom Zentralverband Elektrotechnik- und Elektronikindustrie e.V. (ZVEI) unterstützte individuelle Tour, bei der die Besucher den Beitrag ausgewählter Aussteller zur AES live an ihren Ständen erleben können.

Zwei Live-Influencer-Foren

Auf der electronica 2024 in Halle B4.131 moderiert Elektor zwei informative Foren: eine Diskussion über smartes Influencer Marketing (Donnerstag, 14. November) und eine Diskussion für Studenten über den Weg zum Elektronik-Influencer (Freitag, 15. November). Das erste Forum, "The Future is Now: How to Incorporate Smart Influencer Marketing for Your Company" (Wie Sie intelligentes Influencer Marketing für Ihr Unternehmen einsetzen können) wird eine Diskussion mit Influencern stattfinden,

die zusammen mehr als 2 Millionen Follower haben, und sich auf die Macht des Influencer Marketings in der Elektronikbranche konzentrieren. Das zweite Forum, "The Future is Now: How to Become an Influencer in Electronics" (Wie wird man Influencer in der Elektronik) richtet sich an Studenten und junge Ingenieure und bietet ihnen Einblicke in den Aufbau einer Karriere als Influencer im Bereich der Elektronikindustrie. Beide Veranstaltungen werden von einer professionell moderierten Podiumsdiskussion begleitet.

◀ 240566-02

10-MHz-Referenzgenerator

Hochgenau, mit Verteiler und galvanischer Trennung

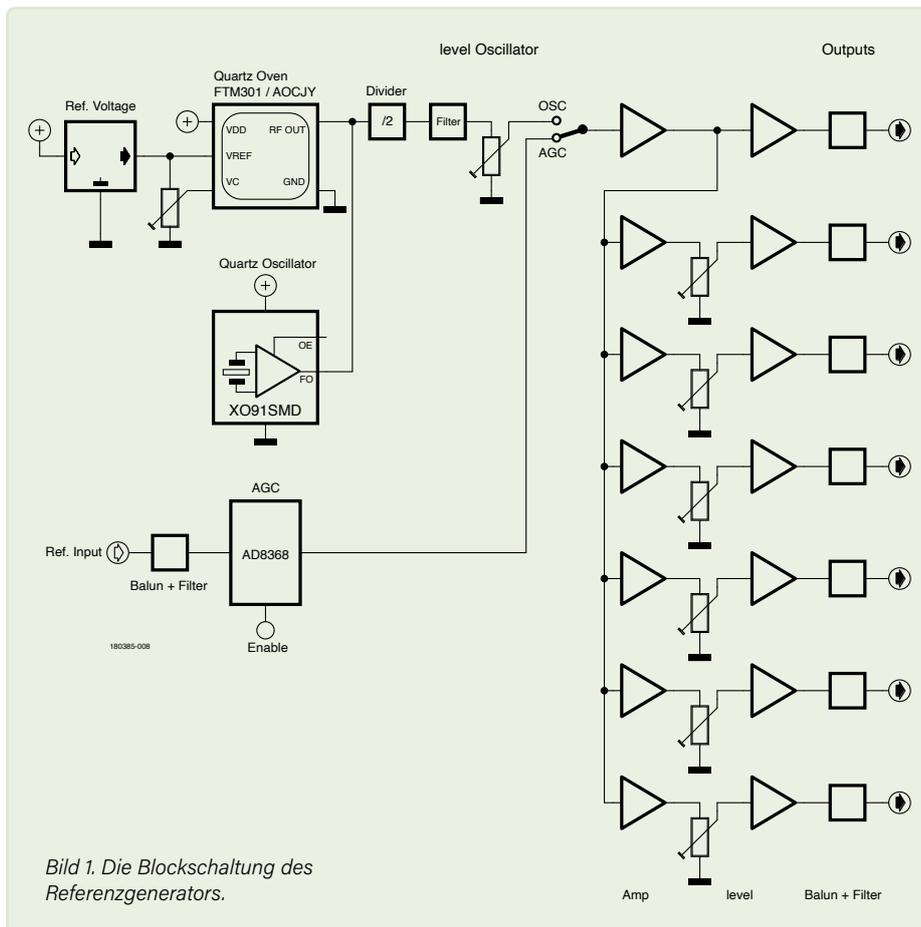
Von Alfred Rosenkränzer (Deutschland)

Müssen in komplexen Messaufbauten Frequenzen und/oder Zeiten erfasst werden und die Ergebnisse genau und vor allen Dingen zeitlich präzise aufeinander bezogen sein, sollten diese Messgeräte möglichst synchron laufen. Zu diesem Zweck koppelt man sie mit Hilfe einer hochgenauen Referenzfrequenz. In diesem Beitrag wird beschrieben, wie man solch einen Referenzgenerator selbst bauen kann.

Wenn keine anderen Gründe dagegen sprechen, wird in solchen Messaufbauten das Gerät mit der genauesten Zeitbasis zum Master erklärt und sein Ausgangssignal dient als Referenz für die anderen Geräte. Die Signalverteilung kann zum Beispiel in Form einer „Daisy Chain“ ausgeführt werden, indem jedes Gerät die Referenzfrequenz an seinem Eingang zu seinem Ausgang durchschleift, wodurch eine serielle Kette entsteht. Die Alternative ist eine Sternschaltung mit Hilfe eines Verteilerverstärkers, wodurch mehrere Referenzsignale quasi parallel zur Verfügung stehen. Als Referenz hat sich eine Frequenz von 10 MHz etabliert.

Masseprobleme

Ein häufig anzutreffendes Problem in solchen Messaufbauten sind Masseschleifen, die empfindliche Messungen stark stören können. Hintergrund: Die Massen der Ein- und Ausgangsbuchsen sind mit dem Schutzleiter (PE) der Netzbuchse, den Steckverbindern



der Datenschnittstellen (GPIB, USB) und den Massen der Buchsen der Referenzsignale verbunden. In den so entstehenden Masseschleifen können sich magnetische Störfelder einkoppeln oder Ausgleichsströme fließen, die die Nutzsignale durch unerwünschte Störsignale beeinträchtigen.

Bei Referenzsignalen kann eine Masseschleife durch galvanische Trennung mit Hilfe von HF-Trafos verhindert werden. Solche Trafos gibt es in kleinen Gehäusen mit BNC-Steckverbindern, zum Beispiel von Mini-Circuits. Sie müssen für eine Daisy-Chain-Anordnung zwischen jedes Gerät eingefügt werden. Bei Benutzung eines Verteilers wird solch ein Trafo zwischen Verteiler und jedem Referenzeingang eines Messgeräts eingeschleift. Verteiler mit integrierten HF-Ausgangstrafos

zum vereinfachten, massefreien Anschluss von Messgeräten scheint es derzeit auf dem Markt nicht zu geben. Dieses Manko inspirierte mich zur Entwicklung eines Referenzgenerators, der nicht nur mit einem hochgenauen, geheizten Oszillator bestückt ist, sondern mehrere massefreie Ausgänge bietet.

Prinzipschaltung

Die Blockschaltung des Generators ist in **Bild 1** zu finden. Links oben ist die Erzeugung des 20-MHz-Basistakts zu sehen, wahlweise mit einem einfachen Quarz-Oszillator oder einem aufwändigeren, kalibrierbaren Quarz-Ofen. Nach Halbierung auf 10 MHz und Filterung steht die Referenzfrequenz bereit zur Pufferung und Verteilung (rechte Seite). Alternativ kann die Schaltung auch lediglich



Stückliste

Widerstände:

(SMD 0603, wenn nicht anders angegeben)

R1, R3, R9, R53, R309, R314, R315 = 10k

R2, R310 = 4k7

R4 = 820 Ω

R5 = 0 Ω, SMD 2012 *

R6, R7 = 1k2

R8, R14, R52, R64, R75, R86, R97, R108, R123 = 390 Ω

R10, R17 = 100 Ω

R11, R18, R54, R57, R58, R61, R63, R66, R69, R72, R74, R77, R80, R83, R85,

R88, R91, R94, R96, R99, R102, R105, R107, R110, R115, R118, R121, R124,

R126, R129, R130 = 50 Ω

R13, R67, R68, R78, R79, R89, R90, R100, R101, R111, R112, R113, R114, R119,

R120, R307, R308, R318 = 0 Ω *

R15 = 130 Ω

R16 = 2k5, Mehrgang-Trimmpoti, stehend, RM 1/10"

R25 = 1k

R50 = 120 Ω

R51 = 200 Ω, Mehrgang-Trimmpoti, stehend, RM 1/10"

R55, R56, R60, R65, R71, R76, R82, R87, R93, R98, R104, R109, R116, R117,

R122, R127 = 470 Ω

R59, R70, R81, R92, R103, R128 = 330 Ω

R62, R73, R84, R95, R106, R125 = 500 Ω, Mehrgang-Trimmpoti, stehend,

RM 1/10"

R301, R306 = 150 Ω

R302, R305 = nb *

R303, R304 = 75 Ω

R311...R313 = 10 Ω, SMD 2012

R316 = 68 Ω

R317 = 180 Ω

Kondensatoren:

(SMD 0603, wenn nicht anders angegeben)

C1 = 4.700 μ / 16 V, Elko, RM 5 mm, ø 13 mm *

C2, C4, C8...C11, C19...C22, C34, C35, C51...C54, C56...C65, C82, C83 = 100n

C3, C5, C12...C18, C33, C36...C40 = 22 μ / 20 V, SMD SMCB

C6, C7 = 2.200 μ / 16 V, Elko, RM 5 mm, ø 13 mm

C23, C32 = 33p

C24 = 120p

C25, C90 = 5p6

C26 = 10p

C27 = 150p

C28, C31 = 100p

C29 = 12p

C30 = 39p

C66, C68, C70, C72, C74, C76, C78, C87 = 47p

C67, C69, C71, C73, C75, C77, C79, C88 = 3p3

C81, C89, C94 = 10n

C84...C86, C91...C93 = 1n

Spulen:

(Alle SMD 1210)

L1...L7, L301 = 4μ7

L8 = 1μ8

L9 = 1μ5

Halbleiter:

D1...D4 = SK56, Schottky, 60 V / 5 A, DO214AA *

D5...D8 = SK56, Schottky, 60 V / 5 A, DO214AA

D9, D10 = SK540, Schottky, 40 V / 5 A, DO214AC

D31 = 1N4148, SOD-123

LED1...LED3 = LED, SMD 0805

T1...T2 = 2N3904, SOT23-BEC

IC1 = 7805

IC2 = 7905

IC3 = LT1963AET-3.3 *

IC4...IC11 = MAX4392ESA, SOIC8

IC6 = MCP1525TT, SOT-23-3 *

U1 = AD8368ACPZ-WP, LFCS-24 *

U2 = SN74LVC1G80DBVR, SOT-23-5 *

Y1 = AOCJY-20.000MHZ-F, SMD *

XO1 = XO91, 20 MHz, SMD *

Außerdem:

X1 = 2-pol. Schraubklemme, RM 5 mm

X5 = 3-pol. Schraubklemme, RM 5 mm

JP1, JP2 = 2-pol. Pinheader

Tr1 = Trafo 2 × 6 V, 2 × 300 mA, RM 20 mm, Platinenmontage *

Tr3 = Trafo 2 × 6 V, 2 × 233 mA, RM 27,5 mm, Platinenmontage

Tr51...TR81 = ADT1-1, HF-Trafo, SMD *

F1 = Sicherung 250 mA, 20 × 5 mm

Sicherungshalter für F1, Platinenmontage

K1 = Relais FTR-B4S, SMD

* siehe Text

als Verteilverstärker dienen. Falls man eine hochwertige externe Referenzfrequenz zur Verfügung hat, kann man diese am Referenzeingang links unten einspeisen. Nach Amplitudenstabilisierung durch einen speziellen HF-Verstärker (AGC) gelangt dieses Signal als Referenz an die Verteilverstärkerbank rechts.

Schaltung

Wie man in der Schaltung von **Bild 2** sieht, ist die Versorgung des Digital- und Analogteils getrennt. Die Takterzeugung wird vom 3,3-V-Netzteil rund um Tr1 und IC3 versorgt. Aus diesem Zweig wird auch die Heizung

eines eventuellen Quarzofens gespeist. Seine Bestückung sorgt dafür, dass man eine genaue und driftarme Referenzfrequenz erhält. Die Versorgung der analogen Verstärker erfolgt symmetrisch mit ±5 V von Tr3 und den beiden klassischen Spannungsreglern IC1 und IC2. Zwecks sauberer Spannungen sind über die Schaltung jede Menge kleine Entkopplungs-Elkos mit je 22 μF und 100-nF-Vielschicht-Kondensatoren verteilt. Die Pegelstabilisierung eines externen Referenzsignals per AGC erfolgt über den +5-V-Zweig, wobei kleine RC-Filter (R311/C85 und R312/C84) eingeschleift sind. Zwei LEDs auf der

Platine zeigen Betriebsbereitschaft an. Eine zusätzliche LED mit gleicher Funktion kann auf der Frontplatte montiert werden. Bei Bestückung aller Ausgangsstufen fließt ein Strom von rund 180 mA im ±5-V-Zweig.

Oszillatoren

Als Oszillator dient ein hochpräziser, beheizter Quarzgenerator des Typs FTM301 der Firma FOX oder alternativ zum Beispiel der Typ OH300-50503CF-020,0M [1] von Connor-Winfield (Y1 in Bild 2). Bei geringeren Qualitätsansprüchen genügt auch ein einfacher 20-MHz-Quarzoszillator (XO1 von Bild 2, [2]).

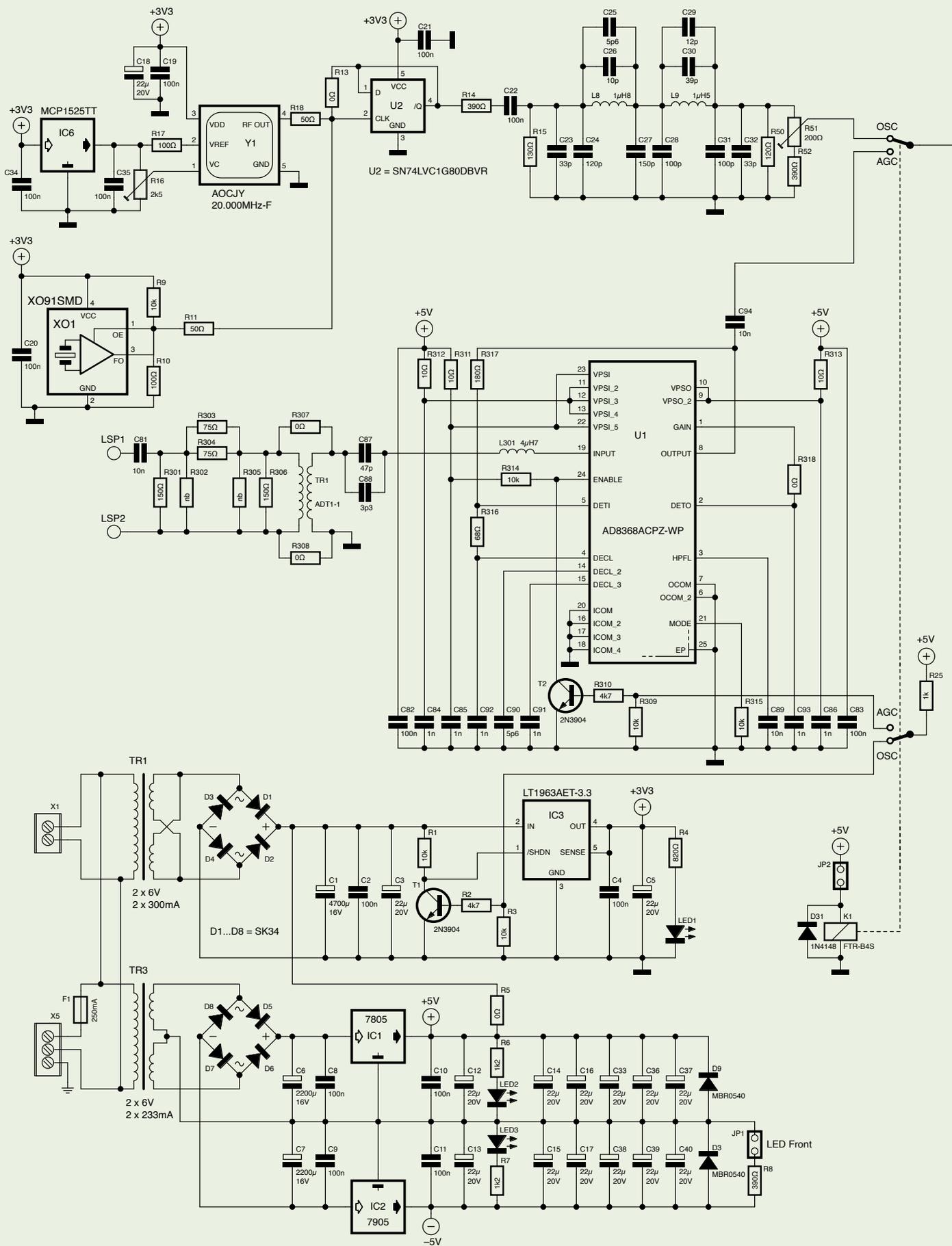
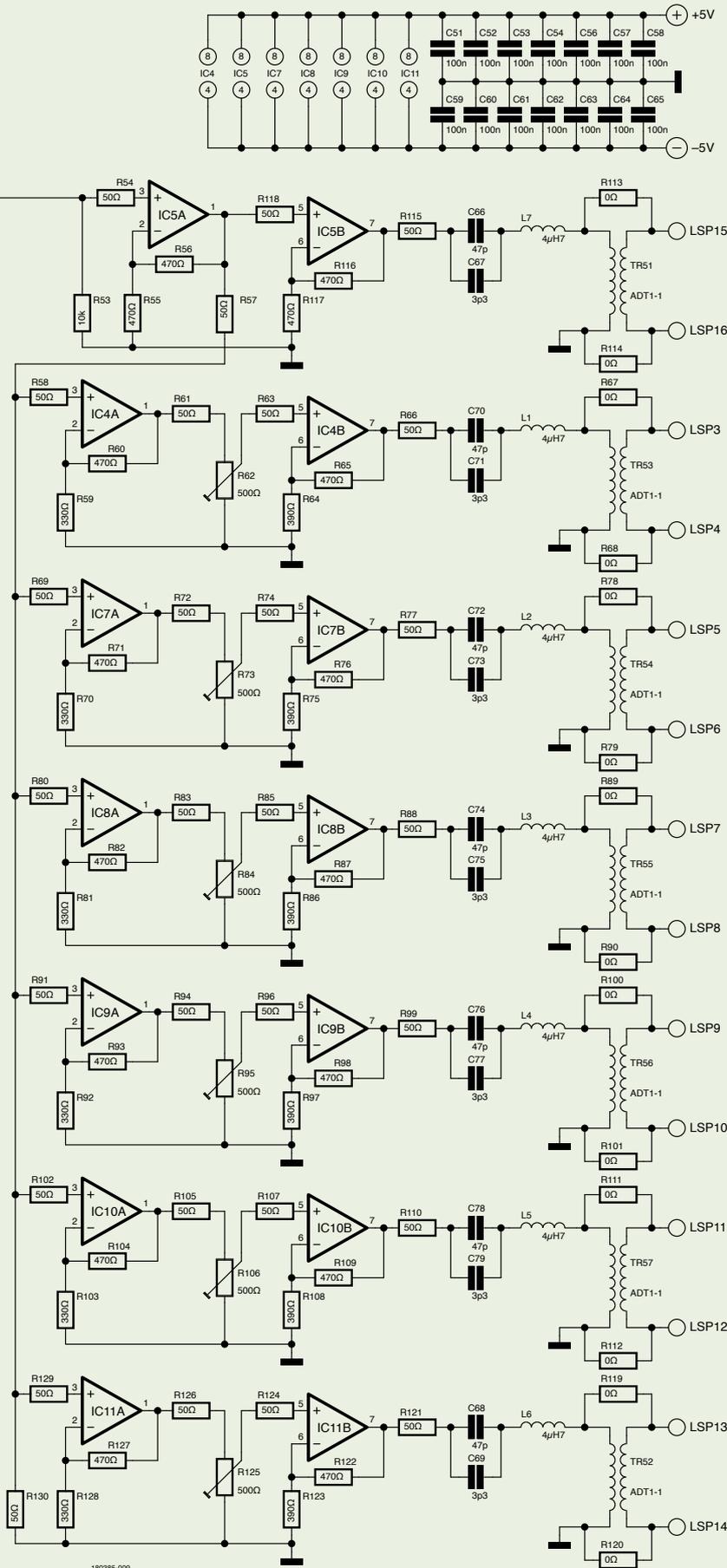


Bild 2. Die detaillierte Schaltung des Referenzgenerators ist etwas umfangreicher als die Blockschaltung, aber die sieben Ausgangsverstärker sind gleich aufgebaut.



Es wird natürlich nur eine der beiden Alternativen bestückt. Bei Bestückung von Y1 zieht die Schaltung nach dem Einschalten für einige Sekunden während des Aufheizens bis zu 800 mA aus dem 3,3-V-Zweig. Anschließend reduziert sich der Strom auf circa 350 mA. Über den Eingang VC (Pin 1) kann man die Frequenz von Y1 mit einer durch IC6 generierten und mit R16 einstellbaren Steuerspannung von 0...2,5 V in geringem Umfang beeinflussen. Bei Bestückung von XO1 statt Y1 kann man sich also IC6 samt Trimpoti R16 sparen. Manche Oszillatoren enthalten eine eigene Referenzspannung, die sich an Pin 2 abgreifen lässt. In diesem Fall kann IC6 entfallen und stattdessen R17 bestückt werden. Bei Oszillatoren ohne eigene Referenzspannung muss IC6 bestückt werden und R17 kann entfallen. Mit R16 lässt sich die Referenzfrequenz kalibrieren, wozu man selbstverständlich eine geeignete und vor allem hochpräzise Referenzfrequenz braucht.

Falls man keinen großen Wert auf absolute Genauigkeit legt, reicht auch der einfache und preiswerte Quarzoszillator XO1 im XO91-Gehäuse aus. Nochmals: Es darf nur ein Oszillator bestückt werden – Y1 oder XO1. Für XO1 benötigt man aufgrund der niedrigeren Stromaufnahme keinen zusätzlichen Trafo TR1 und auch der Gleichrichter aus D1...D4 entfällt. Stattdessen wird R5 bestückt, um die nötigen 3,3 V aus dem 5,5-V-Zweig abzuleiten. R11 wird bei Einsatz von XO1 und R18 bei Verwendung von Y1 bestückt.

Um ein optimales Tastverhältnis von 50 % des 10-MHz-Signals zu erreichen, werden die 20 MHz des primären Takterzeugers durch ein D-Flipflop geteilt. Eine Alternative stellt die Bestückung mit 10-MHz-Generatoren dar, wodurch U2 entfällt und sein Eingang durch Bestückung von R13 mit dem Ausgangspin verbunden wird. Das 10-MHz-Signal wird dann noch durch einen passiven Cauer-Tiefpass fünfter Ordnung um L8 und L9 von Oberwellen befreit, damit aus einem rechteckförmigen ein Sinussignal entsteht. Die Grenzfrequenz des Filters beträgt 11 MHz, seine Welligkeit nur 0,1 dB und seine Ein- wie Ausgangsimpedanz etwa 100 Ω. Der Spannungsteiler R14/R15 reduziert das Eingangssignal und C22 trennt die Gleichspannungsanteile (= halbe Betriebsspannung) ab.

R50, R51 und R52 schließen den Ausgang des Filters ab. Mit Trimpoti R51 lässt sich die Amplitude einstellen und an den Eingangspegelbereich der AGC anpassen.



Bild 3. Die teilbestückte Platine des Prototypen.

Mit dem Relais K1 und einem Schalter auf der Frontplatte kann man zwischen dem Signal des internen Generators und des Referenzeingangs wählen.

Verteilerverstärker

IC5A verstärkt das Signal um den Faktor 2 und verteilt es über eine mit 50 Ω (R130) abgeschlossene Leitung an sechs der sieben Ausgangsstufen, um Reflexionen auf den Leiterbahnen der Platine zu vermeiden und möglichst gleichen Pegel an allen Eingängen der sieben Ausgangsstufen zu erreichen. Der 50-Ω-Widerstand dieser Stufen dient der Entkopplung der Eingangskapazität der dort verbauten Opamps. Sechs dieser Stufen werden mit je zwei sogenannten Video-Opamps realisiert. Mit ihren 500-Ω-Trimmpotis lassen sich die Amplituden dieser sechs Kanäle individuell einstellen.

Der zweite Opamp von IC5 treibt über einen 50-Ω-Widerstand ein serielles Bandpassfilter aus den beiden parallelgeschalteten Kondensatoren C66 und C67 plus der Spule L7 und letztlich den HF-Trafo Tr51 vom Typ ADT1-1 [3]. Diese Ausgangsstufe hat kein Trimpoti und ihre Ausgangsspannung ist daher auch nicht einstellbar.

Generell gilt: Wenn man keine galvanische Trennung benötigt, kann man die HF-Trafos Tr51 bis Tr57 auch weglassen und stattdessen je zwei 0-Ω-Widerstände einsetzen. In meinem Prototyp habe ich Opamps des Typs MAX4392ESA [4] im SOIC8-Gehäuse benutzt. Man kann aber auch andere Videoverstärker verwenden, die für eine Stromversorgung von ±5 V geeignet sind.

Bei galvanischer Trennung und einer metallenen Front/Rückseite muss man logischerweise auf isolierte BNC-Buchsen achten!

Referenzeingang und AGC

Für diese Teilschaltung wird ein AGC-IC vom Typ AD8368 [5] von Analog Devices (U1) benutzt. Die Beschaltung von Bild 2 entspricht der Empfehlung des Datenblatts. Um den Eingang nicht zu übersteuern, ist vor den HF-Eingangstrafo Tr81 ein Dämpfungsglied von 6 dB geschaltet. Bei Verzicht auf die galvanische Trennung kann auch hier der Trafo entfallen und durch die beiden Widerstände R307 und R308 ersetzt werden. Die Pegelstabilisierung via AGC funktioniert mit Eingangssignalen von 70...2.000 mV_{SS} an 50 Ω. Kleinere Eingangspegel verringern den Ausgangspegel, größere Eingangspegel vergrößern ihn.

Das Netzteil

Nach dem Einschalten der Schaltung mit kaltem Quarzofen fließt deutlich mehr Strom als später im wohltemperiertem Zustand. Daher ist ein relativ kräftiger Trafo mit Schottky-Dioden und großem Siebelko vorgesehen. Per Low-Drop-Regler LT1963AET-3.3 (Analog Devices) werden die stabilisierten 3,3 V erzeugt. Der Regler muss gekühlt werden. Zu diesem Zweck kann man ihn isoliert an die Rückwand eines Alugehäuses schrauben. Seine Ausgangsspannung lässt sich über den Shutdown-Eingang abschalten, wenn man gerade die externe Referenzfrequenz nutzen und die Schaltung nur als Verteilerverstärker betreiben will. Diese Maßnahme verhindert Interferenzen zwischen dem internen Generator- und dem externen Referenzsignal. Relais K1 wird von einem Schalter auf der Frontplatte gesteuert, der an JP2 angeschlossen wird. Ein Umschaltkontakt des Relais wählt das Eingangssignal für den Verteilerverstärker, der andere Kontakt



Bild 4. Eine teilbestückte Platine eingebaut in ein Teko-Gehäuse.

steuert über T1 den SHDN-Eingang von IC3 und über T2 den ENBL-Eingang der AGC. Noch ein Hinweis zum Aufbau: Eine gute thermische Isolierung des Quarzofens verringert seine Stromaufnahme. Spätestens nach 30 Minuten hat er seine maximale Genauigkeit erreicht.

Bestückungsoptionen

Wie bereits deutlich wurde, lässt die Platine mehrere Bestückungsoptionen zu. In der Stückliste sind die optionalen Bauteile mit einem Sternchen versehen. Die Bestückungsoptionen sind der Übersichtlichkeit halber hier noch einmal präzisiert:

Quarzofen oder einfacher Quarzgenerator

Für den Quarzofen Y1 müssen Tr1, die Dioden D1...D4 und C1 bestückt sein. R5 entfällt. Für XO1 entfallen Tr1, D1...D4 und C1. Stattdessen wird R5 bestückt.

Oszillator mit 20 MHz oder 10 MHz

Bei 20-MHz-Oszillatoren muss der Teiler U2 bestückt werden. R13 entfällt. Bei 10-MHz-Oszillatoren entfällt U2. R13 muss bestückt werden.

Referenzspannung des Quarz-Ofens

Hat der Quarzofen eine interne Referenzspannungsquelle so entfällt IC6 und R17 müssen bestückt werden. Ohne interne Referenzspannungsquelle wird IC6 benötigt. R17 sollte in diesem Fall nicht bestückt sein.

Interne, externe Frequenzerzeugung oder beides

Es können lediglich die internen Oszillatoren oder der Eingang für eine externe Referenz mit

AGC oder auch beide Teile bestückt werden. Bei Benutzung eines internen Generators wird die AGC ausgeschaltet. Bei Benutzung des externen Eingangs mit AGC werden die 3,3-V-Stromversorgung und damit die Oszillatoren und der Teiler abgeschaltet.

Galvanische Trennung

Falls eine galvanische Trennung nicht erforderlich sein sollte, können die HF-Trafos entfallen. Dafür müssen dann jeweils die beiden 0-Ω-Widerstände pro Trafo zu dessen Überbrückung bestückt werden. In diesem Fall muss man auf die richtige Polarität beim Anschluss der BNC-Buchsen achten.

R302 und R305

Diese Widerstände dienen dazu, in Parallelschaltung zu R301 und R306 auch „krumme“ Werte zu erreichen. Für die hier vorgesehene Dämpfung von 6 dB sind die angegebenen Werte von R301 beziehungsweise R306 genau genug. R302 und R305 können somit entfallen.

Aufbau

Bild 3 zeigt die teilbestückte Platine, deren Layout-Dateien im Eagle-Format von der Elektor-Webseite [6] kostenlos heruntergeladen werden können. In **Bild 4** ist eine in ein Teko-Gehäuse eingebaute Platine zu sehen. Wie schon erwähnt, sollten die BNC-Buchsen bei galvanischer Trennung isoliert eingebaut werden. Der in diesem Beitrag beschriebene Referenzgenerator ist vielseitig einsetzbar, sehr genau und vermeidet Masseschleifen in komplexen Testaufbauten. Beim Autor sind übrigens noch einige Leerplatinen erhältlich. ◀

180385-02

Anmerkung der Redaktion: Dieser Artikel wurde in Elektor Mai/Juni 2024 veröffentlicht.

Sie haben technische Fragen oder Kommentare?

Schicken Sie bitte eine E-Mail an den Autor (alfred_rosenkraenzer@gmx.de) oder kontaktieren Sie Elektor (redaktion@elektor.de).

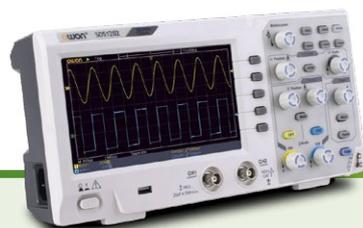
Über den Autor

Alfred Rosenkränzer arbeitete viele Jahre als Entwicklungsingenieur, zu Anfang im Bereich der professionellen Fernsehtechnik. Seit Ende der 1990er Jahre entwickelt er digitale High-Speed- und Anlogschaltungen für IC-Tester. Das Thema Audio ist sein privates Steckenpferd.



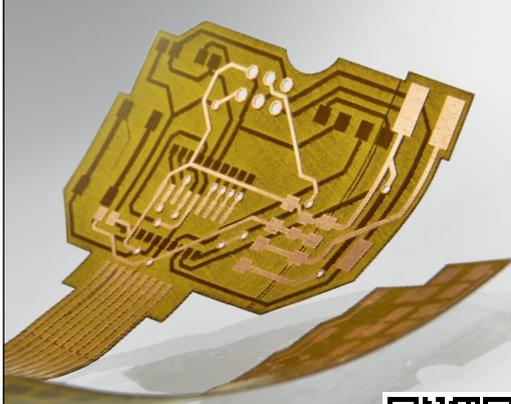
Passende Produkte

- > Joy-IT JDS6600 Signalgenerator & Frequenzzähler
www.elektor.de/18714
- > OWON SDS1202 2-Kanal-Oszilloskop (200 MHz)
www.elektor.de/20251



WEBLINKS

- [1] Datenblatt OH300-50503CF-020.0M: <http://tinyurl.com/4j6bzrzd>
- [2] Datenblatt AOCJY-20.000MHZ: <http://tinyurl.com/4v4n23y4>
- [3] Datenblatt HF-Trafo: <http://tinyurl.com/4fzxkfy>
- [4] Datenblatt MAX4392: <https://www.analog.com/en/products/max4392.html>
- [5] Datenblatt AD8368: <https://www.analog.com/en/products/ad8368.html>
- [6] Elektor-Webseite zu diesem Artikel: <http://www.elektormagazine.de/180385-02>



Auf Ihrer Wellenlänge?

Entdecken Sie neue Möglichkeiten beim Leiterplatten-Prototyping! Ob mit dem ProtoLaser U4 bei 355 nm oder dem ProtoLaser S4 bei 532 nm, Ihre Ideen sind in den besten Händen. Erfahren Sie mehr: www.lpkf.com/protolaser-u4

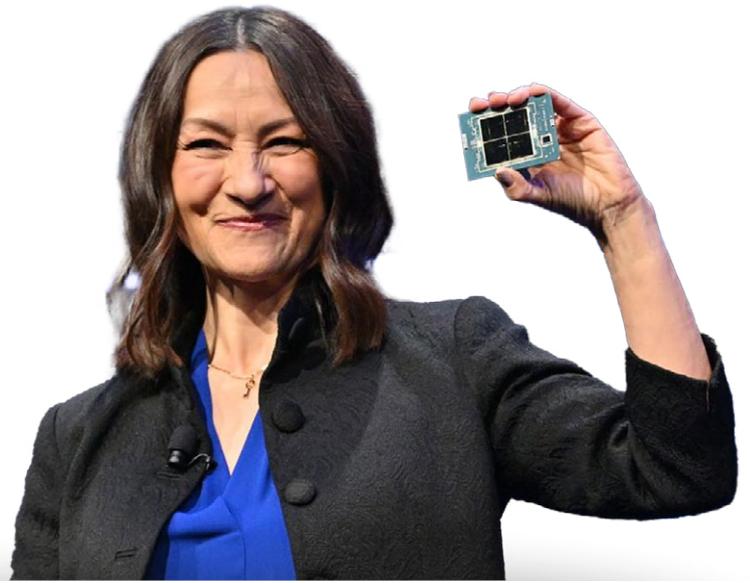




electronica: 12. – 15.11.2024, Halle B1, Stand 219



CEO-Interview: Sandra Rivera von Altera über den Wechsel zu Intel 18A



Sandra Rivera, CEO von Altera
(Quelle: eeNews Europe)

Von Nick Flaherty (eeNews Europe)

Die Ausgliederung von Altera aus Intel eröffnet wichtige Entscheidungen für die Prozesstechnologie in den nächsten Jahren. Sandra Rivera, CEO der Programmable Solutions Group (PSG), spricht über die Pläne für die Zukunft.

„Alles braucht mehr und mehr Rechenleistung“, erklärt Sandra Rivera von Altera gegenüber eeNews Europe. „Der Verteidigungssektor und die Luft- und Raumfahrt wachsen in den USA, Europa und Indien, wir sehen Wachstum in der Automobilindustrie, bei intelligenteren Fahrzeugen, beim autonomen Fahren, in der Robotik, in der Industrie, in der Fertigung, in der drahtlosen Kommunikation mit 5G Advanced und 6G sowie bei KI. Jede Anwendung und jedes Marktsegment werden etwas KI enthalten. KI wird bis 2028 3 Milliarden Dollar für FPGAs auf einem 10-Milliarden-Dollar-Markt hinzufügen.“

Dies fördert die Nachfrage nach höherer Leistung und höherer Dichte bei geringerem Stromverbrauch, was zu den Prozesstechnologien der nächsten Generation führt. Als Intel-Unternehmen [1] steht Altera natürlich in einer Reihe mit dem 18A-Prozess, der von Intel

Foundry Services angeboten wird. Dadurch könnte auch sichergestellt werden, dass FPGAs in den USA produziert werden, um Probleme in der Lieferkette zu minimieren, die das Unternehmen während der Pandemie hart getroffen haben [2][3].

„Unsere Produkte der nächsten Generation werden auf einem neuen Prozessknoten laufen, und wir schauen uns alle Prozesstechnologien an, und die nächste, die wirklich interessant aussieht, ist 18A“, sagte sie.

„Eines der Dinge, die wir an der Beziehung zu Intel schätzen, ist die Nutzung der Technologie, die im Laufe der Zeit der Mehrheitseigentümer bleiben wird.“

Der Agilex 5 basiert auf dem 7-nm-Prozess von Intel, aber Altera hat seinen Cyclone und andere FPGAs traditionell auf TSMC-Prozess-Technologie entwickelt. „TSMC wird in den kommenden Jahren mit den 2040-Verpflichtungen ein wichtiger Partner sein“, sagte sie.

„Wir können die beste Prozessknoten-Entscheidung für unsere Kunden treffen und sind froh, dass wir bei vielen Produkten auf Intel setzen, aber TSMC wird auch weiterhin ein großartiger Partner sein. Als Leiter des Rechenzentrums- und KI-Geschäfts mit dem Xeon habe ich alle Produkte gesehen, die mit Intel 3 eingeführt werden. Die nächste Generation wird im Jahr 2025 18A sein, sodass die FPGAs nicht die ersten sein werden. Das bedeutet, dass die IP bis

zu dem Zeitpunkt, an dem wir im Laufe des Jahres eine Entscheidung treffen müssen, ziemlich robust sein wird.“

Die Innovationen bei der Rückseitenleistung für 18A zur Verringerung des Stromverbrauchs und zur Verbesserung der Dichte sind für die Entscheidung von Bedeutung [4].

„Mit der Rückseitenleistung erhalten Sie eine echte Leistung pro Watt in unserer Struktur, die wir heute haben, aber wenn Sie darüber nachdenken, was Sie mit dem Prozess auf Ihrer Seite erhalten, ist das Ganze ziemlich attraktiv“, sagte sie.

Das Unternehmen geht davon aus, dass der FPGA-Markt im Laufe des Jahres anziehen wird, was vor allem auf den Einsatz von KI, aber auch auf die Automobilindustrie zurückzuführen ist.

„Unser Markt für FPGAs ist wirklich großartig, die Nachfrage der Endverbraucher ist stark, aber die Herausforderung besteht darin, dass während der Pandemie so viele Lagerbestände aufgebaut wurden und die Kunden verunsichert sind, und das war im ersten Halbjahr der Fall.“

„Im Automobilbereich werden wir diesen Teil des Portfolios mit Agilex 3 mit energie- und kostensparenden Bauelementen wieder aufnehmen und die Produktlinien Max und Cyclone [5] auffrischen.“

Ein wichtiger Schritt bestand darin, die Quartus-Entwurfswerkzeuge für die Benutzer kostenlos zur Verfügung zu stellen.

„Der Weg zur Innovation liegt in der Benutzerfreundlichkeit, also wird vieles Software sein, es ist die Software, Dummkopf“, sagte sie. „Vieles von dem, was wir zeigen, ist nicht nur der Agilex 5 und Agilex 7, sondern Referenzdesigns und Boards mit Software, die auf Quartus Prime Pro aufbauen. Die Zeit bis zur Wertschöpfung kann beschleunigt werden, wenn man ein Referenzdesign oder ein System auf einem Modul verwendet, und das ist es, worin wir mit unserem Channel investieren.“

Das Unternehmen wird KI-Modelle entwickeln, will aber nicht als Anbieter auftreten.

„Wir werden so weit gehen, wie es nötig ist, um die Kunst des Möglichen zu zeigen, um zu demonstrieren, wie man eine Robotik-Anwendung, eine Broadcast-Anwendung implementieren kann, aber nur, um zu zeigen, dass alle Teile vorhanden sind. Deshalb muss man in den Channel investieren, denn man muss das Ganze verpacken. Wir gehen so weit, wie es die Rahmenbedingungen zulassen“, sagte sie. ◀

240510-02

Anmerkung der Redaktion

eeNews Europe veröffentlichte diesen Artikel erstmals am 19. April 2024. Besuchen Sie www.eenewseurope.com für weitere Nachrichten und Interviews.



Altera steht natürlich in der Schlange für den 18A-Prozess, der von Intel Foundry Services angeboten wird. Dies könnte auch sicherstellen, dass FPGAs in den USA produziert werden, um Probleme in der Lieferkette zu minimieren, die das Unternehmen während der Pandemie hart getroffen haben.

WEBLINKS

[1] Intel-Website: www.intel.de

[2] N. Flaherty, "Intel to add AI to Altera Quartus FPGA tool," eeNews, 2024: www.eenewseurope.com/en/intel-to-add-ai-to-altera-quartus-fpga-tool/

[3] N. Flaherty, "Altera boosts FPGA for AI, extends lifetime," eeNews, 2024: www.eenewseurope.com/en/altera-boosts-fpga-for-ai-extends-lifetime/

[4] N. Flaherty, "Backside power is key to 1nm scaling says Intel," eeNews, 2023: www.eenewseurope.com/en/backside-power-is-key-to-1nm-scaling-says-intel/

[5] N. Flaherty, "Intel looks to 14A process in 2026," eeNews, 2024: www.eenewseurope.com/en/intel-looks-to-14a-process-in-2026/



Bild 2. Der Versuchsaufbau wird mit einem Funktionsgenerator getestet, der die Schaltung über PWM steuert.

Lasten Mess- und Datenprotokollierungsfunktionen integrieren, die mit effizientem Wärmemanagement und integrierten Sicherheitsfunktionen einhergehen.

Die Schaltung

Der Schaltplan in **Bild 1** zeigt die bewusste Wahl des MOSFETs IRF3205. Mit einer spezifizierten Drain-Source-Spannung von 55 V und einem Nennstrom von 110 A ist er in der Lage, harte Tests ohne Zögern zu bewältigen. Durch einen passend dimensionierten Kühlkörper kann er trotz der hohen Anforderungen an die kontinuierliche Verlustleistung effektiv Wärme ableiten.

Das Herzstück der Schaltung ist allerdings das kompakte Mikrocontroller-Breakout-Board XIAO ESP32S3 von Seeed Studio [3]. Um das Prototyping einfach zu halten, wurde eine sehr kompakte Erweiterungsplatine für dieses XIAO-Modul verwendet. Inzwischen haben wir bei Elektor unsere eigene Elektor-XIAO-Erweiterungsplatine entwickelt (siehe [4]), die die GPIOs an den Stiftleisten der XIAO-Platine zu Grove-Steckverbinder führt, die jeweils einen Pin für GND, einen Pin für 3,3 V und zwei Input/Output/Bus-Pins bereitstellen. Im Schaltplan sind diese Anschlüsse als K2, K1, J1 und J2 gekennzeichnet, wobei die letzten beiden für I²C-Kommunikation vorgesehen sind.

K2/K4 sind miteinander verbunden, um LED1 und LED2 anzusteuern, die den Betriebsstatus anzeigen und visuelles Feedback zum Zustand der Last geben. K1/K3 weisen einen PWM-Ausgangspin auf, der den MOSFET schaltet, und einen analogen Eingangspin, der den Wert des Potentiometers misst. Über die Potistellung bestimmt die Firmware das gewünschte PWM-Tastverhältnis, was eine präzise Modulation der Last ermöglicht.

R1 ist ein Pull-Down-Widerstand zwischen Gate und Source des MOSFETs, der dafür sorgt, dass das Gate ordnungsgemäß entladen wird, wenn das PWM-Signal ausgeschaltet ist, um unbeabsichtigtes Schalten zu verhindern.

Der Schaltplan für die digitale Last bietet Optionen für zukünftige Erweiterungen, zum Beispiel für ein OLED-Display und für einen Stromsensor. Um aber die Einfachheit des ursprünglichen Entwurfs beizubehalten, wird vorerst ein einfaches Potentiometer für die unkomplizierte manuelle Lasteinstellung verwendet. Dieser Ansatz ermöglicht einen einfachen Betrieb und eröffnet gleichzeitig die Möglichkeit zur späteren Integration komplexerer Funktionen.

Testaufbau

Für den Test wurde nur der rechte Teil der Schaltung verwendet, wobei ein PWM-Signal von einem Funktionsgenerator an Pin 4 von K3 eingespeist wurde. Eine digitale Stromversorgung wurde mit dem Anschluss K5 verbunden, wobei Source von T1 mit dem Minuspol und Drain von T1 mit dem Pluspol der Stromquelle verbunden wurde. Anschließend wurde ein PWM-Signal mit einer Periode von 20 μ s, einer Amplitude von 3,3 V_{SS} und einem Tastverhältnis von 3...50 % an das Gate angelegt. Der durch den MOSFET fließende Strom wurde dabei mit der digitalen Stromversorgung und einem Multimeter gemessen.

Bei einem Tastverhältnis von etwa 21,3 % zog die elektronische Last fast 4,9 A (**Bild 2**). Eine weitere Erhöhung des Tastverhältnisses könnte den Strom steigern, jedoch würde dies zu einer hohen Chiptemperatur führen, die ohne aktive Kühlung 70 °C erreichen würde. Alternativ zur aktiven Kühlung könnte man zwei oder mehr MOSFETs parallel schalteten, so dass sich die hohe Verlustleistung auf mehrere Transistoren verteilen würde.

Software

Die Firmware, um ein PWM-Signal mit einem ESP32 zu steuern, wurde in der Arduino-IDE entwickelt. Das Tastverhältnis wird an einem Potentiometer eingestellt, der Zustand des Systems von LEDs angezeigt (**Listing 1**). Die erforderlichen Pins für das Poti, der PWM-Ausgang, die Pins für die LEDs werden zu Beginn des Sketches definiert. Es folgt die Einstellung der PWM-Parameter, einschließlich einer Frequenz von 50 kHz, einer 8-Bit-Auflösung und eines maximalen PWM-Werts von 255. In der Setup-Funktion wird auch die serielle Schnittstelle für das Debugging initialisiert, und die LED-Pins werden als Ausgänge konfiguriert. Die PWM wird auf dem angegebenen Pin mit der definierten Frequenz und Auflösung eingerichtet. Zunächst liest der Code die Position des Potentiometers aus und prüft, ob sie die Mindestspannungsschwelle überschreitet. Ist dies der Fall, leuchtet die rote LED auf, und das System wartet darauf, dass der Benutzer das Poti auf seinen Mindestwert einstellt.

Der Code liest dann kontinuierlich die Position des Potentiometers aus, wandelt sie in eine Spannung um und ordnet diese einem PWM-Tastverhältnis von 0...50 % des maximalen PWM-Werts zu.

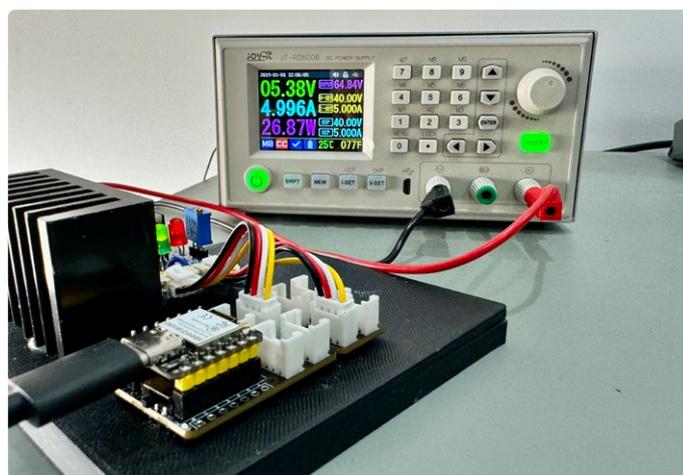


Bild 3. Die digitale ESP32-Last ist an eine Stromversorgung angeschlossen und misst und steuert den Strom.

Dieses Tastverhältnis wird dann am PWM-Pin ausgeführt. Die grüne LED signalisiert den normalen Betrieb. Zusätzlich werden Debug-Informationen, zum Beispiel das prozentuale Tastverhältnis und die Potentiometerspannung im seriellen Monitor ausgegeben. In **Bild 3** ist das Projekt in Aktion zu sehen, wie es die Last in Abhängigkeit von der Potieinstellung anpasst.

Der vollständige Code und die Schaltpläne sind auf GitHub [5] verfügbar, um das Projekt nachzubauen oder anzupassen. Mit einem ESP32 ist es sogar möglich, die digitale Last drahtlos zu steuern, indem ein Webserver auf dem ESP32 betrieben wird, um die Last über ein Webinterface per WLAN oder sogar über das Internet fernzusteuern. Die Möglichkeiten sind grenzenlos! ◀

SE-240203-02



Listing 1: Basis-Firmware.

```
#include <Arduino.h>

// Pin definitions
#define POT_PIN 3
#define PWM_PIN 2
#define RED_LED_PIN 9
#define GREEN_LED_PIN 8

// PWM parameters
const long pwmFrequency = 50000; // 50 kHz to achieve a 20 us period
const uint8_t pwmResolution = 8; // 8-bit resolution for PWM
const uint8_t maxPwmValue = 255; // Maximum value for 8-bit resolution PWM

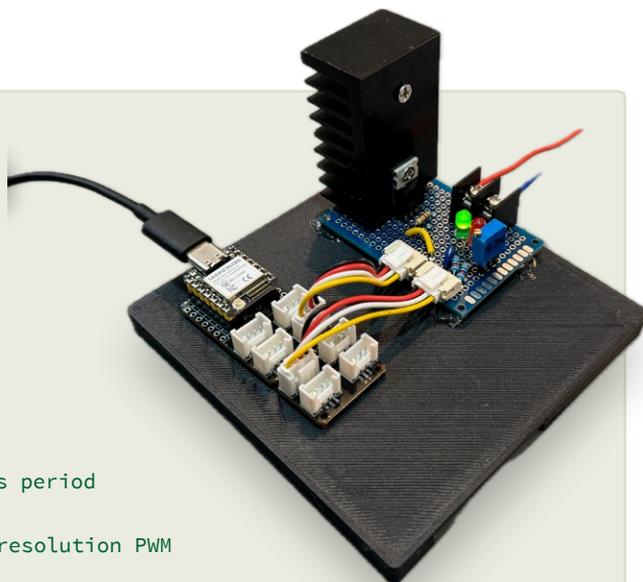
// ADC and Voltage settings
const float referenceVoltage = 3.3; // ADC reference voltage in volts
const int adcMaxValue = 4095; // Maximum ADC value for 12-bit resolution
const float minimumVoltage = 0.1; // Minimum voltage threshold to start PWM

void setup() {
  // Initialize Serial for debug output
  Serial.begin(9600);

  // Set up LED pins
  pinMode(RED_LED_PIN, OUTPUT);
  pinMode(GREEN_LED_PIN, OUTPUT);

  // Initialize PWM on pin
  ledcSetup(0, pwmFrequency, pwmResolution);
  ledcAttachPin(PWM_PIN, 0);

  // Check initial position of the potentiometer
  float initialVoltage = (analogRead(POT_PIN) * referenceVoltage) / adcMaxValue;
  if (initialVoltage > minimumVoltage) {
    digitalWrite(RED_LED_PIN, HIGH); // Turn on red LED
    digitalWrite(GREEN_LED_PIN, LOW); // Make sure green LED is off
    while ((analogRead(POT_PIN) * referenceVoltage / adcMaxValue) > minimumVoltage) {
      // Wait for the user to adjust the potentiometer to minimum
      delay(100); // Delay to avoid excessive reading
      Serial.println("Adjust potentiometer to minimum to start.");
      Serial.println((analogRead(POT_PIN) * referenceVoltage / adcMaxValue));
    }
  }
}
```



```

// Potentiometer is at minimum value, proceed with normal operation
digitalWrite(RED_LED_PIN, LOW);
digitalWrite(GREEN_LED_PIN, HIGH);
}

void loop() {
// Read the potentiometer value and convert to voltage
float potVoltage = (analogRead(POT_PIN) * referenceVoltage) / adcMaxValue;

// Calculate the PWM duty cycle (0 - 50% of maximum PWM value)
int pwmDutyCycle = map(potVoltage * 1000, 0, referenceVoltage * 1000, 0, 128);

// Set the PWM duty cycle
ledcWrite(0, pwmDutyCycle);
digitalWrite(GREEN_LED_PIN, HIGH);
// Debug output to Serial Monitor
Serial.print("Duty Cycle: ");
Serial.print((float)pwmDutyCycle / maxPwmValue * 100);
Serial.println("%");
Serial.print("Potentiometer Voltage: ");
Serial.print(potVoltage);
Serial.println(" V");
}

```

Anmerkung der Redaktion: Dieser Artikel wurde im Elektor Circuit Special 2024 veröffentlicht.



Über den Autor

Saad Imtiaz (Senior Engineer, Elektor) ist ein Mechatronik-Ingenieur mit Erfahrung in eingebetteten Systemen, mechatronischen Systemen und Produktentwicklung. Er hat mit zahlreichen Unternehmen, von Startups bis hin zu Weltkonzernen, bei der Prototypenerstellung und Entwicklung zusammengearbeitet. Saad hat auch einige Zeit in der Luftfahrtindustrie verbracht und ein Technologie-Startup-Unternehmen geleitet. Bei Elektor treibt er die Projektentwicklung sowohl im Bereich Software als auch Hardware voran.

Sie haben Fragen oder Kommentare?

Wenn Sie technische Fragen oder Anmerkungen zu diesem Artikel haben, wenden Sie sich bitte an die Elektor-Redaktion unter redaktion@elektor.de.



Passende Produkte

- > Joy-IT HD35 USB-Lastwiderstand (35 W)
www.elektor.de/19164
- > Owon DGE3062 2-Kanal Funktionsgenerator (60 MHz)
www.elektor.de/20500
- > Owon SPE6102 DC Labornetzteil (200 W)
www.elektor.de/20501



WEBLINKS

- [1] Saad Imtiaz, „Energienessgerät mit ESP32“, Elektor 5-6/2024: www.elektormagazine.de/magazine/elektor-342/62845
- [2] Datenblatt IRF3205PbF (PDF): <https://t1p.de/9ifij>
- [3] XIAO ESP32S3 im Seeed Studio: www.seeedstudio.com/XIAO-ESP32S3-p-5627.html
- [4] Saad Imtiaz und Jens Nickel, „###Elektor eXpansion Board v1.0###“, Elektor 7-8/2024: <https://elektormagazine.de/230367-02>
- [5] Digitale Last mit ESP32, Github-Repository: <https://github.com/ElektorLabs/esp32-digital-load/>

Vertrauen in Rust



*Fabrice Derepas, Mitbegründer und Chef-Evangelist
von TrustInSoft (Quelle: eeNews Europe)*

Von Nick Flaherty (eeNews Europe)

Statische Analysewerkzeuge werden die Entwicklung von embedded Systemen mit der Sprache Rust unterstützen, sagt Fabrice Derepas, Mitbegründer und Chief Evangelist von TrustInSoft in Paris, Frankreich.

C und C++ dominieren nach wie vor die Landschaft der embedded Systeme. Die Entwickler sind sich jedoch auch bewusst, dass der Einsatz dieser Sprachen zu Problemen bei der Entwicklung führen kann. Ihr Umgang mit Zeigern und ähnlichen Objekten kann zu ernsthaften Problemen bezüglich der Sicherheit des Speichers führen.

Rust bietet eine ähnliche Syntax, ist aber eine vielversprechende Sprache. Sie bietet viel von der Flexibilität dieser älteren Sprachen, ist beim Einsatz allerdings sicherer. Rust benutzt Elemente, die in funktionalen Sprachen entwickelt wurden sowie andere fortschrittliche Konzepte, die jungen Softwareentwicklern an den Hochschulen beigebracht werden.

Ein wichtiger Grund für die zunehmende Unterstützung von Rust ist allerdings, dass es viele der Probleme bezüglich Speicher überwindet, mit denen C- und C++-Programmierer sowie die Benutzer ihres Codes zu kämpfen haben. Diese Eigenschaften tragen dazu bei, dass Rust zu einer strategischen Wahl für die Entwicklung neuer Softwaremodule in hochkritischen Systemen wird. Wir sprechen hier etwa von der Automobilindustrie, der Industrie allgemein und anderen Sektoren.

Rust erfreut sich einer breiten Unterstützung. Einige

der größten Softwareunternehmen der Welt setzen Rust bereits umfassend ein, da der Schwerpunkt auf Zuverlässigkeit und Sicherheit beim Speicher liegt. Ende 2022 wurde Rust die erste Sprache, die von der Linux-Gemeinschaft neben C für die Entwicklung von Kernel-Modulen unterstützt wurde. Weiteren Auftrieb erhielt Rust Anfang dieses Jahres durch die Veröffentlichung eines Berichts des *US White House Office of the National Cyber Director*, in dem der Einsatz von Sprachen mit Speichersicherheit zum Schutz vor Cyberangriffen gefordert wurde. Dazu gehört auch Rust.

Die US-Forschungsbehörde DARPA hat sogar ein ehrgeiziges Programm gestartet, um die Übersetzung von altem C-Code in die inhärent sicherere Programmiersprache Rust zu automatisieren. Hierbei sollen große Sprachmodelle (LLMs) sowie generative KI helfen.

Das Programm *Translating All C to Rust (TRACTOR)* der DARPA zielt darauf ab, Tools zu identifizieren, die die gleiche Qualität und den gleichen Stil erzeugen können, wie sie ein erfahrener Rust-Entwickler produzieren würde. Damit sollen alle Schwachstellen bezüglich Sicherheit beseitigt werden, die es in C-Programmen gibt.

Probleme mit dem Speicher

Ein wesentlicher Unterschied zwischen C/C++ und Rust liegt in der Behandlung von Zeigern. Der Zeiger bietet eine schnelle Möglichkeit, Daten im Speicher zu manipulieren. Aber die Leichtigkeit, mit der Zeiger von einem C- oder C++-Programm erstellt und geändert werden können, macht ihren Einsatz riskant. Eine Funktion kann etwa in einem Programm einen

Zeiger definieren, der auf Speicher in einem vom Betriebssystem zugewiesenen temporären Puffer zugreift. Der Versuch, diesen Zeiger zu nutzen, wenn ein anderer Teil des Codes den Speicher bereits freigegeben hat, führt wahrscheinlich zu einer Beschädigung der Daten. Das Programm kann schnell ausfallen. In ähnlicher Weise sollte ein Null-Zeiger, der zwar definiert, aber nicht korrekt initialisiert wurde, bei seiner Verwendung einen Speicherzugriffsfehler verursachen. Auch das führt häufig zu einem Programmfehler.

Möglicherweise geben Programme Speicher auch nicht frei, wenn er nicht mehr benötigt wird. Läuft ein Programm sehr lange, führen solche Speicherlecks zu einer Instabilität des Systems. Irgendwann findet es möglicherweise keinen freien Speicher mehr, den es weiteren Objekten zuweisen kann.

Es gibt noch weitere Risiken. Geht die Adresse mit dem Zeiger über die Grenzen der Datenstruktur oder dem Puffer zugewiesenen Speichers hinaus, führt das häufig zu einer gefährlichen Datenbeschädigung. Hacker nutzen eine solche Eigenschaft mit Pufferüberlauf-Angriffen aus. Illegale Schreibvorgänge durch Pufferüberläufe waren auch in der Ausgabe 2022 der *Common Weakness Enumeration (CWE)* von Mitre die häufigste Schwachstelle.

Eine sicherere Wahl

Rust-Benutzer können viele dieser und andere Probleme mit der Speichersicherheit vermeiden, indem sie die Vorteile der strengen Regeln und der eingebauten Unterstützung für die Speicherzuweisung nutzen. Prüfungen während der Kompilierung helfen, das korrekte Verhalten von Referenzen zu gewährleisten. Rust hat Datentypen, die Zeiger-ähnliche Eigenschaften mit sich bringen, die aber von Prüfungen bei der Kompilierung unterstützt werden. Diese Prüfungen helfen, die Probleme zu vermeiden, die bei C-ähnlichen Zeigern auftreten.

Das von Rust unterstützte Speichermodell garantiert zudem, dass temporäre Speicherstrukturen sicher gelöscht werden, sobald sie vom Programm nicht mehr benötigt werden. Wichtig für Echtzeitsysteme ist, dass kein Garbage-Collection-Prozess im Hintergrund laufen muss. Durch die Bereitstellung von Speicher-sicheren Strukturen und Manipulationstechniken kann Rust die Entwicklung und das Testen von Software beschleunigen. Ferner nutzt es die Fähigkeiten, die Entwickler mit Hochschulausbildung heute

erlernen. Diese beiden Faktoren sind in Sektoren wie der Automobilbranche wichtig, in der der Softwareanteil in Fahrzeugen schnell wächst.

Die Notwendigkeit eines Vermächnisses

Die Wiederverwendung bestehender Code-Module ist jedoch für Unternehmen, die hochkritische Systeme entwickeln, ebenso wichtig. Die sicherheitskritische Entwicklung muss konservativ sein. Änderungen an bestehenden Systemen sollten nur dort vorgenommen werden, wo sie notwendig sind. Es ist unpraktisch und sogar unerwünscht, Module in einer neuen Sprache neu zu schreiben, selbst wenn deren Schutzmechanismen erhebliche Vorteile gegenüber dem alten C oder C++ bieten. Diese bestehenden Module muss man verifizieren, sobald sie in ein Zielsystem integriert sind, das große Teile in Rust oder einer ähnlich

Speicher-sicheren Sprache enthält.

Es gibt auch Situationen, in denen Ingenieure zusätzliche Prüfungen durchführen müssen, um die Sicherheit zu gewährleisten, selbst wenn eine Sprache starke Verhaltensgarantien bietet. Das gilt insbesondere für eingebettete Steuerungen. Viele Low-Level-Interaktionen, etwa Zugriffe auf über Speicher zugeordnete Hardware-Register oder Datenpuffer, lassen sich nicht einfach mit Rust-Referenzen und ähnlichen Speicher-sicheren Elementen durchführen. Programmierer können diese Interaktionen in Rust durch den Einsatz von Rohzeigern verwalten. Diese Zeiger verhalten sich

ähnlich wie die von C und C++ bereitgestellten Zeiger. Ohne die Schutzmechanismen von Rust benötigen sie allerdings zusätzliche Überprüfungen.

Erweiterte statische Analyse

Die statische Analyse, die der Rust-Compiler durchführt, ist konservativ und zwangsläufig so, weil die Tiefe der Analyse begrenzt ist. Code, der einen rohen Zeiger in Rust dereferenziert, löst einen Kompilierfehler aus, es sei denn, der Entwickler kapselt diesen Code in `unsafe{}`-Blöcke. Diese Markierung weist den Compiler an, seine üblichen Sicherheitsprüfungen beim Kompilieren dieses Codes nicht durchzuführen. Logischerweise bietet das auch keine Garantien für die Speichersicherheit.

Es gibt weitere Situationen, in denen Entwickler `unsafe{}`-Blöcke verwenden müssen. Ohne sie wird



Rust verwendet Elemente, die in funktionalen Sprachen entwickelt wurden. Es enthält auch andere fortschrittliche Konzepte, die jungen Softwareentwicklern an den Hochschulen beigebracht werden.

der Compiler alle Aufrufe von unsicheren Funktionen oder Methoden sowie Code, der versucht, auf die Felder von Unions zuzugreifen, nicht zulassen. Obwohl Unions kein Kernmerkmal von Rust sind, kann die Unterstützung für Unions wichtig sein, um die Kompatibilität mit C und C++ zu gewährleisten. Der Compiler kann die Sicherheit von Operationen auf einem der Felder nicht garantieren. Schließlich kann er nicht feststellen, ob Schreibvorgänge in einem Feld die anderen Felder, die sich dieselbe Speicherstruktur teilen, beschädigen oder nicht.

Es gibt viele Situationen, in denen unsichere Markierungen in nativem Rust-Code erforderlich sind. Innerhalb der universellen Bibliothek, die Rust benutzt, verwenden etwa 30 % der Pakete in der Sammlung auf *crates.io* das Konstrukt `unsafe{}`. Ein Compiler kann die Sicherheit von Operationen innerhalb dieser Pakete nicht überprüfen.

Es gibt jedoch formale Verifikations- und mathematische Logikverfahren, womit sich Code vor der Ausführung analysieren lässt. Sie können feststellen, ob der Code Probleme mit der Speichersicherheit wie Pufferüberläufe, Null-Zeiger-Zugriffe und andere Probleme aufweist. Statische Analysetechniken sind in gewisser Weise gründlich und bieten Garantien, die selbst umfangreiche dynamische Tests nicht bieten können.

Die Entwickler arbeiten an Werkzeugen für Rust, die erkannte Probleme hervorheben und anzeigen können, wo Programmierer zusätzliche Sicherheitsvorkehrungen einfügen müssen. Damit sind etwa Überprüfungen des Adressbereichs einer Zeigerreferenz gemeint. Da Rust häufig mit C- und C++-Modulen aus früheren Entwicklungen koexistieren muss, werden Werkzeuge wie TrustInSoft Analyzer eingesetzt. Damit wird sichergestellt, dass die kombinierte Code-Basis frei von Speicherproblemen ist.

Selbst in Modulen, die sich vollständig auf die Speichersicherheitsfunktionen von Rust stützen und keinen Code innerhalb von `unsafe{}`-Blöcken enthalten, muss man das Programmverhalten vor dem Einsatz ausführlich testen. Fehler, die von Rust zur Laufzeit abgefangen werden, führen oft zum vollständigen Abbruch des Programms. Das ist in hochkritischen Systemen inakzeptabel. Statische Werkzeuge können die Wahrscheinlichkeit des Auftretens solcher Situationen untersuchen und das Entwicklungsteam warnen. Damit lassen sich alle Probleme vor der Produktfreigabe beheben.

Es gibt auch einige Verhaltensweisen, die zwar definiert, aber nicht erwünscht sind. So können etwa eine Division durch Null oder bestimmte Fehler einen „Panik“-Zustand auslösen. Der bringt das System dann zum Absturz. Die Erkennung all dieser unerwünschten Verhaltensweisen ist auch der Schlüssel zur Verwendung eines fortschrittlichen statischen Analysators. Die Überprüfung des korrekten Verhaltens lässt sich durch die automatische Generierung von Behauptungen weiter verbessern. Dann kann man testen, ob der in einer beliebigen Sprache geschriebene Code unerwartete oder außerhalb des Bereichs liegende Eingaben sicher verarbeiten kann. Diese Art des

Testens ahmt das sogenannte „Fuzzing“ nach. Hacker setzen oft darauf, um Schwachstellen zu finden.

Solche Werkzeuge liefern einen formalen, überprüfbaren Beweis für das Nichtvorhandensein von Schwachstellen in der Speichersicherheit, die bei sicherheitskritischen Fahrzeugen zu unvorhersehbarem und gefährlichem Verhalten führen könnten. Um zu verhindern, dass sich Entwickler mit vielen potenziellen Fehlern plagen müssen, gibt es Werkzeuge, die die Anzahl der sogenannten *False Positives* begrenzen. Damit wird sicherge-

stellt, dass sie nur auf Code hinweisen, der wahrscheinlich von Speichersicherheitsproblemen betroffen ist. Rust wird vermutlich immer mehr Einzug in die Entwicklung hochkritischer Systeme halten. Deswegen wird man immer überprüfen müssen, dass externe Code-Module und Low-Level-Funktionen keine verborgenen Probleme aufweisen, die den Betrieb in der Praxis stören könnten. Der Einsatz zusätzlicher statischer Tests und Verifizierungen stellt sicher, dass die Entwickler undefinierte Verhaltensweisen früh im Integrationszyklus und lange vor der Bereitstellung erkennen und beheben. ◀

240503-02



Durch die Bereitstellung von Speicher-sicheren Strukturen und Manipulationstechniken kann Rust die Entwicklung und das Testen von Software beschleunigen.

Anmerkung der Redaktion

eeNews Europe veröffentlichte diesen Artikel erstmals am 16. August 2024. Besuchen Sie www.eenewseurope.com für weitere Nachrichten und Interviews.

WEBLINKS

[1] TrustInSoft: <https://trust-in-soft.com>



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

- **Weltneuheit:** USB Echtzeit 140 GHz Spektrumanalysator
- Analysieren Sie wichtige Standards wie **5G oder Radar**
- **Rekordverdächtige** 490 MHz USB Echtzeitbandbreite
- **24/7 Aufzeichnung** und Analyse von IQ-Daten

- **16-Bit 2 GSPS ADC**
- **Einzelner USB-C** Anschluss inkl. Strom
- **Windows und Linux** Software inkludiert
- Ultra-kompakter Formfaktor

*Abhängig von der Frequenz

MADE IN GERMANY

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

Aaronia AG
Aaroniaweg 1
D-54597 Strickscheid

**AARONIA AG**
WWW.AARONIA.DE

Plug-and-Make-Kit

Ein modulares Konzept für Arduino

Von Clemens Valens (Elektor)

Das Arduino-Plug-and-Make-Kit ermöglicht es, Erweiterungsmodule auf einem I²C-Bus für schnelles Prototyping mit Arduino zu nutzen. Das neue Konzept, das sich an Einsteiger und Maker gleichermaßen richtet, ermöglicht es dem Benutzer, schnell intelligente, Cloud-basierte, vernetzte IoT-Anwendungen zu erstellen.

praktischen Werkzeug für die schnelle Entwicklung von Prototypen. Im Laufe der Jahre haben Arduino-Benutzer Hunderte - wenn nicht Tausende - von Shields entwickelt.

Phoenix aus der Asche: der I²C-Bus

Die Technik entwickelt sich jedoch ständig weiter, und der altherwürdige I²C-Bus, der schon bei der Geburt von Arduino etwas verstaubt wirkte und in Vergessenheit geraten war, hat sich inzwischen zu einem De-facto-Standard für den Anschluss aller möglichen Komponenten an Mikrocontroller entwickelt. Heute gibt es eine Fülle von I²C-basierten Erweiterungsmodulen, mit denen Sie schnell Anwendungen erstellen können, indem Sie sie an den I²C-Port des Mikrocontrollers anschließen.

Nur Narren ändern ihre Meinung

Der Arduino UNO hatte schon immer einen I²C-Anschluss. Ursprünglich war er ein bisschen wie ein Peripheriegerät, das zufällig verfügbar war, bevor es seine eigenen Pins auf der Erweiterungsleiste erhielt. In der neuesten Version, dem UNO R4 WiFi, erhielt der I²C-Port einen eigenen Anschluss, der kompatibel mit der Qwiic-Spezifikation von SparkFun ist. Mit dem neuen Plug-and-Make-Kit hat Arduino nun den I²C-Bus vollständig für schnelles Prototyping übernommen. Das Stapeln von Shields ist natürlich auch weiterhin möglich.

Plug-and-Make-Kit

Das Plug-and-Make-Kit basiert auf dem Arduino UNO R4 WiFi und einer Familie von Erweiterungsmodulen namens Modulino (Singular wie Plural). Ein Modulino bietet eine Funktion wie einen Sensor, eine Taste, eine oder mehrere LEDs, und so weiter. Zum Zeitpunkt der Erstellung dieses Artikels gibt es sieben davon (von innen nach außen in **Bild 1**) mit den Namen Buzzer (Summer), Buttons (Tasten), Thermo (Temperatur und Feuchte), Pixels (LED-Reihe), Movement (Bewegung), Distance (Abstand) und Knob (Drehknopf). Die Modulino werden nicht an die Erweiterungsstecker des Shields angeschlossen, sondern an den Qwiic-I²C-Port des UNO R4 WiFi. Modulino können in Reihe geschaltet werden, um komplexere Anwendungen zu erstellen.

Cloud-Unterstützung und IoT

Ähnliche Systeme gibt es zwar schon seit einigen Jahren, aber das Plug-and-Make-Kit von Arduino geht noch ein Stück weiter. Erstens wird das Plug-and-Make-Kit

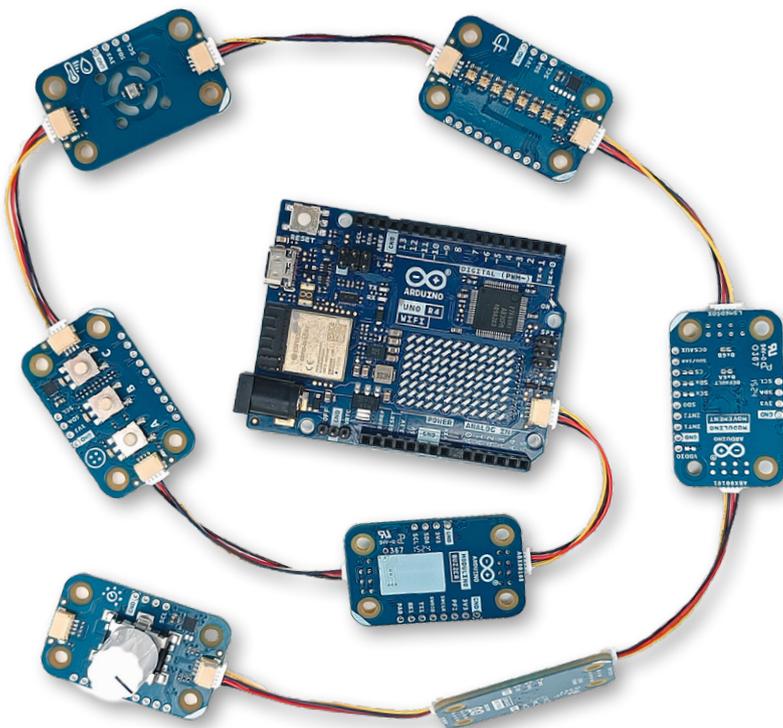


Bild 1. Modulino sind in Reihe geschaltet und kommunizieren über I²C.

Das ursprüngliche Arduino-Konzept wurde vor etwa fünfzehn Jahren entwickelt. Es basierte auf einer Mikrocontrollerplatine mit Erweiterungsplatinen, den so genannten Shields, die auf die Hauptplatine aufgesteckt wurden. Ein Shield fügt Funktionalität in Form eines Sensors, eines Motortreibers, eines Relais oder etwas ganz anderem, zum Beispiel eines Display hinzu. Shields können übereinander gestapelt werden, um ein kompaktes, gestapeltes Mikrocontroller-System zu schaffen. Dadurch wurde und wird Arduino zu einem



Bild 2. Modulo können auch gestapelt werden.

aufgrund der pädagogischen Wurzeln von Arduino durch eine Cloud-basierte Lernumgebung unterstützt. Diese soll dem Benutzer nicht nur einen schnellen Einstieg ermöglichen, sondern ist auch die Basis für seine IoT-Anwendungen. Es ist offensichtlich, dass viel Aufwand betrieben wurde, um die Nutzung der Cloud so einfach wie möglich zu gestalten.

Modulo-Funktionen

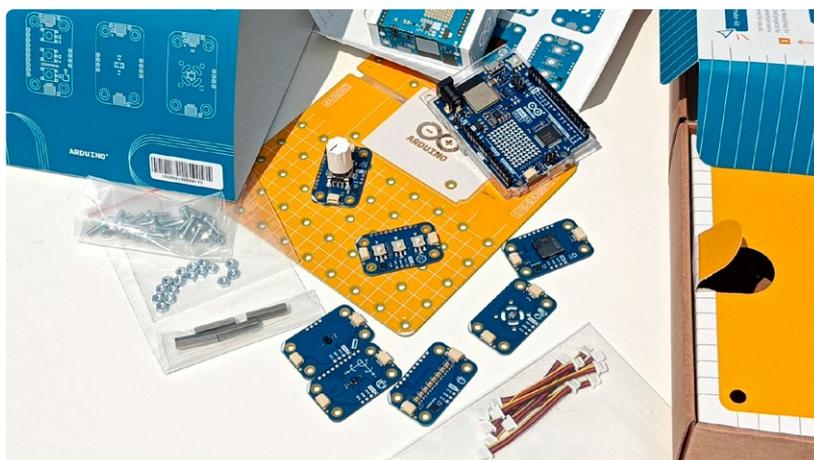
Der zweite Unterschied zu anderen I²C-basierten Prototyping-Systemen besteht darin, dass die Modulo-Knoten auch mit anderen Arduino-Boards und Systemen von Drittanbietern verwendet werden können, da der winzige proprietäre Qwiic-Verbinder durch einen gewöhnlichen vierfachen 0,1"-Verbinder umgangen werden kann. Bei Bedarf können Sie sogar einfach ein Modulo mit einem anderen System verbinden, indem Sie Drähte anlöten. Denken Sie aber stets daran, dass Modulo 3,3 V benötigt.

Momentmal, da ist noch eine andere MCU...

Ein dritter interessanter Unterschied ist, dass Modulo, die mit einem Baustein ohne I²C-Anschluss ausgestattet sind, zum Beispiel einem Taster oder einem Summer mit Arm Cortex-M0-Mikrocontrollern des Typs STM32C011F4 ausgestattet sind, der den I²C-Anschluss bereitstellt. Einige der Pins dieser MCU sind über eine Reihe von Kontakten an der Seite des Modulo zugänglich. Daher kann dieser Modulo unabhängig und sogar als Hauptcontroller in einer Modulo-Kette verwendet werden.

Trotzdem stapeln

Arduino hat das Stacking-Konzept aber nicht ganz aufgegeben, denn auch Modulo kann gestapelt werden. Dies ist möglich, da sie alle die gleiche Grundfläche (oder den gleichen Formfaktor, wenn Sie das bevorzugen) mit dem oben erwähnten lötbaren I²C-Port an der gleichen Position haben. Auf diese Weise können Sie ein kleines, gestapeltes Gerät erstellen, das beispielsweise aus den Modulo Buttons, Buzzer, Movement und Thermo besteht (Bild 2).



▲ Bild 3. Das ausgepackte Plug-and-Make-Kit. Das USB-C-Kabel ist nicht sichtbar.

Das Anwendungsprogramm kann entweder auf der MCU von Buttons oder Buzzer (oder auf beiden) ausgeführt werden.

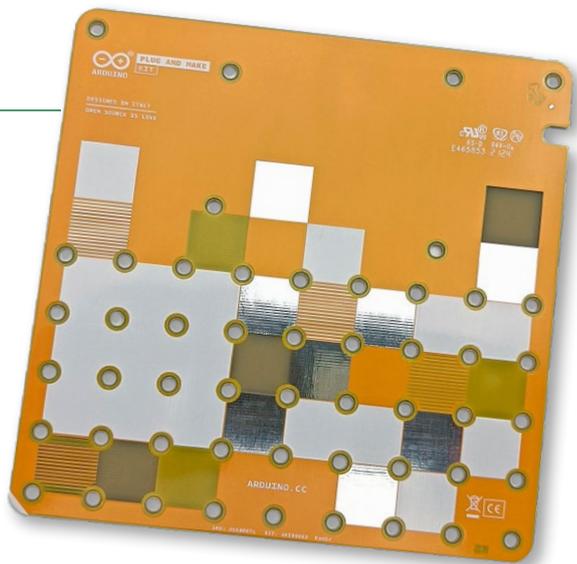
Erste Schritte

Für den Einstieg in dieses neue Konzept hat Arduino ein Kit zusammengestellt, das einen Arduino UNO R4 WiFi, die sieben oben genannten Modulo und eine Modulo-Basis enthält. Die Basis ist eine 14 cm × 14 cm große Platine, auf die Sie den UNO R4 WiFi und die für Ihre Anwendung benötigten Modulo montieren können. Schrauben, Muttern und vier Abstandshalter sind im Lieferumfang enthalten. Das Kit enthält auch Qwiic-Verbindungskabel und ein USB-C-Kabel (mit einem USB-C-auf-A-Adapter, nicht in Bild 3 gezeigt).

▼ Bild 4. Die Verpackung des Kits ermöglicht die Aufbewahrung des zusammengebauten Systems.



Bild 5. Die Rückseite des Basis-Modulino ist ein wahres Kunstwerk.



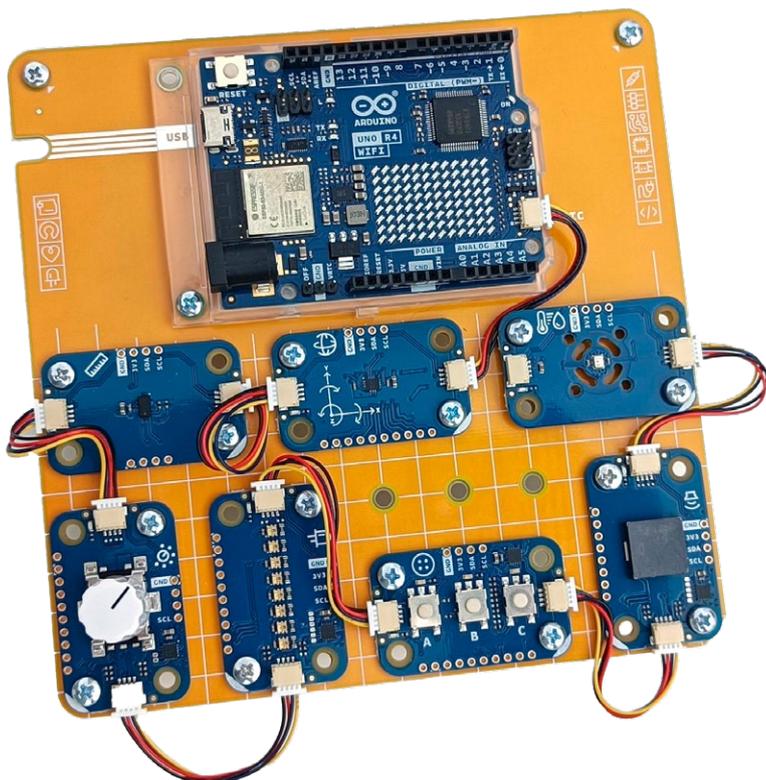
Qualität zeigt sich im Detail

Arduino neigt stets dazu, viel Zeit und Mühe auf die Qualität des Produkts, das Aussehen und die Details zu verwenden, und das Plug-and-Make-Kit bildet da keine Ausnahme. Das merkt man sofort, wenn man die Schachtel öffnet. Alles sieht großartig aus, passt perfekt, und nichts wirkt billig gemacht. Zum Beispiel ist der Drehknopf auf dem Knob-Modulino gut gestaltet. Der Druck auf den Platinen ist sauber und gut lesbar. Alle Boards haben Orientierungsmarken (eine weiße Ecke). Der Pappträger für die Modulino-Basis ist mit Löchern und Schnittmarkierungen versehen, so dass Sie ihn zur Aufbewahrung Ihres zusammengebauten Projekts in der mitgelieferten Schachtel verwenden können (Bild 4).

Lob für das PCB-Artwork

Als Ingenieur mit starkem Interesse an Platinendesign konnte ich nicht umhin, das Artwork auf der Rückseite der Modulino-Basis zu bewundern (Bild 5), ein farben-

Bild 6. Die Montage aller sieben Modulino auf der Basis ist ein Kinderspiel.



frohes geometrisches Muster, das aus Quadraten besteht. Die Farbe eines Quadrats wird durch die (plattierte) Kupferschicht der Platine, die Lötstopmmaske und zwei Siebdruckschichten bestimmt, anstatt einen Vollfarbsiebdruck aufzutragen (was einige Pooling-Dienste inzwischen vorschlagen). Einige Farben werden durch das „Mischen“ von Schichten erzielt. Das gefällt mir sehr gut!

Die Modulino-Basis ist ein wenig eng

Alle Modulino-Knoten können miteinander verbunden werden, aber keines der vorgeschlagenen Projekte erfordert die gleichzeitige Verwendung aller Knoten. Deshalb könnte die Grundplatte etwas eng werden, wenn man versucht, alle sieben Modulino zu montieren und zu verbinden (Bild 6). Auch gibt es nicht genügend Schrauben (24) und Muttern (20), um alle 36 Befestigungslöcher (einschließlich der vier Abstandshalter) zu sichern. Dies ist jedoch kein Problem, da zwei Schrauben pro Modulino und für den UNO R4 WiFi ausreichen. Denken Sie daran, dass Sie, wenn Sie Ihre eigene Idee mit allen sieben Modulino entwickeln, zwei von ihnen an Abstandshaltern in einer Ecke befestigen müssen. Sobald Sie die Module auf der Basis verschraubt haben, wird das Verbinden der Module untereinander zu einer kleinen Herausforderung, da es sehr knapp zugeht. Es ist machbar, aber Sie können auch nur den Modulino, den Sie benötigen, neu verschrauben, wenn Sie die Konfiguration ändern.

In der Cloud

Ich habe mein Plug-and-Make-Kit an meinen Computer angeschlossen und dann die Content-Plattform Arduino Plug and Make in meinem Browser aufgerufen. Um darauf zuzugreifen, müssen Sie sich mit Ihrem Arduino-Cloud-Konto anmelden. Wenn Sie noch kein (kostenloses) Konto haben, müssen Sie zunächst eines erstellen. In der Cloud habe ich einfach auf *Welcome* geklickt (Bild 7). Dies führte mich durch den Prozess der Einrichtung meines Kits, genauer gesagt, des UNO R4 WiFi-Boards. Ich stieß auf keine nennenswerten Schwierigkeiten und fuhr mit dem Importieren meiner ersten Vorlage fort. Auch das ging reibungslos, und ich fand mich mit einem Pixels-Modulino wieder, das einen bunten Regenbogen zeigte. Durch Drehen des Knopfes konnte ich den Regenbogen nach oben und unten bewegen und auch das Streifenmuster, das auf der LED-Matrix des UNO R4 WiFi angezeigt wurde, nach links oder rechts verschieben. Das Einzige, was ich eingeben musste, um so weit zu kommen, waren die Anmeldedaten für mein häusliches WLAN.

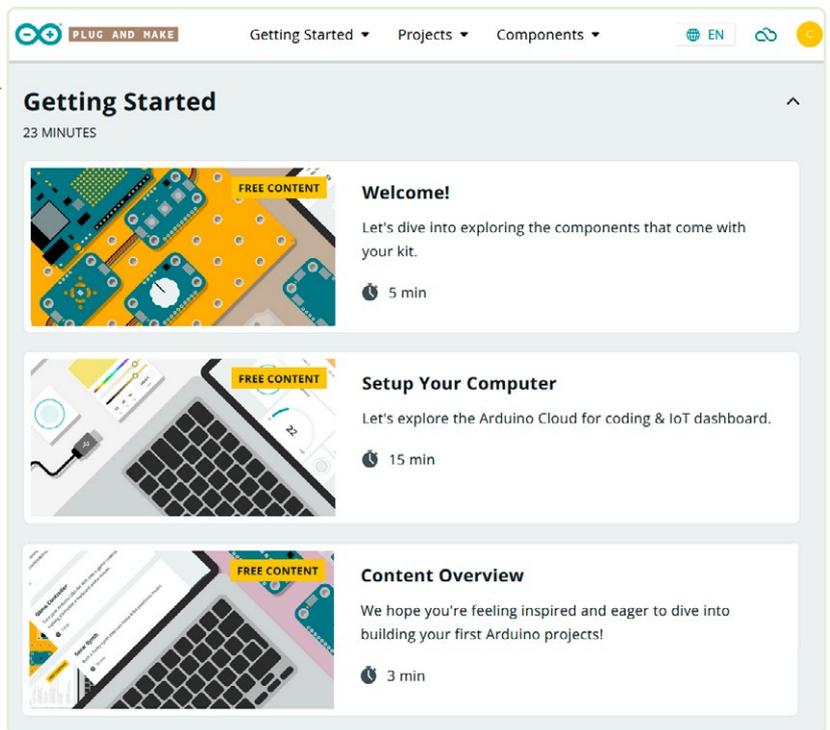
Es ist übrigens interessant, warum ich diese Demo und keine andere gewählt habe (habe ich?). Es gibt sechs Kombinationen zur Auswahl (Bild 8). Man wählt eine Demo aus, indem man zwei Modulino aus einer Liste von möglichen Kombinationen verbindet. Da ich aber alle sieben verbunden hatte, hatte ich alle möglichen Kombinationen ausgewählt, und die Demo, die ich bekam, ist (zufällig?) die letzte in der Liste.

Einen Fehler entdeckt und beheben

Nun war es an der Zeit, ein Demoprojekt auszuprobieren. Es gibt sieben davon, und ich entschied mich für Sonic Synth. Für jede Demo wird die Zeit geschätzt, die für die Fertigstellung eines Projekts benötigt wird. Sonic Synth dauert etwa 35 Minuten.

Sonic Synth verwendet nur vier Modulino (Buttons, Buzzer, Knob und Pixels), aber ich habe es mit allen sieben zusammen versucht. Um die Demo zu laden, müssen Sie die entsprechende Vorlage importieren, sich vom aktuellen Projekt lösen und den UNO R4 WiFi mit der neuen Vorlage verbinden. Das bedeutet, dass Sie Ihre Netzwerk-Anmeldeinformationen erneut eingeben müssen. Nachdem ich alle Schritte durchlaufen hatte, passierte nichts. Kein Ton. Und nachdem ich die überflüssigen Modulino entfernt und das Kit neu gestartet hatte, gab es immer noch keinen Ton.

Ein erneuter Versuch, die Vorlage zu laden, war nicht möglich, da ich das Limit meines kostenlosen Cloud-Plans erreicht hatte. Das Löschen der ersten Demo-Vorlage löste dieses Problem. Ein Neueinsteiger würde nicht vor demselben Problem stehen, da er sein kostenloses Arduino-Cloud-Kontingent noch nicht aufgebraucht hat. Nachdem ich die Projektschritte noch einmal durchlaufen hatte, konnte ich endlich einen Ton erzeugen, wenn



ich die Drucktasten drückte. Die Frequenz und Dauer des Tons werden über Schieberegler im Cloud-Dashboard gesteuert. Obwohl sie am Anfang des Projekts aufgeführt sind, kommen Knob und Pixels erst im zweiten Schritt des Projekts ins Spiel.

▲ Bild 7. Die Plug-and-Make-Kit-Startseite in der Arduino-Cloud.

VOX-POWER.COM
Einzigartige Netzteilösungen.

unsere Broschüre

LET VOX POWER YOUR APPLICATION

<p>300W EIRE300 AC/DC</p>	<p>300W VCCS300 AC/DC</p>	<p>300W VCCR300 DC/DC</p>	<p>600W VCCM600 AC/DC</p>	<p>600W NEVO+600 AC/DC</p>	<p>1200W NEVO+1200 AC/DC</p>
--	--	--	--	---	---

Das **EIRE300** ist ein Netzteil in offener Bauweise mit 300 Watt Leistung und einer Spitzenausgangsleistung von bis zu 375 Watt für eine Sekunde bei Lüfterkühlung mit den Abmessungen 4 x 2 x 1 Zoll. Bei einer Nennleistung von 200 Watt im konvektionsgekühlten Betrieb (115V_{AC}) ist es die ultimative Lösung für Schutzklasse-I/II-Geräte, bei denen Zuverlässigkeit, Wirkungsgrad und BF Klassifizierung wichtig sind.

Das **VCCS300** ist ein skalierbares und kontaktgekühltes SNT mit einem Ausgang. Es ist die ultimative SNT-Lösung für Klasse I und II Anwendungen, bei denen es auf Zuverlässigkeit, Wirkungsgrad, geräuscharmen Betrieb und BF Klassifizierung ankommt. Die Baureihe im robust ausgeführten Miniaturgehäuse mit 4 x 2 x 1,61 Zoll liefert konstante 300 Watt Ausgangsleistung.

Das robuste und zuverlässige Schaltnetzteil **VCCR300** mit Kontaktkühlung im mit kompakten 7,43 x 4,6-Zoll-Gehäuse liefert bis 300 Watt. Die mit 1 Zoll konkurrenzlos flache Baugruppe gewährleistet die unproblematische Integration in praktisch jeder Einbaulage und bietet Systementwicklern große Vorteile im Hinblick auf Flexibilität und Platzersparung. Der große Gleichspannungseingangsbereich reicht von 33,6 bis 160 V_{DC}.

Die konfigurierbare SNT-Baureihe **VCCM600** mit Konduktionskühlung vereint die Vorteile eines modularen Netzteils mit der Zuverlässigkeit einer lüfterlosen Bauweise und bietet höchste Leistung und Flexibilität. Das Aggregat im robusten 4 x 7 x 1,61-Zoll-Gehäuse liefert flüsterleise 600 Watt im Dauerbetrieb und bis 750 Watt Spitzenleistung für 5 Sekunden.

Die modularen und konfigurierbaren SNTs aus der Baureihe **NEVO+** sind als kompakteste ihrer Klasse die ultimative Lösung für anspruchsvolle Anwendungen, bei denen Größe, Leistungsdichte und Gewicht entscheidende Faktoren sind. Die Reihe bietet mehrere Ausgangsspannungen und Leistungsoptionen, die in Minuten und passgenau für praktisch jede Anwendung konfiguriert werden können. Kunden können wählen aus einer Vielzahl von Ausgabemodulen mit bis zu 16 getrennten Ausgängen, exakt abgestimmt auf die spezifischen Anforderungen der jeweiligen Anwendung. Das **NEVO+600** liefert 600 W aus einem mit 5 x 3 x 1,61 Zoll geradezu winzigen Gehäuse bei leichten 600g. Die Ausführung **NEVO+1200** liefert 1200 W aus einem Gehäuse mit den Abmessungen 6 x 6 x 1,61 Zoll bei einem vollkonfigurierten Gewicht von 1200g.

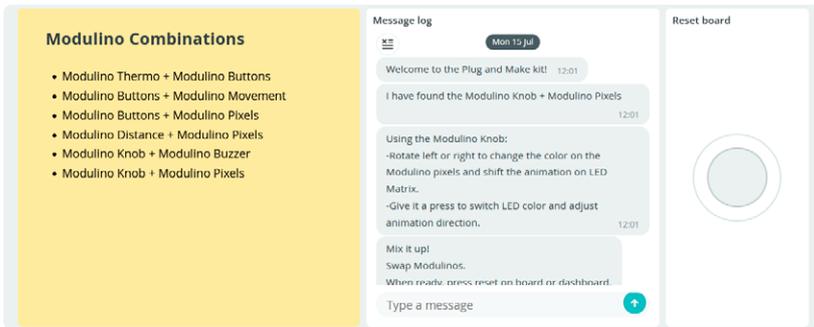


Bild 8. Die Getting-Started-Demo hängt davon ab, welche Modulino-Kombination Sie gewählt haben.



Benutzererfahrung

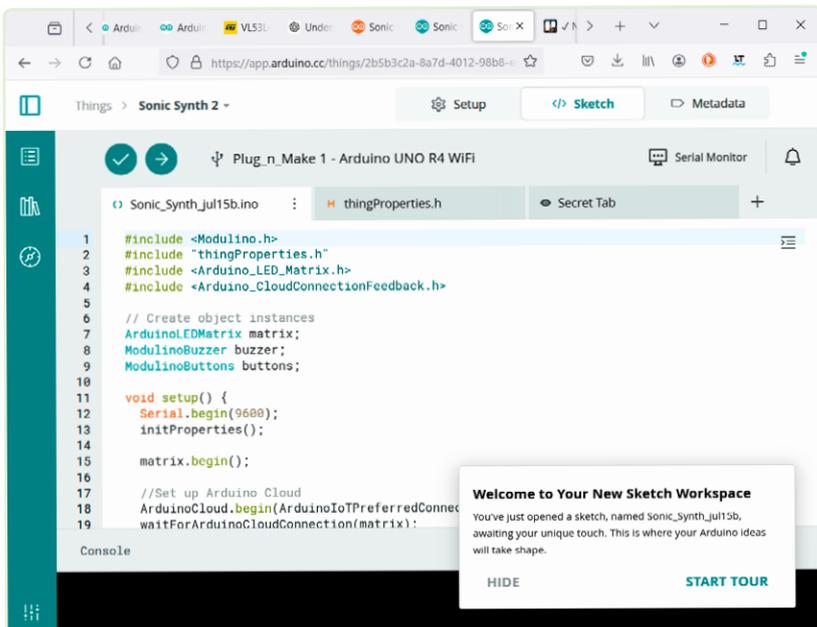
Das Herumspielen mit dieser Demo hat mir zwei Dinge gezeigt:

1. Mit Plug und Make Kit geht es darum, in wenigen Minuten ein intelligentes, vernetztes Gadget zu bauen, ohne Vorkenntnisse über IoT und Programmierung. So sehr Arduino die Erfahrung auch vereinfacht hat, wenn etwas schiefgeht, muss man immer noch in die Cloud-Umgebung eintauchen können, um Hinweise und Möglichkeiten zur Problembewegung zu finden.
2. Ich persönlich habe das Gefühl, dass die Modulino-Basis beim Experimentieren und Herumspielen mehr im Weg steht als hilfreich ist. In einem Klassenzimmer kann sie helfen, die Hardware zu schützen, aber die Neukonfiguration des Systems ist ein bisschen mühsam. Kürzere Schrauben würden helfen, aber ideal wäre eine Art von Klemmsystem. Außerdem ist das UNO R4 WiFi für die kurzen Qwiic-Kabel zu weit rechts positioniert. Daher habe ich es vorgezogen, ohne die Grundplatte zu arbeiten.

Klassischer Arduino

Das Arduino-Plug-and-Make-Kit ist auf IoT-Anwendungen mit Cloud-Anbindung ausgerichtet. Hinter der Arduino-Cloud verbirgt sich die Arduino-Programmierungsumgebung. Sie können den Quellcode Ihrer Anwendungen einsehen und ändern, indem Sie den Tab *Sketch* öffnen. Wenn Sie dies für das Sonic-Synth-Projekt tun, sehen Sie einen recht einfachen Arduino-Sketch, der eine Modulino-

Bild 9. Am Anfang des Sonic-Synth-Sketches ist eine Modulino-Bibliothek eingebunden.



no-Bibliothek importiert (Bild 9). Diese Bibliothek ist auch im Bibliotheksmanager der klassischen Offline-Arduino-IDE von verfügbar. Sie sind also nicht gezwungen, mit dem Plug-and-Make-Kit IoT-Anwendungen in und für die Cloud zu entwickeln. Es steht Ihnen frei, damit zu tun, was Sie wollen.

Wettbewerb

Wie zu Beginn dieses Artikels erwähnt, ist das Konzept des Arduino-Plug-and-Make-Kit nicht neu, aber es fügt ein paar interessante Dinge hinzu. Das wahrscheinlich erste I²C-basierte Prototyping-System ist Grove von Seeed Studio (eigentlich ist es ein bisschen mehr). Das Hauptproblem des Grove-Systems ist der proprietäre Steckverbinder mit einem Raster von 2 mm, den es verwendet. Grove wurde von anderen Herstellern kopiert, die alle den Grove-Stecker durch ihren eigenen, nicht standardisierten oder schwer zu lötenen/zu findenden Stecker ersetzt haben. Beispiele sind der Stemma von Adafruit und der Qwiic von Sparkfun, aber es gibt noch mehr. Arduino hat der Community einen Gefallen getan, indem es die Modulino-Knoten neben einem Qwiic-Anschluss auch mit einem normalen (sprich: für Maker zugänglichen) I²C-Anschluss ausgestattet hat.

BBC micro:bit?

Während ich mit dem Plug-and-Make-Kit herumspielte, musste ich unweigerlich an den BBC micro:bit denken. Dabei handelt es sich um ein kleines Mikrocontroller-Board, das Kinder in die Programmierung und Elektronik einführen soll. Es richtet sich an ein noch jüngeres Publikum (10+) als das Plug-and-Make-Kit (14+). Beide Boards/Systeme haben ähnliche Funktionen: einen Arm Cortex-M4 Mikrocontroller, drahtlose Funktionen, eine LED-Matrix, mehrere Sensoren, die an einen I²C-Bus angeschlossen sind, einen Summer, Drucktasten und Cloud-basierte Programmierung und IoT-Anwendungen. Der Hauptunterschied besteht darin, dass der BBC micro:bit all dies auf einer einzigen Platine integriert, während das Plug-and-Make-Kit aus acht Platinen besteht (die Grundplatte zählt nicht, da sie keine elektrische Funktion hat und nur der Organisation von Projekten dient). Wenn Sie also etwas Kleineres wollen, schauen Sie sich den BBC micro:bit an.

Eine neue Art, Arduino zu verwenden

Mit dem Arduino-Plug-and-Make-Kit wird eine neue Art der Nutzung von Arduino eingeführt. Anstatt Shields auf einer Grundplatine zu stapeln, werden die Erweiterungsmodule (Modulino) über einen I²C-Bus verkettet. Dieser Bus wird durch den dem Kit beiliegenden Arduino UNO R4 WiFi bereitgestellt. Ein Basis-Modulino ermöglicht es, die verschiedenen Modulino und den UNO R4 WiFi sicher zu verbinden und ein transportables System zu schaffen. Das Plug-and-Make-Kit verkörpert alles, was wir von Arduino erwarten: Ästhetik und qualitativ hochwertige Hard- und Software (auch wenn sie zum Zeitpunkt des

Schreibens noch nicht zu 100 % einsatzbereit war, da ich ein Muster des Produkts vor der Markteinführung erhalten hatte). Das Kit richtet sich an Elektronik-Neulinge, Bastler und Maker und wird durch eine umfangreiche Online-Dokumentation, Beispielprojekte und Tools in der Arduino-Cloud unterstützt.

Die neue Modulino-Produktlinie könnte meiner Meinung nach ein gewisses Potenzial haben, vor allem, wenn Unterstützung für den in einigen von ihnen verwendeten STM32-Mikrocontroller bereitgestellt wird (Schaltpläne, Bibliotheken und Bootloader). Arduino plant, in Zukunft weitere Modulino-Knoten herauszubringen, kann aber im Moment keine weiteren Details bestätigen. Der Wettbewerb in der I²C-Arena ist heftig! ◀

RG — 240384-02

Anmerkung der Redaktion: Dieser Artikel wurde im Elektor Circuit Special Bonus 2024 veröffentlicht.

Sie haben Fragen oder Kommentare?

Haben Sie technische Fragen oder Kommentare zu diesem Artikel? Schicken Sie bitte eine E-Mail an den Autor unter clemens.valens@elektor.com oder kontaktieren Sie Elektor unter redaktion@elektor.de.



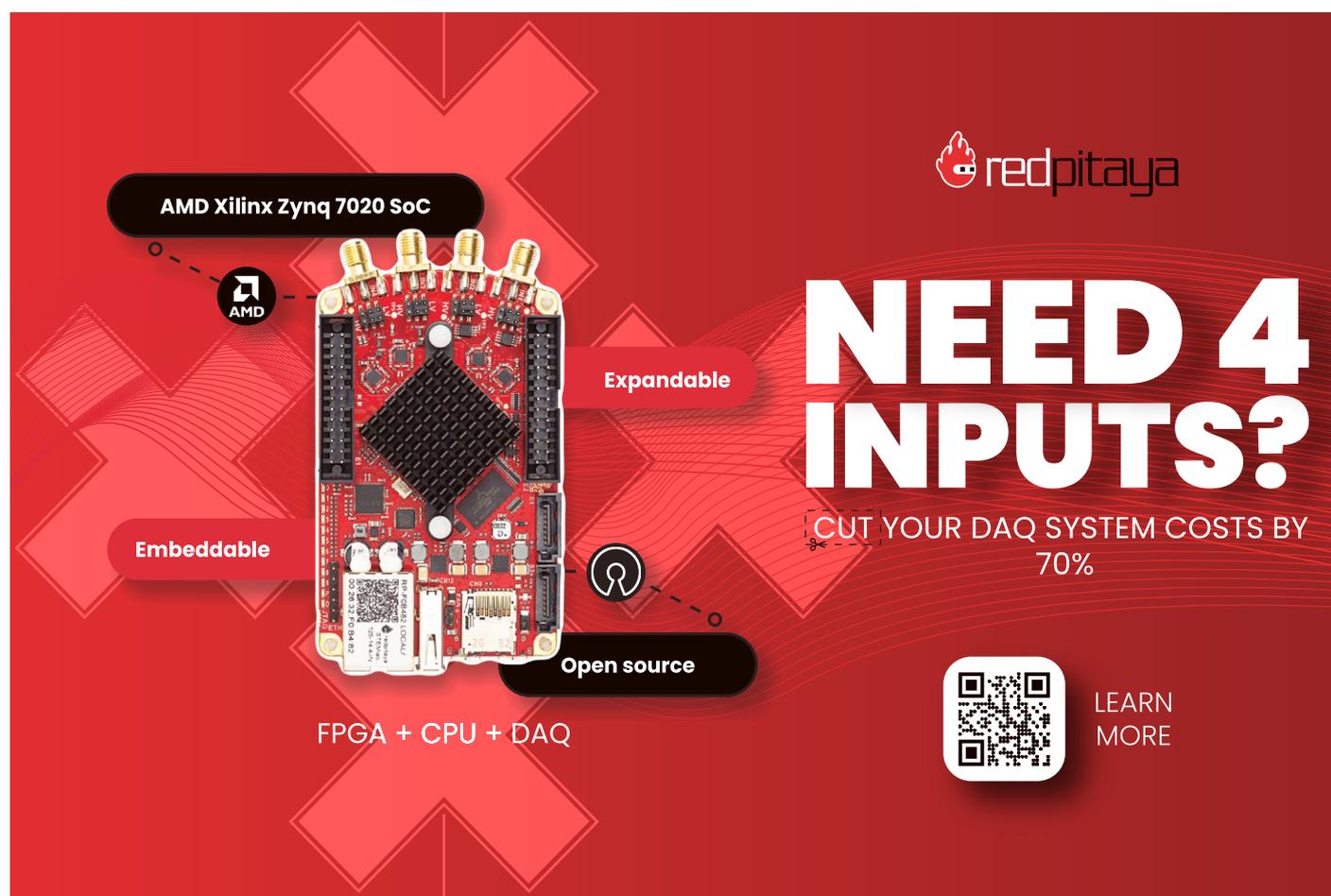
Passende Produkte

- > **Arduino Plug and Make Kit**
www.elektor.de/20920
- > **Clemens Valens, Mastering Microcontrollers Helped by Arduino (Elektor)**
Buch, Paperback, englisch: www.elektor.de/17967
E-Buch, PDF, englisch: www.elektor.de/18217

WEBLINKS

[1] Arduino Plug and Make Kit: <https://store.arduino.cc/products/plug-and-make-kit>

[2] Arduino Plug and Make in der Cloud (erfordert Anmeldung beim Arduino-Dienst): <https://courses.arduino.cc/plugandmake>



redpitaya

NEED 4 INPUTS?

CUT YOUR DAQ SYSTEM COSTS BY 70%

FPGA + CPU + DAQ

AMD Xilinx Zynq 7020 SoC

Expandable

Embeddable

Open source

LEARN MORE

QR code: 

Innovativ mit NXP

Die Entwicklung der FRDM-Plattform



In diesem exklusiven Interview erzählt Justin Mortimer, Senior Director Marketing, BL Secure Connected Edge, wie sich die FRDM-Entwicklungsplattform von NXP weiterentwickelt hat und stellt die wichtigsten Innovationen im MCX-Portfolio vor. Erfahren Sie, was als Nächstes ansteht, während Sie sich auf die *electronica 2024* vorbereiten.

Elektor: Lassen Sie uns mit der Geschichte beginnen. Die FRDM-Boards von NXP sind nicht neu auf dem Markt, aber sie haben sich im Laufe der Zeit erheblich weiterentwickelt. Können Sie uns die wichtigsten Meilensteine in der Entwicklung des FRDM-Ökosystems erläutern? Wie haben Veränderungen in der Technologie und den Marktanforderungen die Entwicklung dieser Boards beeinflusst?

Justin Mortimer: Alles begann vor über 10 Jahren, als wir das FRDM-Board einführten. Als es auf den Markt kam, wurde es sehr gut aufgenommen und ergänzte das Tower-System, das wir damals bei Freescale hatten. Das Ziel war es, einen modularen Ansatz auf den Markt zu bringen, und diese Strategie wurde während der gesamten Entwicklung der Plattform beibehalten. Allerdings haben wir seither einige bedeutende Fortschritte gemacht.

Eine der wichtigsten Verbesserungen betrifft die



Software und die Entwicklungswerkzeuge. Wir haben große Anstrengungen unternommen, um hervorragende Tools bereitzustellen, insbesondere mit der Einführung von MCUXpresso. Wir haben auch die Unterstützung von IDE-Optionen wie VS Code erweitert und über unseren Application Code Hub ein reichhaltigeres Ökosystem von Anwendungsbeispielen entwickelt. Was die Hardware betrifft, so haben wir die Entwicklungsplatinen aufgerüstet und Funktionen wie zusätzliche Erweiterungsheader und eine verbesserte Debug-Schaltung hinzugefügt, um die Nutzung für unsere Kunden zu erleichtern.

Elektor: Wie viele FRDM-Boards gibt es derzeit im Ökosystem? Können Sie ein paar Beispiele nennen?

Mortimer: Wenn wir uns auf die neuesten Boards konzentrieren, haben wir im Januar mit zwei begonnen und nähern uns jetzt 10 auf dem Markt. Seit Januar haben wir neun FRDM-Boards eingeführt, und viele weitere sind in Vorbereitung. Aber wenn wir über die FRDM-Boards sprechen, müssen wir auch alle Erweiterungsboards berücksichtigen.

Mit Erweiterungsplatinen meine ich, dass wir nicht nur an den Mikrocontroller auf der Basisentwicklungsplattform denken, sondern an alle Kombinationen von Erweiterungsplatinen, die wir anbieten. Diese Erweiterungsplatinen ermöglichen es den Anwendern, Plug-and-Play zu betreiben und so ein schnelles Prototyping ihrer Anwendungen zu ermöglichen. Wenn Sie all diese Optionen kombinieren, nähern wir

uns Hunderten von Möglichkeiten – es sind definitiv schon Dutzende. Als Unternehmen arbeiten wir hart daran, die Optionen weiter auszubauen, sowohl für das FRDM-Entwicklungsboard selbst als auch für die Erweiterungsboards.

Elektor: Können Sie die stromsparenden Funktionen der FRDM-Boards, wie Low-Power-Modi oder dynamische Spannungsskalierung, erläutern? Sind diese für batteriebetriebene Anwendungen geeignet?

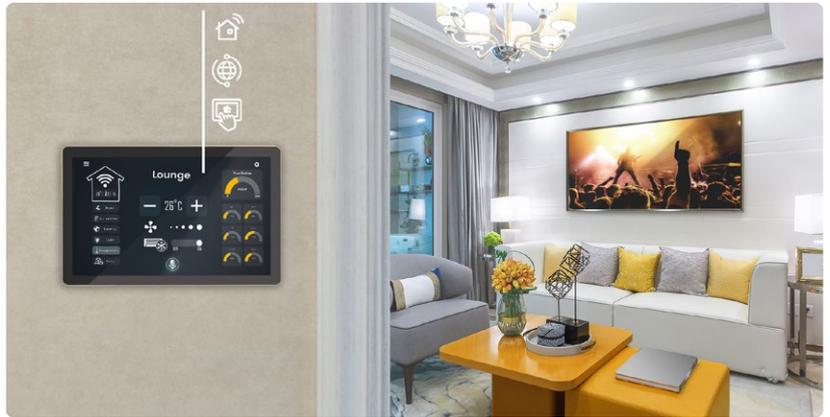
Mortimer: Bei einigen der von uns eingeführten Technologien handelt es sich um Fähigkeiten innerhalb des Siliziums, bei anderen um Funktionen auf der Platine selbst. Unser Ziel war es, beides zu optimieren. Die ersten FRDM-Boards, die wir auf den Markt gebracht haben – wie die FRDM-Boards für MCX A, MCX N, MCX C und MCX W – haben wir beispielsweise speziell für verschiedene Arten von Anwendungen entwickelt.

Insbesondere die MCX A-, MCX W- und MCX C-Boards eignen sich hervorragend für batteriebetriebene Anwendungen. Wir haben viele Leute gesehen, die mit ihnen batteriebetriebene Projekte gebaut haben – bis zu einem gewissen Grad sogar mit MCX N, aber definitiv mehr mit den Low-End- und Low-Power-Optionen. Wir haben uns darauf konzentriert, die Energieoptimierung für Entwickler zu vereinfachen. Die Boards selbst verfügen über Funktionen wie die Möglichkeit der Leistungsmessung über MCU-Link. Die Debug-Schaltung kann den Stromverbrauch messen und überwachen, was den Entwicklern hilft, Energie zu sparen und den Stromverbrauch in ihren Systemen zu analysieren.

Darüber hinaus haben wir auf unserer Website zahlreiche Schulungsmaterialien und Inhalte bereitgestellt, die Entwicklern helfen, die FRDM-Plattform optimal zu nutzen. Dazu gehören Anleitungen zum Aufrufen von Energiesparmodi und zur Maximierung von Energieeinsparungen durch effizientes Wechseln zwischen Zuständen mit verschiedenem Energieverbrauch.

Elektor: FRDM-Boards lassen sich nahtlos in die MCUXpresso-Tools integrieren. Wie profitiert der Entwickler von dieser Integration im Hinblick auf die Beschleunigung des Entwicklungsprozesses und die Verbesserung der Code-Portabilität zwischen verschiedenen NXP MCUs?

Mortimer: Das ist eine gute Frage. Wenn es um die Entwicklung einer Anwendung geht, konzentriert sich ein großer Teil der Zeit eines Ingenieurs auf die Software. Die FRDM-Entwicklungsplattform ist nur ein Teil des Puzzles – es handelt sich um eine Hardware-Entwicklungsplattform, aber ein großer Teil der Anwendungsentwicklung beruht auf der Software. Wir haben viel Zeit darauf verwendet, sicherzustellen,



dass das FRDM-Ökosystem nahtlos mit der gesamten von uns angebotenen Software und den Tools zusammenarbeitet.

Das Board arbeitet nativ mit unserer MCUXpresso IDE und unserem MCUXpresso Software Development Kit, das eine umfangreiche Sammlung von Peripherie-Treibern und Middleware für das Zielsilizium auf dem Board bietet. Wir haben auch Erweiterungen für VS Code eingeführt, und für diejenigen, die mit Echtzeitbetriebssystemen arbeiten, haben wir Zephyr für unsere Mikrocontroller aktiviert. Darüber hinaus bieten wir über unseren Application Code Hub eine breite Palette von Anwendungsbeispielen an. So können unsere Kunden schneller mit der Arbeit beginnen und müssen nicht mehr bei null anfangen, sondern können sich auf die Innovation ihres Produktdesigns konzentrieren.

Wir haben uns auf die Integration von Hard- und Software konzentriert und bieten umfassende Anwendungsbeispiele, die den Entwicklungsprozess für unsere Kunden vereinfachen.

Elektor: Gibt es Optionen für drahtlose Verbindungen, die von Haus aus in FRDM-Boards integriert sind? Oder sind externe Shields oder Module erforderlich?

Mortimer: Wir wollen beide Optionen anbieten. Erstens haben wir mehrere Erweiterungsstecker auf den Boards angebracht, sodass Entwickler Erweiterungsboards oder Shields von Partnern kaufen und einstecken können. Diese Erweiterungsplatinen, ob für MikroBUS- oder Arduino-Header, fügen den FRDM-Entwicklungsplatinen verschiedene Konnektivitätstechnologien hinzu.

In jüngster Zeit haben wir zwei neue FRDM-Boards eingeführt. Das eine ist der MCXW, unsere erste drahtlose MCX-basierte MCU, die Matter unterstützt. Sie enthält ein 802.15.4-Funkgerät für BLE, Zigbee, Thread und mehr. Das andere Board hat unser erstes Wi-Fi 6 Tri-Radio an Bord. In diesen Fällen ist kein Shield erforderlich, da das Board selbst die drahtlose Konnektivität bereitstellt.

Das FRDM-RW612 zum Beispiel hat zusätzlich zu den Erweiterungsstiften auf der Oberseite auch Stifte auf der Unterseite. Dadurch kann es entweder als eigenständiges Entwicklungsboard oder als Erweiterungsboard für ein anderes System verwendet



den MCX A am ehesten einsetzen werden, wie z. B. Sensorschnittstellen und Motorsteuerung, um ihren Entwicklungsprozess reibungsloser und effizienter zu gestalten.

werden. Es geht um Modularität und darum, Entwicklern Optionen zu bieten. Für alle, die mit drahtlosen Verbindungen beginnen möchten, empfehlen wir die MCX W- oder RW612 FRDM-Boards, die über integrierte drahtlose Funktionen verfügen.

Elektor: Die MCUs der NXP MCX A-Serie nutzen die FRDM-Entwicklungsplattform. Können Sie die wichtigsten Innovationen der MCX A-Serie im Vergleich zu früheren MCU-Angeboten von NXP näher erläutern und wie die FRDM-Plattform weiterentwickelt wurde, um diese Fortschritte zu unterstützen?

Mortimer: Bei der MCX A-Serie geht es um Einfachheit und Skalierbarkeit. Mit dem MCX A wollen wir den Kunden die Entwicklung erleichtern, vor allem wenn es um die Anbindung von Sensoren oder die Steuerung von Motoren geht. Wir haben eine Vielzahl von Anwendungsbeispielen entwickelt, die es Entwicklern ermöglichen, die Fähigkeiten des MCX A nahtlos mit verschiedenen Anwendungsfällen zu verbinden. So zeigen wir zum Beispiel, wie man verschiedene Sensoren anschließt und die im MCX A verfügbaren Low-Power-Modi nutzen kann. Dazu gehört auch die Verwendung autonomer Peripheriegeräte, um Strom zu sparen und zwischen Stromsparmodi zu wechseln.

Ein Beispiel ist das Aufwachen aus dem Energiesparmodus mit einem Sensor, wobei die zahlreichen Beispiele genutzt werden, die wir anbieten. Wir bieten auch Motorsteuerungsbeispiele, die zeigen, wie die PWM-, Timer- und Motorsteuerungs-Subsysteme des MCX A verwendet werden können. Wir haben uns auf die Bereiche konzentriert, in denen die Kunden

Elektor: In welchen Branchen und Anwendungen haben die FRDM-Entwicklungsplatinen Ihrer Meinung nach einen bemerkenswerten Einfluss gehabt? Können Sie uns eine Erfolgsgeschichte nennen, bei der das Rapid Prototyping mit FRDM-Boards einen entscheidenden Unterschied gemacht hat?

Mortimer: Ein Bereich, der mir besonders am Herzen liegt, ist die Zeitreihenanalyse. Im Bereich der Mikrocontroller wurde viel über Edge AI gesprochen, was ein großer Trend ist. Wirklich spannend ist jedoch, wie Mikrocontroller Sensordaten nutzen können, um ein höheres Maß an Intelligenz in Systeme zu bringen. Durch das Sammeln und Analysieren von Sensordaten im Laufe der Zeit können wir Systeme, z. B. in industriellen Umgebungen, autonomer steuern.

Wir haben eine zeitreihenbasierte Edge-KI-Anwendung vorgestellt, die Sensordaten von allen NXP-Produkten sammelt und in einen Mikrocontroller einspeist. Dies ermöglicht die Erkennung von Anomalien in Motoren oder Industriesystemen und damit die Fernüberwachung und -steuerung. Unsere Kunden haben diese Art der Anomalieerkennung und Zeitreihenanalyse sehr gut angenommen und in ihren eigenen Produkten eingesetzt. Ein bemerkenswertes Beispiel ist der MCX N, bei dem Kunden das FRDM-Board und die integrierte eIQ(R) Neutron Neural Processing Unit IP genutzt haben, um ihre Entwicklung zu rationalisieren und die Systemüberwachung zu verbessern.

Elektor: Was hat NXP für die electronica 2024 in München (12.-15. November) geplant? Werden Sie spezielle Demos für die Besucher bereithalten?

Mortimer: Das Spannende an der FRDM-Plattform ist die breite Akzeptanz, die sie in der gesamten Branche erfährt. Egal, wo ich hinkomme – bei Veranstaltungen und Sitzungen auf der ganzen Welt – die FRDM-Plattform kommt gut an. Auf der electronica wird die FRDM-Plattform nicht nur von NXP, sondern auch von unseren Vertriebs- und Ökosystempartnern vorgestellt. Sie ist zum Herzstück vieler innovativer Produkte, Anwendungen und Demonstrationen geworden.

Ich freue mich darauf, zu sehen, wie die FRDM-Plattform auf der Messe präsentiert wird und wie sie die Innovation in so vielen Entwicklungsbereichen vorantreibt. Es ist großartig zu sehen, wie die Plattform weiterhin neue Ideen und Lösungen in der gesamten Branche inspiriert. ◀

240609-02



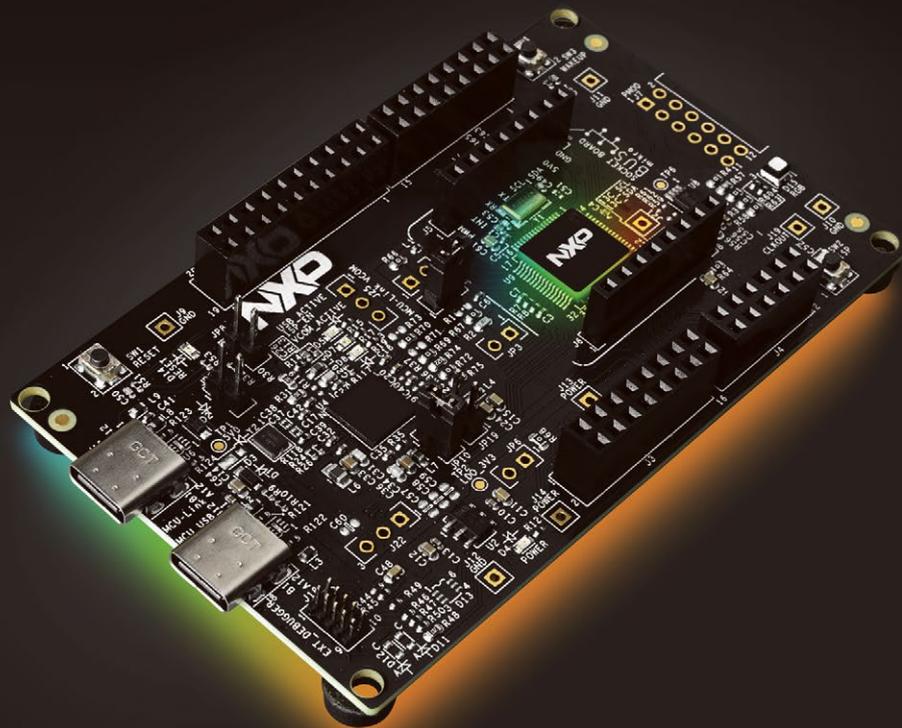
Über Justin Mortimer

Justin Mortimer verfügt über umfangreiche Erfahrungen in der Halbleiterindustrie und hat sich auf die Embedded-Verarbeitung für den industriellen Multimarkt spezialisiert. Er verfügt über ein umfangreiches Netzwerk von Branchenbeziehungen, einschließlich globaler Vertriebskanäle und wichtiger Partner. Justin Mortimer hat eine Leidenschaft für die Zusammenarbeit mit Embedded-Entwicklern auf der ganzen Welt. Er versteht es hervorragend, komplexe Themen zu vermitteln und Ideen in die Tat umzusetzen. Justin ist für seinen ergebnisorientierten Ansatz und seine Führungsstärke bekannt. Er hat erfolgreich Teams bei der Markteinführung zahlreicher neuer Produkte und Entwicklungsplattformen geleitet und arbeitet hart daran, Ingenieuren auf der ganzen Welt einen Mehrwert zu bieten.



FRDM Development Boards

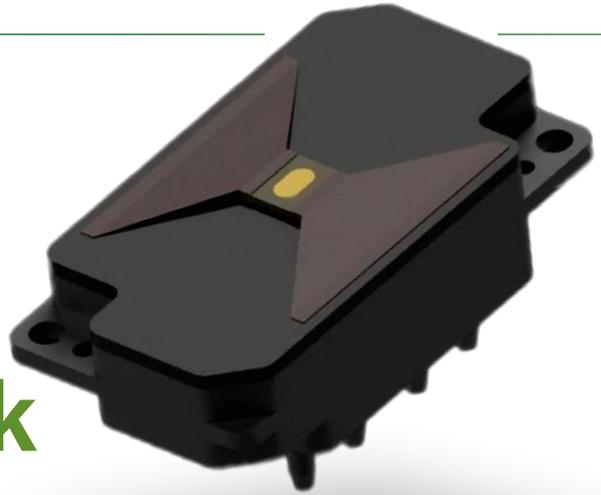
Design ohne grenzen.



nxp.com/FRDM

NXP und das NXP-Logo sind Marken von NXP B.V. Alle anderen Produkt- oder Dienstleistungsamen sind Eigentum der jeweiligen Inhaber. ©2024 NXP B.V.

CEO-Interview: Tintenstrahldruck für Halbleiteranlagen



Von Nick Flaherty (eeNews Europe)

Nick Flaherty spricht mit Patrick Heisler und Patrick Galliker von Scrona, das gerade 4 Millionen Euro für seine Tintenstrahldruckköpfe der dritten Generation für Halbleitergeräte sammelt.

Das Schweizer Start-up-Unternehmen Scrona hat 4 Millionen Euro gesammelt, um seinen Tintenstrahldruckkopf der dritten Generation auf den Markt zu bringen, mit dem Halbleiterfertigungsanlagen erweitert werden können.

Patrick Heisler, der an der TUM München und der UC Berkeley an der Packagingtechnologie gearbeitet hat und von FrontierLight Technologies und Suss Mikro-Optics kommt, kam im Juni 2024 als CEO hinzu. Der bisherige CEO Patrick Galliker übernimmt die Rolle des CTO.

„Ich bin sehr froh über diese Entwicklung, die sich auf die Technologie konzentriert“, sagt Galliker gegenüber eeNews Europe.

Das Unternehmen hat außerdem 4 Mio. EUR in einer Überbrückungsrunde aufgebracht, um seine MEMS-basierte Technologie der dritten Generation für Halbleiteranlagen für Mikro-LED-Displays und Chiplet-Substrate zu erweitern. „Unser Ziel ist es, 22 Schritte in der Halbleiterfertigung und -Packaging durch zwei Schritte zu ersetzen“, so Heisler.

Der Druckkopf der Generation 3 verfügt derzeit über 8 Düsen, die auf bis zu 256 Düsen in einem ähnlichen Formfaktor skaliert werden können.

„Es handelt sich um ein echtes Produkt, das wir gerade an Kunden ausliefern. Alle Ein- und Auslässe sind für die kommerzielle Nutzung bestimmt. Gen 1 und 2 waren Forschungs- und Entwicklungswerkzeuge, die viel Handarbeit erforderten. Gen 3 mit 8 Düsen wird Ende des dritten Quartals in einem 7 × 7 mm großen Druckkopf auf den Markt kommen, der noch nicht

vollständig optimiert ist“, so Heisler. „Es sind die elektrischen Kontakte, die den meisten Platz beanspruchen, und wir haben ein Robotersystem, das für die Kontakte verwendet wird, sodass die Präzision zunehmen wird, um den Abstand mit einer Auflösung von 1 µm zu verringern.“

Das Unternehmen strebt für das erste Quartal 2025 eine Version mit 128 Düsen an. „Wir haben noch nicht über die Konfiguration des 128er-Designs entschieden, da es sich um eine Matrix handeln könnte“, sagte Heisler.

„Die Gen 3 ist eine skalierbare Plattform mit dem gleichen Spritzgussgehäuse und der gleichen Elektronik für den MEMS-Tintenstrahldruckkopf. Der Treiber, der die 128 Signale liefert, sitzt im Druckkopf und verwendet dieselbe Elektronik, um eine 8- oder 128-Düsen-Version zu versorgen. Es ist also möglich, mit einer 8-Düsen-Version zu beginnen und auf 128 oder sogar 256 Düsen im selben Gehäuse umzusteigen“, sagt Galliker.

„Wir versuchen nicht, irgendetwas in diesem Prozess zu diktieren“, sagte er. „Die Anzahl der Düsen kann skaliert werden, aber es gibt eine Beschränkung bei der Anzahl der Kanäle und der Treiber. Wir haben Techniken, um die Düsen zu skalieren, ohne die Anschlüsse zu skalieren. Wir wollen die Gen 3 attraktiv [in Bezug auf die Kosten] halten, aber sie ist nicht in der Anzahl der Düsen begrenzt“, fügte er hinzu. „Wenn wir einen Bedarf an mehr Düsen oder höheren Durchsätzen und Spannungen sehen, werden wir zu Gen 4 übergehen. Dies würde bis zu 1000 Düsen in einem Druckkopf ermöglichen. Wir werden Gen 4 nicht forcieren, nur um es auf den Markt zu bringen. Wir wollen Gen 3 so weit wie möglich vorantreiben“, sagte Heisler.

„Die Hauptanwendung sind Displays und fortschrittliche Gehäuse in Taiwan, Korea, den USA und Europa“, so Galliker. „Wir sehen fortschrittliche Backend-Anwendungen, die Front-End-Lösungen verwenden, die zu kostspielig oder zu verschwenderisch für Redis-

tribution Layers (RDLs) oder 3D-Querverbindungen sind.“

„Wir bewegen uns weg vom Capex-Modell mit voller Auslastung hin zu einem Opex-Modell, das mit CoWoS geringere Volumina und mehr Kundenwünsche erfüllen kann“, sagt er.

„Im Laufe der Entwicklung sehen wir Gen 3 als Hauptplattform. Ein Inkjet ist sehr gut skalierbar. Man braucht einen Druckkopf mit vielen Düsen, wobei viele Düsen zusammenarbeiten. Wir haben mit einem der großen Halbleiterausrichter gesprochen, die sich mit Mehrfachdruckköpfen befassen, und unser Hauptziel ist es, viele Düsen auf dem Druckkopf zu haben.“

„Wir können Gen 3-8 auf 48 Düsen im selben MEMS-Chip in drei gestaffelten Reihen zu je 16 Düsen skalieren, mit demselben Design, derselben Herstellung, dem Wafer, dem Packaging und dem Testen. Bei acht Kanälen braucht man nicht unbedingt Zugang zu jeder Düse, wir können also auf Tausende von Düsen skalieren“, sagte er.

Der MEMS-Chip wird auf einem hauseigenen 2-Zoll-Wafer hergestellt, auf dem das Unternehmen einen neuen Druckkopf-Chip innerhalb einer Woche entwickeln, herstellen und testen kann.

Das Unternehmen arbeitet außerdem an einer Druckmaschine, die vollständig von beliebigen Geräten gesteuert werden kann, nicht nur vom ursprünglichen Partner Notion.

„Dies ist kein Plug-and-Play-Ersatz, und wenn ein

Adapter erforderlich ist, können wir das gerne tun, oder wir können einen kundenspezifischen Formfaktor entwickeln“, sagte Heisler. „Dies sind die Skaleneffekte der Halbleiterherstellung mit der Mischung und Anpassung auf einem Wafer. Wir haben die Kapazität für 100.000 Druckköpfe pro Jahr aus der Fabrik für die großen Versionen, die wir im Programm haben, und es

ist ein skalierbarer Prozess, für die 3-8 ist die Kapazität wahrscheinlich eine Million Einheiten“, sagte er.

Die proprietäre Technologie von Scrona basiert auf dem Prinzip des elektrostatischen Ausstoßes, das einen sehr feinen Druck und Strahl im Submikrometerbereich ermöglicht und gleichzeitig die Verwendung verschiedener Tintenmaterialien wie Metalle, dielektrische, organische und Biomaterialien erlaubt. Die MEMS-Druckköpfe ermöglichen eine hohe Düsendichte und eine individuelle Anpassung an die Anwendungsanforderungen in vielen vertikalen Branchen. ◀

240505-02



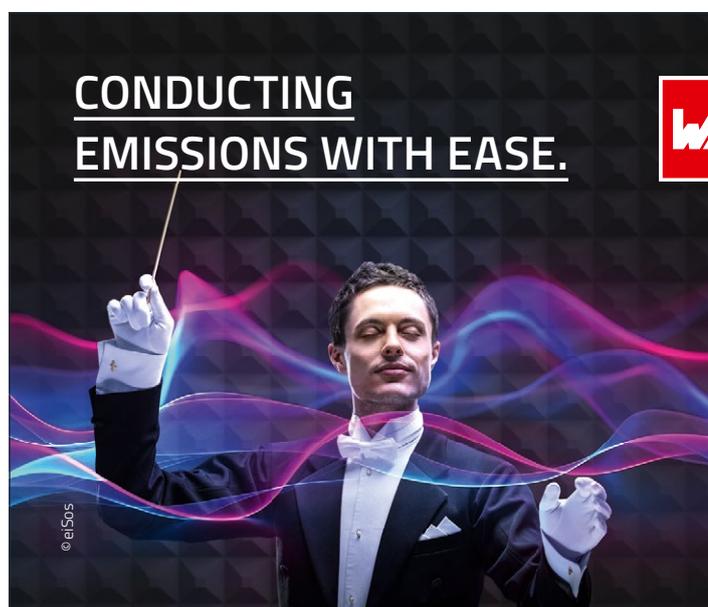
Der Druckkopf der Generation 3 verfügt derzeit über 8 Düsen, die auf bis zu 256 Düsen in einem ähnlichen Formfaktor skaliert werden können.

Anmerkung der Redaktion

eeNews Europe veröffentlichte diesen Artikel erstmals am 9. Juli 2024. Besuchen Sie www.eenewseurope.com für weitere Nachrichten und Interviews.

WEBLINK

[1] Scrona AG: www.scrona.com



CONDUCTING
EMISSIONS WITH EASE.



**WÜRTH
ELEKTRONIK**
MORE THAN
YOU EXPECT

WE meet @ electronica
Halle A6 - 502

Ihr vertrauensvoller Partner für EMV-konformes Applikationsdesign

In unserer digitalen Welt ist es entscheidend, die richtige Frequenz anzuschlagen. Mit unseren umfangreichen Services, langjähriger Erfahrung und einem breiten Produktportfolio meistern wir gemeinsam Ihr EMV-konformes Applikationsdesign entlang des gesamten Produktlebenszyklus. Persönlich und vor Ort. Lassen Sie uns gemeinsam starten.

www.we-online.com/emc

Highlights

- Großes EMV-Produktportfolio
- Persönliche EMV-Design-Unterstützung
- REDEXPERT Design- und Simulations-Plattform

#CONDUCTINGEMISSIONS

CEO-Interview: Sameer Wasson von MIPS über einen RISC-V-Neustart



Sameer Wasson, CEO von MIPS
(Quelle: eeNews Europe)

Von Peter Clarke (eeNews Europe)

MIPS Inc. entwickelt sich unter seinem kürzlich ernannten CEO Sameer Wasson zu einem bedeutenden Lizenzgeber für RISC-V-Prozessorkerne. eeNews Europe sprach mit Wasson darüber, wie er die unruhigen Gewässer eines sich wandelnden Prozessormarktes zu steuern gedenkt.

MIPS [1] wurde 1984 gegründet und war einer der Pioniere der ersten RISC-Revolution in der Prozessorarchitektur. Dies trug das Unternehmen bis in die 1990er Jahre, wo es sich gegenüber einem britischen Start-up namens Arm wiederfand. Durch seine Konzentration auf Energieeffizienz konnte Arm den Smartphone-Markt und große Teile des allgemeinen Embedded-Marktes erobern. MIPS war eher leistungsorientiert. Das Unternehmen bot zunächst Workstation-Prozessoren an und war in den Bereichen Netzwerke und Kommunikation sehr erfolgreich. Nach einer Reihe von Unternehmensübernahmen und -verkäufen befand sich das Unternehmen schließlich im Mehrheitsbesitz von Tallwood Ventures, mit dem Auftrag, sein Lizenzgeschäft für Prozessorkerne auf der Grundlage der Open-Source-Architektur RISC-V fortzuführen.

Wasson kam im September 2023 von Texas Instruments (siehe [2]) zum Unternehmen. Dort war er für Hochleistungs-Mikrocontroller und Prozessoren zuständig. „Ich konnte sehen, dass RISC-V viel Potenzial hat und dass es eine Möglichkeit bietet, den Ingenieuren die Kontrolle zurückzugeben. Ich

betrachte MIPS als ein 40 Jahre altes Start-up oder einen Neustart. Tatsächlich war das Unternehmen bereits seit 2018 und 2019 auf dem Weg in Richtung RISC-V.“

Neubeginn

Als „Restart-up“ hat MIPS den Vorteil, dass es von den bestehenden Lizenznehmern seiner historischen MIPS Instruction Set Architecture (ISA)-Prozessorkerne Lizenzentnahmen erhält. Außerdem verfügt es über eine solide Basis an Kundenbeziehungen. Als privates Unternehmen ist MIPS nicht verpflichtet, vierteljährliche Umsatzdetails zu veröffentlichen, aber Wasson sagte, dass das Unternehmen etwa eine 50:50-Aufteilung zwischen MIPS ISA-Lizenzgebühren und Upfront-Lizenzgebühren für den kommenden Hochleistungs-RISC-V-Core, den P8700, erreicht hat. Die meisten Anbieter von RISC-V-Prozessorkernen sind Privatunternehmen, sodass Umsatzschätzungen schwierig sind, aber Wasson geht davon aus, dass MIPS bereits zu den zwei oder drei größten RISC-V-Lizenzgebern gehört, die es gibt.

Wasson sagte, dass die Philosophie von MIPS darin besteht, die Dinge, die der ursprüngliche MIPS ISA gut macht, zu übernehmen und sie unter Verwendung des RISC-V Basis-ISA und der Erweiterbarkeit unter RISC-V neu zu gestalten. Dies bietet sowohl einen Upgrade-Pfad für bestehende MIPS-Lizenznehmer als auch einen Zugang zu bestimmten Anwendungen für neue Kunden.

„Wir wollen nicht versuchen, „den Ozean zum Kochen zu bringen“ und Arm zu übernehmen. MIPS macht einige Dinge gut, also konzentrieren wir uns auf diese“, sagte Wasson. Als Beispiel nennt er die effizien-



Als Open-Source-Architektur kann RISC-V lizenzfrei genutzt werden und bietet Unterstützung für die Erweiterung des Befehlsatzes und die Implementierung von Designs durch alle Beteiligten.

ente Datenübertragung unter dem MIPS ISA, die zu einer erfolgreichen Lizenzierung in Netzwerken und Modems sowie in einigen Automobilanwendungen führte. „Diese Fähigkeit setzen wir in Netzwerken von Datenzentren, Verkehrsmanagement und DPU-Anwendungen um“, so Wasson.

Im Fall der Automobilindustrie ist MIPS seit vielen Generationen von ADAS-Prozessoren Teil des Angebots von Mobileye. „Wir haben Mobileye als RISC-V-Kunden und auch ein paar Hyperscaler, die wir nicht nennen können“, sagte Wasson. Er fügte hinzu, dass die Netzwerkfähigkeit von MIPS im Laufe der Zeit für mehr Anwendungen relevant geworden ist.

P8700

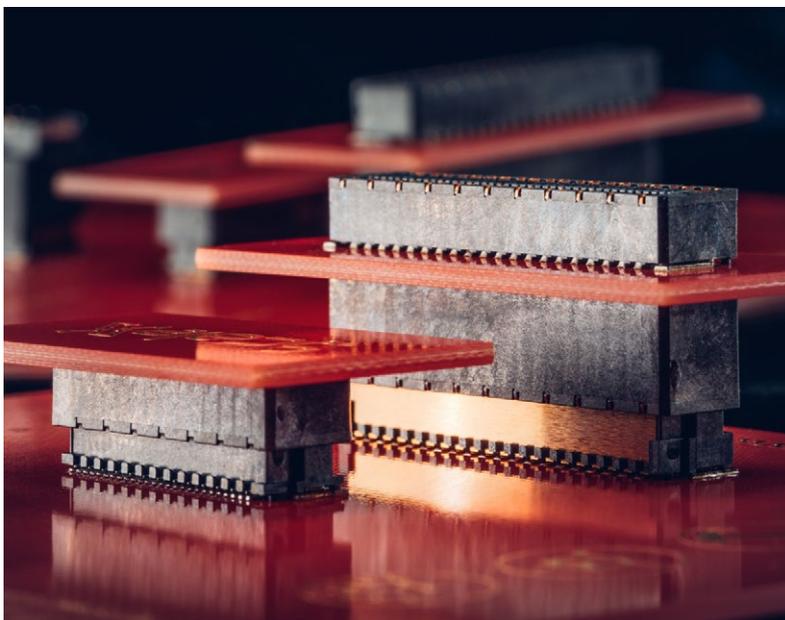
„Unser RISC-V-Prozessor ist ein MIPS-ähnlicher Prozessor mit Multithreading, der Hardware-Virtualisierung und Cache-Kohärenz unterstützt“, so Wasson. Er behauptet, dass eine solche Hochleistungs- und Sicherheitsunterstützung ihren Platz in Bereichen wie ADAS und fahrzeuginterne Vernetzung, der Kombi-

nation von ADAS und Infotainment, findet; daher das Engagement von Mobileye.

Darüber hinaus rechnet Wasson damit, dass der zunehmende Einsatz von Elektronik in Fahrzeugen – ob mit Elektro- oder Verbrennungsmotor – zu einem steigenden Bedarf an Over-the-Air-Upgrades führen wird. „Steuergeräte müssen echtzeitfähig sein und mit verschiedenen Umgebungen umgehen können“, sagte er.

Der P8700, ein superskalärer 64-Bit-RISC-V-Prozessor mit Out-of-Order-Operation, wurde Ende des ersten Quartals 24 vorgestellt, so Wasson. „Er ist als skalierbares Multicore-Cache-kohärentes Network-on-Chip (NoC) verfügbar. Er ist auch in mehreren Clustern verfügbar. Er bootet Linux und wird mit einer Dokumentation für den Einbau in ein SoC geliefert und wird auch sicherheitszertifiziert sein“, fügte er hinzu.

Das Design zielt zunächst auf den 7-nm-Fertigungsprozess von TSMC ab, obwohl die MIPS-Ingenieure daran arbeiten, darüber hinauszugehen, so Wasson.



ept
connectors

**HIGH SPEED
& ROBUST**

**BOARD-TO-BOARD
CONNECTORS**

**We can do both
Ask us how!**

HALL B2 | BOOTH 139



electronica 2024

„Wir werden möglicherweise auch eine Optimierung für 16 nm vornehmen. Wasson sagte, dass der P8700 bei der Markteinführung eines der leistungsstärksten RISC-V-Prozessorkerne auf dem Markt sein wird.“

Pro und Contra?

Als Open-Source-Architektur steht RISC-V lizenzfrei zur Verfügung und bietet Unterstützung für die Erweiterung des Befehlssatzes und die Design-Implementierung durch alle Beteiligten. Allerdings können diese Implementierer ihre spezifischen Implementierungen lizenzieren und für technische Unterstützung Geld verlangen. Dies stellt einen wesentlichen Unterschied zur Arm-Architektur dar, die proprietär ist und vom britischen Unternehmen streng kontrolliert wird.

Aber könnte die Offenheit für die Benutzer von RISC-V sowohl von Vorteil als auch von Nachteil sein? Die durch RISC-V ermöglichte Anpassung ermöglicht eine einfachere Optimierung in Bezug auf Leistung, Energieeffizienz und andere Parameter, aber das könnte wiederum zu einer Marktfragmentierung führen, die die Unterstützung durch das Ökosystem verhindert oder verteuert?

Wasson sieht das anders. „Mit RISC-V kann man das Beste aus beiden Fällen herausholen. Man hat die grundlegende Einhaltung von Debugging, Trace und Standards von Anfang an. Es gibt einen Standard, der für Interoperabilität sorgt. Aber man kann dann die Kerne – wie auch anderswo – auf Leistung, Stromverbrauch oder Datenbewegung abstimmen.“

Der KI-Elefant

Der Elefant in den F&E-Labors fast aller Technologieunternehmen im Jahr 2024 ist die künstliche Intelligenz. Ist die KI-Verarbeitung oder -Beschleunigung Teil der MIPS-Roadmap?

„Wir werden KI angehen, indem wir sicherstellen, dass wir den besten Prozessor für die Datenbewegung haben“, sagte Wasson und deutete an, dass er einen großen Markt für die Unterstützung von GPUs und KI-Beschleunigern in Servern für das Rechenzentrum sieht. „MIPS könnte Inferenz zu gegebener Zeit anbieten, aber es gibt eine Ökosystemanforderung (die sich erst klären muss), und darauf werde ich warten“, fügte er hinzu.

„Die Software-Perspektive steht an erster Stelle, aber die Behandlung von Dingen im ISA wird immer besser sein. Und die Ingenieure wollen sich nicht mit mehreren ISAs herumschlagen“, sagte Wasson. Eines der Probleme ist, dass die KI in der Entwicklung noch relativ unreif ist und ein Problem mit dem Stromverbrauch hat, erklärte Wasson.

KI-Hardware wurde bisher auf Allgemeinheit und Leistung hin optimiert, behauptet er. „Wir müssen mehr Rechenleistung erbringen, ohne den Stromverbrauch in die Höhe zu treiben. Bei der Entwicklung von KI wurde das Energiebudget noch nicht als erste Einschränkung berücksichtigt“, so Wasson. Wenn dies der Fall ist, so Wasson, ist RISC-V eine überzeugende Wahl.

Wettbewerbslandschaft

Ein weiterer Aspekt des Open-Source-Charakters von RISC-V ist, dass es viel wettbewerbsfähiger ist als ein proprietäres ISA-Ökosystem. Es gibt bereits viele Unternehmen, die Prozessorkerne anbieten und Fabless-Chip-Unternehmen mit Implementierungen unterstützen. Im Gegensatz dazu ist Arm in den meisten Aspekten ein Monopollieferant mit seiner eigenen ISA.

Als Teil dieses Wettbewerbs stellt MIPS neue Mitarbeiter ein, und die leitenden Angestellten Drew Barbier und Brad Burgess sind dem MIPS-Führungsteam beigetreten. Beide waren zuvor beim RISC-V-Pionier SiFive tätig. Barbier kommt als Vice President of Products und Burgess als Chief Architect zu MIPS (siehe [3]).

„RISC-V ist ein sehr aktiver Bereich. Und ich erwarte, dass mehr Wettbewerber auftauchen werden“, sagte Wasson. „Ich sehe das nicht als negativ an. Man braucht Wettbewerb, um das Beste aus der Technik herauszuholen. Aber wenn wir die richtigen Grundlagen haben, kommt es auf unsere Fähigkeit zur Umsetzung an“, so Wasson abschließend. ◀

240512-02

Anmerkung der Redaktion

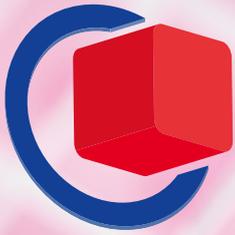
eeNews Europe veröffentlichte diesen Artikel erstmals am 5. Januar 2024. Besuchen Sie www.eenewseurope.com für weitere Nachrichten und Interviews.

WEBLINKS

[1] MIPS-Webseite: www.mips.com

[2] W. Hettinga, „MIPS to Drive RISC-V Market Penetration and Innovation,“ eeNews, 2023: www.eenewseurope.com/en/mips-to-drive-risc-v-market-penetration-and-innovation/

[3] P. Clarke, „MIPS recruits former senior SiFive execs to boost RISC-V play,“ eeNews, 2024: www.eenewseurope.com/en/mips-recruits-former-senior-sifive-execs-to-boost-risc-v-play/



embeddedworld

Exhibition & Conference

CONNECTING THE
EMBEDDED COMMUNITY

11.–13.3.2025

NÜRNBERG, GERMANY



Get your
free ticket now!

embedded-world.de/code

Use the voucher code **GGew25**

Medienpartner

elektroniknet.de

Markt&Technik
Das unabhängige Wochenmagazin für Elektronik

Elektronik

Elektronik
automotive

Elektronik
•medical

connect
professional

NÜRNBERG / MESSE

Elektor-Webinare: Technische Einblicke für Elektronik- Innovatoren

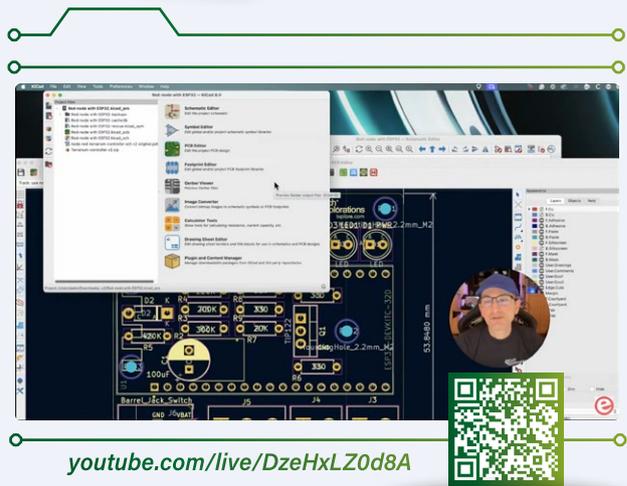


Vom Elektor Content-Team

Elektor-Webinare ermöglichen es, Elektronikentwicklern, Studierenden und Herstellern, sich über Technologien, Produkte und grundlegende technische Verfahren der nächsten Generation zu informieren. Durch eine Partnerschaft mit uns können Unternehmen neue Kunden für ihre Produkte und Lösungen gewinnen. Hier stellen wir einige der beliebtesten Webinare der letzten Monate vor.

Elektor bietet umfassende Webinare für Elektronik-Innovatoren an, die ihre technischen Fähigkeiten erweitern, neue Produkte entdecken und komplexe technische Konzepte verstehen möchten. Durch Sponsoring oder die Teilnahme an unseren Webinaren haben Unternehmen die Möglichkeit, neue Geschäftsbeziehungen mit begeisterten Elektrotechnikern und Herstellern zu knüpfen, die sich für Themen wie eingebettete Systeme, das Internet der Dinge, eingebettete Programmierung, drahtlose Anwendungen, Prototyping sowie Test- und Messverfahren interessieren.

Als Beispiele hier einige unserer jüngsten Angebote:



youtube.com/live/DzeHxLZ0d8A

KiCad 8 Essentials (Editorial Webinar)

12. September 2024

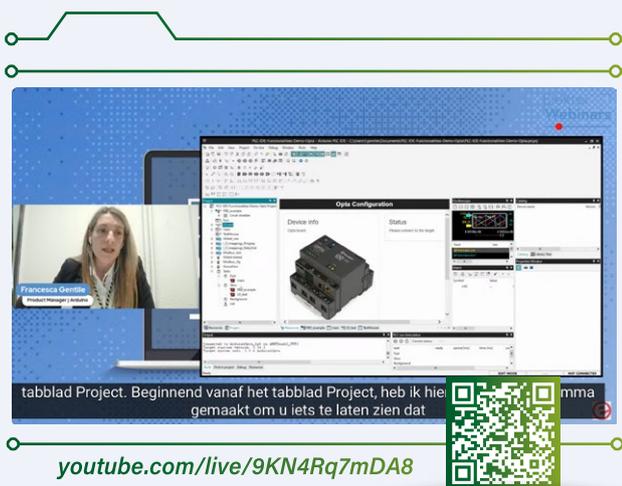
Ob Sie ein Hobbybastler oder ein professioneller Entwickler sind, KiCad kann Ihren Designprozess optimieren. Peter Dalmaris, erfolgreicher Autor und KiCad-Experte, der hinter der Buchreihe *KiCad Like a Pro* steht, war unser Gast bei diesem Webinar, in dem wir uns mit den neuesten Entwicklungen in KiCad 8 befassten. Das Webinar richtete sich sowohl an erfahrene Leiterplattenentwickler als auch an Neueinsteiger, die mehr über die Möglichkeiten dieses leistungsstarken Open-Source-Tools erfahren möchten. Es wurden folgende Themen behandelt: Änderungen von KiCad 7 zu KiCad 8, wichtige Verbesserungen in der Benutzeroberfläche, plattformübergreifende Kompatibilität und neue Funktionen, die die Effizienz des Arbeitsablaufs verbessern.

Erste Schritte mit der SPS-Familie Arduino Opta (Kundenwebinar)

2. Mai 2024

In dem Webinar „Erste Schritte mit der SPS-Familie Arduino Opta“ haben wir uns eingehend mit der Frage beschäftigt, wie die Arduino-Technologie mit der Präzision von speicherprogrammierbaren Steuerungen (SPS) zusammenwirkt. An der Veranstaltung nahm Francesca Gentile von Arduino teil, die wertvolle Einblicke in die Möglichkeiten von Arduino gab und ihr Fachwissen beisteuerte. Die Teilnehmer lernten sowohl die Grundlagen von SPS als auch fortgeschrittene Arduino-Integrationstechniken kennen. Das Webinar beinhaltete eine interaktive Fragerunde mit Francesca, die eine anregende Diskussion und direktes Lernen ermöglichte. Es war eine ausgezeichnete Gelegenheit für Bastler, Profis und Technikbegeisterte, ihre Fähigkeiten zu erweitern und in den Bereichen Elektronik und Automatisierung auf dem neuesten Stand zu bleiben. ◀

240515-02



Mehr zum Thema Elektor-Webinare

Weitere Informationen zu unserem Webinar-Angebot sowie Zugang zu früheren Webinaren finden Sie auf der Seite www.elektormagazine.com/webinars.

TOSHIBA

Innovative Solutions For a Sustainable Future

electronica 2024

November 12 – 15
Fair Munich

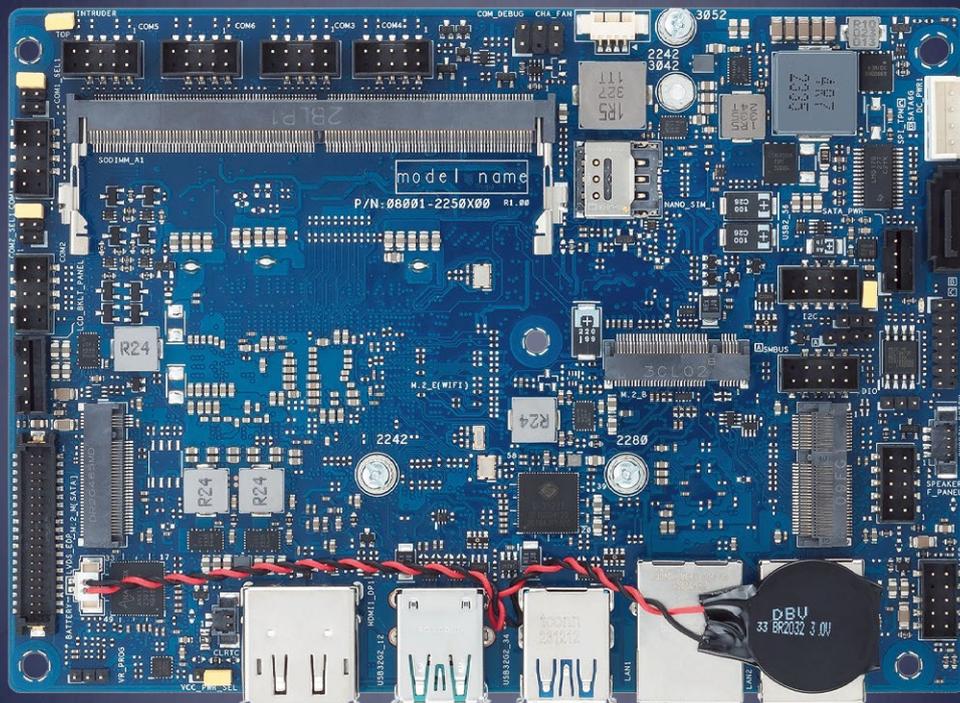


C3.119

ASUS IoT Amston Lake SBC

Mit **Intel® Deep Learning Boost** ermöglicht der SBC eine bis zu **6x schnellere KI-Verarbeitung**, ideal für komplexe Aufgaben wie hochentwickeltes maschinelles Lernen und Bildverarbeitung.

Der Asus IoT Amston Lake SBC basiert auf der **Intel® Atom™ x7000RE Serie** und verdoppelt die Anzahl der Kerne, **ohne den Energiebedarf zu erhöhen.**



Der SBC bietet bis zu **16 GB DDR5-RAM** mit **In-Band ECC**, was für maximale Leistung und **minimale Fehleranfälligkeit** bei Edge-Computing-Anwendungen sorgt.

Entwickelt für Temperaturen von **-20°C bis +70°C** und mit einem sehr weiten **Eingangsspannungsbereich** von **9-36V**, ist das Board ideal für raue Industriebedingungen.

FORTEC
INTEGRATED

Interesse geweckt?



KiCad 8

Neue und aktualisierte Funktionen

Von Peter Dalmaris (Australien)

KiCad, die Open-Source-Elektronik-CAD-Software, erfreut sich immer größerer Beliebtheit, auch bei professionellen Entwicklern. Und die Software wird ständig verbessert. Dieses Jahr wurde die KiCad-Version 8 veröffentlicht, die viele Verbesserungen gegenüber KiCad 7 bietet, insbesondere im Platinen-Editor und dem integrierten Simulator. Schauen wir uns einige dieser Aktualisierungen und Erweiterungen an!

Das KiCad-Team stellte Anfang 2024 KiCad 8 vor, fast genau ein Jahr nach KiCad 7. Nachdem das Projekt schon mit den Version 5 und Version 6 einen beeindruckenden Reifegrad erreicht hat, werden neue Hauptversionen von KiCad fast immer mit neuen Funktionen und Verbesserungen ausgeliefert, um die Produktivität zu steigern und die Lücke zur kommerziellen Konkurrenz zu schließen.

KiCad 8 ist da keine Ausnahme. Die neue Version [1] stellt den nächsten Schritt in der Entwicklung von KiCad dar und enthält mehrere Verbesserungen und Ergänzungen gegenüber KiCad 7. Wie bei KiCad 7 wird auch KiCad 8 Ihre älteren Projekte nicht zerstören, und es gibt keine neuen und radikal anderen Funktionen, wie damals das neue Dateiformat in KiCad 5. Sie brauchen keine Stunden oder gar Tage, um die in KiCad 8 neu aufgenommenen Funktionen zu erlernen. Sie könnten diesen Artikel eigentlich ignorieren (sollen es aber nicht :-)), KiCad 8 herunterladen und sofort

loslegen. Ihr von KiCad 7 gewohnter Arbeitsablauf wird einfach weiter funktionieren. Stattdessen gibt es in KiCad8 viele relativ kleine Verbesserungen. Die meisten dieser Verbesserungen betreffen die beiden Hauptanwendungen von KiCad, den Schaltplan- und den PCB-Editor, um deren individuelle Fähigkeiten und Integration zu verbessern. In diesem Artikel werde ich von einigen der wichtigsten Verbesserungen von KiCad 8 berichten, beginnend mit dem PCB-Editor.

Ziehen mehrerer Footprints

In KiCad 7 konnten Benutzer immer nur einen Footprint gleichzeitig ziehen. Das Ziehen mehrerer Footprints nach Abschluss der Verdrahtung, um ein Problem zu beheben oder eine Platine zu verbessern, war ein großer Zeitfresser, und ich habe mich immer davor gefürchtet, so etwas tun zu müssen. KiCad 8 ermöglicht es nun, mehrere Footprints auszuwählen und zusammen zu verschieben, ohne die

angehängten Leiterbahnen zu unterbrechen. Dadurch wird der Entwurfsprozess rationalisiert, insbesondere bei komplexen Platinen mit zahlreichen Bauteilen.

Ich will diese Funktion am Beispiel eines ESP32-Boards demonstrieren. Sie möchten nun gerne die Position der Footprints D1... D4 verschieben (**Bild 1**). Das Verfahren ist intuitiv. Beginnen Sie mit der Auswahl der Footprints, die Sie verschieben möchten, indem Sie bei gedrückter *Strg*- oder *Cmd*-Taste auf die Footprints klicken oder mit der Maus, nachdem Sie im *Selection Filter* die Checkbox *Footprints* aktiviert haben. Wenn Sie dann die Taste *D* gedrückt halten, können Sie den Ziehvorgang mit der Maus starten. Wenn Sie die Maus bewegen, werden die zugehörigen Footprints verschoben. Wenn Sie die ausgewählten Footprints verschieben, gibt der interaktive Router eine Rückmeldung, wenn eine Regelverletzung auftritt. Wenn das Verschieben der Footprints einen Kurzschluss verursacht, hebt der Router das Problem in hellem Grün hervor. Wenn im Beispiel D6 einen Kurzschluss verursacht, weil eine Leiterbahn das Diodenpad berührt, zeigt der Router dies sofort an, so dass schnelle Anpassungen möglich sind. In **Bild 2** habe ich die Footprints etwas nach links gezogen, wodurch ein Kurzschluss verursacht wurde. Der interaktive Router hebt diese Verletzung hervor, indem er das betroffene Segment grün färbt.

Wenn Sie mit der neuen Position der Komponenten zufrieden sind, klicken Sie

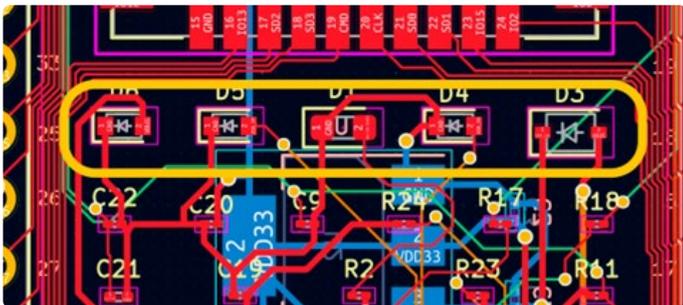


Bild 1. Ich werde diese Footprints gleichzeitig ziehen.

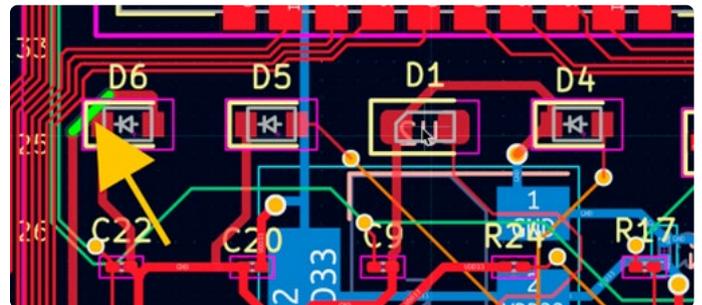


Bild 2. Wenn Sie mehrere Footprints ziehen, werden die Leiterbahnen neu gezeichnet, und der interaktive Router zeigt Regelverletzungen in Echtzeit an.

einfach, um sie an ihrem Platz abzulegen. Diese Funktion macht das Anordnen von Komponenten im Platinenlayout intuitiver und weniger zeitaufwändig. Die Fähigkeit von KiCad 8, mehrere Footprints gleichzeitig zu ziehen, erhöht so die Produktivität und macht kleinere (oder größere) Anpassungen mühelos möglich.

Eigenschaften von Teardrops

Teardrops sind nicht neu, aber in KiCad 8 haben Sie mehr Möglichkeiten, sie hinzuzufügen. Teardrops verstärken die Verbindung eines Pads zu der Leiterbahn und verringern so das Risiko, dass sich die Leiterbahnen aufgrund mechanischer oder wiederholter thermischer Belastung ablösen und brechen. Die neue Funktion von KiCad 8 fügt eine sich verjüngende oder tropfenförmige Erweiterung an der Verbindung von Pads, Durchkontaktierungen und Leiterbahnen hinzu, wodurch die Haltbarkeit und Zuverlässigkeit der Platine verbessert wird und diese gleichzeitig professioneller aussehen lässt! Lassen Sie uns die wichtigsten Vorteile von Teardrops in Ihrem Platinenlayout sowie das Verfahren untersuchen, Teardrops mit KiCad 8 hinzuzufügen. Einer der wichtigsten Vorteile von Teardrops ist die verbesserte Haltbarkeit und Zuverlässigkeit. Sie helfen bei der Bewältigung von mechanischen Wärmespannungen, indem sie der Kupferschicht mehr Fläche bieten, um sich mit dem Platinensubstrat zu verbinden, so dass es weniger wahrscheinlich ist, dass sich die Pads beim Löten ablösen. Dies kann passieren, da sich Kupfer und Epoxidharz des Substrats bei Hitzeeinwirkung unterschiedlich stark ausdehnen und zusammenziehen. Teardrops tragen auch zu einer besseren Herstellbarkeit bei. Sie schaffen breitere und robustere Verbindungen und verrin-

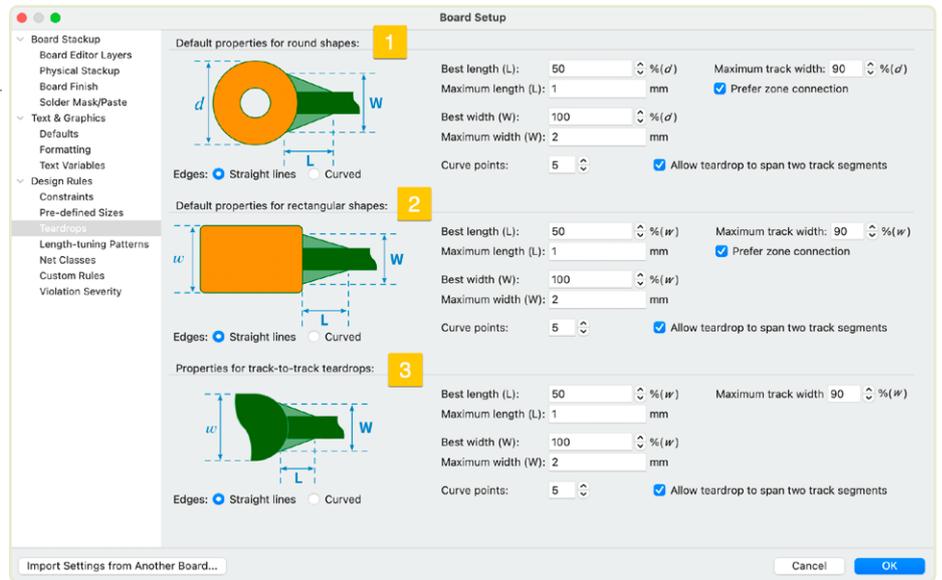


Bild 3. Die Teardrops-Einrichtungsoptionen im #Board Setup#.

gern damit die Wahrscheinlichkeit von Defekten wie Unterbrechungen, die durch winzige Unvollkommenheiten während des Ätzvorgangs verursacht werden, insbesondere bei sehr feinen Leiterbahnen und Pads. Außerdem erhöhen sie die Reparierbarkeit Ihrer Platinen. Da sie mehr Kupfer an den Verbindungspunkten hinzufügen, erleichtern sie das Löten von Bauteilen an Pads oder Vias. Schließlich ist die Signalintegrität ein weiterer Bereich, in dem Teardrops vorteilhaft sind, insbesondere bei Hochfrequenzschaltungen. Scharfe Ecken in Leiterbahnen können Signalreflexionen verursachen; Teardrops dagegen bieten glattere Übergänge, die zu einer sauberen Signalübertragung beitragen. Andererseits sind diese Hochfrequenzentwürfe oft auf Leiterbahnen mit sorgfältig berechneter Impedanz angewiesen, und Teardrops könnten diese Berechnungen unbeabsichtigt beeinträchtigen oder unerwünschte Effekte erzeugen. Daher muss der Einfluss von Teardrops bei manchen Entwürfen kritisch betrachtet werden. In KiCad können Sie die Eigenschaften für Teardrops auf dem *Teardrops*-Tab in der

Liste *Design Rules* im *Board Setup* einstellen. Die Eigenschaften sind in **Bild 3** dargestellt. Sie können die gewünschten Einstellungen für Teardrops, die an kreisförmigen und rechteckigen Pads angebracht sind und die Verbindungen zu den Leiterbahnen als Standard festlegen. Es ist möglich, Teardrops zu neuen und zu bestehenden Entwürfen hinzuzufügen. Lassen Sie uns Teardrops für eines der Projekte (den MCU-Datalogger) aus dem zweiten Band (4. Auflage) von *KiCad Like a Pro: Projects and Recipes* [2] setzen. Derzeit hat dieses Projekt einfache Verbindungen von den Leiterbahnen zu den Pads, doch ich will mit den kreisförmigen Pad-Teardrop-Verbindungen aus Bild 3 arbeiten. In **Bild 4** sehen Sie die ursprünglichen Pads auf der linken und den gleichen Entwurf nach Anwendung von Teardrops auf der rechten Seite. Obwohl Teardrops mehrere Vorteile beim Platinenentwurf bieten, gibt es doch Situationen, in denen sie nicht die beste Wahl sind. Bei platzbeschränkten Entwürfen, insbesondere bei Platinen mit hoher Dichte, zählt jeder Millimeter. Der zusätzliche Platz, den Teardrops beanspruchen, kann

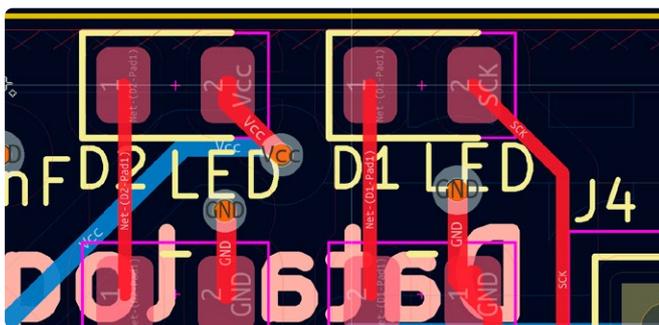


Bild 4. Pads ohne Teardrops (links) und mit zusätzlichen Teardrops (rechts).



die Möglichkeit einschränken, Bauteile zu platzieren oder Leiterbahnen effizient zu verlegen, was Teardrops in einigen Fällen unpraktisch macht.

Rastergröße überschreiben

Diese Funktion ist neu in der achten Version von KiCad. Mit Rasterüberschreibungen schaltet KiCad automatisch auf eine bestimmte Rastergröße um, wenn Operationen wie das Verschieben oder Platzieren von Objekten im Schaltplaneditor durchgeführt werden. Der Knopf *Grid Overrides* in der linken Symbolleiste ermöglicht es Ihnen, diese Funktion zu aktivieren oder zu deaktivieren.

Das Tolle an dieser Funktion ist, dass KiCad für Vorgänge wie das Platzieren von Text zwischen verschiedenen Rastern umschalten kann, während Symbole und Wires auf dem 50-mil-Raster verbleiben, um dem Pinabstand der Symbolbibliothek zu entsprechen. Dieses Maß an Flexibilität bei der Anwendung von Rastern ist entscheidend, um Präzision und Konsistenz in Schaltplänen zu gewährleisten. Es bedeutet, dass Sie die gewünschten Rastergrößen für verbundene Elemente, Drähte, Text und Grafiken festlegen können (**Bild 5**) und KiCad automatisch auf das entsprechende Raster umschalten kann, wenn eines dieser Elemente ausgewählt wird (so dass Sie dies nicht manuell tun müssen).

Ich kann gar nicht genug betonen, wie viel Zeit diese Funktion spart. Sie ermöglicht mir den nahtlosen Wechsel zwischen den Rastern, je nach den spezifischen Anforderungen meines Entwurfs, ohne dass ich das Raster in den *Preferences* jedes Mal manuell ändern muss. Sobald Sie Ihre bevorzugten Einstellungen in den Voreinstellungen festgelegt haben, können Sie einfach mit Ihrer Arbeit fortfahren und müssen sich nur noch selten Gedanken über die verwendete Rastergröße machen. Durch diese Automatisierung passt sich das Raster an das von Ihnen verwendete Werkzeug an, sei es beim Verdrahten, Zeichnen oder Schreiben von Text, und wählt die entsprechende Rastergröße.

Synchronisation von Netzklassenzuweisungen

In KiCad 8 wurde die Integration von Schaltplan und Platinenlayout durch die automatische Reflexion von Netzklassenzuweisungen (net class assignments) verbessert. Alle Netzklassenzuweisungen im Schaltplan

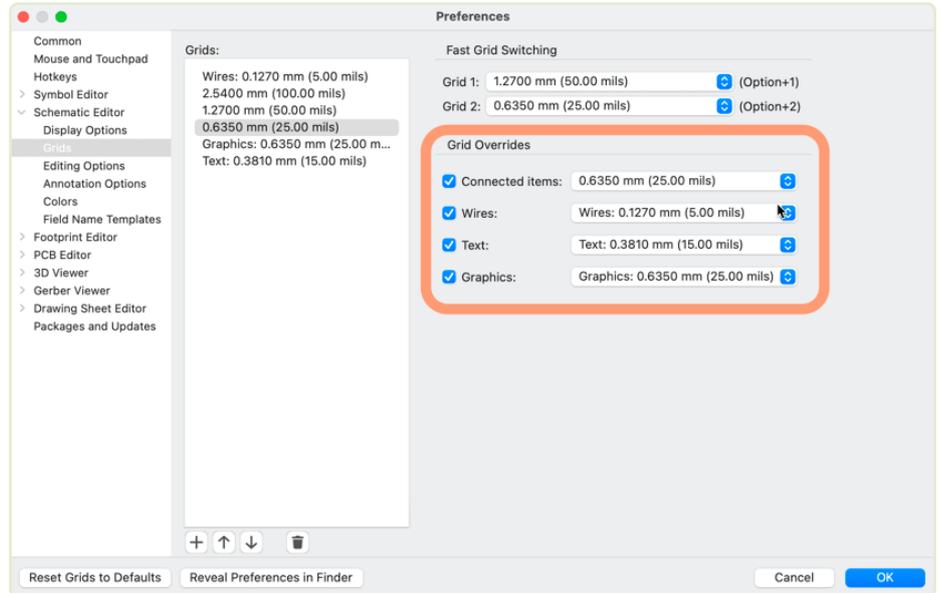


Bild 5. Das Einstellungsfenster Grid Overrides in den Einstellungen des Schaltplaneditors.

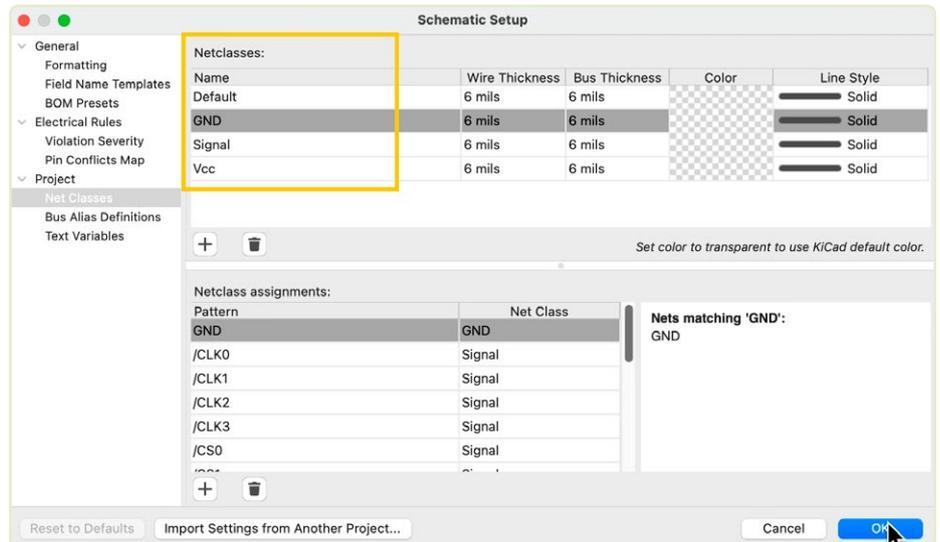


Bild 6. Netzklassen und ihre Netzzuweisungen sind jetzt im Schaltplan- und im PCB-Editor integriert. Hier sehen Sie die vorhandenen Netzklassen im Schaltplaneditor.

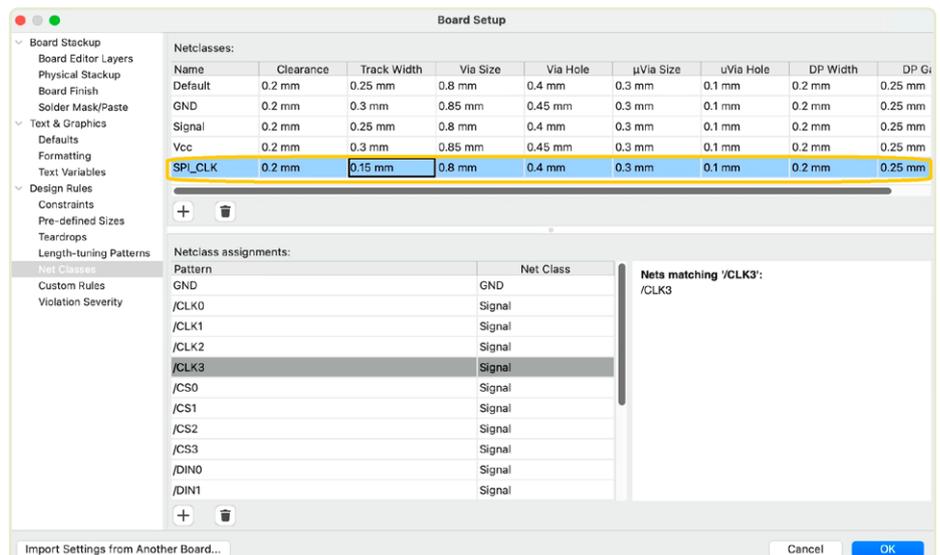


Bild 7. Erzeugen einer neuen Netzklasse im PCB-Editor.

werden nun nahtlos in das Platinenlayout übernommen und sind in der Umgebung des PCB-Editors sichtbar. Der PCB-Editor spiegelt diese Änderungen automatisch wider, wenn Sie Netzklassen im Schaltplan erstellen oder ändern. Wenn Sie zum Beispiel eine Netzklasse für Hochgeschwindigkeitssignale im Schaltplan definiert haben, werden diese Signale gruppiert und die entsprechenden Designregeln im Platinenlayout berücksichtigt.

Diese neue Funktion vereinfacht den Designprozess und sorgt dafür, dass die Netzklassen im Schaltplan und im Layout konsistent sind, wodurch die Gefahr von Fehlern und Fehlanpassungen verringert wird. Außerdem spart es Zeit, da die Netzklassenzuweisungen im Schaltplan und im Layout nicht mehr manuell wiederholt werden müssen.

Betrachten wir dazu ein praktisches Beispiel, wiederum aus der vierten Auflage des Buches *KiCad Like A Pro*. In einem der Projekte sind die Netzklassen im Schaltplaneditor wie in **Bild 6** eingestellt. Als ich die Arbeit im PCB-Editor fortsetzte, beschloss ich, eine neue Netzklasse für den SPI-Takt hinzuzufügen. Noch im PCB-Editor erstellte ich diese Netzklasse auf dem Tab *Board Setup Net Classes* wie in **Bild 7**. In früheren KiCad-Versionen war die neue Netzklasse *SPI_CLK* dann im Schaltplan-Editor nicht verfügbar, weil Schaltplan

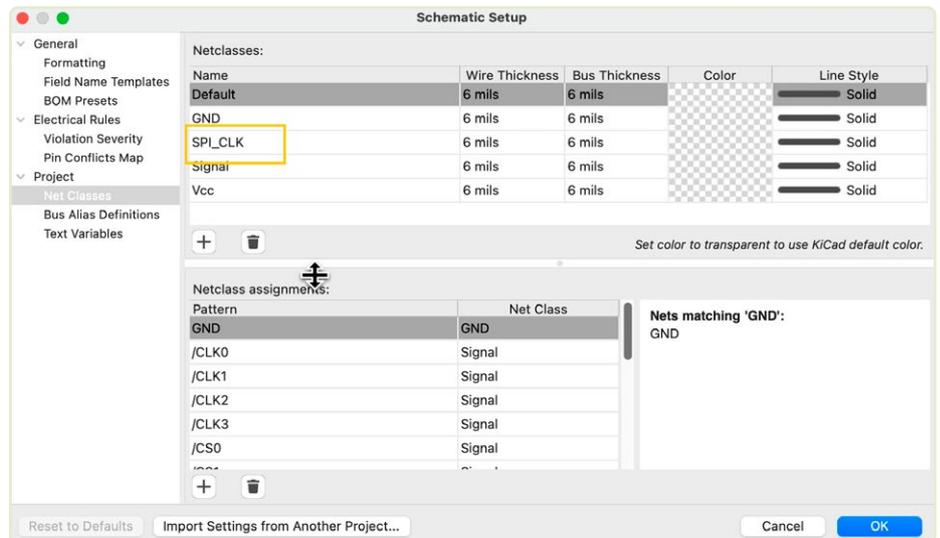


Bild 8. Die neue Netzklasse wurde im Schaltplaneditor synchronisiert.

und Platine nicht synchronisiert waren. In KiCad 8 jedoch synchronisiert die verbesserte Integration die Netzklassen automatisch. Um dies zu verifizieren, können Sie sehen, dass die neue Netzklasse im Schaltplaneditor vorhanden ist (**Bild 8**).

Die automatische Netzklassenzuweisung in KiCad 8 verbessert den Entwurfsprozess erheblich. Diese neue Funktion reduziert den manuellen Aufwand und das Potenzial für Fehler, genau wie Sie es bei der Funktion zum Überschreiben der Rastergröße gesehen haben. Wir

können uns deshalb mehr auf die Optimierung der Entwürfe konzentrieren als auf Verwaltungsaufgaben.

Der Simulator

Eine der herausragenden Aktualisierungen in KiCad 8 ist die Verbesserung der eingebetteten SPICE-Simulationswerkzeuge, die von ngspice [3] unterstützt werden. Die Zusammenarbeit zwischen den Entwicklern von KiCad und ngspice hat zur Beseitigung von Fehlern und zu mehreren neuen Funktionen geführt, die die Schaltungssi-



electronica

SEMICON EUROPA MESSE MÜNCHEN

12.–15. November 2024

Leading the way to the future of AI

powered by electronica
Weltleitmesse und Konferenz der Elektronik

Jetzt Ticket sichern!
electronica.de/ticket

mulation für die Benutzer leistungsfähiger und praktischer machen.

Ngspice, ein Mixed-Level/Mixed-Signal-Simulator für elektronische Schaltungen, wird häufig für die Simulation analoger und digitaler Schaltungen verwendet. Er liefert detaillierte Analysen der Funktionalität einer Schaltung, was für die Verifizierung und Optimierung eines Entwurfs von entscheidender Bedeutung ist. Durch die Integration von ngspice in KiCad können User Schaltpläne mit SPICE-Direktiven versehen, Schaltungen simulieren und die Ergebnisse analysieren, ohne die KiCad-Umgebung zu verlassen. Diese nahtlose Integration rationalisiert den Entwicklungsprozess und verbessert die Effizienz.

KiCad 8 führt eine überarbeitete Benutzeroberfläche für den Simulator ein. Eine der interessantesten neuen Funktionen ist die Möglichkeit, Plots von mehreren Signalen gleichzeitig zu verwalten. Darüber hinaus unterstützt der Simulator jetzt nicht nur die Darstellung von Spannung und Strom, sondern auch von Leistungsdaten, wodurch ein vollständiges Bild der Stromaufnahme einer Schaltung entsteht. Diese Neuerungen machen den Simulator zu einem noch leistungsfähigeren Schaltungsentwurfs- und -analysewerkzeug und verbessern die Benutzerfreundlichkeit erheblich. **Bild 9** zeigt das Ergebnis einer Transienten-Simulation (TRAN). Die Darstellung zeigt mehrere Werte, einschließlich Spannung, Strom und Leistung über die Zeit.

KiCad 8 bietet vier neue Simulationstypen: Pol-Nullstellen, Rauschen, S-Parameter und FFT. Diese Erweiterung ermöglicht eine umfassendere und genauere Analyse von elektronischen Schaltungen. User können Signale definieren und Diagramme für Ausdrücke wie $V(/in)$ und $V(/out)$ hinzufügen, um eine breitere Palette von Simulationsergebnissen direkt in KiCad anzuzeigen.

Außerdem können die Ergebnisse der Arbeitspunkt-Simulation (OP) direkt auf dem Schaltplan sichtbar gemacht werden. Mit dieser Funktion gewinnen Anwender tiefere Einblicke in das Verhalten und die Leistung ihrer Schaltungen, was die Optimierung und Verfeinerung des Designs erleichtert. **Bild 10** zeigt die Ergebnisse der Arbeitspunkt-Simulation, die direkt im Schaltplaneditor in Form von roten Labels angezeigt werden. Ich fand diese

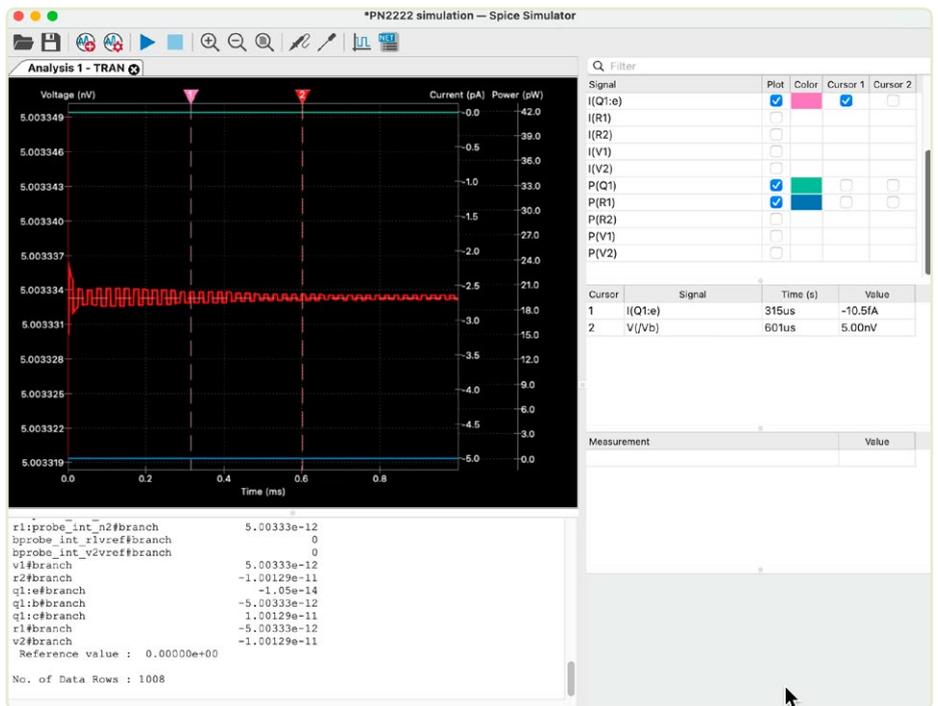


Bild 9. Ein Diagramm mit Transienten-Simulation im aktualisierten KiCad-Schaltungssimulator.

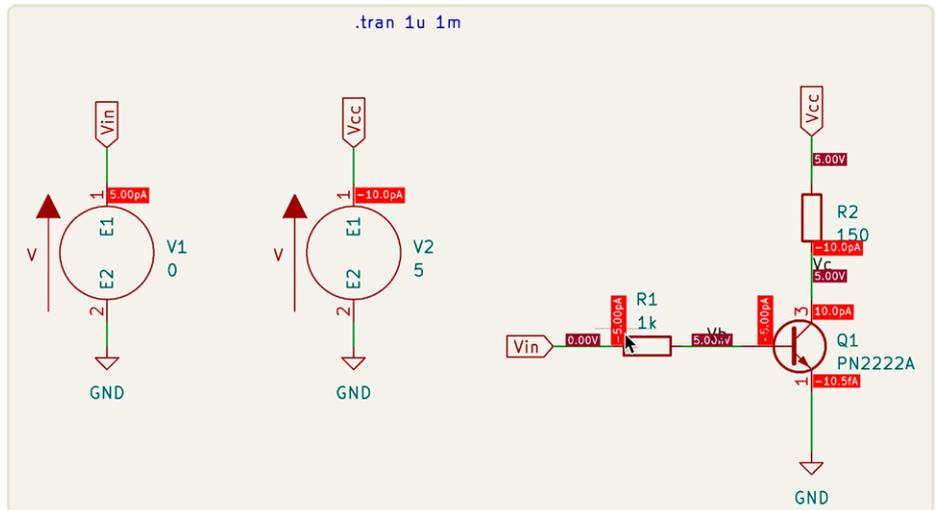


Bild 10. Eine neue Funktion in KiCad 8 ist die Übernahme der Simulator-Labels in den Schaltplaneditor.

verbesserten Simulationsfunktionen und ihre Integration zwischen dem Simulator und dem Editor sehr nützlich. Sie spiegeln den Anspruch von KiCad wider, seine Fähigkeiten kontinuierlich zu verbessern und weiterzuentwickeln, um die sich gesteigerten Bedürfnisse seiner Anwender zu erfüllen.

Weitere Verbesserungen

Es gibt noch viele weitere kleine, aber wichtige Verbesserungen in KiCad 8, die ich zum Abschluss dieses Artikels zumindest kurz anreißen möchte:

- **Verbesserte Import- und Exportfunktionen:** KiCad 8 führt verbesserte Datenimport- und Exportwerkzeuge ein. Benutzer können nun Projekte aus verschiedenen Tools, einschließlich Solidworks und LTSpice, importieren und in Formaten wie IPC-2581 und STEP mit Kupfer-Shapes exportieren, um die Kompatibilität zu anderen Tools zu verbessern.
- **Aktualisierter Schaltplan- und Symboleditor:** Der Schaltplaneditor verfügt jetzt über neue Bedienfelder für

Properties, Suche und Netznavigation, die die Navigation und die Effizienz der Bearbeitung verbessern. Der neuste BOM-Exporter ermöglicht eine In-App-Anpassung, während editierbare Leistungssymbole und Pin-Helfer den Designprozess rationalisieren.

- > **Verbesserungen des 3D-Viewers:** Der 3D-Viewer verfügt jetzt über eine aktualisierte Benutzeroberfläche mit einem Erscheinungsbild-Panel, Sichtbarkeitsvorgaben und Ansichtsfenstern, die die Prüfung und Bearbeitung von 3D-Modellen erleichtern.
- > **Erweiterungen der Befehlszeilenschnittstelle (CLI):** Die erweiterte Befehlszeilenschnittstelle in KiCad 8 unterstützt neue Funktionen wie DRC/ERC-Berichte in JSON, Stücklistenenerstellung und den Export von glTF/VRML-Modellen und bietet fortgeschrittenen Benutzern mehr Kontrolle und Flexibilität.
- > **Interaktive Längenabstimmung und benutzerdefinierte Form von Pads:** Die interaktiven Werkzeuge für die Längenabstimmung unterstützen jetzt veränderbare Muster, und die Benutzer können Thermal-Spoke-Pads (Wärmefallen) selber definieren, was für bestimmte Anwendungsfälle sehr nützlich sein kann.

Schon KiCad 7 ist ein ausgezeichnetes Werkzeug, aber diese Verbesserungen machen KiCad 8 zu einem noch robusteren und effizienteren Werkzeug für die Elektronikentwicklung für Anfänger und fortgeschrittene Benutzer! ◀

RG - 240278-02

Anmerkung der Redaktion: Dieser Artikel wurde in Elektor November/Dezember 2024 veröffentlicht.

Sie haben technische Fragen oder Kommentare?

Dann wenden Sie sich bitte an die Redaktion unter redaktion@elektor.de.



Über den Autor

Dr. Peter Dalmaris ist Pädagoge, Elektronikingenieur, Elektronikbastler und Maker. Er erstellt Online-Videokurse über DIY-Elektronik und ist Autor mehrerer technischer Bücher, darunter die Reihen *KiCad Like a Pro*, *KiCad 6 Fundamentals and Projects* und deren aktualisierte Versionen. Sein Unternehmen Tech Explorations bietet eine Vielzahl von Bildungskursen und Bootcamps für Elektronikbastler, MINT-Studenten und -Lehrer an.

WEBLINKS

- [1] Download KiCad 8: <https://www.kicad.org/download/>
- [2] Peter Dalmaris, *KiCad Like a Pro - 4. Auflage* (Elektor, 2024)
Band 1: www.elektor.de/20928
Band 2: www.elektor.de/20930
- [3] ngspice: <https://ngspice.sourceforge.io/>



MHO/DHO5000 Serie

Hochauflösendes Digitaloszilloskop



4/6/8

Analoge Kanäle

1 GHz

Analoge Bandbreite

4 GSa/s

Echtzeit-Abtastrate

12-bit

Vertikale Auflösung

16 Digitalkanäle

für MHO-Modelle

500 Mpts

Speichertiefe (Standard)

50 MHz @ 2CH

Eingebauter Signalgenerator (optional)

DG5000 Pro-Serie

Funktions-/Arbiträr-signal-generator



500 MHz

Analoge Bandbreite

512

Fortgeschrittene Sequenz

170 MHz

Maximale Rechteckwellenfrequenz

2,5 GSa/s

Maximale Abtastrate

16-bit

Vertikale Auflösung

128 Mpts/CH

Maximale Arbiträrwellenlänge

Email: info-europe@rigol.com
Telefon: +49 (0)8105-27292-11
RIGOL Website: www.rigol.com



Urheberrecht ©RIGOL TECHNOLOGIES CO., LTD. Alle Rechte vorbehalten.

Induktivitäten

Spulen und Ferrite anwendungsorientiert selektieren

Von Dr. Heinz Zenkner (Würth Elektronik eiSos)

Sie wollen die passende Induktivität für Ihre Anwendung finden? Dieser Artikel zeigt exemplarisch die Unterschiede von drei induktiven SMT-Bauelementen: Keramik-Induktivität, SMT-Ferrit und drahtbewickelte Ferrit-Induktivität. Aufgrund ihrer elektrischen Eigenschaften sind sie für unterschiedliche Anwendungen prädestiniert, und ihre physikalisch bedingten parasitären Eigenschaften lassen sich schaltungstechnisch geschickt ausnutzen.

Induktive Bauelemente existieren in einer Vielzahl von Ausführungen. Insbesondere SMT-Versionen erfreuen sich großer Beliebtheit, da sie sich einfach auf Platinen bestücken lassen. Allerdings ist zu beachten, dass Induktivität nicht gleich Induktivität ist. Dies wird anhand von drei Vertretern von SMT-Induktivitäten in diesem Artikel verdeutlicht: Keramik-Induktivität, SMT-Ferrit und drahtbewickelte Ferrit-Induktivität. **Bild 1** zeigt die Impedanzkurven der drei Induktivitäts-Typen im Vergleich:

- SMT-Ferrit: WE-CBF [1]:
- SMT-Induktivität mit Keramikern („Luftspule“): WE-KI [2]:
- Drahtwindungen auf Ferritkern („drahtbewickelter Ferrit“): WE-RFI [3]

Die Komponenten wurden so gewählt, dass sie im Bereich unter ihren Impedanzmaxima einen ähnlichen Impedanzverlauf aufweisen. Die Unterschiede der Impedanzen zeigen sich im Bereich der Maxima. Der SMT-Ferrit hat sein Maximum bei der niedrigsten Frequenz, der drahtbewickelte Ferrit bei der höchsten. Die Keramikinduktivität hat im Bereich des Impedanzmaximums den steilsten Anstieg und Abfall und somit die höchste Güte Q.

Vergleich der elektrischen Parameter

In **Bild 2** sind die elektrischen Parameter der Induktivitäten gegenübergestellt. Bei Induktivitäten ohne Ferritkern (WE-KI), wird in Datenblättern die Induktivität als Wert angegeben, hier 560 nH. Der Induktivitätswert ist zwar auf eine Messfrequenz bezogen, jedoch ist der Wert unterhalb der Resonanzfrequenz über der Frequenz nahezu konstant (siehe Datenblatt).

Genau betrachtet ist der Blindwiderstand der Induktivität nicht ganz linear ansteigend mit der Frequenz. Es gibt zwei Effekte, die die Impedanz der Luftspule erhöhen: die Erhöhung des Blindwiderstandes aufgrund der lenzschen Regel und die Erhöhung des Widerstandes durch den Skin-Effekt.

In der rein induktiven Schaltung ist die Spule direkt an die Versorgungswechselspannung angeschlossen. Da die Spannung mit der Frequenz ansteigt und abfällt, steigt und fällt auch die

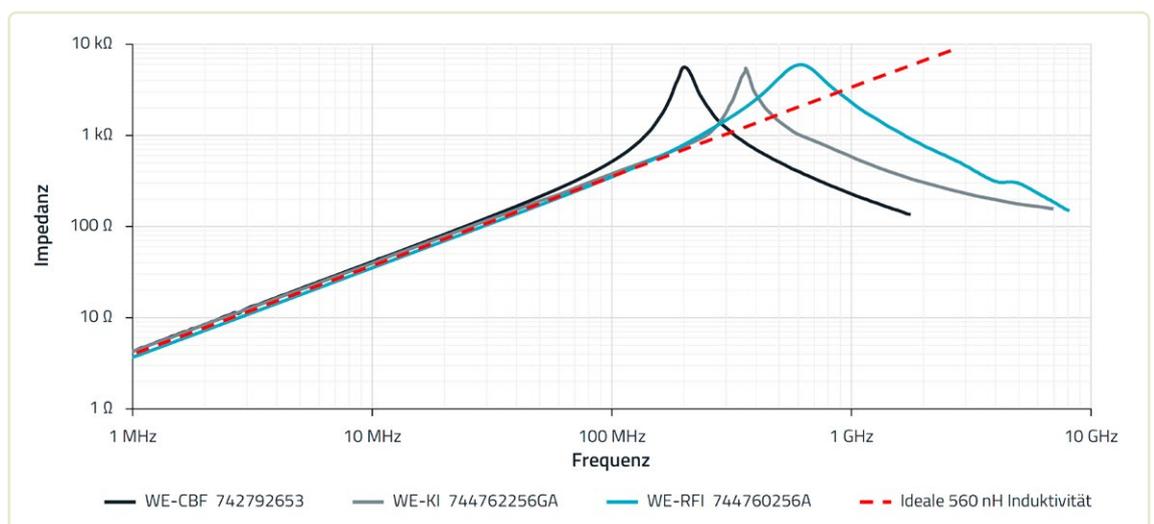
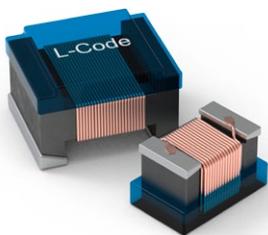
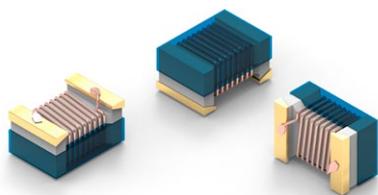


Bild 1. Vergleich der Impedanzen von SMT-Ferrit, Keramik-/Luftinduktivität und drahtbewickelter Ferrit.



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.

Bild 2. Vergleich der Parameter von SMT-Ferrit, Keramik-/Luftinduktivität und drahtbewickelter Ferrit.

selbstinduzierte gegen elektromagnetische Kraft (EMK) in der Spule, in Abhängigkeit von dieser Änderung.

Es ist bekannt, dass diese selbstinduzierte Gegen-EMK direkt proportional zur Änderungsrate des Stroms durch die Spule ist (lensche Regel) und deshalb mit der Frequenz ansteigt. Somit steigt auch der Blindwiderstand der Induktivität mit der Frequenz; dieser Verlauf ist proportional.

Eine weitere Erhöhung der Impedanz geschieht durch den Skin-Effekt. Ein Leiter nutzt bei niedrigen Frequenzen seine gesamte Querschnittsfläche als Transportmedium für Ladungsträger. Wenn die Frequenz erhöht wird, stellt ein erhöhtes Magnetfeld in Richtung der Mitte des Leiters eine Impedanz für die Ladungsträger dar, wodurch die Stromdichte in der Mitte des Leiters abnimmt und die Stromdichte am Rand des Leiters zunimmt. Diese erhöhte Stromdichte in der Nähe des Randes des Leiters ist als Skin-Effekt bekannt. Der Effekt steigt mit der Frequenz und tritt auch bei allen anderen Induktivitäten (mit Ferritkern) auf.

Die Resonanzfrequenz der Induktivität ohne Ferritkern entsteht primär durch die parasitäre Kapazität zwischen den einzelnen Windungen. Wann immer zwei Leiter in unmittelbarer Nähe angeordnet, aber durch ein Dielektrikum getrennt sind, und eine Spannungsdifferenz zwischen beiden existiert, bildet sich ein Kondensator.

Die Kette dieser Windungskapazitäten ist parallel zu der Wicklungsinduktivität geschaltet und bildet so einen Parallelresonanzkreis. Zusätzlich ergibt sich eine parasitäre Kapazität zwischen den Anschlüssen (Lötpads), die parallel zur Windungskapazität liegt.

Somit erhält man insgesamt als Ersatzschaltung eine parasitäre, der Wicklung parallel liegende Gesamtkapazität. Die äquivalente Ersatzschaltung ist in **Bild 3** links dargestellt.

Bei Induktivitäten mit Ferritkern (WE-RFI) und bei SMT-Ferriten (WE-CBF) ist im Datenblatt nicht ein Induktivitätswert, sondern eine Impedanz bei einer Messfrequenz angegeben. Es zeigt sich auch, dass der SMT-Ferrit die höchste Toleranz hat, die Induktivität ohne Ferrit hat die geringste Toleranz.

Da die Induktivität WE-KI keinen Ferritkern hat, benötigt sie für die gleiche Impedanz mehr Drahtwindungen als die Komponenten mit Ferrit, deshalb hat die WE-KI auch den größten Drahtwiderstand R_{DC} . Sowohl bei der WE-KI als auch bei der WE-RFI wird ein Q-Faktor, das heißt ein Gütefaktor angegeben, bei der WE-CBF hingegen nicht. Der Q-Faktor (Q) ist ein Maß für die dissipative Eigenschaft einer Induktivität. Induktivitäten mit hohem Q-Faktor

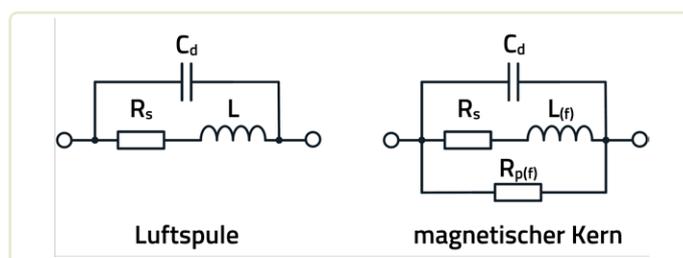
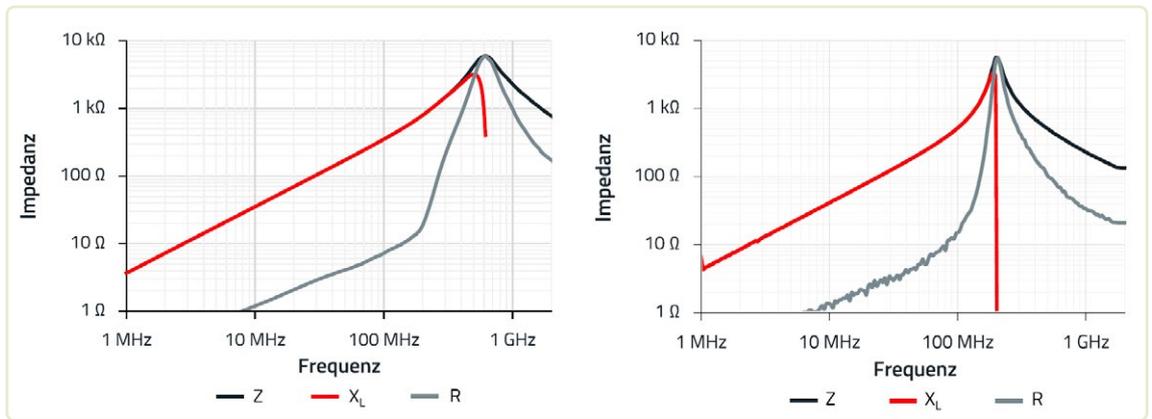


Bild 3. Ersatzschaltung einer Induktivität ohne magnetischem (links) und mit magnetischem Kern (rechts).

Bild 4. Typische Impedanzkurven der Induktivität WE-RFI 744760256A [4] (links) und des SMT-Ferrits WE-CBF 742792653 [5] (rechts).



haben geringe Verluste und eine schmalbandigere Impedanzkurve. Drosseln mit niedrigem Q-Faktor haben hingegen höhere Verluste und eine breitbandigere Impedanzkurve. Die Größe der maximalen Impedanz der Induktivität hängt mit dem Gütefaktor Q zusammen. Verlustarme Induktivitäten mit hohem Q-Faktor haben ein sehr hohes Impedanzmaximum, während eine verlustbehaftete Induktivität ein niedrigeres Impedanzmaximum aufweist. Durch Änderung der Art und Weise, wie eine Spule gewickelt ist, oder der verwendeten Kernmaterialien können das Impedanzmaximum und der Frequenzbereich des Impedanzmaximums ausgerichtet werden. Was hat es mit dem Impedanzmaximum auf sich?

Magnetische Kernwerkstoffe

Bild 4 zeigt die Impedanzkurven über der Frequenz der Induktivität WE-RFI und vom SMT-Ferrit WE-CBF. Beide Bauelemente haben Ferritmaterialien als Kernmaterial. Die Diagramme geben jeweils drei verschiedene Kurven an: R – als resistiver (ohmscher) Widerstand, X_L – als Blindwiderstand (induktiv) und Z – als Betrag der Impedanz des Bauelements. Um Induktivitäten mit Ferritmaterial erfolgreich einsetzen zu können, ist das Verständnis dieser Diagramme wichtig.

In vielen Hochfrequenzanwendungen, in denen große Induktivitätswerte auf kleinem Raum benötigt werden, können Induktivitäten mit „Luftkern“ aufgrund ihrer Größe nicht verwendet werden. Die Bauform der Induktivität wird kleiner, wenn der Luftkern durch ein Kernmaterial mit höherer magnetischer Permeabilität ($\mu_r > 1$) ersetzt wird.

Bei gleichbleibender Größe wird der Induktivitätswert trotz verringerter Anzahl an Windungen beibehalten.

Dadurch lassen sich mehrere Vorteile realisieren.

- Geringere Größe - aufgrund der geringeren Anzahl von Windungen, die für eine bestimmte Induktivität erforderlich sind.
- Erhöhte Güte - weniger Windungen bedeuten weniger Drahtwiderstand.
- Beeinflussung der Impedanz der Induktivität über der Frequenz – durch gezielte Auswahl/Mischung des Kernmaterials.

Die Verwendung von Magnetkernen bringt jedoch einige große Probleme mit sich, und es muss darauf geachtet werden, dass das gewählte Kernmaterial das richtige für die jeweilige Aufgabe ist; einige dieser Probleme sind:

- Jedes Kernmaterial ist ab einem spezifischen Frequenzbereich stark verlustbehaftet. So kann das Hinzufügen eines Magnet-

kerns zu einer Luftspule je nach verwendetem Material und der Betriebsfrequenz die Güte der Induktivität verringern.

- Die Permeabilität aller Magnetkerne ändert sich mit der Frequenz und sinkt in der Regel auf einen sehr kleinen Wert am oberen Ende ihres Betriebsbereichs. Sie nähert sich schließlich der Permeabilität von Luft ($\mu_r = 1$) und wird für den Stromkreis „unsichtbar“.
- Je höher die Permeabilität des Kerns ist, desto empfindlicher ist er gegenüber Temperaturschwankungen. Daher kann die Induktivität der Spule über weite Temperaturbereiche erheblich schwanken.
- Die Permeabilität des Magnetkerns ändert sich mit dem angelegten Signalpegel. Ein zu großer Strom durch die Induktivität und eine damit zu hohe magnetische Flussdichte durch den Kern führt zur Sättigung des Kerns.

Diese Probleme können überwunden werden, wenn bei der Entwicklung darauf geachtet wird, dass die Induktivitäten entsprechend ihrer Verwendung richtig ausgewählt werden. Dazu benötigt man die Impedanzdiagramme mit den drei verschiedenen Impedanzkurven R, X_L und Z. Der Verlauf der Kurven über der Frequenz hängt stark von den magnetischen Eigenschaften des Kernmaterials ab.

Die Ersatzschaltung einer Induktivität ohne magnetischen Kern ist in **Bild 3** oben dargestellt. Die Güte Q dieser Induktivität mit „Luftkern“ ergibt sich nach **Gleichung 1**:

$$Q = \frac{X_L}{R_S}$$

wobei für X_L gilt (**Gleichung 2**):

$$X_L = \omega \cdot L$$

mit R_S = der Widerstand der Wicklungen.

Wenn man der Induktivität einen Magnetkern hinzufügt, sieht die Ersatzschaltung wie in **Bild 3** unten aus. Es wurde der Widerstand $R_p(f)$ hinzugefügt, um die Verluste, die im Kern selbst auftreten, darzustellen. Diese frequenzabhängigen Verluste treten in Form von magnetischer Hysterese auf. Bei der Hysterese handelt es sich um die Verlustleistung im Kern, die aufgrund der Wirbelströme und der Neuausrichtung der magnetischen Teilchen im Material bei Änderungen der Magnetisierung auftritt. Wirbelströme fließen im Kern aufgrund der darin induzierten Ströme. Zusätzlich wurde auch der Induktivität L eine Frequenzabhängigkeit $L(f)$ zugewiesen, da, wie schon oben erwähnt, die magnetische Permeabilität des

Materials nichtlinear über der Frequenz f ist. Somit ist die Güte einer Induktivität mit Ferritkern ein variabler Parameter, der von dem durch die Induktivität fließenden Strom und dessen Frequenz abhängt und dementsprechend individuell ermittelt werden muss. Ferrit ist ein Material, das hauptsächlich Eisen enthält. Es wird aus einer Mischung von Eisenoxid und anderen Spurenmetallen hergestellt. Da das Material eine geringe elektrische Leitfähigkeit hat, hält es Wirbelströme und damit die Wirbelstromverluste gering. Eine besondere Eigenschaft dieser Materialien ist die starke Abhängigkeit von Frequenz, magnetischer Flussdichte und Temperatur.

Komplexe Permeabilität

Die magnetische Eigenschaft von Materialien lässt sich über die „magnetische Permeabilität“ μ beschreiben. Mit μ wird eine Eigenschaft beschrieben, die die magnetische Reaktion der Flussdichte B quantifiziert, wenn das Material einer magnetischen Feldstärke H ausgesetzt ist. Die magnetische Permeabilität ist proportional zum Verhältnis der Änderungen von B und H (**Gleichung 3**):

$$\mu = \frac{\Delta B}{\Delta H}$$

Der Wert der absoluten Permeabilität μ drückt das direkte Verhältnis von B (T) zu H (A/m) aus, daher ist die resultierende SI-Einheit (H/m). Die relative Permeabilität ist einheitenlos, bezieht sich auf die Permeabilität des Vakuums (μ_0) und wird meist in Datenblättern von Induktivitäten angegeben. Die relativen Werte ermöglichen es, eine leicht nachvollziehbare Kennzahl zu erhalten, inwieweit das betreffende Material das Magnetfeld „besser“ bündelt, beziehungsweise „konzentriert“ als das Vakuum.

Somit ergibt sich der Zusammenhang nach **Gleichung 4**:

$$\mu = \mu_r \cdot \mu_0$$

mit μ_0 : Magnetische Permeabilität des Vakuums: $1,26 \times 10^{-6}$ (H / m).

Die meisten verwendeten Ferrit-Materialien sind Eisenpulver-Mischungen mit Mangan-Zink- (MnZn) und Nickel-Zink-Beimengungen (NiZn); μ_r liegt bei MnZn typisch im Bereich von 600...15.000 und bei NiZn im Bereich von 10...1.500. Zu beachten ist, dass die relative Permeabilität stark von der Frequenz des Magnetfeldes abhängt. Weiterhin deuten die Kurven in Bild 4 schon darauf hin, dass die relative magnetische Permeabilität zwei Komponenten, einen realen Anteil μ_r' und einen imaginären Anteil μ_r'' hat. Diese komplexe Permeabilität kommt bei hochfrequenten Magnetfeldwirkungen zum Tragen, bei denen eine Phasenverschiebung zwischen H und B entsteht. Somit ergibt sich **Gleichung 5**:

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

angewandt auf die Induktivität mit Ferritkern ergeben sich **Gleichung 6** und **Gleichung 7**:

$$L_S = \mu_r' \cdot L_0 \quad \text{and} \quad R_S = \omega \cdot L_0 \cdot \mu_r''$$

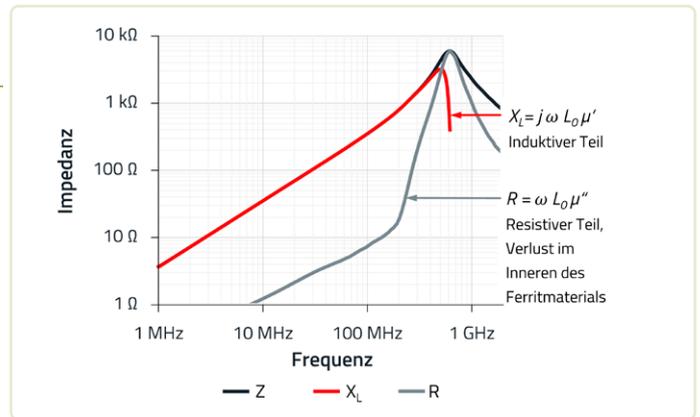


Bild 5. Impedanzkurven der Induktivität WE-RFI 744760256A [4].

wobei L_0 die Induktivität der Drahtwicklung ohne Ferrit ist.

Somit gilt der Zusammenhang in **Gleichung 8**:

$$\underline{Z} = j \cdot \omega \cdot L_0 \cdot (\mu_r' - j \cdot \mu_r'') = R + j \cdot X$$

mit L_0 : Induktivität ohne Ferrit.

Aus den Formeln lässt sich leicht erkennen, dass eine hohe Permeabilität zu einer hohen Induktivität führt, doch eine hohe Permeabilität ist meist mit höheren Kernverlusten verbunden.

Die einzelnen Komponenten der Impedanz, also $Z(f)$, $X_L(f)$ und $R(f)$, sind in den Datenblättern der Ferrit-Induktivitäten abgebildet. **Bild 5** zeigt nun noch einmal die Impedanzkurven der Induktivität WE-RFI 744760256A [4].

Somit wird auch klar, warum bei der Anwendung von Induktivitäten mit Ferritkern die Impedanzkurven für eine funktionierende Schaltung von hoher Bedeutung sind. Die Impedanz Z ist eine Vektorkombination aus Widerstand und Phase. Der ohmsche Widerstand R hat eine dissipative Eigenschaft, Energie wird umgewandelt und nicht zurückgewonnen. Der Blindwiderstand X_L ist der Teil der Impedanz, der durch die Induktivität erzeugt wird. Die Phase ist die Verzögerung zwischen einer an das Bauteil angelegten Spannung und dem durch das Bauteil fließenden Strom. Sowohl der ohmsche als auch der Blindwiderstand variieren mit der Frequenz, somit also auch die Phase.

Damit aber nicht genug. Magnetische Materialien zeigen Sättigungseffekte, die über der Frequenz vor allem von der magnetischen Flussdichte, das heißt vom Strom abhängt, der durch die Ferrit-Induktivität fließt. Man spricht hier von Kernsättigung, ein Effekt, den die „Luftinduktivität“ nicht hat. **Bild 6** zeigt die Impedanz der beiden Induktivitäten WE-RFI 744760256A [4] und WE-CBF 742792653 [5] bei unterschiedlicher Gleichstrom-Vormagnetisierung (DC-Bias) über der Frequenz. Der Unterschied ist deutlich zu erkennen.

Drahtbewickelte Induktivitäten sind bei gleichem Nennstrom weniger empfindlich gegen Gleichstromvorsättigung (Current-Bias) als SMT-Ferrite.

Der Einfluss von Vormagnetisierungen unterschiedlicher Stärke auf die Impedanzkurven lässt sich mit der Online-Simulationsplattform von Würth Elektronik RedExpert [6] für alle Artikelnummern simulieren.

Typische Einsatzgebiete der Induktivitäten

Tabelle 1 gibt einen Überblick über die wichtigsten Parameter der drei Induktivitäten-Typen und ihre bevorzugten Anwendungsfelder.



Über den Autor

Dr.-Ing. Heinz Zenkner hat Elektrotechnik mit Schwerpunkt Nachrichten – und Hochfrequenztechnik studiert und promoviert. Er ist seit vielen Jahren öffentlich bestellter und vereidigter Sachverständiger für EMV. Neben zahlreichen wissenschaftlichen Veröffentlichungen betätigt er sich häufig als Autor in vielen Werken zur EMV. Zusätzlich hat Zenkner an verschiedenen Universitäten, an der IHK und an zahlreichen Seminaren als Dozent gearbeitet. Seit vielen Jahren beschäftigt er sich mit industrieller Elektronik, von der ersten Idee eines Produktes bis hin zur Serienproduktion. Sein besonderes Interesse gilt der drahtlosen Energieübertragung, zu der er sowohl theoretisch als auch praktisch eigene Konzepte entwickelt hat.

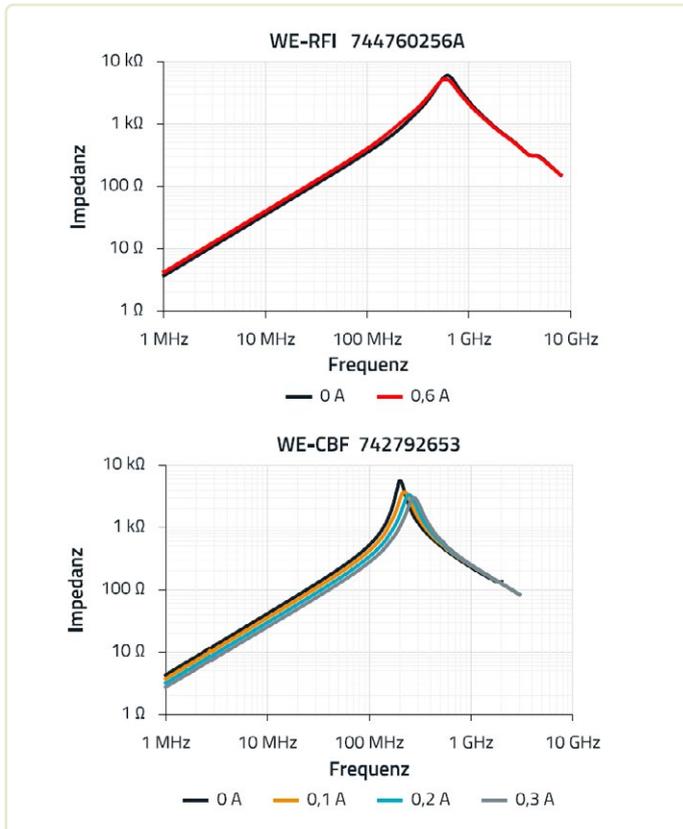


Bild 6. Impedanz der beiden Induktivitäten WE-RFI 744760256A [4] und WE-CBF 742792653 [5] bei unterschiedlicher Gleichstrom-Vormagnetisierung über der Frequenz.

Die Aspekte der Messung des Impedanzverhaltens sowie detaillierte Tipps zum Einsatz der passenden Induktivität in verschiedenen Anwendungen würden hier den Rahmen sprengen.

Die AppNote ANP129 von Würth Elektronik [7], auf der dieser Artikel basiert, schlägt weiterführend einen Aufbau zur Messung des Impedanzverhaltens vor und stellt eine einfache Messmethode zur Impedanz vor.

Darüber hinaus werden am Beispiel eines 20-MHz-Signalgenerators die verschiedenen Einsatzfelder der unterschiedlichen Induktivitäten-Typen dargestellt. ◀

240520-02

Tabelle 1. Die wichtigsten Parameter von SMT-Ferrit, Keramik-Induktivität und drahtbewickelter Ferrit-Induktivität

Parameter	SMT-Ferrit	Keramik-Induktivität	Drahtbewickelte Ferrit-Induktivität
Induktivitätsbereich	---	klein	hoch
Impedanzbereich	hoch	klein	hoch
Toleranz der Induktivität	hoch	sehr gering	gering
Nennstrombereich	hoch	sehr hoch	gering
Verlustwiderstand RDC	klein	sehr klein	mittel/hoch
Frequenz der Eigenresonanz	hoch	sehr hoch	niedrig/mittel
Ausprägung der Resonanzfrequenz	breit	eng	eng, mehrfach
Güte im Bereich unter der Resonanzfrequenz	low	very high	medium
Resonanzfrequenz	klein	sehr hoch	mittel
Bevorzugte Applikation	Dämpfung/Reduktion von HF-Strömen	HF-Filter und Schwingkreise	Hochfrequente Entkopplung, steile Filter, Dämpfung/Reduktion von HF-Strömen

WEBLINKS

- [1] SMT-Ferrit WE-CBF von Würth Elektronik: <https://www.we-online.com/de/components/products/WE-CBF>
- [2] SMT-Induktivität mit Keramikern von Würth Elektronik: <https://www.we-online.com/de/components/products/WE-KI>
- [3] Drahtgewickelter SMT Bead Ferrit von Würth Elektronik: https://www.we-online.com/de/components/products/WE-RFI_FERRITE_BEAD
- [4] WE-RFI 744760256A: <https://www.we-online.com/de/components/products/WE-RFI?sq=744760256A#744760256A>
- [5] WE-CBF 742792653: <https://www.we-online.com/de/components/products/WE-CBF?sq=742792653#742792653>
- [6] Beispiel-Simulation in RedExpert: <https://we-online.com/re/5oGcZLA5>
- [7] Zenkner, H., „Induktivitäten, SMT-Ferrite und drahtbewickelte SMT-Ferrite – Der Draht macht den Unterschied“, AppNote ANP129 von Würth Elektronik: <https://www.we-online.de/ANP129>

Das ultimative Werkzeug für jeden Elektronik-Enthusiasten

Unendliche Möglichkeiten mit Red Pitaya und 1.000+ Click Boards™

Ein Beitrag von Red Pitaya

Wenn Sie ein Elektronik-Enthusiast sind, der seine Projekte verbessern möchte, ist ein Red-Pitaya-Board das richtige Werkzeug für Sie. Diese revolutionäre Open-Source-Plattform vereint mehrere Instrumente in einem kompakten Gerät und ist damit ein Muss für Ingenieure, Bastler und Forscher. Ein Red-Pitaya-Board wird oft als Schweizer Taschenmesser der Elektronik bezeichnet und ersetzt sperrige Laborgeräte wie Oszilloskope, Signalgeneratoren und Spektrumanalysatoren - es bietet leistungsstarke Funktionen in einem kompakten, kreditkartengroßen und erschwinglichen Paket. Mit seinem Open-Source-Design fördert es außerdem die Innovation, indem es den Nutzern die Entwicklung und den Austausch von benutzerdefinierten Anwendungen ermöglicht, was es zur ultimativen All-in-One-Lösung für Ihre Elektronikprojekte macht.

Warum Red Pitaya wählen?

- **Vielseitigkeit in Reinkultur:** Ein Red-Pitaya-Board lässt sich an eine Vielzahl von Anwendungen anpassen, von Signalverarbeitung und Telekommunikation bis hin zu Robotik und IoT-Projekten. Das modulare Design bedeutet, dass Sie es immer an Ihre spezifischen Anforderungen anpassen können.
- **Kostengünstige Innovation:** Verabschieden Sie sich von teuren, spezialisierten Geräten. Ein Red-Pitaya-Board

bietet High-End-Funktionen, ohne Ihr Budget zu sprengen und macht fortschrittliche Elektronik für jedermann zugänglich.

- **Portabilität und Komfort:** Dank der kompakten Kreditkartengröße eines Red-Pitaya-Boards können Sie Ihr Labor überall hin mitnehmen. Ob Sie nun unterwegs sind oder am Schreibtisch sitzen, Red Pitaya ist Ihr ständiger Begleiter.
- **Open-Source-Community:** Schließen Sie sich einem globalen Netzwerk von Enthusiasten und Fachleuten an, die Anwendungen, Tutorials und Ideen austauschen. Dank der umfangreichen Dokumentation und des Supports fühlen Sie sich nie verloren.

Wir stellen das Red Pitaya Click Shield vor: Entfesseln Sie unendliche Möglichkeiten

Als ob Red Pitaya nicht schon vielseitig genug wäre, hebt das neue **Red Pitaya Click Shield** es auf ein völlig neues Niveau. Mit dieser innovativen Erweiterungsplatine können Sie über **1.000 verschiedene Click-Boards™** von Mikroelektronik anschließen und so eine Welt der Möglichkeiten eröffnen. Diese Plug-and-Play-Module umfassen alles von Sensoren und Kommunikationsschnittstellen bis hin zu Motorsteuerungen und Displays. Mit dem Red Pitaya Click-Shield war es noch nie so einfach, neue Funktionalitäten in Ihre Projekte zu integrieren.

Was ist das Red Pitaya Click Shield?

Das Red Pitaya Click-Shield fungiert als Brücke zwischen Red Pitaya und dem umfangreichen Angebot an Click-Boards™. Es ermöglicht eine nahtlose Integration, ohne dass eine komplexe Verkabelung oder fortgeschrittene technische Kenntnisse

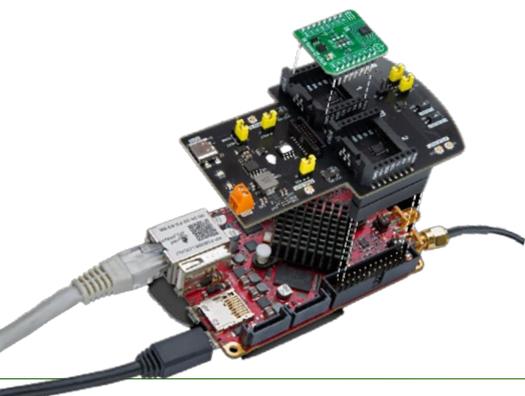
erforderlich sind. Bringen Sie das Red Pitaya Click-Shield einfach an Ihrem Red Pitaya an, schließen Sie die von Ihnen ausgewählten Click-Boards™ an, und schon sind Sie bereit für Innovationen.

Wie kann es Ihre Projekte unterstützen?

- **Unendliche Anpassungsmöglichkeiten:** Stellen Sie sich vor, Sie könnten mit minimalem Aufwand jede gewünschte Funktionalität hinzufügen. Müssen Sie Umgebungsbedingungen überwachen, Motoren steuern oder drahtlose Kommunikation implementieren? Dafür gibt es ein Click-Board™!
- **Benutzerfreundlichkeit:** Das Red Pitaya Click-Shield wurde für eine nahtlose Integration entwickelt und macht komplizierte Konfigurationen überflüssig. Keine Lötarbeiten oder komplizierte Verdrahtung - einfach das Click-Board™ einstecken und loslegen.
- **Kostengünstige Erweiterung:** Erweitern Sie die Fähigkeiten Ihres Red Pitaya, ohne in mehrere Spezialgeräte zu investieren. Das Red Pitaya Click-Shield bietet eine budgetfreundliche Möglichkeit, den Umfang Ihres Projekts zu erweitern.
- **Unterstützung durch die Community:** Mit einer großen Benutzer-Community und einer umfangreichen Dokumentation stehen Ihnen alle Ressourcen zur Verfügung, die Sie für Ihren Erfolg benötigen. Tauschen Sie Ideen aus, lassen Sie sich inspirieren, und holen Sie sich Hilfe, wenn Sie sie brauchen. ◀

Ulrich Drees 2 – 40590-02

Besuchen Sie uns auf der Messe
electronica 2024, Stand A3/572!
vom 12. bis 15. November in München





Siglent stellt seine neue Vektornetzwerkanalysator-Plattform SNA6000A vor

Ein Beitrag von Siglent

Siglent hat seine neue SNA6000A-Vektornetzwerkanalysatorserie vorgestellt, die mit beeindruckenden Spezifikationen und einer Vielzahl leistungsstarker Funktionen den hohen Anforderungen moderner HF-Designs gerecht wird. Die Serie umfasst acht Modelle mit Bandbreiten von 13,5 GHz und 26,5 GHz, die jeweils in 2-Port- und 4-Port-Konfigurationen erhältlich sind. Zudem stehen diese Modelle sowohl in einer Standardversion als auch in einer erweiterten Version (SNA61xxA) mit Direct Receiver Access (DRA) zur Verfügung, was die Flexibilität und Leistungsfähigkeit des Analysators insbesondere bei komplexen Anwendungen deutlich erhöht.

Ein hoher Dynamikbereich ermöglicht präzisere und verlässlichere Messungen, die besonders in Forschung, Entwicklung und Produktion von großer Bedeutung sind. Der SNA6000A überzeugt mit einem Dynamikbereich von über 135 dB und eignet sich damit hervorragend für die detaillierte Analyse schwacher Signale, selbst in Gegenwart starker Signale (**Bild 1**). Dies macht ihn zur idealen Lösung für Messungen wie die von Filtern mit geringem Einfügungsverlust und hoher Sperrdämpfung. Zudem hilft der

große Dynamikbereich, Signalverzerrungen zu minimieren, die Signalintegrität zu verbessern und die Kalibriergenauigkeit zu erhöhen, insbesondere in Fällen, in denen externe Einflüsse wie Kabel oder Adapter reduziert werden müssen.

In der Praxis lässt sich durch Kalibrierung nicht immer jeder externe Einfluss vollständig ausschalten. Daher ist es entscheidend, über geeignete Werkzeuge zu verfügen, um Störungen durch Kabel oder Testbuchsen zu minimieren. Die SNA6000A-Serie bietet dafür Funktionen wie eine anpassbare Referenzebene, die Entfernung von Adaptern sowie Einbettungs- und Entfernungsoptionen, um diese Herausforderungen effizient zu bewältigen.

Die Funktionen der Zeitbereichsreflektometrie (TDR) erweitern den VNA um die Möglichkeit, Signalfelder, Leitungen und Kabel umfassend zu diagnostizieren und zu charakterisieren. Diese Funktionen können dem SNA6000A durch die Optionen SNA6000-TDA und SNA6000-TDR hinzugefügt werden. Mit der TDR-Option lassen sich zudem Augendiagramme erstellen, die für die Bewertung der Signalintegrität in der digitalen Hochgeschwindigkeitskommunikation von großer Bedeutung sind (**Bild 2**). Durch die Kombination von TDR und VNA wird auch eine Jitter-Analyse



Bild 1. Der SNA6024A Vektornetzwerkanalysator.

ermöglicht, die unerlässlich für die Untersuchung der zeitlichen Stabilität von Signalen ist – beides entscheidende Funktionen bei der Entwicklung von Hochgeschwindigkeits-Digitalanwendungen.

Zusätzlich kann der Analysator für gepulste Messungen aufgerüstet werden, was besonders bei der Charakterisierung von Hochfrequenzkomponenten unter realen Betriebsbedingungen, wie in Radar- und Kommunikationssystemen, vorteilhaft ist. Diese Methode erlaubt eine präzise Analyse von Komponenten mit kurzen Impulsen, eine genaue Bewertung schneller Schaltvorgänge und die Optimierung der Leistung in zeitkritischen Anwendungen.

Die Integration einer Spektrumanalysefunktion in einen Vektornetzwerkanalysator (VNA) erweitert die Möglichkeiten erheblich, besonders bei der Entwicklung und Prüfung von Hochfrequenzverstärkern, Oszillatoren und Kommunikationssystemen. Diese Funktion ist als Option SNA6000-SA erhältlich und ermöglicht eine präzise Analyse von Harmonischen, Intermodulationsprodukten und anderen nichtlinearen Effekten. Gleichzeitig optimiert sie die Signalqualität und

Bandbreitennutzung in Kommunikationsanwendungen. Die Kombination von VNA und Spektrumanalyse in einem Gerät bietet nicht nur Platz- und Kosteneinsparungen, sondern auch eine umfassendere Signalcharakterisierung. Diese erweiterte Messfunktionalität führt zu effizienteren Diagnosen und besseren Einblicken in das Verhalten von Hochfrequenzkomponenten und -systemen.

Neben diesen Funktionen stehen aktuell zwei weitere Optionen zur Verfügung: Zum einen die SNA6000-SMM, eine skalare Analyse von Mischern, die für die Messung an frequenzumsetzenden Bauteilen genutzt wird. Zum anderen die Materialanalyse-Option, die dem VNA ermöglicht, wichtige Parameter für elektronische Anwendungen zu ermitteln, insbesondere die Permittivität und Permeabilität von Materialien. Ein integrierter Formeleditor und Maskentest unterstützen Entwickler bei der Analyse von Testobjekten und beschleunigen die Auswertung. Der große 12-Zoll-Touchscreen lässt sich flexibel konfigurieren und ermöglicht eine übersichtliche Darstellung mehrerer Fenster mit unterschiedlichen Messungen.

SNA6000A Vector Network Analyzer

- › Frequenzbereich 100 kHz bis 13,5 GHz und 100 kHz bis 26,5 GHz.
- › Bereich der IFBW 1 Hz bis 10 MHz.
- › Dynamischer Bereich 135 dB.
- › Einstellbereich des Ausgangspegels -55 bis +10 dBm.
- › Standard Bias-Tee-Verbindung und Puls-Hardware.
- › 4-Port-Modelle beinhalten eine standardmäßige zweite Quelle.
- › Jumper / DRA (Source, Ref und Meas) standardmäßig bei SNA61xxA-Modellen.

Für die Charakterisierung großer HF-Netzwerke innerhalb eines umfassenden Multiport-Testsystems kann der SNA6000A mit der Siglent SSM5000A Switch Matrix Series kombiniert werden. Das entstandene System erfasst sequenziell S-Parameter an bis zu 24 Ports. Mit zahlreichen verfügbaren Matrix-Konfigurationen kann schnell ein maßgeschneidertes Testsystem entworfen werden, das im Vergleich zu konkurrierenden Lösungen einen außergewöhnlichen Mehrwert bietet. Die SSM5000A-Serie wird über USB oder LAN mit dem Analysator verbunden. Der SNA6000A verfügt über eine automatische Matrixerkennung und Portzuweisung. Benutzer können somit das System problemlos als vollständigen Multiport-Vektornetzwerkanalysator betreiben. Die VNA-Firmware hat alle Funktionen in der Standardkonfiguration integriert. Zusammenfassend bietet die SNA6000A-Serie von Siglent eine leistungsstarke Lösung für die zunehmend anspruchsvollen Herausforderungen der Hochfrequenztechnik. Die Serie überzeugt durch herausragende Grundspezifikationen, flexible Anwendungen und nützliche Erweiterungsmöglichkeiten und stellt eine vielseitige, leistungsstarke und benutzerfreundliche Lösung für moderne Mess- und Analyseanforderungen dar. Mehr Infos finden Sie unter [1].

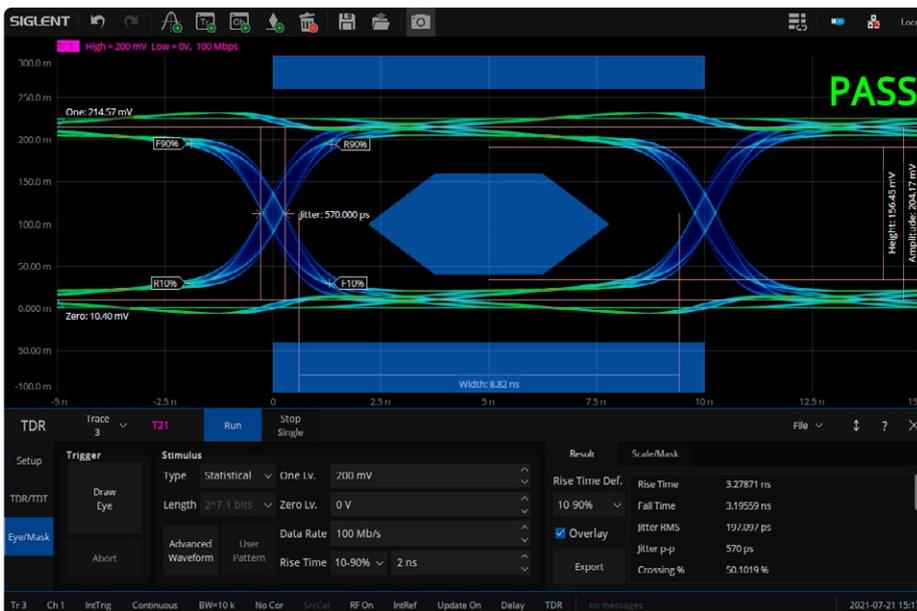


Bild 2. Die Funktionen der Zeitbereichsreflektometrie (TDR) erweitern den VNA um die Möglichkeit, Signalpfade, Leitungen und Kabel umfassend zu diagnostizieren und zu charakterisieren.

240588-02

WEBLINK

[1] SNA6000A Vector Network Analyzer: <https://www.siglenteu.com/vector-network-analyzer/sna6000a-vector-network-analyzer>

Herausforderungen der DFM-Analyse für Flex- und Rigid-Flex-Design

Ein Beitrag von DownStream Technologies

Flexible und starr-flexible Leiterplatten unterscheiden sich von starren Leiterplatten in Bezug auf Materialien, Konstruktion und Designanforderungen. Sie werden in speziellen Anwendungen wie medizinischen Geräten eingesetzt. Die Analysewerkzeuge werden weiterentwickelt, um ihren besonderen Anforderungen gerecht zu werden.

Die Flex- und Rigid-Flex-Leiterplattenkonstruktion ist kein neues Konzept. Es ist alltäglich geworden, da Ingenieure nach alternativen Schaltungsgehäusen für immer kleiner werdende elektronische Produkte suchen. Ein flacher Ein-Blatt-Schaltplan für ein gerades Flachbandkabel ist analog zu seinem physischen flachen Substrat. Ein flacher, mehrseitiger Schaltplan, der die Schaltkreise für ein Starrflex-Design detailliert beschreibt, hat optisch wenig Ähnlichkeit mit seiner dreidimensionalen Starrflex-Baugruppe aus variablem Material. In beiden Schaltplanbeispielen werden jedoch schemabasierte Analysewerkzeuge gleichermaßen angewendet. Dieselbe Wahrheit gilt auch für gängige FR4-basierte zweischichtige oder mehrschichtige Leiterplatten. Die heutigen PCB-Analysetools sind auf alle Kombinationen von starren Leiterplatten anwendbar, unabhängig von der Anzahl oder Größe der Schichten. Aufgrund der einzigartigen Eigenschaften flexibler Substrate und kombinierter flexibler und starrer Substrate erfordern flexible Designs jedoch eine spezifische Sammlung von Analysen, sowohl funktio-

nal als auch fertigungsorientiert. Integritätsanalysen wie Impedanz, Kopplung, Übersprechen und Rauschen werden durch variable Stapel in flexiblen Designs erschwert. Eine einzelne Übertragungsleitung kann eine Streifenleitung in einem starren Flexbereich und ein Mikrostreifen in einem flexiblen Bereich sein. Materialtypen und Dielektrizitätskonstanten oberhalb oder unterhalb einer Leiterbahn, die eine Konstruktion durchläuft, variieren ebenfalls. Während die Herausforderungen bei der Signalintegritätsanalyse für flexible Designs diskussionswürdig sind, konzentriert sich dieser Artikel auf die aktuellen Herausforderungen bei der *Design for Manufacturing*-Analyse von Flex- und Starrflex-Designs.

Starre Leiterplatten vs. Flex und Rigid-Flex

Einige Designer entwerfen flexible Leiterplatten als einfache biegbare Leiterplatten, aber es gibt große Unterschiede zwischen starr und flexibel. Beide Technologien erzeugen eine elektri-

sche Verbindungsfunktion, werden jedoch mit unterschiedlichen Materialien und Verfahren hergestellt. Sie haben auch unterschiedliche Anwendungen. Es ist nicht erforderlich, eine starr-flexible Leiterplatte für das Motherboard eines Desktop-PCs zu entwerfen, aber für die meisten medizinisch implantierten Geräte ist ein starrer Flex erforderlich. Eine typische starre Leiterplatte besteht aus galvanisch getrennten, kupferkaschierten Glasfasersubstraten, die miteinander verbunden sind. Während es Unterschiede bei den Materialien gibt, die zum Verkleben von Substraten verwendet werden, handelt es sich in der Regel um Stoffbahnen, die mit nicht ausgehärtetem Epoxidharz vorimprägniert sind. Diese Zusammensetzung des Bindungsmaterials ist nicht flexibel konstruiert. Das Kupfer wird chemisch geätzt, um ein Schaltungsmuster zu erzeugen. Die Härte der geklebten Substrate erfordert ein mechanisches Fräsen, um die Rohleiterplatten zu trimmen. Alle Schichten der Leiterplatte sind in der Regel in Größe

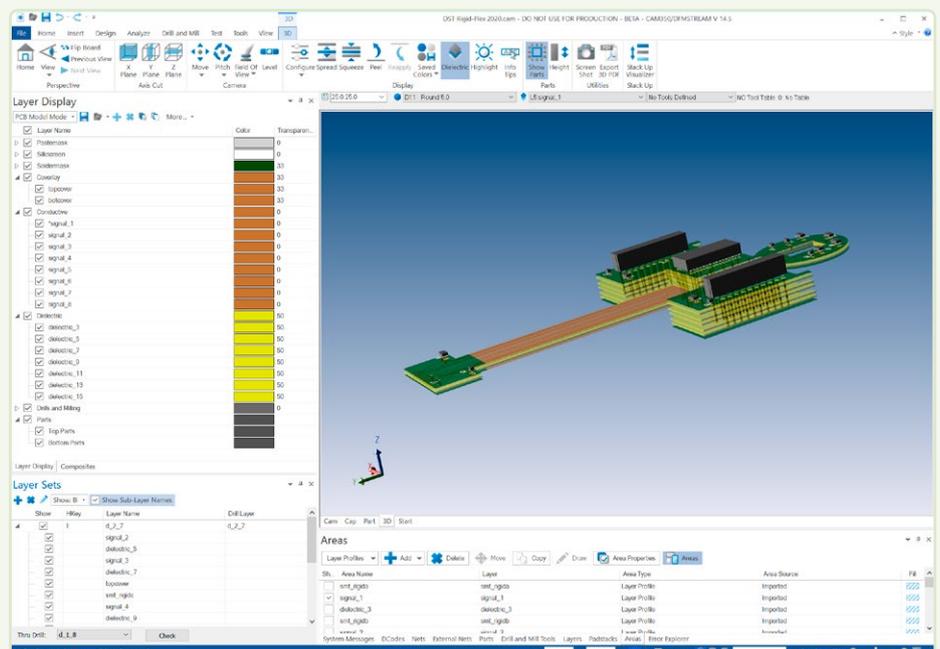


Bild 1. Ein Rigid-Flex-Entwurf in 3D mit separierten Schichten zur besseren Visualisierung.

und Form identisch, es sei denn, es sind Hohlräume, eingebettete Komponenten oder andere exotische Konstruktionen vorhanden. Der starre Lagenaufbau der Leiterplatten ist über die gesamte Leiterplattenfläche identisch. Lötstopplack und Siebdruck werden fast immer aufgetragen.

Flexible Leiterplatten bestehen aus gewalztem, geglühtem Kupfer über flexiblen Polyimid-Substraten. Flexible Schichten oder Kerne werden mit oder ohne Klebstoffe hergestellt. Klebstoffloser Flex ist in Anwendungen weit verbreitet, die eine höhere Leistung erfordern, während solche mit Klebstoffen häufig in Anwendungen mit geringer Schichtzahl zu finden sind. Die häufigste Verwendung ist Kupferfolie, die mit Epoxid- oder Acrylkleber auf ein Substrat laminiert wird. Sowohl das Substratmaterial als auch der Klebstoff sind für das Biegen ausgelegt, um Leiterbahnbrüche zu minimieren. Wie bei starren Leiterplatten wird ein chemisches Ätzverfahren verwendet, um ein Schaltungsmuster zu erstellen. Die Flexibilität der Materialien erfordert eher das Schneiden von Matrizen oder „Stanzen“ als das mechanische Fräsen. Jede Schicht eines flexiblen doppelseitigen Kerns hat eine identische Form. Es ist jedoch wahrscheinlich, dass der Flex mehrerer Schichten für jede Schicht oder jeden Kern unterschiedliche Formen aufweist. Flexible Leiterplatten erfordern einen Dünnschichtisolator über den Leitern, der als Coverlay bezeichnet wird. Im Gegensatz zu starren PCB-Lötstopplacken werden Coverlays ähnlich wie die flexiblen Schichten, die sie isolieren, gestanzt. Der Aufbau einer mehrschichtigen flexiblen Leiterplatte kann über die Leiterplattenfläche variieren. Dies gilt insbesondere für Multi-Layer-Flex, bei dem die Schichtform je nach Ansammlung von Schichten oder Kernen variiert. Ein flexibler Masse- oder Leistungsebenenbereich ist bei starren Leiterplatten in der Regel schraffiert und nicht fest. Diese Kreuzschraffur verringert die Bruchgefahr von Leitern. Alternativ können flexible Schichten mit einer Schicht aus Kupfer- oder Silberfolie abgeschirmt werden. Das Maskieren und Abschirmen über flexible Schichten ist nicht selten, aber ungewöhnlich.

Starr-flexible Leiterplatten sind offensichtlich eine Kombination aus starren und flexiblen Materialien. Rigid-Flex ist im Wesentlichen eine hybride Leiterplattenkombination aus Materialien und Prozessen aus starren und flexiblen Leiterplatten. Die beiden Materialarten werden in der Regel getrennt voneinander verarbeitet und später im Herstellungsprozess miteinander verbunden. Der Lagenaufbau variiert in der Regel stark über die gesamte Leiterplatte

(Bild 1). Es kann Bereiche mit starrem Flex, nur Flex, verschiedene Kombinationen von starren und flexiblen Schichten und so weiter geben. Es gibt auch starren Flex, bei dem blankes FR4 oder andere starre Materialien selektiv mit flexiblen Substraten verbunden werden, um Steifigkeit zu gewährleisten. Das starre Versteifungsmaterial weist selten Leiter auf.

Anwendung von Rigid vs. Flex und Rigid-Flex

Starre Leiterplatten sind eine grundlegende Technologie in den heutigen elektronischen Produkten. Starre Leiterplatten bieten mechanische Integrität, elektrische Leitfähigkeit und Zuverlässigkeit, sind jedoch durch ihr zweidimensionales Profil begrenzt. Ihre Ebenheit schränkt Designer auf zwei Dimensionen ein, was die Designflexibilität stark einschränkt, insbesondere wenn elektronische Geräte immer kleiner werden. Flexible Leiterplatten werden gebogen, um einen dreidimensionalen Raum zu nutzen und gleichzeitig Komponenten aufzunehmen. Flexible Leiterplatten ermöglichen eine maximale Raumausnutzung für das Gehäuse von Elektronik, jedoch zu einem hohen Preis im Vergleich zu herkömmlichen Leiterplatten.

Starre und flexible Leiterplatten sind in vielen elektronischen Produkten vorhanden. Einige Anwendungen profitieren jedoch mehr von einem Leiterplattentyp. Starre Leiterplatten sind sinnvoll für Produkte wie Fernseher, Desktop-PCs, Blu-ray-Player und andere größere elektronische Produkte. Flexible Leiterplatten sind in Smartphones, Smartwatches, Tablets, Kameras, Druckern und Laptops vorhanden. Sie sind eine Grundvoraussetzung für implantierte Miniatur-Medizinprodukte wie Herzschrittmacher, Cochlea-Implantate und implantierte Defibrillatoren. Komplexe Multi-PCB-Baugruppen, die mit Drähten oder Kabeln verbunden sind, werden häufig mit Starrflex-Leiterplatten neu gestaltet, um die Zuverlässigkeit und das Gewicht zu verbessern und den Platzbedarf zu reduzieren. Dies ist der Katalysator für viele Produkte aus dem Militär und der Luft- und Raumfahrt, die mit Rigid-Flex entwickelt werden. Ein Beispiel ist ein Einweg-Smart-Geschoss, das seine Flugbahn ändern kann, wenn sich das beabsichtigte Ziel bewegt.

Die Einführung von Halbleitern mit kleinem Umriss oder nur oberflächenmontierten Halbleitern leitete eine Revolution der Miniatur-Neuverpackung ein. Denken Sie an einen Sony Walkman im Vergleich zu einer typischen Boombox. Jahrelang wurden flexible Leiterplatten ausschließlich als Ersatz für mehradrige Kabel verwendet. Wer erinnert sich

nicht an die flexiblen Flachbandkabel, die mit dem Kopf eines Nadel- oder Anschlagdruckers verbunden ist. Der Kopf hüpfte über das Papier hin und her, während sich das Kabel dynamisch bog und eine zuverlässigere Verbindung zwischen Druckerkopf und Motherboard herstellte. Die Einführung von Rigid-Flex ist aufgrund der etwas begrenzten Anwendung und des Kostenunterschieds nicht der gleiche Wendepunkt wie oberflächenmontierte Gehäuse. Wir sollten nicht erwarten, dass eine neue Sammlung von Desktop-PCs mit Starrflex-Motherboards entwickelt wird, um die Kosten zu senken. Miniaturisierte und zuverlässige Technologien wie Pillenkameras, faltbare Mobiltelefone oder implantierte medizinische Geräte würden jedoch nicht ohne Starrflex-Technologie auskommen.

Schlussfolgerung

Sowohl Designer als auch Verarbeiter sind bisher recht gut damit zurechtgekommen, dass sie nur begrenzten Zugang zu biege-spezifischen DFM-Analysewerkzeugen hatten. Heute sind Flex und Rigid-Flex immer mehr zum Mainstream geworden, und die zugrunde liegende Technologie entwickelt sich ständig weiter. Wie bei allen neueren Technologien üblich, holen PCB-Design- und Analysetools auf. PCB-CAD-Tools wurden jetzt aktualisiert, um das Design für Flex und Rigid-Flex zu unterstützen, aber vielen fehlt immer noch die Unterstützung, die für die intelligente Datenübertragung an die Hersteller erforderlich ist. Ebenso waren die meisten DFM-Tools bisher nicht ausreichend, um Flex- und Rigid-Flex-Designs auf Fertigungsprobleme hin richtig zu analysieren. Bei DownStream haben wir das Glück, eine lange Liste von Anwendern zu haben, die häufig Flex-Designs verwenden und mit uns zusammengearbeitet haben, um eine flexspezifische DFM-Lösung zu entwickeln. Und wir arbeiten weiterhin mit diesen Kunden zusammen, um unsere Fähigkeiten für die Flex-DFM-Analyse zu verbessern. Zusätzlich zu der in diesem Dokument beschriebenen Unterstützung der DFM-Analyse enthalten unsere Pläne die Möglichkeit, zusätzliches Spurbrechpotenzial wie I-Träger zu analysieren, sowie eine verbesserte 3D-Visualisierung und DFM für eine Flex und Rigid-Flex im gebogenen Zustand (Bild 2). Dies sind nur einige Beispiele. Wie die zugrunde liegende Technologie müssen auch die PCB-Design- und Analysetools kontinuierlich weiterentwickelt werden, um den Kundenerfolg zu gewährleisten, und dies ist ein Eckpfeiler des Engagements von Downstream für unsere Branche. ◀

www.downstreamtech.com

240570-02

EMI-Abschirmung zur Einhaltung der elektromagnetischen Konformität

Von Mark Patrick (Mouser Electronics)

In diesem Beitrag befassen wir uns mit der Bedeutung der Abschirmung gegen elektromagnetische Störungen (Electromagnetic Interference, EMI) für die Einhaltung der elektromagnetischen Verträglichkeit (EMV), insbesondere im Zusammenhang mit modernen Technologien wie 5G und dem Internet der Dinge (IoT). Der Beitrag untersucht auch verschiedene EMI-Abschirmtechniken, -Materialien und -Strategien, die Entwickler während des gesamten Designprozesses einsetzen können, um Störungen zu vermeiden und die Zuverlässigkeit des Produkts zu gewährleisten.

Technologische Fortschritte, beispielsweise die zunehmende Einführung von 5G und die wachsende Bedeutung des Internets der Dinge (IoT), führen zu einem höheren Bedarf an Abschirmung gegen elektromagnetische Störungen (EMI). Die Einhaltung der elektromagnetischen Verträglichkeit (EMV) und die Reduzierung von EMI-Quellen in einem frühen Stadium des Entwicklungsprozesses sind von entscheidender Bedeutung, um Effizienzverluste zu verhindern, kostspielige Neukonstruktionen zu vermeiden und Verzögerungen bei der Produkteinführung zu minimieren. Jedes Designteil oder Subsystem – vom Gehäuse über das Modul bis hin zur Leiterplatte (PCB) – kann eine EMI-Abschirmung enthalten.

Entwickler können in jeder Phase des Designprozesses auf eine Vielzahl von Abschirmungsoptionen für nahezu jede Applikation zurückgreifen, von kommerziellen Anwendungen über Energieinfrastruktur und Verteidigung bis hin zum Bereich Automotive. Dieser Beitrag soll

Entwicklern einen Einblick in die technologischen Fortschritte geben, mit denen die aktuellen Ansätze zur EMI-Abschirmung auf den Prüfstand gestellt werden, und einen Überblick über die auf dem Markt erhältlichen Materialien bieten.

Elektromagnetische Störungen sind allgegenwärtig

Elektromagnetische Felder sind ein Merkmal praktisch jeder Schaltung. Oszillierende elektrische Felder und magnetische Flusslinien (**Bild 1**) treten um den leitfähigen Pfad herum auf, wenn ein Wechselstrom entlang eines Drahtes oder durch eine Leiterplatte fließt. Diese werden zu unerwünschten Störungen, wenn diese Felder induziert oder auf eine andere Schaltung oder einen anderen Draht übertragen werden. Solche unerwünschten elektromagnetischen Störungen werden im Allgemeinen als EMI bezeichnet und können den Betrieb anderer Schaltungen stören oder unterbrechen.

Eine elektrostatische Entladung (Electrostatic Discharge, ESD) ist eine weitere Form von EMI. ESD tritt in der Regel mit unterschiedlicher Frequenz auf, während EMI typischerweise eine konstante Frequenz haben. Kurzzeitige Hochspannungstransienten (hohe dV/dt) können zu Fehlfunktionen

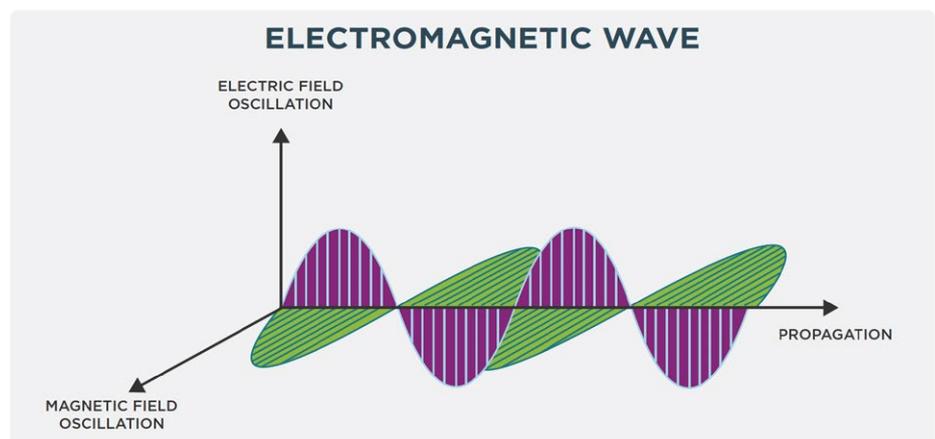


Bild 1. Die magnetischen und elektrischen Felder einer elektromagnetischen Welle. (Quelle aller Bilder: Kemtron Ltd, jetzt Teil von TE Connectivity)

oder dauerhaften Schäden an empfindlichen elektronischen Systemen führen. Die meisten elektronischen Systeme erzeugen unbeabsichtigt EMI, darunter Taktgeber, digitale Hochgeschwindigkeits-Schaltwandler, DC/DC-Wandler und drahtlose Schnittstellen.

EMI-Emissionen finden ihren Weg in andere Schaltungen entweder durch Leitung oder Strahlung. Beispielsweise können kleine Taktgeber, an denen entlang Leiterbahnen einer Leiterplatte verlaufen, Strahlung abgeben, in der Regel über 10 MHz, da die Leiterbahnen zu aktiven Antennen werden. Das grundlegende Prinzip von EMV besteht darin, dass eine Schaltung oder ein System immun gegen EMI ist (**Bild 2**).

Marktdynamik und Trends

Ständige Konnektivität und Erreichbarkeit sind allgegenwärtig geworden. Ob zu Hause, unterwegs, bei der Arbeit oder im Auto – unsere Gesellschaft hat noch nie so viele Vorteile einer zuverlässigen und belastbaren Kommunikationsinfrastruktur genossen. Der Aufstieg des IoT und seines Pendant, des Industriellen Internets der Dinge (IIoT), sowie das Wachstum der Mobilfunkkommunikation haben unseren Bedarf und unsere Abhängigkeit von drahtloser Kommunikation verstärkt, die allerdings leider ein wesentlicher Faktor und eine potenzielle EMI-Quelle ist. Die Einführung von drahtlosen 5G-Infrastrukturen, die bisher ungenutzte Funkfrequenzen im Ultra-Hochfrequenzbereich nutzen, führt zu einer weiteren Ausweitung der Gefahr von EMI. Daher ist es wichtiger denn je, dass Produkte EMI-immun sind.

Normen für elektromagnetische Verträglichkeit

Mit nationalen und regionalen Normen zur elektromagnetischen Verträglichkeit, die sich typischerweise an international anerkannten EMV-Standards orientieren (**Bild 3**), erhalten Hersteller die technischen Daten an die Hand, die Produkte vor dem Verkauf erfüllen müssen. Die Normen legen die maximal zulässigen Emissionen eines Produkts und seine Immunität oder Anfälligkeit gegenüber abgestrahlten oder leitungsgebundenen Emissionen fest. Bei der Entwicklung eines neuen Designs wird empfohlen, dass die Entwickler die Gefahr

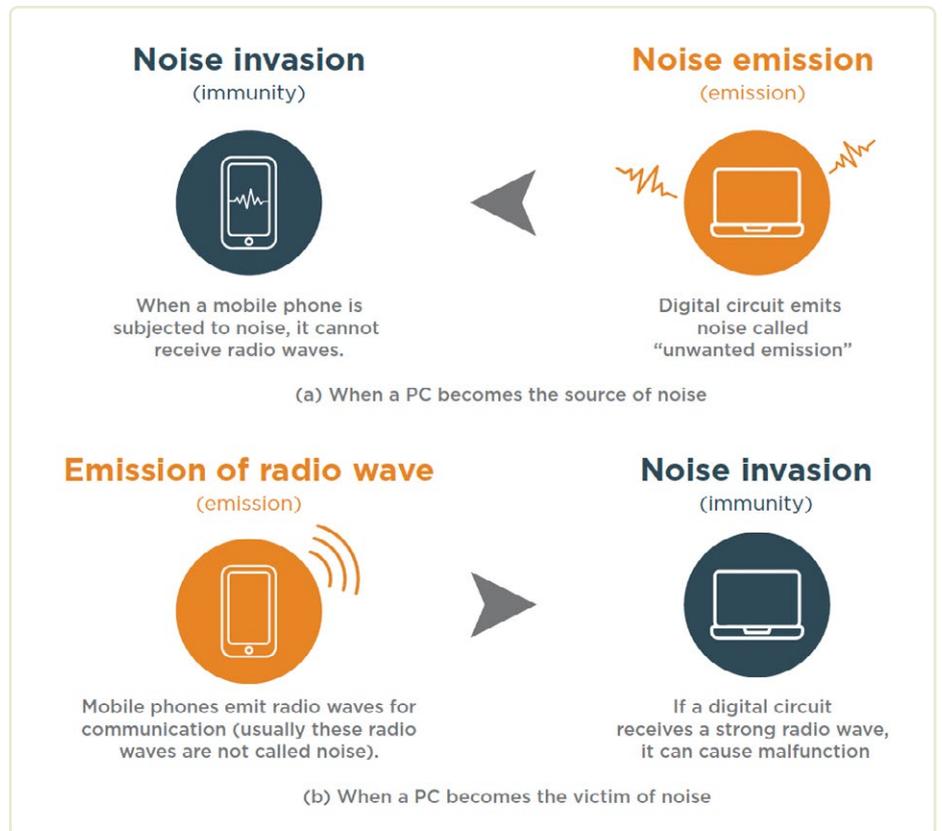


Bild 2. Die Störfestigkeit gegenüber EMI-Emissionen ist der Schlüssel zur Einhaltung der EMV-Vorschriften.

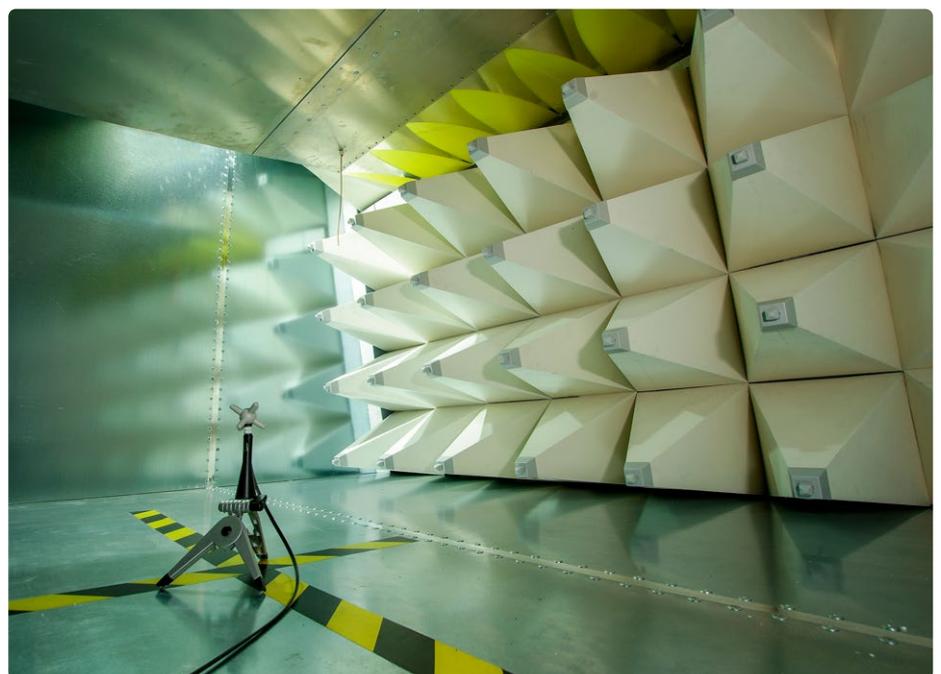


Bild 3. Prüfung eines zu prüfenden Geräts auf Einhaltung der EMV-Vorschriften.

Tabelle 1. Gängige EMI- und EMV-Normen, aufgliedert nach Branche und Anwendung

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

(Source: Kemtron Ltd, now part of TE Connectivity)

von EMI berücksichtigen und EMV-Gegenmaßnahmen bereits während des Prototyping-Prozesses und nicht erst im Nachhinein integrieren. Dabei ist es von entscheidender Bedeutung, die geltenden EMI- und EMV-Normen, die wahrscheinlichen Emissionsquellen und die Schaltungsfunktionen zu kennen, die möglicherweise anfälliger für EMI-Störungen sind (siehe **Tabelle 1**).

Erreichen der EMV-Zertifizierung

Auch wenn nur eine akkreditierte EMV-Prüfstelle die EMV-Zertifizierung durchführen kann, gibt es für das Entwicklerteam doch viele Punkte, die vor der Übergabe des Produkts an das Prüflabor untersucht werden können. Grundlegende Messungen der strahlungsgebundenen und leitungsgebundenen Emissionen mit einem Spektrumanalysator oder einem mit geeigneten H- und E-Feldsonden ausgestatteten EMI-Empfänger zeigen an, ob weitere Tests oder EMI-Gegenmaßnahmen erforderlich sind. Für ein kleines Entwicklungsteam sind diese teuren Prüfgeräte nur schwer zu beschaffen, aber spezialisierte Unternehmen, die EMI-Prüf- und Messgeräte

vermieten, bieten eine kostengünstige Alternative. Es wird dringend empfohlen, Prüfungen zur Einhaltung der Vorschriften durchzuführen, da das Designteam dadurch potenzielle Quellen von Störsignalen lokalisieren und Methoden zur Reduzierung von elektromagnetischer Interferenz wie Abschirmung, Erdung und Entkopplung implementieren kann. Es ist auch wichtig, dass ein Produkt elektromagnetischen Emissionen ausgesetzt wird.

Stufen der EMI-Abschirmung

Die Reduzierung von EMI und die Schaffung von EMI-Immunität für Schaltungsfunktionen setzen einen systematischen Ansatz im Designprozess des Produkts voraus. Dies umfasst Aspekte des Leiterplatten-Designs, die Integration von Masseflächen und die Trennung von Geräten mit EMI-Störungen von empfindlichen analogen Signalpfaden. Die Abschirmung von Bauteilen, Funktionsteilen und Modulen stellt aufgrund einer

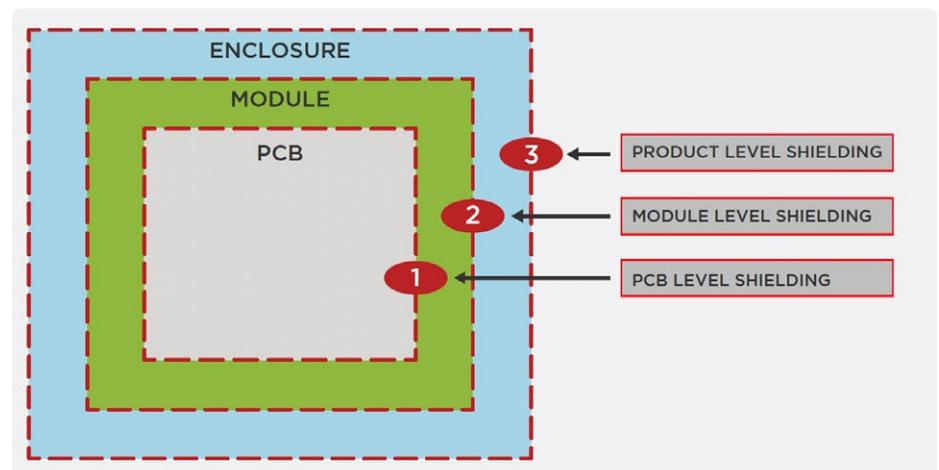
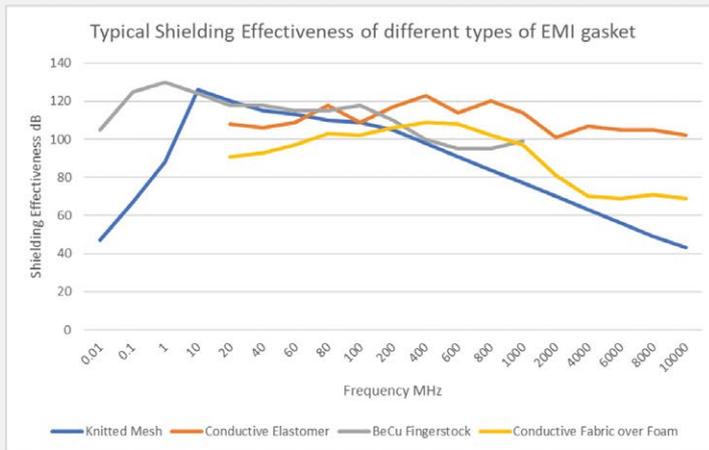


Bild 4. Der dreistufige Ansatz zur Umsetzung der EMI-Abschirmung.

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.

Bild 5. Die EMI-Dämpfungseigenschaften von vier gängigen EMI-Abschirmungsmaterialien in Abhängigkeit von der Frequenz.

dreistufigen Methode, die sich auf Gehäuse, Module und Leiterplatten konzentriert, einen praktischen Ansatz für viele Applikationen dar (Bild 4).

Die Abschirmung von Strahlungsemissionen funktioniert durch die Schaffung eines faradayschen Käfigs um die EMI-Quelle herum. Die Implementierung einer Abschirmung auf Gehäuseebene reduziert das Entweichen oder Eindringen potenzieller Störquellen. Einige Schaltungsfunktionen können jedoch zusätzliche Schutzebenen verlangen, um zu verhindern, dass interne EMI andere Schaltungsfunktionen beeinträchtigt. Die Abschirmung auf modularer Ebene ist eine große Hilfe und wird regelmäßig bei Funkmodulen, DC/DC-Schaltwandlern und LCD-Panels eingesetzt. Bei empfindlichen Komponenten wie beispielsweise einem Analog-Digital-Wandler-IC kann eine Abschirmung auf Leiterplattebene erforderlich sein. Die Notwendigkeit einer Abschirmung gilt auch für alle Arten von Verbindungen, daher sollte nicht übersehen werden, dass abgestrahlte Emissionen auch nicht durch Kabelverschraubungen, Stecker und Buchsen entweichen dürfen.

Materialien für die EMI-Abschirmung

Zu den Bauteilen, die zur EMI-Abschirmung verwendet werden, zählen Drahtgestrick-Dichtungen, elektrisch leitfähige

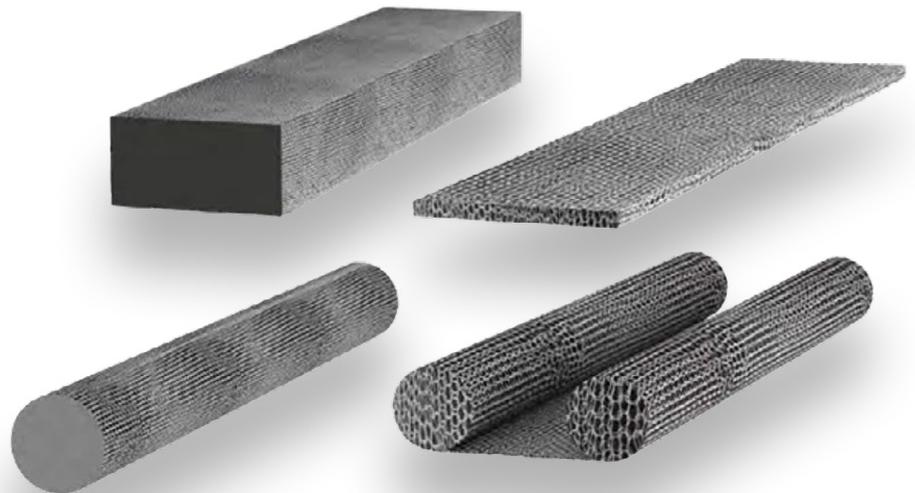


Bild 6. Die Kemtron-Drahtgestrick-Dichtungen von TE Connectivity sind in Endloslängen und in spezifischen Größen erhältlich.

Elastomere, leitfähige Gewebe und Metallfinger. Jeder dieser Typen weist leicht unterschiedliche Eigenschaften in Bezug auf die Dämpfung elektromagnetischer Störungen auf und eignet sich für bestimmte Anwendungsfälle. Bild 5 veranschaulicht die Dämpfung dieser vier Abschirmungstypen in Abhängigkeit von der Frequenz. **Drahtgestrick:** Die Verwendung mehrerer gestrickter Drahtlagen über einem Schwamm oder einem Rohrkern unter Verwendung verschiedener Materialien

bietet eine effektive Lösung für elektromagnetische Störungen und galvanische Kompatibilität. Der Strickansatz ermöglicht die Herstellung komplexer Formen und die Verbindung mit Trägermaterialien, um einen Schutz gegen Eindringen von EMI zu schaffen. Die Abschirmung durch ein Drahtgestrick eignet sich für verschiedene Anwendungsfälle, darunter Schaltschranktüren, Abdeckungen und abnehmbare Deckplatten. Das Betriebsverhalten der Abschirmung nimmt in der



Bild 7. Elektrisch leitende Elastomere von Kemtron / TE Connectivity bieten eine Dämpfung von bis zu 100 dB bei 10 GHz.

Regel über 1 GHz hinaus ab, es sei denn, es werden zusätzliche Schichten integriert. Beispiele hierfür sind die Kemtron-Reihe von Drahtgestrick-Dichtungen von TE Connectivity (**Bild 6**), die in geschnittenen Längen oder in fertigen Formen für Dichtungen erhältlich sind [1].

Elektrisch leitfähige Elastomere: Die Produktpalette von Kemtron Ltd (jetzt Teil von TE Connectivity) ist in verschiedenen Materialien und Formen erhältlich (**Bild 7**) und bietet eine Dämpfung von über 100 dB bis zu 10 GHz [2]. Zu den Füllmaterialien zählen versilbertes Aluminium und vernickelter Graphit, als Bindemittel kommen Silikon oder Fluorsilikon zum Einsatz. Zu den gängigen Produktformen zählen Platten, Flachdichtungen und O-Ringe. „Kontermutter“-O-Ring-Dichtungen sind speziell für die Abschirmung von HF-EMI konzipiert und für die gängigsten Steckverbinderformate erhältlich [3].

Wabenförmige Lüftungsöffnungen:

Bei Applikationen, bei denen ein Lüfter zur Zwangsluftkühlung verwendet wird, bietet die Öffnung des Lüfters einen direkten Weg für Störungen, die aus einem ansonsten EMI-abgeschirmten Gehäuse austreten. Um dies zu verhindern, können wabenförmige Lüftungsöffnungen, wie die der Produktreihe von Kemtron/TE Connectivity, verwendet werden. Diese bieten eine verbesserte EMI-Leistung und ermöglichen gleichzeitig einen ausreichenden Luftstrom durch ihre laminierte, einschichtige Aluminiumfolien-Wabenzellen-Bauweise. Die Lüftungsöffnungen sind in allen gängigen Lüftergrößen von 40 mm bis 120 mm erhältlich [4].

Einhaltung der EMV-Vorschriften durch EMI-Abschirmungen

Elektromagnetische Störungen durch unerwünschte Störaussendungen von Geräten stören den zuverlässigen Betrieb

von Systemen. Die Einhaltung der EMV-Vorschriften ist eine gesetzliche Anforderung und unerlässlich, um ein fehlerhaftes Systemverhalten zu vermeiden. In diesem kurzen Beitrag haben wir einige Methoden zur Abschirmung vorgestellt, die Entwickler zur Verbesserung der Störfestigkeit umsetzen können. ◀

240531-02



Über den Autor

Als Direktor für technische Inhalte bei Mouser Electronics im EMEA-Wirtschaftsraum ist Mark Patrick für die Erstellung und Verbreitung technischer Inhalte verantwortlich - Inhalte, die für die Strategie von Mouser zur Unterstützung, Information und Inspiration des technischen Publikums entscheidend sind. Bevor er die Leitung des Bereichs Technical Content übernahm, war Mark Patrick Teil des *EMEA Supplier Marketing Teams* von Mouser und spielte eine wichtige Rolle beim Aufbau und der Entwicklung von Beziehungen zu wichtigen Fertigungspartnern. Marks frühere Erfahrungen umfassen praktische Ingenieursaufgaben, technischen Support, technischen Halbleitervertrieb und verschiedene Marketingpositionen. Mark ist im Herzen ein „praktischer“ Ingenieur und hat einen erstklassigen Abschluss in Elektrotechnik von der Coventry University. Seine Leidenschaft gilt alten Synthesizern und der Wartung und Reparatur britischer Motorräder, wobei er nicht scheut, selber zum Schraubschlüssel zu greifen.

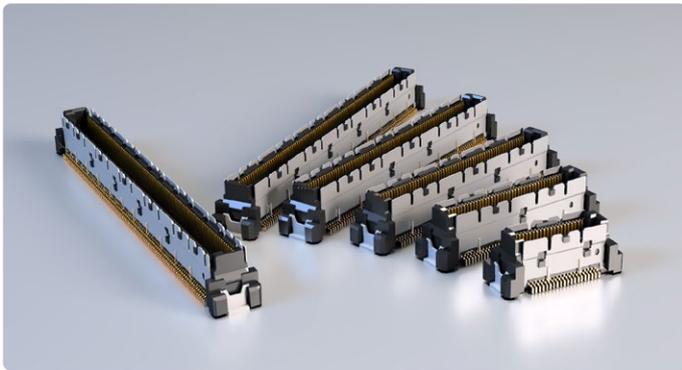
WEBLINKS

- [1] Drahtgestrick-Dichtungen: <https://www.mouser.de/new/te-connectivity/te-kemtron-knitted-wire-mesh-gaskets/>
- [2] Elektrisch leitfähige Elastomere: <https://www.mouser.de/new/te-connectivity/te-kemtron-emi-connector-gaskets/>
- [3] Kontermutter: <https://www.mouser.de/new/te-connectivity/te-kemtron-jam-nut-seals/>
- [4] Wabenförmige Lüftungsöffnungen: <https://www.mouser.de/new/te-connectivity/te-kemtron-honeycomb-air-vents/>

electronica 2024

Highspeed und robuste Board-to-Board Steckverbinder

Ein Beitrag von ept



Auf der electronica in München (12.–15. November) präsentieren wir sowohl unser umfangreiches Produktportfolio an Highspeed fähigen und robusten Board-to-Board Steckverbindern, als auch unsere Neuentwicklung im Bereich Hybridsteckverbinder.

Mit unseren Highspeed fähigen und robusten Board-to-Board-Steckverbindern erhalten Sie die Freiheit, Ihre Board-to-Board-Lösungen zu erweitern. Somit bieten wir für sämtliche Anwendungsfälle die passende Leiterplattensteckverbindung. Das breite Anwendungsfeld reicht von Leiterplatten-Steckverbindern für Schlagbohrmaschinen bis hin zu Board-to-Board-Steckverbindern für High-Performance-Computer.

Um den heutigen Anforderungen des Marktes gerecht zu werden und auch anspruchsvollste Highspeed-Anwendungen zu ermöglichen, bietet ept mit dem Colibri 25 Gbit/s einen PCI-Express-Gen4-kompatiblen und darüber hinaus miniaturisierten Highspeed-Steckverbinder mit einem Raster von nur 0,5 mm.

Der Colibri 25 Gbit/s ist für einen Leiterplattenabstand von 5 mm oder 8 mm verfügbar. Plug und Receptacle bietet ept in den Polzahlen 40, 80, 120, 160 und 220 an – eine 440-polige Version, bestehend aus zwei Plugs beziehungsweise Receptacles mit je 220 Pins, wird in einem Bestückrahmen zusammengehalten.

Er wird dabei in verschiedenen Anwendungsfeldern verbaut, beispielsweise in der industriellen Automatisierung, bei POS-Systemen, in der Medizintechnik, Messtechnik und im Gaming sowie im Bereich der Transportation und Gebäudetechnik.

Außerdem stellen wir den neuen Hybridsteckverbinder HYMC, entwickelt mit Rosenberger, für moderne E/E-Architekturen vor. Moderne Fahrzeug-E/E-Architekturen nutzen sowohl Highspeed-Datensteckverbindungen für differenzielle Datenübertragung, zum Beispiel für Automotive-Ethernet und auch

klassische Signal- und Powersteckverbinder, beispielsweise für CAN- oder LIN-Bus.

Die ept-Rosenberger-Kooperation integriert beide Typen in kombinierten Hybridsteckverbindern. Für den Anschluss eines Hybridsteckverbinders zur Leiterplatte kommt wahlweise die herkömmliche Löttechnik oder die vorteilhafte Einpresstechnik zum Einsatz.

Beide Unternehmen gehören zu den führenden Anbietern in ihren Bereichen: Das breite Rosenberger-Steckverbinderprogramm, zu dem unter anderem die Baureihen H-MTD®, MTD®, HFM® und FAKRA zählen, ist weltweit bekannt für seine Highspeed-Datenübertragung bei Automotive-Anwendungen wie Ethernet für ADAS oder Infotainment.

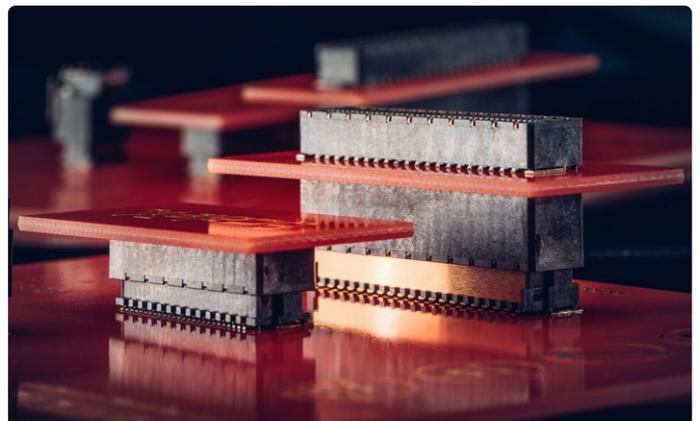
ept hat sich mit ihrer Tcom®-Einpresszone einen Namen im Bereich der kundenspezifischen Schnittstellensteckverbinder für Automotive-ECUs gemacht, vor allem bei kritischen Anwendungen wie zum Beispiel Airbag, ABS/ESP oder Motorsteuerungen.

Für mehr Informationen besuchen Sie uns in Halle B2, Stand 139. [◀](#)

240600-02

Über ept

Das mittelständische Unternehmen ept wurde 1973 von Bernhard Guglhör in Buching (Ostallgäu) gegründet. Die Unternehmensname ept steht für **e**lektronische **P**räzision**s**technik und unterstreicht damit den an sich selbst gestellten hohen Qualitätsanspruch. Die ept GmbH entwickelt und fertigt ein breites Spektrum an Steckverbindern für den Automotive- und Industrial & Communications-Sektor.





Echtzeit- Spektrumanalyzer mit Waveguide-Technologie und Multi-Schnittstellen-PCs

Bild 1. Der SPECTRAN® V6 PLUS XPR 250XB-WR12 bietet 10 dB NF bei 77 GHz. Damit ist er die perfekte Wahl für Radarmessungen im Automobilbereich (76 GHz bis 81 GHz).

Aaronia etabliert neues Produktsegment und präsentiert erste Prototypen auf der *electronica* in München

Ein Beitrag von Aaronia AG

Es ist wieder so weit, die Welt der Elektronik trifft sich auf der *electronica* in München. Vom 12...15. November machen über 2.500 Aussteller die Weltleitmesse zum wichtigsten Impulsgeber der internationalen Elektronikbranche. In diesem Jahr zeigt die Aaronia AG aus Strickscheid nicht nur die aktuellen Entwicklungen ihrer Echtzeit-Spektrumanalyser der SPECTRAN®-Serie oder des Aartos-Drohnen-detektionssystems. Vielmehr überrascht der Weltmarktführer aus Deutschland mit dem Einstieg in das PC-Geschäft und präsentiert die Prototypen künftiger Aaronia-eigenen PC-Boards. Echtzeit-Spektrumanalyser (Real-Time Spectrum Analyzers, RTSA) sind unverzichtbare Werkzeuge in der modernen Funktechnik. Die stetig wachsende Komplexität von HF-Signalen, getrieben durch technologische Fortschritte wie 5G, IoT und Satellitenkommunikation, erfordert präzise und effiziente Messverfahren. 5G, Wi-Fi 6 und ultrabreitbandige Kommunikationssysteme (UWB) nutzen komplexe Modulationsverfahren und hohe Bandbreiten.

Gewappnet für IEEE 802.11ax

Echtzeit-Spektrumanalyser bieten hier entscheidende Vorteile, da sie HF-Signale zeitgleich erfassen und analysieren können. Speziell die Echtzeit-Spektrumanalyser der SPECTRAN®-V6-Serie von Aaronia ermöglichen die kontinuierliche und somit lückenlose Datenerfassung ohne Informationen über kurze oder intermittierende Signale zu verlieren. Dies ermöglicht die Erkennung, Charakterisierung und gegebenenfalls Dekodierung sporadischer oder transients Ereignisse, die in der modernen Kommunikationstechnologie eine wesentliche Rolle spielen. Die einmal aufgezeichneten Daten stehen dem Nutzer vollumfänglich auf dem eingesetzten PC zur Verfügung, beispielsweise um die Kanalbelegung zu optimieren, einzelne Geräte zu lokalisieren oder Repeater-Standorte zu ermitteln.

Messungen im EHF-Band

5G nutzt eine breite Palette an Frequenzbändern, die eine wesentlich höhere Frequenz als frühere Mobilfunk-



Die Erhöhung der Anzahl verfügbarer USB-Schnittstellen war einer der Gründe für unseren Einstieg in die Entwicklung von PC-Bords. Hier stoßen alle herkömmlichen Geräte schnell an ihre Grenzen.

standards aufweisen, wie etwa das extrem hochfrequente Band von 30 GHz bis 300 GHz (EHF). Die Analyse solcher Hochfrequenzsignale erfordert Spektrumanalysatoren, die eine hohe Frequenzauflösung sowie ausreichend hohe Bandbreite bieten, um die komplexe Struktur der Signale darzustellen. Zudem nutzen 5G-Systeme Beamforming-Techniken und Massive-MIMO (Multiple Input Multiple Output), was die Analyse weiter verkompliziert. Hierfür sowie für Messungen im Mobilfunk-Umfeld liefert Aaronia den SPECTRAN® V6 5G. Das Gerät unterstützt auch die WiGig 45 GHz (802.11aj) und 60 GHz (802.11ad/aj/ay) Profile, die jetzt in der neuesten Version der RTSA Suite PRO zur Signalaufzeichnung und Datenanalyse enthalten sind.

Bezahlbare Lösung für Automotive-Anwendungen

Mit einer Echtzeitbandbreite von bis zu 490 MHz und einer Sweepgeschwindigkeit von 3 THz/s ist der SPECTRAN® V6 Xplorer die neue Referenz in punkto Geschwindigkeit. Ausgestattet mit Waveguide-Anschlüssen erlaubt der Analyzer Messungen im Millimeterwellen-Bereich, die mit herkömmlichen Kabeln nicht möglich sind. Waveguides übertragen das Signal ohne Verzerrungen und Verluste. Sie sind weniger anfällig für äußere Störungen wie elektromagnetische Interferenzen, was in einer Umgebung mit vielen elektrischen Geräten und Funksignalen wichtig ist. Dadurch bleibt das Signal sauber, und die Messungen des Spektrumanalyzers werden nicht verfälscht.

Der neue SPECTRAN® V6 Xplorer ist eine effiziente und vor allem bezahlbare Lösung beispielsweise zur Wartung und Überprüfung moderner Sicherheits-Sensoren die den Abstand zwischen Fahrzeugen ermitteln, Totwinkel-Assistenten sowie teilweise auch zur Justierung von Einparkhilfen. Derartige Sensoren ermitteln die Entfernung zu Objekten, indem sie elektromagnetische Wellen aussenden und die Zeit messen, bis die Reflektionen wieder zurückzukommen. Diese Wellen bewegen sich sehr schnell, fast mit Lichtgeschwindigkeit. Die Autowerkstätten sind in der Regel mit der Wartung solcher Sensoren überfordert. Es ist ihnen kaum zuzumuten, Equipment

im Wert mehrerer hunderttausend Euro anzuschaffen. Technische Überwachungsvereine etwa könnten sich aber ein SPECTRAN® V6-basierendes System anschaffen und diese Sensoren somit bei der Fahrzeugkontrolle mit überprüfen.

Mit den SPECTRAN® V6-Echtzeit-Spektrumanalysatoren mit Waveguide-Technik lassen sich diese hochfrequenten und schnell wechselnden Signale sicher analysieren sowie auswerten. Durch den Waveguide-Anschluss können an die Echtzeit-Spektrumanalyse der Aaronia AG, mit den künftig verfügbaren Waveguides, den jeweiligen Anforderungen entsprechend eigene Verstärker- und Splittersysteme angebunden werden. Damit stellt Aaronia bezahlbare Lösungen für derartige Anwendungen bereit.

Einstieg in den PC-Markt

Die Datenanalyse ist die eine Seite, die zur Verfügung stehende Rechenleistung die andere. Obgleich bereits mit Standard-Computern über die Aaronia Echtzeit-Spektrumanalyse in Verbindung mit der RTSA-Suite PRO eine sehr effiziente Verarbeitung selbst von IQ-Daten möglich ist, steigen vielfach die Anforderungen an Bandbreite und Verarbeitungsgeschwindigkeit. „Wir sind ständig auf der Suche nach Computersystemen, die unseren Ansprüchen an Geschwindigkeit, Speicherkapazitäten sowie Schnittstellen genügen“, führt Thorsten Chmielus, CEO der Aaronia AG, aus. „Dementsprechend



Bild 2.
Thorsten Chmielus,
CEO Aaronia AG.

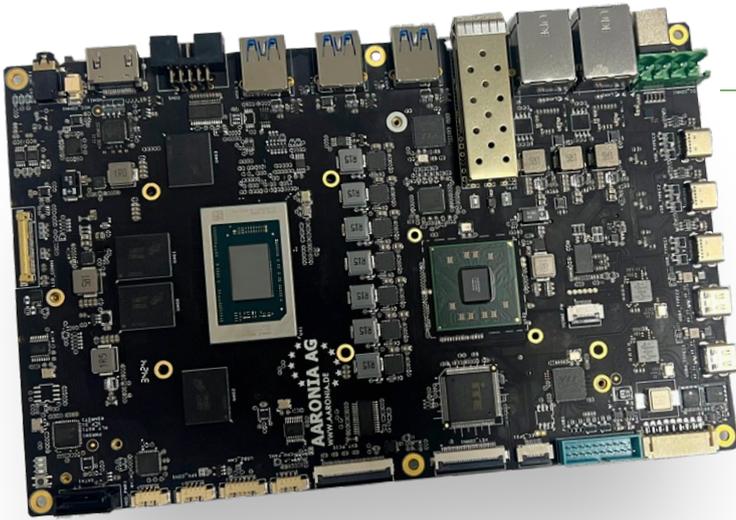


Bild 3. Die auf modernsten Intel®- oder AMD® Prozessoren basierenden PC-Boards sind wahre I/O-Multitalente und erlauben beispielsweise die gleichzeitige Nutzung von vier SPECTRAN® V6 ECO-Analysatoren (4x USB PD).

haben wir beschlossen, die erforderliche Hardware selbst zu entwickeln und freuen uns, die ersten Ergebnisse jetzt erstmals präsentieren zu können". Die auf modernsten Intel®- oder AMD® Prozessoren basierenden PC-Boards sind wahre I/O-Multitalente und erlauben beispielsweise die gleichzeitige Nutzung von vier SPECTRAN® V6 ECO-Analysatoren (4x USB PD).

Mit dem SPECTRAN® V6 MOBILE zeigt Aaronia den weltweit ersten portablen Echtzeit-Spektrumanalyser mit einer RTBW von 490 MHz. Hiermit können selbst die 320 MHz breiten Kanäle des neuen IEEE 802.11ax-Standards vollständig erfasst werden. Mit einem Frequenzbereich von 9 kHz bis zu 140 GHz und der Sweep-Geschwindigkeit von 3 THz/s sind die zum Einsatz kommenden Aaronia-Spektrumanalyser für alle Aufgaben gerüstet. Angetrieben wird das Tablet durch Prozessoren der neuesten Generation. Hier steht wahlweise eine Variante auf Basis des Intel Ultra 985H oder AMD® Ryzen 7949 HF zur Auswahl. Der integrierte 16-Bit-Single-Chip-Sampling-Analog-Digital-Wandler (ADC) besitzt eine Konvertierungsrate von bis zu 2 Gigasample pro Sekunde (GSPS).

Außergewöhnlich ist unter anderem die Ausstattung mit acht USB-Schnittstellen, von denen vier PD-fähig sind. USB-Power-Delivery (USB PD) ist ein USB-Erweiterungsstandard, der den Empfang von bis zu 100 W über ein USB-C-Kabel ermöglicht. In der Regel verfügen PC-basierte Systeme über maximal zwei USB-PD-Ports. Hierzu Chmielus: „Die Erhöhung der Anzahl verfügbarer USB-Schnittstellen war einer der Gründe für unseren Einstieg in die Entwicklung von PC-Bords. In der Messtechnik müssen immer mehr Peripheriegeräte per

USB an die Echtzeit-Spektrumanalyser angeschlossen werden. Da stoßen alle herkömmlichen Geräte schnell an ihre Grenzen und unter anderem aufgrund von Laufzeitverzögerungen verbietet sich der Einsatz von USB-Erweiterungen. Darüber hinaus werden USB-Devices zunehmend über den USB-Port mit Strom versorgt, was das Vorhandensein einer größeren Anzahl an USB-PD-Schnittstellen erforderlich macht."

Ein robustes Aluminiumgehäuse für den Outdoor-Einsatz schützt Elektronik sowie Display. Auch bei den neuen SPECTRAN® V6-Tablets bleibt Aaronia ihrer Philosophie treu, für jede Anwendung die passende Lösung anzubieten. So kann der Kunde entweder eine vorkonfigurierte Version erwerben oder sich das Gerät nach seinen Anforderungen entsprechend zusammenstellen. ◀

240571-02

Über die Aaronia AG

Die Aaronia AG ist ein Technologie-Unternehmen mit Sitz in Strickscheid in der Eifel. 2003 von Thorsten Chmielus gegründet produziert das Unternehmen hauptsächlich Spektrum-Analysatoren auf Basis patentierter Spektrum-Analyse-Prozesse. Von der Konzeptionierung über das Design bis zur finalen Bestückung sowie der Softwareentwicklung findet alles in Deutschland statt. High Tech made in Germany. 2004 wurde der erste Spektrum-Analyser produziert und ausgeliefert. 2008 wurde mit der V4-Serie die nächste Generation der Spektrum-Analyser präsentiert, die einen Weltrekord in Handheld Empfindlichkeit von DANL -170dBm (Hz) aufstellte. Seit 2020 ist die 6. Generation der SPECTRAN Echtzeit-Analyser auf dem Markt.

Mit der neuen Generation der Spektrum-Analysatoren legt AARONIA die Messlatte in Sachen Geschwindigkeit ganz hoch. Durch Kaskadierung mehrerer SPECTRAN-Geräte lassen sich Echtzeitbandbreiten im Gigahertz-Bereich realisieren. Damit setzt die SPECTRAN® V6-Serie neue Benchmarks in der USB-Kompaktklasse. Das System kommt weltweit in zahlreichen Einzelinstallationen sowie komplexen Anlagen zum Einsatz.

Die Aaronia AG entwickelt, vertreibt und handelt mit Messgeräten, Technologien und Rechten auf dem Gebiet der Nieder- und Hochfrequenz-Messtechnik, der Robotik, sowie der Abschirmung von nieder- und hochfrequenten Feldern jeglicher Art. Darüber hinaus betreibt das Unternehmen Grundlagenforschung auf dem Gebiet der Nachrichten- und Messtechnik und konzipiert eigene Schaltkreis- und Messverfahren insbesondere für die Entwicklung extrem empfindlicher sowie genauer Hochfrequenz-Messtechnik.

Die Aaronia AG zeigt ihre neuesten Produkte und Entwicklungen auf der



electronica 2024

München - 12...15. November

Halle A3 - Stand 516

www.aaronia.com

Treten Sie jetzt der Elektor Community bei!



Jetzt



Mitglied werden!



- ✓ Zugang zum kompletten Online-Archiv (1970-heute)!
- ✓ 8x Elektor Magazin (gedruckt)
- ✓ 8x Elektor Magazin (PDF)
- ✓ 10% Rabatt im Elektor Store und exklusive Angebote
- ✓ Zugriff auf über 5.000 Gerber-Dateien u.v.m. aus der Projektplattform Elektor Labs



Auch erhältlich

Die digitale
Mitgliedschaft!



- ✓ Zugang zum kompletten Online-Archiv
- ✓ 8x Elektor Magazin (PDF)
- ✓ 10% Rabatt im Elektor Store und exklusive Angebote
- ✓ Zugriff auf über 5.000 Gerber-Dateien u.v.m. aus der Projektplattform Elektor Labs



www.elektormagazine.de/abo

Die 100 % durchgängige Flussmittelseele

Ein Beitrag von Almit

Schneller, höher, weiter: Die Elektronikfertigungsbranche befindet sich in einem stetigen Wandel. Die Anforderungen an die Fertigung ändern sich rasant, Schwerpunkte werden neu gesetzt und neue Märkte müssen erschlossen werden. Um hier als Hersteller Schritt zu halten, braucht es höchste Qualitätsstandards und das Bestreben, den Bedürfnissen der Kunden mit innovativen Lösungen zu begegnen, welche nicht nur gegenwärtige Anforderungen erfüllen, sondern auch ganz neue Möglichkeiten und Chancen für die Zukunft eröffnen. Almits elaborierte Forschungsarbeit legt die Basis für die einzigartige Qualität des Lötdrahtportfolios. Hinzu kommt individuelle Entwicklungsarbeit, um maßgeschneiderte Produkte für jede Anforderung anzubieten.

Almits Qualitätsgarant: die 100 % durchgängige Flussmittelseele

Herkömmliche Lötdrähte haben häufig das Problem, dass die Flussmittelseele aufgrund einer mangelhaften Produktionstechnik durch Lufteinschlüsse unterbrochen ist und die Seele eine hohe Varianz beim Flussmittelanteil aufweist. Dies führt in der Anwendung zu einer minderen Qualität

der Lötstelle. Almit-Lötdrähte verfügen hingegen über eine 100 % durchgängige Flussmittelseele ohne jegliche Art von Lufteinschlüssen und nur einer minimalen Varianz beim Flussmittelanteil (**Bild 1**). Dieses Qualitätsversprechen kann Almit für alle Lötdrähte gewährleisten, selbst für seine extrem dünnen Hochleistungsdrähte mit einem Durchmesser von bis zu 0,08 mm. Diese werden vor allem in

den Bereichen Elektronik, Medizintechnik, Automobilindustrie und Luft- und Raumfahrt eingesetzt und eröffnen durch den geringen Durchmesser bei gleichbleibend höchster Qualität völlig neue Möglichkeiten in der Miniaturisierung.

Almit fokussiert sich nicht nur auf aktuelle Marktanforderungen, sondern möchte im Hinblick auf die Zukunft allen potenziell auftretenden Herausforderungen zuvor kommen. Daher setzt Almit sich bei der Produktentwicklung immer wieder eigene Standards, welche Industriestandards übertreffen. So auch in der Flussmittelenwicklung: Der Flussmittelanteil bewegt sich bei Almit mit einer nur minimalen Varianz und übertrifft dabei den Industriestandard: Bei einem P3-Draht darf sich der Flussmittelanteil laut Industriestandard zwischen 2,7 % und 3,9 % bewegen. Almit setzt sich erheblich höhere Standards als die Industrie: P3-Drähte von Almit erzielen mit einem Flussmittelanteil zwischen 3,1 % und 3,5 % eine wesentlich geringere Varianz, was sich in dem folgenden Vergleich der Lötunkte aus **Bild 2** widerspiegelt.

Höhere Lötspitzenstandzeit für langfristige Kostenreduktion

Wenn es um die Kosten in der Elektronikfertigung geht, ist das Thema Lötspitzenverschleiß ein kritischer Faktor. Almit bietet

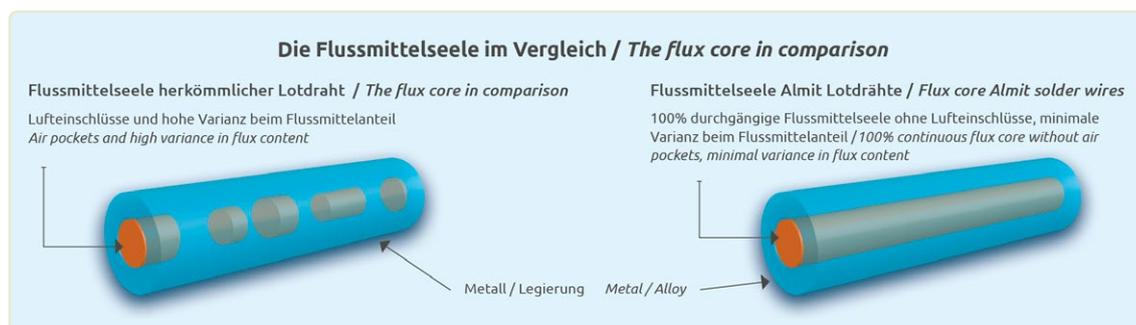


Bild 1. Almit-Lötdrähte verfügen über eine 100 % durchgängige Flussmittelseele.

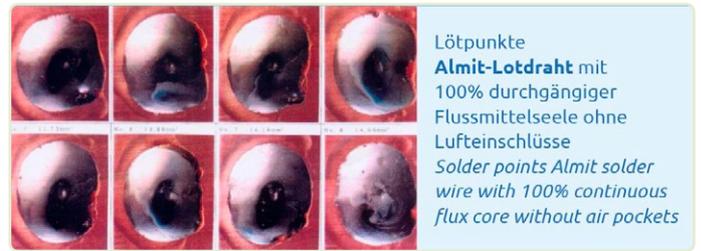
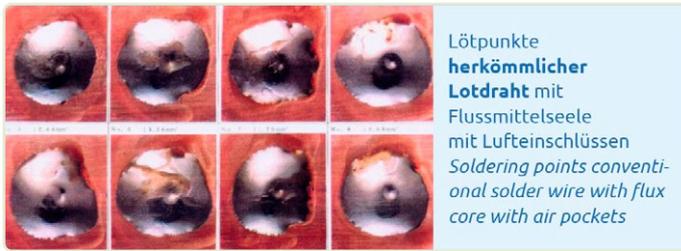


Bild 2. Lötdrähte von Almit erzielen mit einem Flussmittelanteil zwischen 3,1 % und 3,5 % eine sehr geringe Varianz.

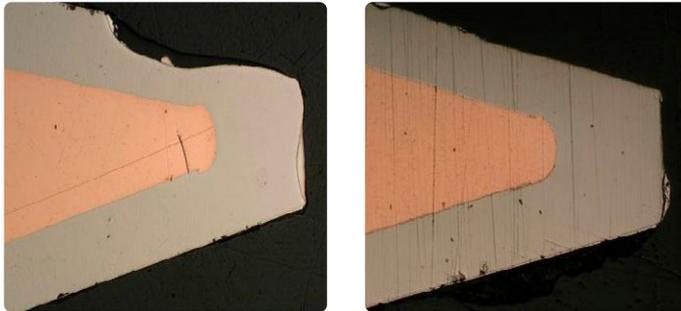


Bild 3. Ergebnis nach 20.000 Lötungen: Lötspitzenverschleiß eines herkömmlichen Lötdrahts (links) und Lötspitzenverschleiß eines Almit-Lötdrahts LFM-23 S (rechts).

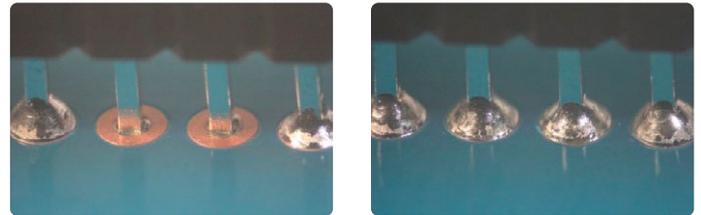


Bild 4. Ergebnis des Through-Hole-Lötens eines herkömmlichen Lötdrahts (links) und eines Almit-Lötdrahts SRS-ZL (rechts).

zukunftsweisende Lösungen an, um die Kosten im Griff zu behalten: So reduzieren die Lötdrähte der S-Linie von Almit durch einen innovativen Zusatz in der Legierung die Oxidation und minimieren damit den Eisenabtrag an der Lötspitze. Im Vergleich zu einer herkömmlichen Legierung erhöht sich die Lötspitzenstandzeit um bis das 5-fache und trägt so dazu bei, die Kosten in der Fertigung zu reduzieren (**Bild 3**).

Das Beste aus zwei Welten: Der halogenfreie Lötendraht SRS-ZL mit L1-Charakteristika

Ein neues innovatives Produkt in Almits Hochleistungsportfolio ist der Lötendraht SRS-ZL. Als halogenfreier Draht wird er der IPC-Klassifizierung Lo zugeordnet und überzeugt dennoch mit vielen Eigenschaften eines L1-Drahtes, wie einem außergewöhnlich schnellen Benetzungsverhalten und einem sehr guten Fließverhalten. Mit dieser Kombination ist er besonders gut für Automotive-Anwendungen geeignet. Die hervorragenden Eigenschaften des SRS-ZL beweisen sich auch beim Through-Hole Schlepplöten. Bei Through-Hole Techniken beträgt die Mindestfüllung des Durchsteigers 75 %, um im 3-Klassen-Produktsystem von IPC die höchste Klassifizierung zu erreichen und damit zur Fertigung von Hochleistungselektronik zugelassen zu werden. Hochleistungselektronik bezeichnet hierbei Produkte, deren kontinuierliche Funktions-

fähigkeit und Hochleistung unabdingbar ist, wie zum Beispiel lebenserhaltende oder andere kritische Systeme. Almits Lötendraht SRS-ZL erreicht nicht nur die geforderten 75 %, sondern weist eine 100 %ige Füllung des Durchsteigers auf – eine einzigartige Performance, besonders für einen halogenfreien Lötendraht (**Bild 4**).

Eine große Herausforderung im Bereich Löten sind Flussmittelspritzer. Als Bindemittel im Flussmittel wird Rosin verwendet, ein Harz, das übrigbleibt, wenn man aus dem von Nadelhölzern abgedampfte Terpentin durch Destillieren das flüchtige Terpentinöl abscheidet. Im verwendeten Harz ist eine Restfeuchte enthalten, der Hauptgrund für das Spritzen

des Flussmittels. Almit betreibt eine eigene Flussmittelentwicklung, um für jede Applikation, abhängig von den thermischen Aufheizbedingungen, das entsprechende Flussmittel bereit zu stellen. Hierbei wird ein aufwendiges Fertigungsverfahren angewandt, um die natürliche Restfeuchte im Flussmittel auf ein Minimum zu reduzieren. Der dadurch erreichte Qualitätsvorsprung spiegelt sich auch in den Charakteristika des SRS-ZL wider, denn er überzeugt mit besonders wenig Flussmittelspritzern, wie in **Bild 5** gezeigt wird.

Wünschen Sie eine technische Beratung? Wir freuen uns auf Ihre Kontaktaufnahme über technicalsupport@almit.de !

240604-02

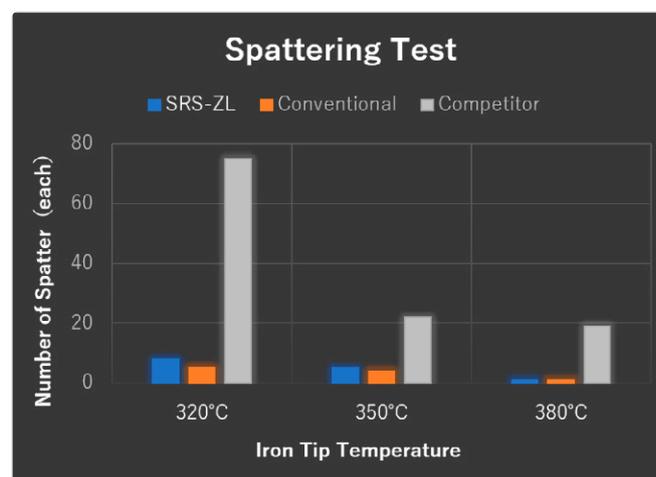


Bild 5. Der Lötendraht SRS-ZL weist besonders wenig Flussmittelspritzer auf.

HDI der Mittelklasse

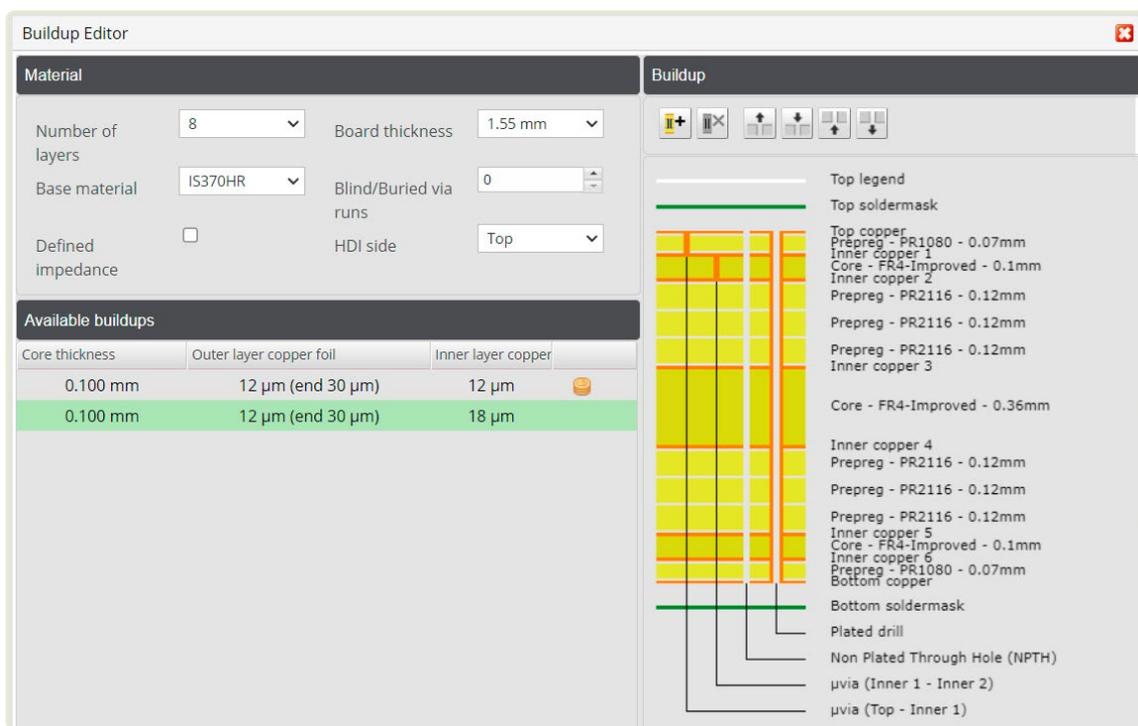
Ein neuer ökonomischer PCB Pooling Service für hochpolige BGAs

Ein Beitrag von Eurocircuits

Manchmal gibt es das Bauteil, das wir unbedingt für unser Projekt verwenden möchten, nur in einem Fine-Pitch-BGA-Gehäuse. Das bedeutet, dass unser Design die Grenze der Standardleiterplattentechnik in den HDI-Bereich überschreitet. Technisch gesehen bedeutet HDI *High Density Interconnect* und praktisch, dass wir mit kleineren Abständen und feineren Leiterbahnen layouten können. Außerdem können wir Microvias verwenden – Durchkontaktierungen mit kleineren Pads und kleineren Durchmessern,

als es normalerweise mit mechanischen Bohrungen möglich ist.

HDI ermöglicht die Miniaturisierung. Das ist großartig, kann aber lästig sein, wenn sie uns durch ein einziges Bauteil auf die gesamte Leiterplatte „gezwungen“ wird, die sich dadurch verteuert. Bei Eurocircuits haben wir eine „Mittelklasse“-Lösung, mit der man sowohl das Bauteil als auch die Kosten unter einen Hut bringen kann. Unser HDI-Pool (**Bild 1**), ein 8-Lagen-Aufbau, behält die Leiterbildklassen der Standardtechnologie bei und fügt Mikrovias zwischen



The screenshot shows the 'Buildup Editor' window with the following settings:

- Material:**
 - Number of layers: 8
 - Board thickness: 1.55 mm
 - Base material: IS370HR
 - Blind/Buried via runs: 0
 - Defined impedance:
 - HDI side: Top
- Available buildsups:**

Core thickness	Outer layer copper foil	Inner layer copper
0.100 mm	12 µm (end 30 µm)	12 µm
0.100 mm	12 µm (end 30 µm)	18 µm
- Buildup Legend:**
 - Top soldermask
 - Top copper
 - Prepreg - PR1080 - 0.07mm
 - Inner copper 1
 - Core - FR4-Improved - 0.1mm
 - Inner copper 2
 - Prepreg - PR2116 - 0.12mm
 - Prepreg - PR2116 - 0.12mm
 - Prepreg - PR2116 - 0.12mm
 - Inner copper 3
 - Core - FR4-Improved - 0.36mm
 - Inner copper 4
 - Prepreg - PR2116 - 0.12mm
 - Prepreg - PR2116 - 0.12mm
 - Prepreg - PR2116 - 0.12mm
 - Inner copper 5
 - Core - FR4-Improved - 0.1mm
 - Inner copper 6
 - Prepreg - PR1080 - 0.07mm
 - Bottom copper
 - Bottom soldermask
 - Plated drill
 - Non Plated Through Hole (NPTH)
 - µvia (Inner 1 - Inner 2)
 - µvia (Top - Inner 1)

Bild 1. Der 8-lagige Multilayer-Aufbau im HDI-Pool.



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

den Lagen 1-2 und 2-3 oder 8-7 und 7-6 hinzu. Dadurch können unsere Kunden diese Fine-Pitch-BGAs entflechten und die Kosten sind überschaubar, weil HDI nur auf einen kleinen Bereich und zwei Microvia-Lagen beschränkt ist.

In der Praxis

Was heißt das in der Praxis? Betrachten wir die Leiterbildklasse 7 mit der Bohrklasse E in **Bild 2**. Der kleinstmögliche Pad-Durchmesser beträgt 0,45 mm (0,1 + 0,35 mm). Das passt nicht in die meisten Fine-Pitch-BGA-Pads. Wenn wir jedoch dieselbe Klasse zusammen mit dem HDI-Pool verwenden, beträgt der kleinste Durchmesser 0,28 mm und passt! PCB-Designer können damit Vias in der Mitte von BGA-Pads platzieren, ohne die Pads über die Empfehlungen des Herstellers hinaus vergrößern zu müssen. Die kleineren Microvia-Pads ermöglichen zudem Dogbone-Anschlüsse.

Es ist unmöglich, alle BGA-Pin-Arrays und ihre Pin-Konfigurationen zu berücksichtigen, um festzustellen, welches Bauteil geroutet werden kann und welches nicht. Trotzdem haben wir unsere Pool-Parameter so konfiguriert, dass vollständige 8x8-Arrays für BGAs bis zu 0,4 mm Pitch vollständig geroutet werden können. **Bild 3** zeigt ein Beispiel für ein vollständig aufgefachertes 8x8-Bauteil mit 0,4 mm Raster. Selbstverständlich sind auch größere Arrays möglich, und alles hängt von der Array-Größe,

der Pin-Konfiguration und der Art der Verwendung dieser Pins ab. In vielen Gehäusen gibt es No-Connect-Pins, und in den meisten Designs werden nicht alle Pins des Mikrocontrollers oder Prozessors verwendet. Das kann das Entflechten großer BGA-Arrays mit nur zwei Microvia-Lagen erleichtern.

Jetzt sind Sie an der Reihe! Laden Sie Ihr Design in unseren Visualizer [1] hoch und prüfen Sie es auf Fertigbarkeit! Wie immer freuen wir uns über Ihr Feedback, wie dieser Service Ihre Arbeit unterstützt. ◀

240593-02

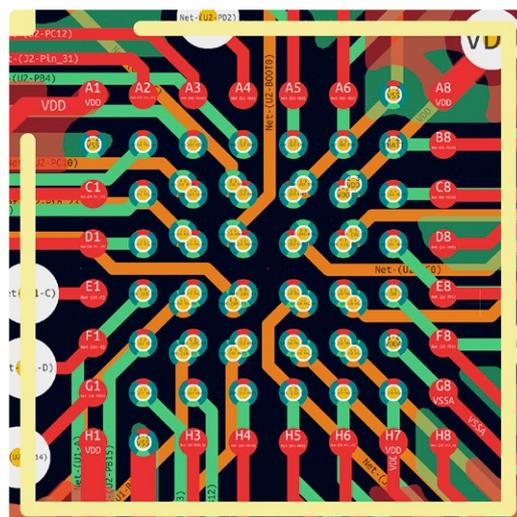


Bild 2. Die Parameter unserer Leiterbildklassen, für die HDI-Pool verfügbar ist (beachten Sie, dass Klasse 9 nicht poolbar ist).

Bild 3. Ein Beispiel für ein Fan-out eines STM32F412 in einem WLCSP64-Gehäuse mit 0,4 mm Pitch. Die erste BGA-Reihe wird auf der obersten Schicht (rot) verlegt, die zweite Reihe auf der zweiten Schicht (grün) unter Verwendung von L1-L2-Microvias in der Pad-Mitte. Die dritte und vierte Reihe werden auf der dritten Schicht (orange) unter Verwendung von L1-L2 und L2-L3 versetzten (staggered) Vias verlegt.

WEBLINK

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

Ferngesteuerte IoT-Entwicklung

Die einzige Lösung für Fernunterricht und Entwicklung in der Embedded-Industrie

Ein Beitrag von MIKROE

MikroElektronika (MIKROE), ein Pionier in der Embedded-Industrie, hat eine bahnbrechende Innovation namens Planet Debug eingeführt – die erste Hardware-as-a-Service-Plattform der Branche. Planet Debug wurde entwickelt, um Zeit und Kosten zu sparen sowie volle Design-Flexibilität zu ermöglichen. Es erlaubt Entwicklern, Studenten und Institutionen, eingebettete Systeme aus der Ferne zu entwerfen, zu entwickeln und zu debuggen.



Bild 1. Planet Debug-Fernstationen mit über 130+ Entwicklungsboards, darunter MCU-Karten, Peripheriegeräte und Displays – teure Hardware ist nicht erforderlich.

Eine der größten Herausforderungen für Entwickler von eingebetteten Systemen besteht darin, Hardwarekomponenten zu beschaffen, darauf zu warten und diese zusammenzubauen. Mit Planet Debug wird dieses Problem gelöst. Anstatt teure Hardware zu kaufen, können Entwickler nun Zeit auf einer der Remote-Stationen von Planet Debug reservieren (**Bild 1**). Diese Stationen sind mit über 130 Entwicklungsboards ausgestattet, darunter Kombinationen aus Mikrocontroller-Karten (MCU), Peripherie-Boards und Display-Konfigurationen. Der Prozess ist einfach: Entwickler wählen die benötigte Hardware-Konfiguration aus und können ihre Anwendungen innerhalb eines Tages über die integrierte Entwicklungsumgebung (IDE) NECTO Studio von MIKROE fernentwickeln. NECTO Studio ermöglicht es den Entwicklern, Echtzeitbilder der tatsächlichen Hardware zu sehen, die ihren Code ausführt, sodass sie sicher sein können, dass sie mit realer Hardware und nicht mit Simulationen arbeiten.

Für viele Entwickler bedeutet diese Flexibilität, dass sie mit verschiedenen Hardware-Konfigurationen experimentieren können, ohne sich zu einer teuren Anschaffung verpflichten zu müssen. Planet Debug ermöglicht es ihnen, „vor dem Kauf zu testen“, was die Eintrittsbarrieren für Neulinge im Bereich eingebetteter Systeme erheblich senkt.

Die Vorteile von Planet Debug für die Bildung

Die Plattform ist besonders wertvoll für Studenten und Universitäten, da sie Fernunterricht und praktische Erfahrungen in der Arbeit mit eingebetteten Systemen ermöglicht, ohne dass eigene Hardware erforderlich ist. In vielen Bildungseinrichtungen sind die Ressourcen begrenzt, und nicht jeder Student hat Zugang zu teuren Entwicklungskits. Mit Planet Debug können Universitäten und Studenten diese Remote-Ressourcen nutzen und so praktisches Lernen von überall auf der

Welt ermöglichen. Zum Beispiel kann ein Student in den USA Zeit auf einem Entwicklungsboard in Mexiko reservieren und sein Projekt aus der Ferne entwickeln, während er die Ergebnisse in Echtzeit sieht. Die Möglichkeit, Hardware aus der Ferne zu nutzen, Code zu testen und Systeme von jedem Standort aus zu debuggen, macht es zu einer perfekten Lösung für Online-Kurse, insbesondere da Fernunterricht zur neuen Norm geworden ist. Diese Flexibilität fördert auch die internationale Zusammenarbeit, da Studenten und Lehrende ohne physische Einschränkungen an gemeinsamen Projekten arbeiten können.

Aquakultur in Mexiko erkunden – Lernen außerhalb des Klassenzimmers

Eines der herausragenden Merkmale von Planet Debug ist seine globale Zugänglichkeit. Derzeit gibt es Setups in Europa, den USA (Minnesota) und Mexiko, und es gibt Pläne, in andere Regionen, einschließlich

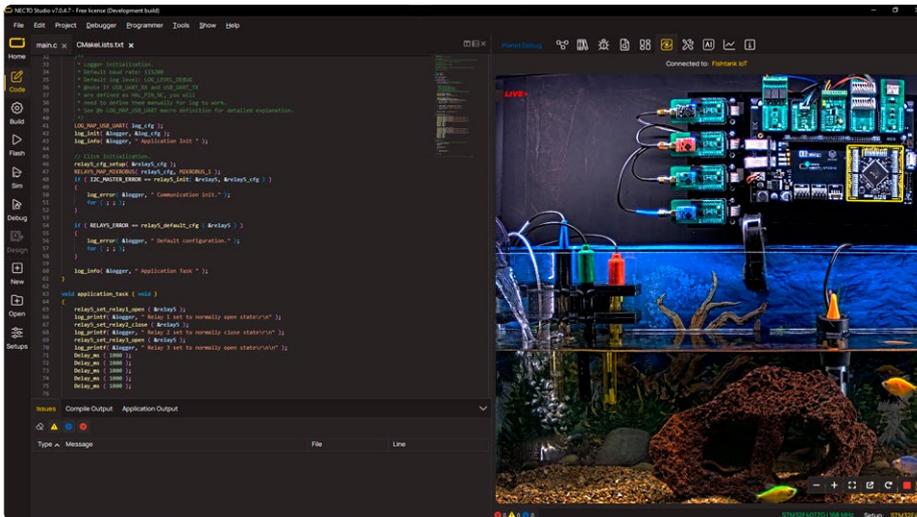


Bild 2. Die Planet Debug-Station in Mexiko bietet eine einzigartige Funktion: Echtzeitüberwachung eines Fischbeckens neben Live-Programmierung.

Asien, zu expandieren. Besonders die Planet Debug-Station in Mexiko bietet etwas Einzigartiges: eine Echtzeitanzeige von Fischen, die im Wasserbecken schwimmen! Stellen Sie sich vor, Sie könnten die Bewegungen des Meereslebens beobachten, während Sie an Ihren eingebetteten Systemdesigns arbeiten (wie in **Bild 2** gezeigt). Diese Einrichtung eignet sich perfekt für Studien der Meeresbiologie, Umweltüberwachung oder einfach, um dem Lernen oder Designprozess eine immersive Erfahrung hinzuzufügen.

Durch diese innovativen Setups können Studenten und Entwickler mit realen Anwendungen arbeiten und gleichzeitig ihre Fähigkeiten in eingebetteten Systemen weiterentwickeln, was Planet Debug nicht nur zu einem Werkzeug für technische Entwicklungen, sondern auch für interaktives, praxisnahes Lernen macht.

Planet Debug: Eine Lösung für Dienstleistungsunternehmen im Bereich Design

Dienstleistungsunternehmen im Bereich Design, insbesondere solche, die in der Prototypenentwicklung und Produktentwicklung tätig sind, profitieren erheblich von Planet Debug. Die Möglichkeit, schnell verschiedene Hardwarekombinationen zu konfigurieren und zu testen, ohne mehrere Entwicklungskits kaufen zu müssen, bringt einen entscheidenden Vorteil, da die Betriebskosten reduziert werden. Die Markteinführungszeit ist für Unternehmen entscheidend, und Planet Debug hilft, den Entwicklungsprozess zu beschleunigen, indem es sofortigen Zugriff auf Hardware bietet, ohne die üblichen Verzögerungen bei Versand und Einrichtung. Da sich Produkt-

anforderungen ändern können, können Ingenieure ihre Entwicklungsumgebung schnell und aus der Ferne neu konfigurieren und so auf neue Spezifikationen oder Marktanforderungen reagieren, ohne ihr Setup überarbeiten zu müssen. Diese Flexibilität ist in einer Branche, in der Agilität der Schlüssel zum Erfolg ist, von unschätzbarem Wert.

Chip-Knappheit überwinden

Der weltweite Mangel an Halbleitern betraf viele Branchen und hat zu Produktions- und Entwicklungsverzögerungen geführt. Planet Debug bietet jedoch eine einzigartige Lösung für dieses Problem. Da Entwickler mit Remote-Hardware arbeiten, beeinflusst die Chip-Knappheit ihre Fähigkeit nicht, weiterhin Anwendungen zu entwickeln und zu testen. Die Plattform gewährleistet die ständige Verfügbarkeit von Hardware, unabhängig von Unterbrechungen in der Lieferkette. Dieser Vorteil gilt auch für Bildungseinrichtungen, in denen eingeschränkte Ressourcen den Fortschritt der Studenten behindern können. Mit Planet Debug sind Universitäten und Studenten nicht mehr auf die Verfügbarkeit von Hardware angewiesen, sodass Lernen und Innovationen ohne Unterbrechung fortgesetzt werden können.

Zukünftige Expansion und globale Zugänglichkeit

Derzeit sind Planet Debug-Stationen an mehreren Standorten verfügbar, darunter sind der Hauptsitz von MIKROE, verschiedene Universitäten in Europa sowie Einrichtungen in Minnesota, USA, und Mexiko. Es gibt Expansionspläne nach Asien, was die globale Reichweite der Plattform

weiter ausbaut. Der Dienst steht Benutzern weltweit zur Verfügung und macht ihn zu einer wirklich globalen Lösung für das Design eingebetteter Systeme. Nebojsa Matic, CEO von MIKROE und Gründer von Planet Debug, fasst es perfekt zusammen: „Hardware-as-a-Service ist die Zukunft des Designs. Es ist schwer für die Menschen, das jetzt zu begreifen, weil es so viele Teile des Puzzles gibt: die Click-Peripherie-Boards und SiBRAIN-MCU-Karten, die auf Standardsockeln basieren; die Fusion-Entwicklungsboards, CODEGRIP und NECTO. Aber das logische Endziel für uns war es immer, sie in der Planet Debug-Plattform zu kombinieren. Es wird das Design eingebetteter Systeme revolutionieren.“

Eine neue Ära für Embedded Design und Fernunterricht

Planet Debug stellt einen bedeutenden Wandel in der Entwicklung, dem Design und der Lehre eingebetteter Systeme dar. Sein einzigartiges Hardware-as-a-Service-Modell ermöglicht beispiellose Flexibilität, Kosteneinsparungen und Zugänglichkeit für Entwickler, Studenten und Universitäten weltweit. Durch die Beseitigung der Notwendigkeit teurer Hardwarekäufe und den Zugang zu hochmodernen Entwicklungswerkzeugen aus der Ferne hat MIKROE eine Plattform entwickelt, die es den Nutzern ermöglicht, sich auf Innovation und Kreativität zu konzentrieren, anstatt sich um Logistik und Hardwarebeschränkungen zu kümmern. Für Studenten und Universitäten ist es eine perfekte Lösung für Fernunterricht und praktische Erfahrungen, die sicherstellt, dass die Bildung mit den technologischen Fortschritten Schritt hält. Für Unternehmen ist es eine kostengünstige Möglichkeit, den Designprozess zu optimieren, die Markteinführungszeit zu verkürzen und wettbewerbsfähig zu bleiben. Und für Meeresbiologen oder jedes andere Gebiet, das Fernbeobachtung erfordert, eröffnet Planet Debug neue Möglichkeiten für Erkundung und Entdeckung. Die Zukunft des Embedded-Designs ist da – zugänglicher, flexibler und innovativer als je zuvor. ◀

240594-02



OpenAI and
studio Elektor

Gast-Ausgaben von Elektor:

Kooperationen, die Innovationen in der Elektronik vorantreiben

Vom Elektor Content Team

Wenn es um Elektronik und Ingenieurwesen geht, steckt die Kraft in der Zusammenarbeit. Mit den Gast-Ausgaben von ElektorMag haben wir uns mit führenden Brancheninnovatoren wie Arduino, Espressif und SparkFun zusammengetan, um der weltweiten Elektronik-Community kreative Elektronikprojekte und umfassende Ingenieurutorials zu präsentieren.

Was passiert, wenn Elektor sich mit einigen der innovativsten Unternehmen der Elektronikwelt zusammenschließt? Man erhält eine dynamische Fusion aus Kreativität, Fachwissen und zukunftsweisender Technologie in den Seiten von ElektorMag. In den letzten Jahren hat Elektor mit Vorreitern wie SparkFun, Arduino und Espressif zusammengearbeitet, um gemeinsam exklusive Ausgaben von ElektorMag zu erstellen, die mit innovativen Elektronikprojekten, umfassenden Ingenieurutorials und hilfreichen Einblicken von Top-Ingenieuren gefüllt sind. Diese Sonderausgaben haben die weltweite Gemeinschaft der Ingenieure, Maker und Technikbegeisterten in ihren Bann gezogen und inspiriert. Um das größtmögliche Publikum zu erreichen, wurden die Gast-Ausgaben (in gedruckter und digitaler Form) veröffentlicht und in den englischen, deutschen, niederländischen und französischen Märkten beworben. Die Initiative ermöglichte es sowohl unseren Gästen als auch Elektor, ihre Marken in neuen Märkten zu präsentieren und ihre Produkte einem neuen Publikum vorzustellen. Wir bewarben jedes Magazin mit einer kostenlosen digitalen Bonusausgabe, die mit zusätzlichen Projekten und Artikeln gefüllt war, sowie mit gut besuchten Webinaren und Videos. Die Ergebnisse waren bemerkenswert: Jede Ausgabe und alle nachfolgenden Inhalte erreichten Hunderttausende begeisterter Ingenieure und Maker.



„Zunächst einmal vielen Dank an Elektor, dass wir eine Ausgabe dieses großartigen Magazins mitgestalten durften! Wir freuen uns sehr, der Elektor-Community mehr über SparkFun durch Interviews, Projekte und Artikel zu zeigen. Wir haben es wirklich genossen, mit dem Elektor-Team zusammenzuarbeiten, um diese Publikation zu produzieren - wirklich professionell und außergewöhnlich talentiert.“

Nathan Seidle (Gründer, SparkFun) & Glenn Samala (CEO, SparkFun)



„Diese Sonderausgabe des Elektor Magazins ist eine Hommage an unsere Community, an alle, die jemals einen Arduino in die Hand genommen haben, um ein Projekt zu realisieren, an diejenigen, die ihre Zeit damit verbracht haben, andere die Bedeutung der digitalen Technologie zu vermitteln, an die Künstler, Designer, Ingenieure und Wissenschaftler, die mit Hilfe eines Arduino-Boards eine großartige Arbeit leisten wollen und an die Elektor-Community, die uns unterstützt und unsere Botschaft im Laufe der Jahre verstärkt hat.“

David Cuartielles (Mitbegründer, Arduino)



Die SparkFun Gast-Ausgabe

2021 brachte Elektor die erste Ausgabe des Elektor Magazins heraus, die von einem Gast herausgegeben wurde. Gemeinsam mit unserem ersten Gast, SparkFun, haben wir ein Magazin mit ausführlichen Ingenieur-tutorials, Elektronikprojekten mit SparkFun-Produkten, exklusiven Inhalten und Einblicken von SparkFun-Gründern, Geschäftsführern und Ingenieuren erstellt und veröffentlicht. Wie kam es dazu? Die Ausgabe war einige Jahre in der Mache. Während eines Besuchs der Maker Faire im Mai 2019 in San Mateo, Kalifornien, trafen sich Don Akkermans (Elektor) und C. J. Abate (Elektor) mit SparkFun, um über eine mögliche Kooperation in Bezug auf Inhalte und Produkte zu sprechen. Während ihres Treffens bei einem Espresso fanden sie schnell heraus, dass die beiden Unternehmen viel gemeinsam haben: talentierte interne Ingenieurteams, weit verbreitete Online-Elektronik-geschäfte, eine ernsthafte Leidenschaft für unterhaltsame DIY-Elektronikprojekte und schnell wachsende Gemeinschaften von neugierigen Ingenieuren und Makern. Die Diskussionen in den Monaten nach diesem ersten Treffen brachten erste Ideen für eine Zusammenarbeit hervor, die sich organisch von Produkten über Projekte zu Artikeln und schließlich zu einer ganzen Ausgabe von ElektorMag entwickelte. Das Ergebnis war ein Sammlerstück!



Lesen Sie die SparkFun-Gastausgabe von ElektorMag (2021)!

Die Arduino Gast-Ausgabe

Nach der erfolgreichen SparkFun-Ausgabe haben wir im Jahr 2022 eine spezielle Einladung an unsere Freunde von Arduino geschickt. Zu diesem Zeitpunkt wollten sie die professionellen Möglichkeiten der Arduino-Plattform hervorheben, und so arbeiteten wir eng zusammen, um eine einzigartige Ausgabe von ElektorMag zu entwickeln. Im Laufe mehrerer Monate arbeiteten die Elektor-Ingenieure und -Redakteure eng mit David Cuartielles und seinen Kollegen bei Arduino zusammen, um DIY-Elektronikprojekte, umfassende Interviews und hilfreiche Tutorials zu vielen innovativen Arduino-Lösungen vorzubereiten, vom Arduino UNO über die Arduino Cloud bis hin zu den professionellen Produkten von Arduino, einschließlich der Portenta-Familie. In typischer Elektor-Manier haben wir hart mit unseren Freunden bei Arduino zusammengearbeitet, um den Lesern ein Magazin zu bieten, das nicht nur innovative Do-it-yourself-Projekte wie Davids Bodenüberwachungssystem enthält, sondern auch Einblicke von kreativen Künstlern wie Jacob Remin, die Arduino auf innovative Weise einsetzen. Zu den Magazinartikeln in dieser Ausgabe gehören: Erste Schritte mit dem Portenta X8, MicroPython betritt die Welt von Arduino, das neue Portenta X8 (mit Linux!) und Max Carrier definiert neu, was möglich ist, Arduino Portenta Maschinensteuerung und Arduino Portenta H7, MQTT auf dem Arduino Nano RP2040 Connect, Tauchen Sie ein in die Arduino Cloud und mehr.



Lesen Sie die Arduino-Gastausgabe von ElektorMag (2022)!



„Wir möchten dem fantastischen Elektor-Team und den Redakteuren für ihre unglaubliche Arbeit und ihre unermüdliche Unterstützung bei der Verwirklichung dieser Publikation von ganzem Herzen danken.“ Es sind Ihre Beiträge, die das alles erst möglich gemacht haben.

Teo Swee Ann
(Gründer/CEO, Espressif Systems)



Die Espressif Gast-Ausgabe

Nach dem durchschlagenden Erfolg der SparkFun (2021) und der Arduino (2022) Kooperation haben wir uns gefreut, Espressif als Gastredakteur für 2023 zu gewinnen. Mit Lösungen wie dem ESP8266 und ESP32 hat das Espressif-Team immer wieder bahnbrechende Werkzeuge den innovativsten professionellen Ingenieuren, ernsthaften Makern und zukunftsorientierten Studenten zur Verfügung gestellt. Mit diesem als Gast-Ausgabe herausgegebenen ElektorMag und der daraus resultierenden spannenden Zusammenarbeit mit den talentierten Ingenieuren von Espressif haben wir Elektor-Mitgliedern und Ingenieuren auf der ganzen Welt eine breite Palette von Beispielen für die Lösungen und das Know-how des Unternehmens an die Hand gegeben. Das Magazin war gefüllt mit Inhalten, von Projekten bis hin zu Tutorials, zu Themen wie Liedererkennung auf einem ESP32, Embedded-Entwicklung mit Rust, ESP32 und ChatGPT, Gesichtserkennung mit dem ESP32-S3-EYE, praktische technische Einblicke und mehr. Wie in den Jahren zuvor mit Arduino und SparkFun haben wir die Ausgabe mit einer kostenlosen digitalen Bonusausgabe sowie mit Webinaren und Videos ergänzt.

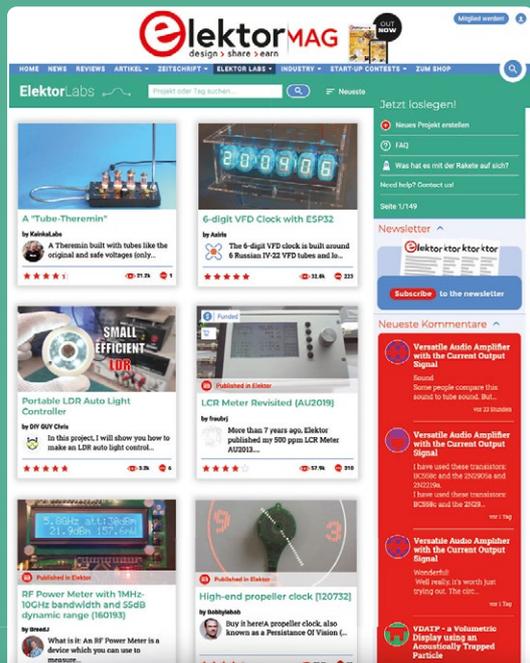
Lesen Sie die Espressif-Gastausgabe von ElektorMag (2023)!



Die KI-Ausgabe

Im Jahr 2024 haben wir einen unkonventionellen Schritt nach vorn gewagt und die KI selbst als Gastredakteur eingeladen. Wir konsultierten verschiedene KI-Programme, um wichtige Themen vorzuschlagen, Inhalte zu kuratieren und sogar die zahlreichen Projekte und Artikel in der Ausgabe zu bewerten. KI hat die Projekte und Artikel zwar nicht selbst erstellt (dafür haben wir unsere internen Ingenieure und unsere globale Community herangezogen), aber sie diente uns als dynamischer Partner, der uns dabei half, Ideen zu verfeinern, neue Trends zu erkennen und sicherzustellen, dass unsere Inhalte immer am Puls der Zeit blieben. Dieser unkonventionelle Ansatz ist absolut sinnvoll in einer Zeit, in der die KI die Elektronikindustrie in rasantem Tempo umkrempelt und alles von Designprozessen bis hin zur Prototypenerstellung und darüber hinaus revolutioniert. Indem wir KI die Gestaltung der Sonderausgabe überlassen haben, haben wir uns nicht nur die Technologie zu eigen gemacht, die unser Fachgebiet neu definiert, sondern unseren Lesern auch einen spannenden Einblick gegeben, wie künstliche Intelligenz Kreativität, Innovation und die Zukunft der Technik beeinflussen kann. Besuchen Sie www.elektormagazine.com/embedded-ai für weitere Informationen! ◀

240544-02



Starten Sie Ihre Elektronik-Innovationen mit ElektorLabs

- Kostenlose Veröffentlichung von Projekten
- Experten-Unterstützung
- Gelegenheiten zur Zusammenarbeit
- Zugang zu exklusiven Ressourcen
- Veröffentlichung im Elektor-Magazin

Teilen Sie Ihre Projekte mit anderen!
www.elektormagazine.de/e-labs



PCBWay

PCBWay – Flex- und Rigid-Flex-Leiterplatten zu unschlagbaren Preisen

Hochwertige Flex- und Rigid-Flex-Leiterplatten
 schon ab **46,74 \$**

- 1-16 Lagen
- 100% E-test
- Hochgradig anpassbar

Besuchen Sie uns auf der
electronica 2024,
 Stand **A1.163**



www.pcbway.com

service@pcbway.com

Open Vario

Open-Source Multifunktions-Variometer für Gleitschirmflieger

Von Cedric Jimenez (Frankreich)

Manchmal entstehen die besten Entwürfe aus einer Gelegenheit heraus! Cedric Jimenez, hörte von einem Freund vom STM32 Wireless Innovation Design Contest und gewann doch glatt den ersten Preis. Sein Beitrag zum Wettbewerb war ein innovatives Projekt zur variometrischen Messung der Flughöhe. Lesen Sie seine Geschichte!

Alles begann damit, dass mir ein Freund den Link zum *STM32 Wireless Innovation Design Contest* auf der Elektor-Webseite [1] weiterleitete: „Hey! Hast du diesen Wettbewerb gesehen? Er basiert auf einem Wireless-Chip von ST, und sie bieten ein kostenloses Entwicklungsboard an!“ Er wusste, wie er mein Interesse wecken konnte, denn ich teste wirklich gerne neue Mikrocontroller, und ich bin ein großer Fan dieser Entwicklungsboards, mit denen man schnell Projekte einrichten und testen kann, um ihre Funktionen zu entdecken.

Auswahl der Hardware

Ich warf einen kurzen Blick auf die vorgeschlagenen Evaluierungsboards: zwei Nucleos (NUCLEO-WBA52CG, NUCLEO-WL55JC) und ein Discovery-Kit (STM32WB5MM-DK). Letzteres war meiner Meinung nach die attraktivste Basis für ein Projekt, weil es gut ausgestattet ist: Es enthält ein Display, Speicher, Sensoren, USB und Erweiterungsanschlüsse ... Okay, ich hatte also ein Board [2], jetzt brauchte ich eine Projektidee. Ich bin Gleitschirmpilot und habe schon lange mit dem Gedanken gespielt, eigene Fluginstrumente zu entwickeln. Vor etwa fünf Jahren habe ich sogar angefangen, über ein Hardware-Design nachzudenken, aber ich bin nicht sehr weit gekommen, hauptsächlich aus Zeitmangel. Deshalb habe ich diesen

Wettbewerb zum Anlass genommen, diese Idee endlich in ein reales Gerät umzusetzen, das ich bei meinen Flügen verwenden kann. Beim Gleitschirmfliegen ist das Variometer, auch Steigmesser genannt, das wertvollste Gerät! Die Steigrate, ausgedrückt in Metern oder Fuß pro Sekunde, hilft bei der Suche nach den thermischen Strömungen, die es dem Gleitschirm ermöglicht, aufzusteigen und über mehrere Stunden in der Luft zu

bleiben. Zusätzlich zu den Hauptfunktionen des Variometers verfügen kommerzielle Variometer oft über weitere Funktionen, beispielsweise Satelliten-Tracking (Global Navigation Satellite System, GNSS) und die Anzeige der Daten auf einem Smartphone.

Anforderungen an das Gerät

Ausgehend von den Funktionen, die das STM32WB5MM-DK-Board bietet, habe ich eine Liste der Funktionen erstellt, die ich implementieren wollte (**Bild 1**):

- > Variometer
- > GNSS-Positionsbestimmung
- > Beschleunigungsmesser
- > Thermometer
- > Berechnung der Gleitzahl (horizontale Strecke, die bei einem Höhenverlust von 1 m zurückgelegt werden kann)

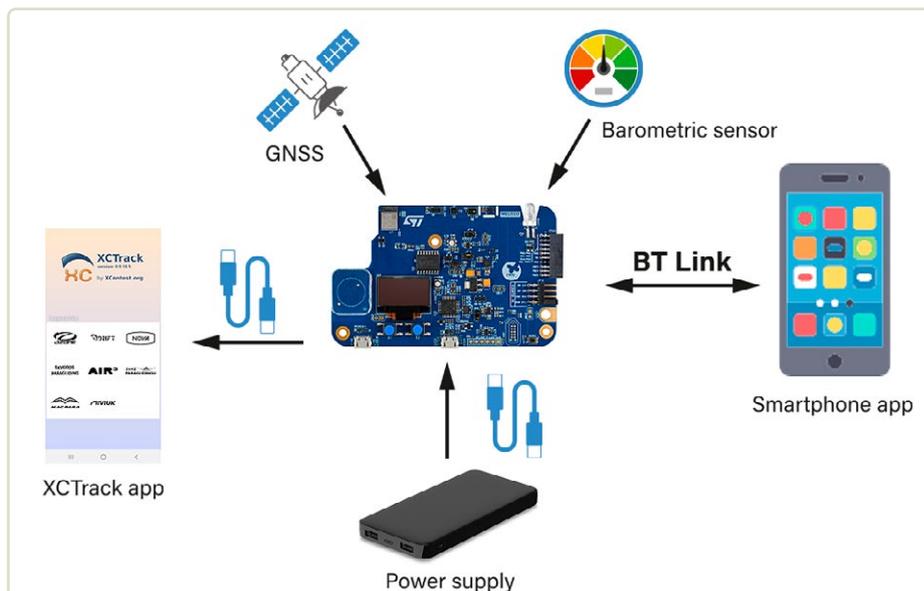


Bild 1. Das Entwicklungsboard STM32WB5MM-DK ist das Herzstück dieses Projekts.

- Flugdatenaufzeichnung (Höhe, Geschwindigkeit, Position...)
- Lokale Benutzerschnittstelle zur Anzeige von Sensor- und Flugdaten
- Bluetooth-LE-Verbindung zur Konfiguration von Parametern und zum Ablesen von Echtzeit-Flugdatenwerten
- USB-OTG-Anschluss zur Verbindung mit der bekannten Smartphone-App *XCTrack* (die als abgesetztes Display verwendet werden kann)
- USB-Verbindung für den Anschluss an selbst entwickelte PC-Python-Tools zum Exportieren von aufgezeichneten Flügen

Erforderliche zusätzliche Hardware

Obwohl das STM32WB5MM-DK-Board die meisten Anforderungen erfüllte, fehlten doch noch zwei Sensoren: GNSS für die Ermittlung der Geoposition des Geräts und ein Drucksensor zur Berechnung der Steigrate.

Die Berechnung der Steigrate erfolgt durch Messung der Differenz zwischen zwei gemessenen Höhen im Abstand von mehreren Sekunden. Ein GNSS berechnet die Höhe nicht präzise genug, so dass ein hochpräziser Barometer/Drucksensor erforderlich ist, um eine Genauigkeit von 15...30 cm bei der Höhenmessung zu erreichen.

Eine weitere Bedingung für die Auswahl zusätzlicher Sensoren war eine mechanisch robuste elektrische Integration mit der STM32WB5MM-DK-Platine, die Vibrationen und Erschütterungen während der Starts, Flugturbulenzen und Landungen standhalten muss. Das gesamte Gerät muss außerdem so kompakt wie möglich sein, um leicht transportiert werden zu können. Deshalb entschied ich mich, den Arduino-UNO-kompatiblen Anschluss auf dem STM32-Board zu nutzen und auf ein spezielles Shield [3] gesteckte MikroE-Click-Boards zu verwenden. Damit wurden Lötarbeiten und Drahtbrücken vermieden. MikroElektronika bietet eine große Auswahl an gebrauchsfertigen Sensormodulen an (mehr als 1000!) und ich habe schon oft welche für schnelles Prototyping verwendet. Für das GNSS hatte ich bereits ein GNSS-4-Click-Board [4] von MikroE mit dem AM-M8Q-Modul von U-blox, das eine GNSS-Patch-Antenne mit omnidirektionalem Strahlungsdiagramm und eine UART-Schnittstelle enthält.

MikroE bietet drei hochpräzise Barometer/Drucksensoren an, die für mein Projekt verwendet werden könnten. Ich stöberte in

Gleitschirmforen, sah mir die vorhandenen Dokumentationen an und entschied ich mich schließlich für das kleine Board *Altitude-2-Click* [5] mit einem Drucksensor MS5607 von TE Connectivity, der auch in anderen Variometer-Projekten verwendet wird. Das Board ist einfach zu bedienen und gut dokumentiert und kann entweder über den I²C- oder den SPI-Bus angeschlossen werden.

Ich habe also alles zusammengesteckt, um zu sehen, wie es passt (ein Blockdiagramm des Systems sehen Sie in **Bild 2**), schaltete ein und ... böse Überraschung: Weder der I²C- noch der SPI-Bus waren an den Pins verfügbar, die das barometrische Sensormodul doch dringend benötigt! Okay, das war nicht wirklich ein Hindernis, der I²C-Bus ist kein komplexes Protokoll, also setzte ich einen Bitbanging-I²C-Treiber als Workaround ein.

Software-Entwurf

Nun, da ich meinen Hardware-Entwurf zusammen hatte, konnte ich anfangen, über die Software nachzudenken. Ich mag es, meinen Quellcode mit anderen zu teilen, und ich mag es auch, die Arbeit anderer Leute zu verwenden. Deshalb gebe ich den Großteil meines

Codes unter Open-Source-Lizenzen weiter, und deshalb ist auch dieses Projekt Open-Source [6]. Ich habe mich bei diesem nicht-kommerziellen Projekt für die MIT-Lizenz entschieden, um zukünftigen Mitwirkenden/Nutzern ein Maximum an Flexibilität bei der Verwendung zu ermöglichen.

Als Programmiersprache habe ich meine Lieblingssprache C++ verwendet. Sie bietet alle Low-Level-Fähigkeiten von C und darüber hinaus alle Merkmale einer modernen objekt-orientierten Sprache: Typensicherheit, Vererbung, Templates. Die meisten Leute denken, C++ bedeutet dynamische Speicherzuweisung, aber ist die Verwendung von `malloc()` und `free()` in einem C-Programm obligatorisch? Nein, ebenso wenig wie `new` und `delete` in C++. Es hängt nur von der verwendeten Untermenge der Sprache ab, und es gibt so viele Möglichkeiten ohne dynamische Zuweisungen.

ST bietet eine Menge Software-Tools für seine Mikrocontroller (STM32CubeIDE, STM32CubeMX und so weiter) und durch den Gerätetreiber HAL und die STM32Cube-MCU-Pakete viele Beispiele. Zwar schätze ich diese Tools sehr, da sie mir helfen, den Entwurf kleiner

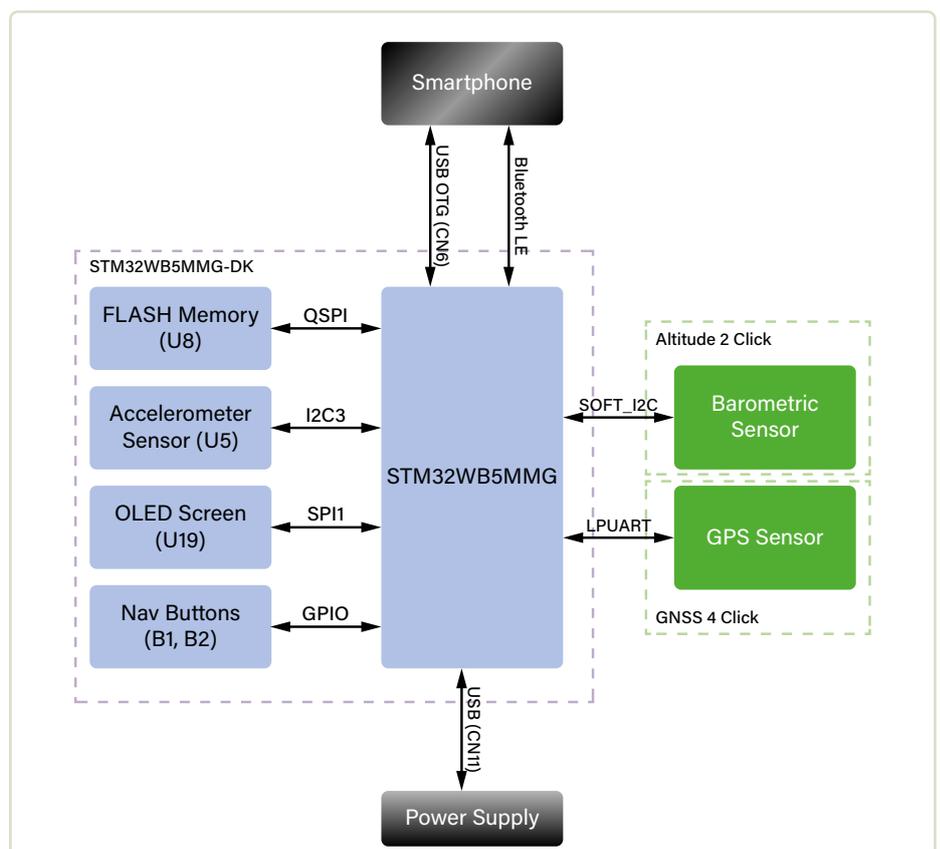
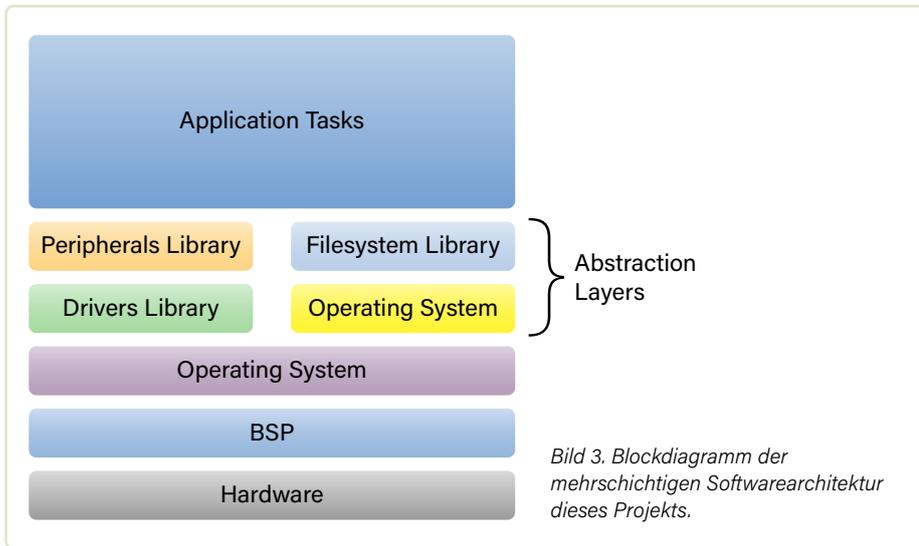


Bild 2. Das Blockschaltbild der Funktionen des Systems zeigt die physikalischen Schnittstellen zu den externen Modulen.



Prototypen zu beschleunigen, indem sie einen Teil des Codes generieren und mich auf die richtigen Bibliotheken hinweisen, aber ich bevorzuge dennoch Visual Studio Code mit der C/C++-Erweiterung für Code-Highlighting und Browsing-Möglichkeiten sowie die Cortex-Debug-Erweiterung zum Debuggen von Embedded-Geräten mit ST-Links- oder J-Links-Debug-Sonden.

So hat man die gleichen Funktionen wie die STM32CubeIDE, ist aber durch Plugins und JSON-Konfigurationsdateien einfacher zu konfigurieren und anzupassen. Ich habe es außerdem vorgezogen, mein eigenes CMake/Make-Build-System zu schreiben, um völlig unabhängig von der verwendeten IDE zu sein (kein generierter Code durch ST-Tools) und so die volle Kontrolle über den Quellbaum und die Quelldateien zu haben.

Neben STM32-HAL, der STM32-USB-Gerätebibliothek und natürlich dem STM32-WPAN-Stack für Bluetooth habe ich mich für die folgenden Bibliotheken von Drittanbietern entschieden (alle auf Github verfügbar):

- FreeRTOS 10.6.2: Echtzeit-Betriebssystem (ich finde es, wenn die Ressourcen nicht zu knapp sind, viel einfacher, ein solches anstelle eines Entwurfs mit einer einzigen Loop zu verwenden)
- Little-FS 2.81: Einfach zu verwenden, leichtgewichtiges, gegen Stromausfall geschütztes Dateisystem für NOR-Speicher
- YACSWL/YACSWL 0.0.1: Grafische Bibliothek mit geringem Platzbedarf, zugeschnitten auf schwarz-weiße OLED- und/oder ePaper-Displays

Zunächst habe ich für all diese Bibliotheken einen C++-Wrapper erstellt, um sie leichter in C++-Code zu integrieren. Und für einige von ihnen, wie die `mutex`-Klasse, habe ich

das Standard-Verhalten `std::mutex` von C++ nachgeahmt, so dass der Code leicht geschrieben werden kann, wenn man in C++ firm ist. Dann beschloss ich, eine „klassische“, aber dennoch effiziente Software-Schichtarchitektur zu implementieren (siehe Bild 3). Darüber hinaus habe ich ein von mir so genanntes „Board Abstraction Pattern“ verwendet, das eine Schnittstelle definiert, die es mir ermöglicht, alle meine Objekte, die mit Peripheriegeräten und Gerätetreibern umgehen, über eine abstrakte Schnittstelle zu erreichen. Ok, das war jetzt eine Menge Theorie, also schauen wir uns jetzt den Code in Listing 1 an, der auch auf GitHub [6] verfügbar ist.

Mit dieser Schnittstelle konnte ich in meinen Anwendungen problemlos auf die Hardware-Peripheriegeräte und -Treiber zugreifen, ohne mich um deren Implementierung kümmern zu müssen. Auf diese Weise konnte ich zum Beispiel ganz einfach Sensor-Ausgangssignale simulieren, um die Entwicklung der Algorithmen in der Anwendung zu beschleunigen. Bei einem anderen Projekt habe ich dasselbe Muster verwendet, um die Hardware zu abstrahieren und die gleiche Software auf verschiedenen Boards laufen zu lassen.

Testen

Der letzte Schritt bestand nun darin, mein Gerät unter realen Flugbedingungen zu testen. Von den simulierten Eingaben wusste ich, dass meine Algorithmen gültige Werte berechneten und sich korrekt verhielten, wenn ich die Parameter ihrer Filter änderte. Aber beim Gleitschirmfliegen dreht sich alles um Gefühle; daher musste ich diese Parameter während echter Flüge anpassen, damit sich das Gerät meiner Art zu fliegen entsprechend verhält. Und die Parameter sollten auch leicht zu konfigurieren sein, damit ein anderer Pilot sie anpassen kann.

Ich konnte das Gerät nicht der „freien Luft“ aussetzen, da die direkte Sonneneinstrahlung (und der relative Luftstrom) den sehr empfindlichen Drucksensor beeinträchtigen würden. Stattdessen musste ich die Daten auf meinem Smartphone visualisieren und auf diesem Weg auch die Parameter steuern. Es gibt zwei Möglichkeiten, das STM32-Board mit einem Smartphone zu verbinden, nämlich Bluetooth und USB-OTG, und ich habe beide genutzt. Die Bluetooth-Verbindung stellt alle Parameter in verschiedenen Diensten und Eigenschaften zur Verfügung, was man auch dem Dokument, das ich für dieses Projekt auf die Elektrolabs-Webseite gestellt habe [7], entnehmen kann. Leider hatte ich keine Gelegenheit, eine spezielle Smartphone-App mit einer schicken Benutzeroberfläche zu entwickeln, aber die Parameter lassen sich mit kostenlosen generischen BLE-Apps wie *BLE Scanner* (siehe Bild 4) leicht anzeigen und anpassen. Eine weitere Möglichkeit, den Smartphone-Bildschirm beim Fliegen zu nutzen, ist die unter Gleitschirmfliegern weit verbreitete XTrack-App für Smartphones, die den OTG-Link des Discovery Kits nutzt. Damit

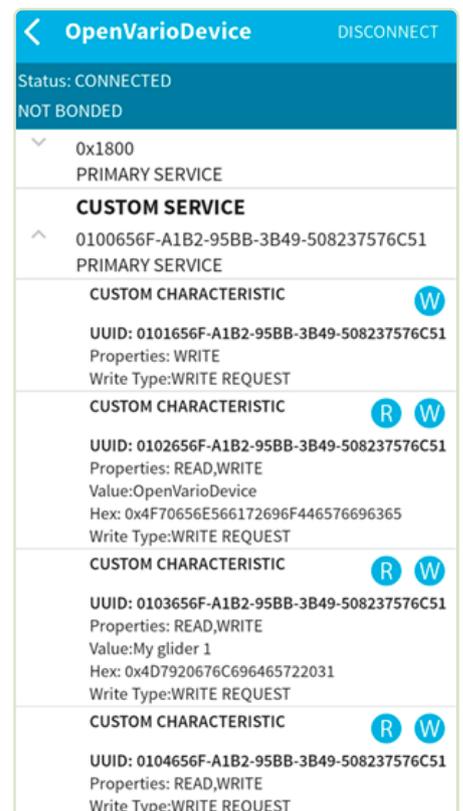


Bild 4. Screenshot der BLE-Scanner-App, mit der die laufenden Dienste angepasst werden können.



Bild 5. Mit einem kommerziellen Variometer habe ich die Messungen an meinem Open Vario verglichen.

konnte ich die von meinem Gerät berechneten Flugdaten auf meinem Smartphone visualisieren. Ich fügte auch das „kommerzielle“ Variometer hinzu, das ich normalerweise verwende, um die berechneten Werte zu vergleichen, wie in Bild 5 gezeigt.

Während der Flüge zeichne ich in regelmäßigen Abständen (Standardeinstellung ist 1 s) alle Ausgaben meiner Sensoren und Algorithmen zusammen mit meiner GNSS-Position auf. Jeder Flug wird in einer separa-

ten Datei auf dem QSPI-NOR-Flash gespeichert. Mit den Standardeinstellungen kann ich bis zu fast 24 Stunden Flug aufzeichnen, was völlig ausreichend ist. Ich habe Python-Skripte entwickelt, um diese Dateien über den USB-Geräteanschluss des Discovery Kits auf einem PC zu überspielen und dort als CSV-Datei zu speichern, so dass sie leicht mit Excel analysiert werden können (Bild 6) und auch als KML-Datei in der Google Earth visualisiert werden können, um meinen Flug in 3D zu betrachten, wie in Bild 7 dargestellt.

Jede Menge Möglichkeiten

Ich denke, Sie haben bereits gemerkt, dass ich die Teilnahme an diesem Wettbewerb sehr genossen habe, auch wenn sie etwas zeitaufwändig war (5..10 Stunden pro Woche)! Er hat mir viele Möglichkeiten geboten: einen neuen Mikrocontroller zu entdecken, ein Projekt zu entwickeln, für das ich mir sonst nie Zeit genommen hätte, meine beiden Lieblingshobbys zu kombinieren und andere spannende Projekte zu entdecken, die die gleiche Hardware verwenden.

Auch der begrenzte Zeitrahmen für den Wettbewerb (danke übrigens für die Fristverlängerung) war eine große Herausforderung: Jedes Projekt bringt eine Menge techni-

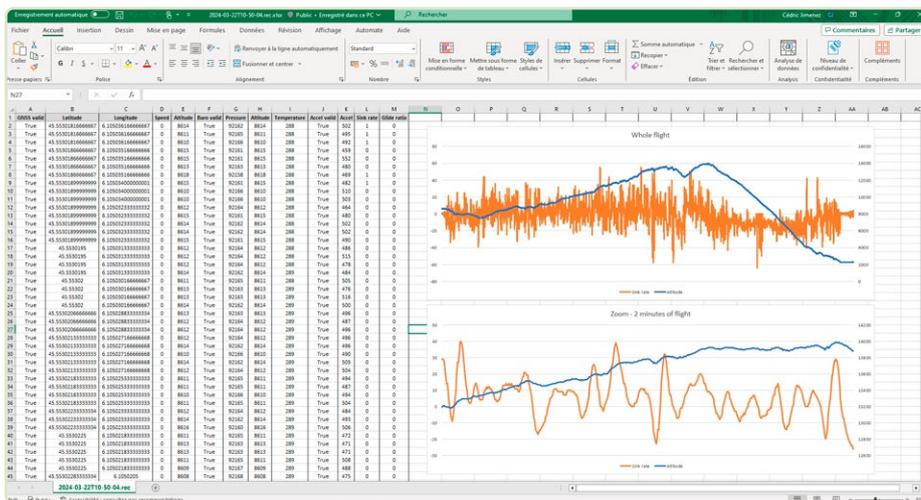


Bild 6. Die erfassten Daten, gespeichert in einer .csv-Datei, werden mit Excel analysiert und angezeigt.

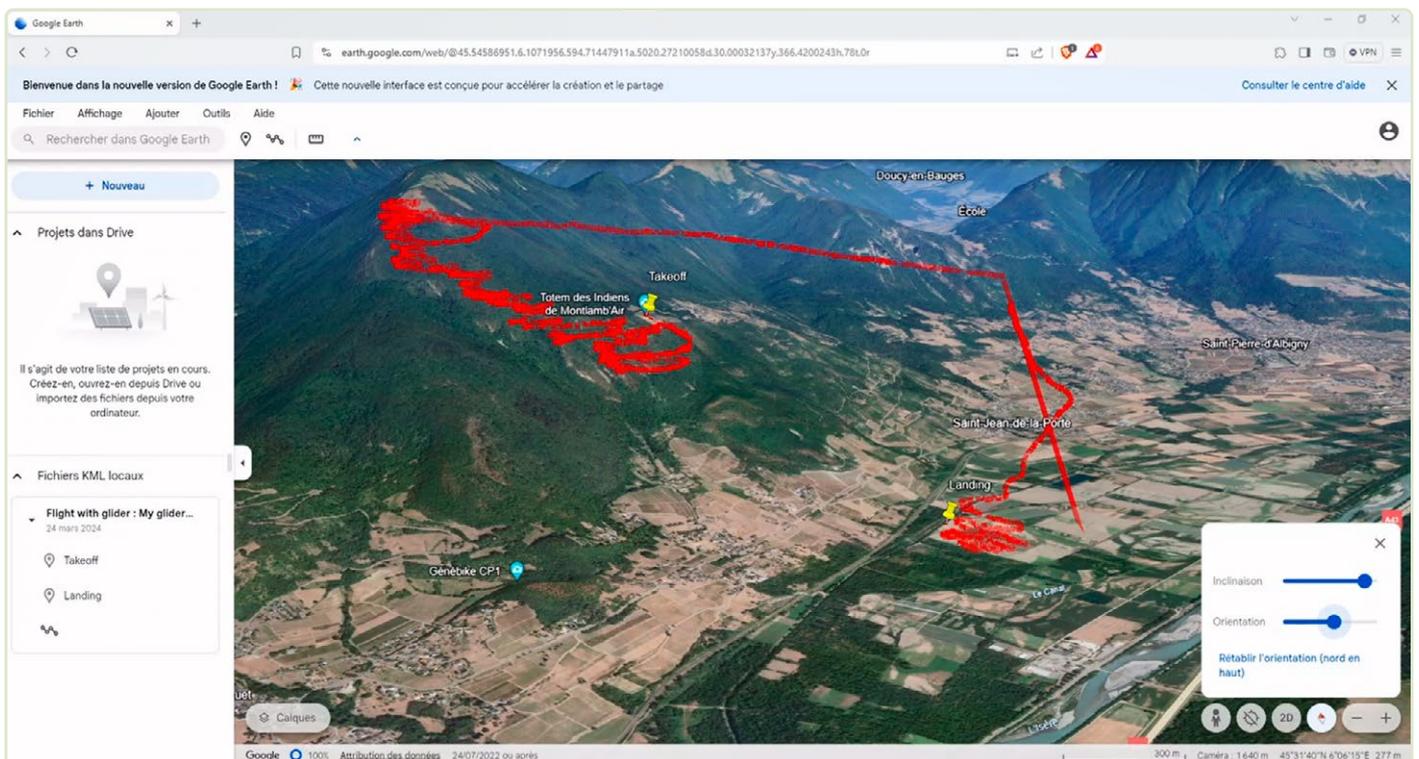


Bild 7. 3-D-Visualisierung der Flugdaten (als KML-Datei) in Google Earth.

schers Probleme mit sich, die es zu bewältigen gilt, und am Ende sollte das Projekt eine attraktive Anzahl von Funktionen bieten und funktional sein. Ich denke, dass mir mein Job als Embedded Software Engineer dabei sehr geholfen hat, da ich regelmäßig mit dieser Art von Einschränkungen konfrontiert werde.

Vielen Dank, Elektor und ST Microelectronics, für die Organisation dieses Wettbewerbs: Ich hoffe, dass Sie in Zukunft weitere Wettbewerbe organisieren werden! ◀

SG - 240325-01

Anmerkung der Redaktion: Dieser Artikel wurde in Elektor September/Okttober 2024 veröffentlicht.



Über den Autor

Cedric Jimenez ist 40 Jahre alt und glücklicher Vater einer achtjährigen Tochter. Er lebt in den französischen Alpen, wo er viele Bergsteigeraktivitäten (Klettern, Paragliding) betreibt. Cedric ist ein großer Fan der Softwareentwicklung für Eingebettete Systeme. Er begann im Alter von neun Jahren mit der Programmierung in BASIC auf einem Thomson TO7/70 und wechselte einige Jahre später zu C++.

Obwohl er viele Programmiersprachen gelernt hat (VB, C#, C, Pascal, FORTRAN, Python, Ruby...), ist C++ immer noch seine Lieblingssprache.

Er hat einen Master-Abschluss in Informatik mit einer Spezialisierung auf Eingebettete Echtzeitsysteme. Er arbeitet seit mehr als 15 Jahren als Subunternehmer in verschiedenen Bereichen (Eisenbahn/U-Bahn, Kräne, medizinische Geräte...) und ist derzeit als Architekt für Embedded Software bei Schneider Electric tätig.

Sie haben Fragen oder Kommentare?

Haben Sie technische Fragen oder Kommentare zu diesem Artikel? Dann schreiben Sie bitte an den Autor unter cjz.73fr@gmail.com oder an die Elektor-Redaktion unter redaktion@elektor.de.



Listing 1: Eine Board-Abstraktionsklasse

```
/*
 * Copyright (c) 2023 open-vario
 * SPDX-License-Identifier: MIT
 */
#ifndef OV_I_BOARD_H
#define OV_I_BOARD_H
#include "i_accelerometer_sensor.h"
#include "i_barometric_altimeter.h"
#include "i_ble_stack.h"
#include "i_button.h"
#include "i_display.h"
#include "i_gnss.h"
#include "i_serial.h"
#include "i_storage_memory.h"
#include "i_usb_cdc.h"

namespace ov
{

/** @brief Interface for boards implementations */
class i_board
{

public:
    /** @brief Destructor */
    virtual ~i_board() { }

    /** @brief Reset the board */
    virtual void reset() = 0;

    /** @brief Get the debug serial port */
    virtual i_serial& get_debug_port() = 0;

    /** @brief Get the USB CDC port */
    virtual i_usb_cdc& get_usb_cdc() = 0;

    /** @brief Get the storage memory */
    virtual i_storage_memory& get_storage_memory() = 0;

    /** @brief Get the display */
    virtual i_display& get_display() = 0;

    /** @brief Get the 'Previous' button */
    virtual i_button& get_previous_button() = 0;

    /** @brief Get the 'Next' button */
    virtual i_button& get_next_button() = 0;

    /** @brief Get the 'Select' button */
    virtual i_button& get_select_button() = 0;

    /** @brief Get the BLE stack */
    virtual i_ble_stack& get_ble_stack() = 0;

    /** @brief Get the GNSS */
    virtual i_gnss& get_gnss() = 0;
};
};
```

```

/** @brief Get the barometric altimeter */
virtual i_barometric_altimeter& get_altimeter() = 0;

/** @brief Get the accelerometer */
virtual i_accelerometer_sensor& get_accelerometer() = 0;
};

} // namespace ov

#endif // OV_I_BOARD_H

```



Passendes Produkt

> Majid Pakdel, *Advanced Programming with STM32 Microcontrollers*, Elektor, 2020
E-Buch, PDF, englisch:
www.elektor.de/19527



WEBLINKS

- [1] Webseite STM32 Contest: <https://tinyurl.com/bdeny24>
- [2] Webseite STM32WB5MM-DK Evaluation Tool: <https://tinyurl.com/4dp83f8h>
- [3] MikroElektronika: Arduino Uno Click Shield: <https://www.mikroe.com/arduino-uno-click-shield>
- [4] MikroElektronika: GNSS 4 Click Board: <https://www.mikroe.com/gnss-4-click>
- [5] MikroElektronika: Altitude 2 Click Board: <https://www.mikroe.com/altitude-2-click>
- [6] Github-Seite des Autors für Vario: <https://github.com/open-vario/open-vario>
- [7] Elektor-Labs-Webseite für dieses Projekt: <https://tinyurl.com/4rmn5j28>



Schnell und einfach Leiterplatten und Bestückung aus einer Hand

- Preisauskunft sofort online
- schnelle Datenprüfung
- Bestellung per Mausklick mit Sendungsverfolgung
- schnelle Lieferung



**Scannen für
MEHR INFO**

CTO-Interview: Die Geopolitik von GaN

Von Nick Flaherty (eeNews Europe)

Rodney Pelzel, CTO von IQE, spricht mit eeNews Europe über die Pläne des Unternehmens, die Anwendung von Galliumnitrid (GaN) in Leistungs- und Mikro-LEDs auszuweiten.



Quelle: IQE

IQE liefert im Vereinigten Königreich epitaxiierte Wafer für zahlreiche Anwendungen, von VCSEL-Vertikallasern bis hin zu GaN-on-Silicon für HF-Anwendungen. Die sich wandelnde geopolitische Landschaft führt dazu, dass mehr Aufmerksamkeit auf die Lieferung von GaN-Wafern und Leistungsgeräten in den USA und Europa gerichtet wird, anstatt auf Taiwan oder China.

„IQE hat eine sehr lange Geschichte mit GaN als Materialsystem, die vor 20 Jahren in den USA mit militärischen HF-Anwendungen begann und sich zu einem erfolgreichen Produktangebot entwickelt hat, das wir heute haben, und wir haben mit allen Arten von möglichen Substraten und Architekturen experimentiert.“

„Wir haben Leistungsanwendungen schon eine ganze Weile auf unserer Roadmap, aber es war ein ständiges Hin und Her. Mit GaN-on-Silicon befinden wir uns in der Kundenentwicklung und Qualifikation. GaN ist sehr interessant, da es einen proprietären Puffer benötigt. Diesen besitzen wir und halten ihn unter Verschluss.“

„Wir haben 650 V sowohl für Enhanced-Mode als auch für Depletion-Mode von GaN auf 6- und 8-Zoll-Wafern und wir haben viel von unserem Know-how genutzt, um den heutigen Stand zu erreichen. Wir

haben Beziehungen zu IDMs, Fabless und Foundries, und wir entwickeln auch unsere eigene Referenzstruktur, um zahlreiche Kunden bei 650 V zu beliefern.“

„Sie ist der Schlüssel zu unserer Diversifizierungsstrategie, die mit Power und MicroLED zwei Schwerpunkte hat. Heute stellen wir GaN-on-Silicon in Massachusetts her und haben kürzlich zwei G5-Reaktoren von Aixtron hinzugefügt. Wir haben auch den ursprünglichen G5 für die Gruppe in St. Mellon in Wales im Rahmen eines Programms der Europäischen Weltraumorganisation (ESA) und sind auch an imec-Programmen beteiligt.“

Die Megafabrik in Newport wurde für GaAS-VCSELs mit zehn Aixtron-Reaktoren und zwei G5s für GaN eingerichtet, die im Oktober in Betrieb genommen werden. „Wir bauen ganz bewusst eine signifikante Kapazität im Vereinigten Königreich und in den USA auf, um uns eine globale Reichweite zu verschaffen.“

„Die geopolitische Landschaft wird immer komplexer“, sagte er. Dies führt zu einer eigentümlichen Situation mit isolierten Entwicklungsteams.

„Verschiedene GaN-Teams in den Regionen entwickeln völlig unabhängig“, so Pelzel weiter.

„Ich glaube nicht, dass sich die Lieferkette wirklich gefestigt hat. Es erinnert mich an die HF-GaAs-Landschaft. Ich denke, es wird ein komplexes Modell sein,

abhängig davon, wo das geistige Eigentum liegt. 60 bis 80 % des Wertes liegen im Epi-Prozess, der die Leistung bestimmt und das kann man in einer abgeschriebenen 8-Zoll-Fertigung herstellen und Spitzenleistungen erzielen. Die Linienbreiten sind für heutige Fabriken nichts Besonderes. Der Epi-Prozess ist wirklich der Schlüssel dazu.“

Der aktuelle planare GaN-Epitaxieprozess benötigt keine speziell hergestellten Wafer, die IQE ebenfalls entwickelt.

„Bei 650 V ist die Technik nicht so wichtig - bei 1200 V ist die Entscheidung gefallen. Wir haben begonnen, uns mit 1200 V zu beschäftigen und haben eine Roadmap. Ich habe das Gefühl, dass bei höheren Spannungsstufen ein gewisser Bedarf an technischen Substraten besteht, auch weil sich die Anforderungen an 650 V mit dem HF-Verhalten verändern, das wiederum vom Puffer und den Defekte abhängt.“

Die Wahl der GaN-Struktur, ob planar oder vertikaler Trench, hängt laut ihm vom Kunden ab, nicht von der Tiefe der Epitaxialschicht. „Trench ist eher etwas für den Kunden, aber es ist kein allzu großer Schritt, diese Fähigkeit zu besitzen. Wenn ich über das Problem nachdenke, stelle ich mir die Frage, wie sich die Epi-Schicht mit Silizium verhält und wie sie mit fehlerhaftem Silizium funktioniert, und genau darin liegt der Wert des Epi-Prozesses, dass wir in der Lage sind, iterative Designs in weniger als einem Jahr zu realisieren.“

Der Aufstieg integrierter Geräte ist ebenfalls wichtig. „Sobald man beginnt, verschiedene Fähigkeiten zu integrieren, verändert sich der Epi-Prozess, aber das sehen wir momentan nicht. Das Interessante liegt auf der Designseite. Hier können das Foundry-Modell und fabless Unternehmen wirklich viel schneller agieren als die vertikal integrierten Anbieter, da man auf alle Kernkompetenzen zurückgreifen kann, anstatt sie alle im eigenen Haus haben zu müssen.“

„Wenn man die Geopolitik und regionale Beschränkungen mit einbezieht, hängt es davon ab, wer sich bei 650V durchsetzt. In dieser Region besteht ein Bedarf an mehr GaN-Kapazität“, sagte er. Dies führt zu einer Expansion in den USA und Europa, und IQE

bereitet außerdem einen Antrag auf Finanzierung im Rahmen des US Chips Act vor, um seine Produktion von GaN-Epitaxialwafern auszubauen.

„Wir haben uns aktiv mit ihnen über Verbindungshalbleiter ausgetauscht, aber es gab zunächst ein Aufklärungsproblem über Verbindungshalbleiter und die Lieferkette“, sagte Pelzel. Mit Unterstützung des EU-Chipgesetzes wird auch ein europäischer Standort geprüft. „Wir haben Gespräche mit zwei der wichtigsten Standorte geführt. Wir brauchen nicht mehrere Einrichtungen, sondern einen Standort im Vereinigten Königreich oder in der EU, der es uns ermöglicht, voranzukommen und die Strategie fortzusetzen, in der der Region zu produzieren und zu entwickeln“, sagte er.

„Der verfügbare Talentpool ist ebenfalls entscheidend für einen Standort. „Das ist heutzutage die größte Sorge bei der Wahl von Standorten für Anlagen, da sich die Innovation in einem anderen Bereich abspielt und das benötigte Fachwissen leicht abweicht. Die Epitaxie ist so andersartig, sodass es in manchen Bereichen eine Herausforderung sein kann, jemanden aus einer Silizium-Fabrik einzustellen.“

„Wir haben Pläne, 300-mm-Wafer zu verarbeiten. Das haben wir heute noch nicht im Haus, aber es wird in diese Richtung gehen. Meiner Meinung nach hat GaN in der Leistungselektronik einen langen Weg vor sich, aber GaN für MicroLED ist eine wirklich große Chance. Der Boom der KI wird sowohl MicroLED als auch 300 mm unterstützen, da dies die Errichtung zusätzlicher 300-mm-Fabriken vorantreiben wird, um Wirtschaftlichkeit und das Backplane für MicroLED-AR-Displays zu verbessern, die anspruchsvollere Geräte erfordern.“

Es geht nicht nur um die zusätzliche Größe der Anlagen für die 300-mm-Wafer, sondern auch darum, wie sie aus Effizienzgründen in Clustern angeordnet werden, so Pelzel.

„Wenn man die geopolitischen und regionalen Beschränkungen in Betracht zieht, besteht ein Bedarf an mehr GaN-Kapazität in dieser Region“, sagte er. ◀

240508-02



Die Wahl der GaN-Struktur, ob planar oder vertikaler Trench, bleibt dem Kunden überlassen.

WEBLINK

[1] IQE: www.iqep.com

Anmerkung der Redaktion

eeNews Europe veröffentlichte diesen Artikel erstmals am 25. Juni 2024. Besuchen Sie www.eenewseurope.com für weitere Nachrichten und Interviews.

Paragraf rüstet sich für die nächste Phase der Graphen-Entwicklung

Von Peter Clarke (eeNews Europe)

Andy MacInnes, Leiter der Entwicklungsabteilung von Paragraf Ltd. (Somersham, England), erörtert die nächsten Schritte des britischen Entwicklers von Graphen-Elektronik.

Graphen ist ein Material mit nur einer Atomschicht, das die Herstellung von Geräten und Komponenten mit marktführenden Spezifikationen verspricht. Paragrafs Position beruht auf seiner Fähigkeit, kontaminationsfreies Graphen ohne Verwendung eines Kupferkatalysators aufzubringen. Die Techniken von Paragraf haben bereits chemische und magnetische Sensoren mit erhöhter Empfindlichkeit hervorgebracht und könnten erweitert werden, um Transistoren auf Basis von Graphen herzustellen, die den Siliziumäquivalenten überlegen sind. Das Unternehmen nähert sich seinem neunten Geburtstag und hat einige Produkte auf dem Markt: einen Hall-Effekt-Sensor mit außergewöhnlicher Empfindlichkeit und einen Graphen-FET (GFET), der für die molekulare Sensorik in der Biologie, im Gesundheitswesen, in der Landwirtschaft und anderen Bereichen eingesetzt werden kann. Der molekulare Sensor ist das Ergebnis der Übernahme von Cardea Bio Inc. durch Paragraf im Mai 2023 (siehe Graphen-Pionier Paragraf erwirbt Bio-Sensor-Startup Cardea)[1].

MacInnes sagte, Paragrafs Hall-Effekt-Sensor habe Potenzial für Anwendungen in der Automobilindustrie und im Quantencomputing, aber er räumt ein, dass die Graphen-Elektronik „auf dem Markt noch nicht wirklich Fuß gefasst hat“. Als Leiter der Entwicklungsabteilung scheint es MacInnes' Aufgabe zu sein, dies zu ändern.

„Ich habe in den 1990er Jahren bei TriQuint Semiconductor, das heute zu Qorvo gehört, an Galliumarsenid gearbeitet. Damals war Galliumarsenid immer die Technologie der Zukunft. Diese Zukunft schien nie zu kommen, aber schließlich fand Galliumarsenid Eingang in den Kommunikationsbereich“, sagte MacInnes.

„Das ist der Punkt, an dem Graphen im Moment steht. Die Automobilindustrie hat einen strengen und langwierigen Qualifizierungsprozess, sodass die Übernahme in die Serienproduktion einige Zeit dauern wird“, fügte er hinzu.

Zu den Anwendungen in der Automobilindustrie gehören Batteriemagementsysteme, bei denen die Sensoren von Paragraf zur Überwachung einzelner Batteriezellen eingesetzt werden können, die über weite Temperaturbereiche hinweg präzise arbeiten. Die gleichen Sensoren, die im Wesentlichen Spannung, Strom und magnetische Feldstärke verbinden, können für Steer-by-Wire-Systeme verwendet werden. Hier liegt der Vorteil in einem hohen Signal-Rausch-Verhältnis über einen großen Dynamik- und Temperaturbereich. Konventionelle Hall-Effekt-Sensoren sind hier bereits im Einsatz, aber Graphen-basierte haben die Möglichkeit, die Anzahl der benötigten Komponenten zu reduzieren, sagte MacInnes.

„Aber es muss sich erst noch bewähren“, sagte MacInnes. „Wir müssen anfangen, die Widgets zu liefern, die die Anwendungen brauchen“.

Quantencomputer

„Bei der Quanteninformatik ist das nicht die gleiche Herausforderung. Es gibt keinen etablierten Qualifizierungsprozess und es ist eher eine leere Leinwand. Hier bedeuten die kryogenen Fähigkeiten von Graphen, dass es Magnetfelder bei milliKelvin-Temperaturen messen kann“, sagte MacInnes.



Er erläuterte, dass es bei vielen Ansätzen des Quantencomputers notwendig ist, magnetische Streufelder bei Temperaturen nahe dem absoluten Nullpunkt als Teil der Methode zur Erkennung des Quantenzustands von Qubits zu subtrahieren. „Wir bemustern Produkte. Es ist ein Nischenbereich, in dem wir Fuß fassen können, und wir lernen viel dazu.“ In diesem Fall handelt es sich um einen viel direkteren Markt, der jedoch im Wesentlichen von relativ hohem Wert, aber geringem Volumen ist.

Und dann sind da noch die molekularen Sensoren. „Wir haben uns dafür entschieden, die GFET-Basiseinheit zu verkaufen und es Kunden und Dritten zu ermöglichen, die Zwischenschichten zu entwickeln, die zum Einfangen eines bestimmten Moleküls wie Methan oder biologischer Marker verwendet werden“, sagte MacInnes. Er wies darauf hin, dass es im Bereich der Gesundheitsanwendungen langwierige und teure Qualifizierungsprozesse gibt, die das Unternehmen nicht auf sich nehmen will.

Gleichzeitig engagiert sich Paragraf weiterhin in der Erforschung von Produkten für andere Anwendungen, die die Vorteile der 2D-Materialeigenschaften von Graphen nutzen können. Hier könnten die Herausforderungen darin bestehen, wie das einschichtige Graphen in teilverarbeitete Produkte übertragen werden kann, sagte MacInnes. „Wahrscheinlich müssen wir das Graphen an Ort und Stelle wachsen lassen, um die Qualität zu erhöhen“, sagte er.

Dieser Hintergrund – und die Tatsache, dass Paragraf im Februar 2023 eine 43.000 Quadratmeter große Produktionsstätte in Huntingdon in Besitz genommen hat – deutet darauf hin, dass es sich bei Paragraf um ein Produktionsunternehmen handelt (Paragraf eröffnet zweite britische Produktionsstätte für Graphenelektronik)[2].

Zu den Anwendungen in der Automobilindustrie gehören Batteriemanagementsysteme, bei denen die Sensoren von Paragraf zur Überwachung einzelner Batteriezellen eingesetzt werden können.

Erst herstellen, dann lizenzieren

„Das allgemeine Konzept ist derzeit, dass wir unsere eigenen Standardprodukte entwickeln müssen, um den Markt für Graphenelektronik zu etablieren“, sagte MacInnes. „Wir haben eine Entwicklungsfabrik und werden bald in Huntingdon sein, um eine allgemeine Fertigung zu ermöglichen. Wir gehen davon aus, dass wir aus dem Standort Huntingdon herauswachsen werden. Dann

wären wir besser in der Lage, das Verfahren an andere Chipfabrikanten zu lizenzieren.“

MacInnes fügte hinzu, dass der Weg dorthin vom Reifegrad des Prozesses abhängt. „Das Back-End, das Packaging, lagern wir bereits aus“, fügte er hinzu.

Als Produktionsunternehmen benötigt Paragraf jedoch auch Mittel für Investitionen. Das Unternehmen schloss 2022 eine Serie-B-Finanzierungsrunde in Höhe von 60 Millionen US-Dollar ab (siehe Paragraf wirbt 60 Millionen US-Dollar für Graphen ein).

Im vollständigen Jahresabschluss von Paragraf für das am 31. Dezember 2022 endende Jahr, der am 2. Juni 2023 unterzeichnet wurde, hieß es, dass sich das Unternehmen in einer Risikokapitalfinanzierungsrunde der Serie C befinde, die in den kommenden Monaten abgeschlossen werden soll. MacInnes äußerte sich dazu nicht, stimmte aber zu, dass eine weitere Finanzierung notwendig sei, um Paragraf voranzubringen. „Wenn wir ein fabrikloses Chip-Unternehmen wären, wäre das etwas anderes, aber das sind wir nicht“, sagte er.

Als Pionier auf dem Gebiet der Graphenelektronik trägt Paragraf viele Erwartungen und die Möglichkeit langfristiger Renditen auf seinen Schultern. Der Umfang dieser Serie C – und wie schnell sie angekündigt wird – wird ein Hinweis darauf sein, wie aggressiv Paragraf die nächste Phase seiner Entwicklung angehen kann. ◀

240523-02



Andrew MacInnes,
CDO von Paragraf Ltd.
(Quelle: eeNews Europe)

Anmerkung der Redaktion

eeNews Europe veröffentlichte diesen Artikel erstmals am 22. August 2024. Besuchen Sie www.eenewseurope.com für weitere Nachrichten und Interviews.

WEBLINKS

- [1] P. Clarke, "Graphene pioneer Paragraf acquires bio-sensor startup Cardea," eeNews Europe, May 2, 2023: www.eenewseurope.com/en/graphene-pioneer-paragraf-acquires-bio-sensor-startup-cardea/
- [2] P. Clarke, "Paragraf opens second UK graphene electronics manufacturing site," eeNews Europe, February 21, 2023: www.eenewseurope.com/en/paragraf-opens-second-uk-graphene-electronics-manufacturing-site/
- [3] Paragraf: www.paragraf.com

ECI News berichtet über Neuigkeiten aus der Elektronikindustrie für den französischen Markt

Ein Magazin, eine Website und ein Newsletter zum Thema Elektronik

Von Nicolas Feste und Daniel Cardon (ECI News, Frankreich)

Entdecken Sie, wie ECI News französischsprachige Elektronikfachleute auf dem Laufenden hält. Mit einem Magazin, einer dynamischen Website und einem Newsletter sorgt ECI News für die Berichterstattung über die neuesten Entwicklungen in der Branche, von der Automobiltechnik bis zu KI-Innovationen und mehr.

Die in französischer Sprache erscheinende Zeitschrift ECI News, die zur Elektor-Verlagsfamilie gehört, ist seit über 20 Jahren auf dem französischen Markt für elektronische Presse vertreten. Ursprünglich gab es nur die Zeitschrift in Papierform, begleitet von verschiedenen Direktmarketing-Produkten (Massenversand, Mailinglisten). Im Laufe der Zeit und mit dem Fortschritt der Kommunikationstechnologien wurde zusätzlich zur gedruckten Zeitschrift und um der Nachfrage einer neuen Generation von Abonnenten gerecht zu werden, mit der Einführung der Website eine digitale Version eingeführt.

Weite Verbreitung

Das Magazin, das alle zwei Monate erscheint, ist jetzt sowohl in Papierform als auch in elektronischer Form erhältlich, wobei die Abonnenten die Auswahl haben. ECI News bietet Einkäufern, Designern und Entscheidungsträgern in den verschiedenen Bereichen der Elektronikindustrie eine ausführliche Berichterstattung über neue Entwicklungen bei aktiven und passiven Bauteilen, Verbindungen, Software, IoT - und nicht zu vergessen bei der Instrumentierung.

Aufgrund seiner Erscheinungsweise bietet das Magazin, sowohl auf Papier als auch in digitaler Form, anhand von Themen eine Momentaufnahme neuer Entwicklungen in Form von Dossiers oder Schwerpunktberichten.

Weltweite Offenheit

Dank ihrer Zugehörigkeit zur European Business Press (EBP) bieten die Website ecinews.fr und der Newsletter täglich nicht nur lokale französische Informationen, sondern auch weltweite Offenheit, was Produkte, F&E, Technologien, allgemeine und wirtschaftliche Nachrichten sowie Anwendungsartikel, Interviews, Webinare und Veranstaltungen betrifft. Ergänzend zum Magazin sorgen die Website und der tägliche Newsletter für einen dynamischen Informationsfluss.

Wichtige technologische Themen

Automobilelektronik mit Fahrzeugelektrifizierung, Infotainment oder autonomes Fahren ist neben Quantencomputing, künstlicher Intelligenz und allen neuen Energiespar- und Mobilitätstechnologien sehr präsent. Diese Themen sind für das Verständnis aktueller und zukünftiger Trends in der Elektronikindustrie unerlässlich.



tiger Trends in der Elektronikindustrie unerlässlich.

Neben wirtschaftlichen und technologischen Nachrichten und Ankündigungen neuer Produkte bietet ECI News seinen Abonnenten auch White Papers von Zulieferern oder Herstellern, die Einblicke in bestimmte technologische Entwicklungen und ihre Auswirkungen auf unser tägliches Leben geben (*Artificial Intelligence and Modern Cities*), wie Technologie zur Revitalisierung von Böden beitragen kann (*Revitalizing the Earth: Technology for Soil Regeneration*) und viele andere Themen.

Immer auf der Lauer

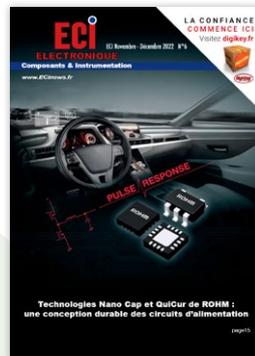
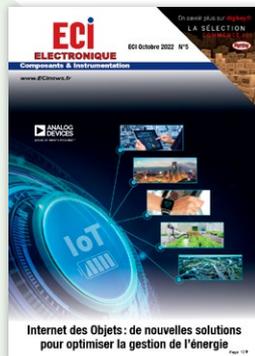
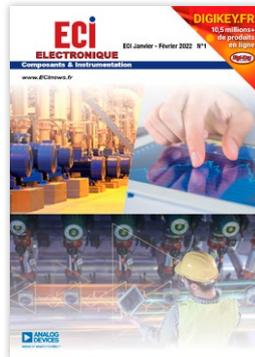
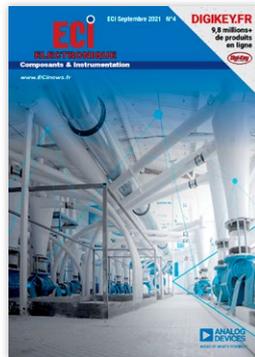
ECI News entwickelt sich ständig weiter, um so nah wie möglich an den technologischen Entwicklungen zu bleiben, um die Erwartungen der Leser besser zu erfüllen und um in einem sich ständig verändernden Sektor relevant zu bleiben. Die Redakteure und Mitarbeiter von ECI News sind immer auf der Suche nach den neuesten Innovationen und technologischen Entwicklungen, um qualitativ hochwertige und aktuelle Inhalte anzubieten.

Darüber hinaus

ECI News ist viel mehr als nur eine Zeitschrift. Es ist eine umfassende Plattform, die eine tiefgehende und breit gefächerte Berichterstattung über die Elektronikindustrie bietet. Dank ihrer breiten und gezielten Verbreitung, ihrer Offenheit gegenüber der Welt und ihrer Fähigkeit, sich mit den Technologien weiterzuentwickeln, spielt ECI News weiterhin eine entscheidende Rolle bei der Information und Weiterbildung von Elektronikfachleuten in Frankreich und darüber hinaus. ◀

240540-02

ECI Nachrichten: Einblicke in die neuesten technischen Trends und Innovationen



Erfahren Sie mehr unter www.ecinews.fr



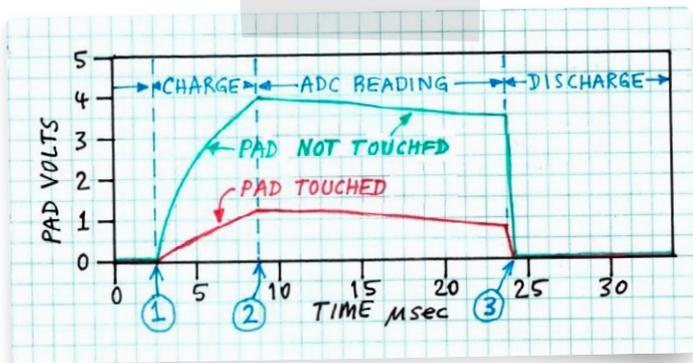


Bild 2. Spannung gegen die Zeit für ein unberührtes und ein berührtes Touchpad.

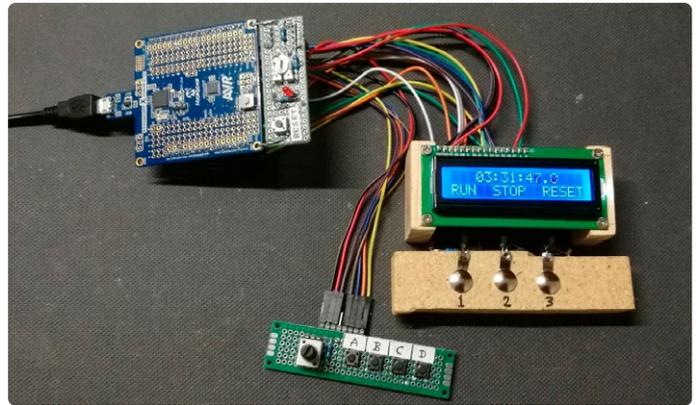


Bild 3. Eine Test- und Demoschaltung mit dem AVR-X-mini Board.

(0 V) gesetzt, um die Pads zu entladen. Die Pads werden nacheinander „abgearbeitet“. Zu Beginn einer Service-Routine wird der Pad-I/O-Pin als Analogeingang konfiguriert. Das Pad wird über die Stromquelle (Widerstand und Diode) für eine feste Zeitdauer aufgeladen, typischerweise einige Mikrosekunden.

Am Ende der Ladezeit wird die Stromquelle ausgeschaltet. Die Diode verhindert eine Entladung, während die Pad-Spannung vom ADC gemessen wird. Wenn die ADC-Umwandlung abgeschlossen ist, wird das Ergebnis ausgelesen. Der Pad-I/O-Pin wird daraufhin als digitaler Ausgang neu konfiguriert und auf low gesetzt, um das Pad zu entladen.

Bild 2 zeigt ein Diagramm, das die Signalspannung des Pads in Abhängigkeit von der Zeit während der Lesesequenz darstellt. Die obere (grüne) Kurve zeigt die Pad-Spannung, wenn das Pad nicht berührt wird: Die Pad-Kapazität ist sehr niedrig, daher lädt sie sich schnell auf und erreicht eine relativ hohe Spannung. Zum Ende der Ladezeit (2) wird die Stromquelle ausgeschaltet und die ADC-Wandlungssequenz gestartet. Aufgrund des Leckstroms der Diode und des ADC-Eingangs entlädt sich die Kapazität langsam, aber dies ist kein Problem, da der ADC die Spannung schon zu Beginn der Wandlung (Punkt 2) abtastet. Der Eingangswert im ADC bleibt also konstant, bis am Ende der Wandlungssequenz (Punkt 3) der ADC-Wert ausgelesen und in einem Array gespeichert wird. Schließlich wird das Touchpad entladen, um es für die folgende Messung vorzubereiten.

Je nach spezifischen Anforderungen Ihrer Anwendung kann das Intervall zwischen dem Aufrufen der Touchpad-Service-Routine zwischen 100 μ s bis zu 5 ms oder mehr betragen. Die Ausführungszeit der Service-Routine selbst beträgt typischerweise weniger als 30 μ s pro Touch-Eingabe. Somit ist der zeitliche Aufwand für die „Abhandlung“ eines Touchpads sehr gering. Während der Ausführ-

ung der Service-Routine müssen Interrupts deaktiviert werden, da die Zeitabläufe kritisch sind. Für die meisten Embedded-Anwendungen würde eine Verzögerung von unter 30 μ s, die einmal pro Millisekunde (mehr oder weniger) auftritt, nicht als Blockierung des Prozessablaufs angesehen werden.

Test- und Demo-Aufbau

Diese Touch-Sense-Technik wurde erfolgreich auf dem kleinen und einfachen 8-Bit-AVR-Mikrocontroller ATmega328P von Atmel getestet, der auf vielen beliebten Entwicklungsboards wie dem Arduino UNO R3, dem Arduino Nano und ATmega328P-X-Mini-Board von Microchip zu finden ist. Ich habe das X-Mini-Board gewählt, weil es ein Programmierwerkzeug an

Bord hat, mit weniger als 15 € sehr preisgünstig bei großen Lieferanten leicht erhältlich ist. Ok, der wahre Grund war, ich hatte noch eines in meiner Kiste mit ungenutzten Komponenten ;-). **Bild 3** zeigt das konfigurierte X-Mini-Board und angeschlossene Peripheriegeräte.

Außerdem arbeite ich lieber mit der Microchip/Atmel-Studio-IDE für AVR und SAM als mit der Arduino-IDE. Mein Test- und Demo-Programm könnte in die Arduino-IDE migriert werden, aber die MCU-Pinzuordnungen (insbesondere für ein 1602A-LCD-Modul, siehe unten) sind mit gängigen Arduino-Bibliotheken nicht kompatibel. Daher mussten Sie für einige Peripheriefunktionen den Quellcode aus der AVR-X-Mini-Bibliothek extrahieren, um ihn in Ihren Arduino-Sketch zu importieren.

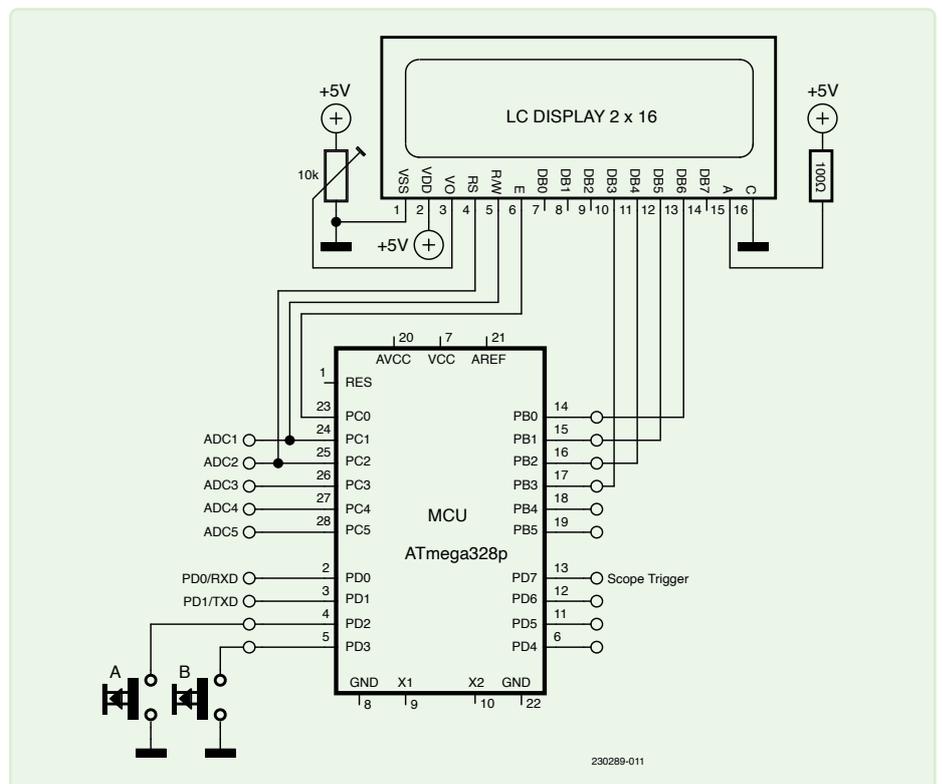


Bild 4. Schaltplan für die Test- und Demoschaltung mit einem ATmega328P.

Wie man einen Arduino UNO oder Nano programmiert

Die Firmware wurde mit Microchip Studio für AVR- und SAM-Controller (ehemals Atmel Studio) entwickelt. Einer der vielen Gründe für die Wahl dieser IDE (Integrated Development Environment) anstelle der Arduino-IDE ist, dass das Hardware-Design des Projekts mit verfügbaren Arduino-Bibliotheken nicht kompatibel ist. Insbesondere die Anschlussbelegung des 1602A-LCDs (MCU-I/O-Pin-Zuordnung) wird von keiner Arduino-Bibliothek unterstützt.

Die Programmierung des Zielcontrollers (ATmega328P MCU) kann ohne Arduino-IDE und ohne spezielles Hardware-Programmierwerkzeug durchgeführt werden. Die UNO- und Nano-Boards verfügen über ein eingebautes USB-Serial-Bridge-IC und einen AVR-Bootloader, der im Flash-Speicher residiert. Eine Windows-PC-Anwendung namens AVRdude kommuniziert über USB mit dem Bootloader, um die Firmware in den Flash-Speicher der MCU zu programmieren.

Sie müssen also einige Dateien aus dem AVRdude GitHub-Repository [2] herunterladen, um AVRdude unter Windows auszuführen. Es sollten drei Distributionsdateien vorhanden sein: avrdude.exe, avrdude.conf und avrdude.pdb. Kopieren Sie diese Dateien in einen neuen Ordner namens AVRdude auf Ihrer lokalen Festplatte im Stammverzeichnis (C:). Verbinden Sie Ihr UNO/Nano-Board mit einem USB-Anschluss Ihres PCs. Öffnen Sie den Windows-Gerätmanager und klicken Sie auf Ports (COM & LPT). Sie sollten das UNO/Nano USB-Serial-Gerät aufgelistet sehen. Notieren Sie sich die Nummer des zugehörigen COM-Ports. Beachten Sie, dass sich die COM-Port-Nummer von Zeit zu Zeit ändern kann, eine lästige USB-Unart. Vergewissern Sie sich bei jeder erneuten Verbindung des UNO- oder Nano-Boards mit Ihrem PC, dass der richtige COM-Port zugewiesen ist. Sie können AVRdude direkt aus Microchip Studio heraus ausführen, wenn Sie ein Programmierwerkzeug in dieser IDE erstellen:

In Microchip Studio klicken Sie im Menü *Tools/External tools*. Es wird ein Dialogfeld angezeigt werden, das nach einigen Parametern fragt, und zwar:

Bei *Title* schreiben Sie: *Program Nano* oder einen anderen Namen Ihrer Wahl.

Bei *Command* schreiben Sie: *C:\AVRdude\avrdude.exe*

Bei *Arguments* schreiben Sie (alles in einer Zeile):

```
-C "C:\AVRdude\avrdude.conf" -p atmega328p -c arduino -P COM# -b 115200  
-U flash:w:"$(ProjectDir)Debug\$(TargetName).hex":i
```

Ersetzen Sie in den Argumenten *COM#* durch den tatsächlichen COM-Port, an den Ihr Nano-Board angeschlossen ist, wie im Gerätmanager gefunden (Beispiel: *COM4*).

Aktivieren Sie die Checkbox *Use output window* und klicken Sie auf *OK*.

Fertig... Sie sollten jetzt eine neue Option *Program Nano* im Tools-Menü sehen.

Nachdem Ihr Programmcode erstellt wurde, kann er durch einen einfachen Klick auf *Program Nano* im *Tools*-Menü auf das Nano-Board programmiert werden.

Hinweis: Einige preiswerte chinesische Nano-Board-Klone verwenden eine nicht standardmäßige Baudrate für den seriellen Bootloader, typischerweise 57.600 Baud. Wenn Microchip Studio beim Ausführen des Programmierwerkzeugs eine Fehlermeldung ausgibt, versuchen Sie, *115200* in den Argumenten durch *57600* zu ersetzen.

Wenn Sie das Test- und Demo-Programm auf einem Arduino-UNO- oder Nano-Board ausführen möchten, kann der vorkompilierte Objektcode (aka Hex-Datei) sowohl mit als auch ohne Microchip/Atmel-Studio programmiert werden, und das ohne zusätzliches Programmierwerkzeug (siehe den nebenstehenden **Textkasten**).

Unabhängig von der Hardwareplattform und den Software-Entwicklungswerkzeugen, die Sie für Ihre Anwendung verwenden, kann die Touch-Sensing-Technik (und dies stellt den Königsweg dar) durch das Studium des Codes im Test- und Demo-Programmcode verstanden und nachvollzogen werden, insbesondere der Touch-Sense „Service Routine“. Wenn Sie die Anwendung auf einer kompatiblen AVR-Hardwareplattform replizieren möchten, verbinden Sie das LCD und andere Peripheriegeräte wie in **Bild 4** gezeigt.

Zwei Drucktaster (beschriftet mit A und B) stehen dem User für Eingaben zur Verfügung, falls die Touchpads nicht auf Anrieb funktionieren wollen. Die Touchpads sind wie in Bild 1 verdrahtet. Wenn Ihre Anwendung das LCD oder den I²C-Bus (PC4, PC5) nicht benötigt, können Sie alle (acht) Pins des Port C für Touchpads oder andere analoge Eingaben verwenden.

Der Schwellwert für die Touch-On/Off-Spannung muss möglicherweise in der Software angepasst werden. Im Quellcode der Test- und Demo-Software (*file main.c*) wird in Zeile 29 der Schwellwert festgelegt, der bestimmt, ob ein Pad berührt wird oder nicht. Der Standardwert ist 150, was für die meisten physischen Anordnungen von Touchpads funktionieren sollte. Der optimale Schwellwert kann gefunden werden, indem das Programm durch Drücken von Taste A im Testmodus ausgeführt wird. Dabei werden die ADC-Werte (Bereich 0...255) für die drei Touchpads angezeigt. Notieren Sie für jedes

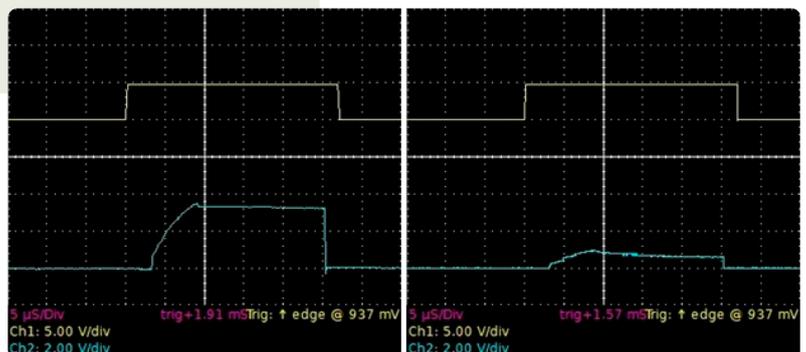


Bild 5.

Ergebnis auf dem Oszilloskop, wenn die Pads nicht berührt werden (links) und wenn die Pads berührt werden (rechts).

Pad den Wert mit berührtem Pad und erneut ohne Berührung. Der optimale Schwellenwert liegt ungefähr in der Mitte dieser beiden Werte.

Das Programm enthält auch einen *Demo*-Modus, der als einfache Stoppuhr/Timer funktioniert und die drei Touchpads zum Starten, Stoppen und Zurücksetzen des Timers verwendet. Drücken Sie Taste B, um diesen Modus zu aktivieren. Der Demo-Code ist als Zustandsmaschine mit den drei Zuständen *Reset*, *Running* und *Stopped* implementiert. Das Berühren eines Pads ändert den Zustand (sofern die Zustandsmaschine nicht bereits im ausgewählten Zustand ist).

Auf dem Oszillogramm

Bild 5 zeigt die Oszillogramme, die während der Tests gemacht wurden und das Signalverhalten des Touchpads veranschaulichen. Die obere (gelbe) Spur ist ein Testpunkt-Ausgangssignal. Dieses Signal wird zu Beginn der Serviceroutine auf High gesetzt und am Ende auf Low, kurz bevor dem Return der Funktion. Der Testpunkt-Ausgang (Pin PD7) erfüllt zwei Aufgaben: Er triggert das Oszilloskop und misst die Ausführungszeit der Serviceroutine.

Die untere (blaue) Spur ist das Touchpad-Signal am ADC-Eingang. Bei diesen Tests wurde die Ladezeit auf $6 \mu\text{s}$ eingestellt. Der Wert des Widerstands der Stromquelle ($68 \text{ k}\Omega$) und die Ladezeit wurden so gewählt, dass das Padsignal fast (aber nicht ganz) die ADC-Referenzspannung ($+5 \text{ V}$) erreicht, wenn das Pad nicht berührt wird. Dies führt zu einer optimalen Berührungsempfindlichkeit.

Auf der rechten Seite des Oszillogramms ist zu sehen, was passiert, wenn das Pad berührt wird. Die „Ladegeschwindigkeit“ ist viel niedriger, so dass die Spannung auf dem Pad am Ende der Ladezeit niedriger ist. Die Software definiert eine Spannung, die irgendwo dazwischen liegt, als Schwellwert für „Touch ON“. Beachten Sie, dass die ADC-Wandlungszeit etwa $15 \mu\text{s}$ beträgt. Dies macht den größten Teil der Ausführungszeit der Serviceroutine aus. Die ADC-Taktrate des ATmega328P kann

erhöht werden, um die Ausführungszeit der Serviceroutine zu reduzieren. Es gibt natürlich einen Kompromiss zwischen ADC-Geschwindigkeit und Wandlungsgenauigkeit.

Firmware-Entwicklung

Sollten Sie sich entschließen, Ihre eigene Anwendung mit der Microchip/Atmel Studio-IDE zu entwickeln, ist es ein guter Anfang, mein Test- und Demoprogramm nachzuvollziehen, sofern Sie es noch nicht verwendet haben. Sobald Sie die Anwendung auf Ihrer Zielplattform zum Laufen gebracht haben, können Sie den Quellcode für Ihre Zwecke modifizieren und erweitern.

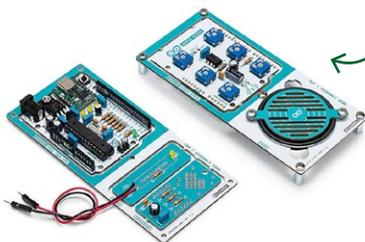
Laden Sie zunächst die Projektdateien von GitHub [1] herunter. Erstellen Sie einen Projektordner auf dem lokalen Laufwerk Ihres Computers und kopieren Sie alle Dateien in diesen Ordner. Wählen Sie auf der Startseite des Atmel-Studios *Open Existing Project*. Navigieren Sie zu Ihrem Projektordner und klicken Sie auf die Datei mit dem Namen *X-mini-touch-sense.atsln*. Dies ist einfacher als die Erstellung eines neuen Projekts (*New Project*) und sorgt dafür, dass alle erforderlichen Komponenten in das Projekt geladen werden, insbesondere die Peripherie-Bibliotheksdateien *lib_avrXmini*.*

Falls Sie später ein neues Projekt mit der X-mini-Bibliothek erstellen möchten, vergewissern Sie sich, dass die Bibliotheksdateien korrekt angehängt sind. Dies können Sie im Fenster *Solution Explorer* auf der rechten Seite des IDE-Editors überprüfen.

Für detaillierte Programmierschritte und spezifische Konfigurationen bietet die Elektor-Labs-Seite [3] nützliche Anleitungen. ◀

SE – 230289-02

Dieser Artikel wurde im Elektor Circuit Special 2024 veröffentlicht.



Über den Autor

Michael Bauer studierte Elektro- und Elektronikingenieurwesen und unterrichtete später Informatik an der Deakin University in Australien. Zu seinen Karriere-Highlights zählen die Mitentwicklung des möglicherweise ersten kommerziell erfolgreichen „Smart Meters“ (MCU-basierter kWh-Zähler), die Ingenieurarbeit an Steuerungssystemen für die Automatisierung von Theaterbühnen sowie die Elektronik- und Softwareentwicklung für wissenschaftliche und biomedizinische analytische Instrumente. Nun im Ruhestand, widmet sich Mike seinen Interessen an elektronischer Musiktechnologie, Radfahren und Langlaufski. Sein Hauptanspruch auf Ruhm ergibt sich aus einem DIY-Hobby-computerprojekt namens „DREAM-6800“ (veröffentlicht 1979), das bei Enthusiasten für historische Mikrocomputer immer noch beliebt ist.

Sie haben Fragen oder Kommentare?

Wenn Sie technische Fragen oder Anmerkungen zu diesem Artikel haben, wenden Sie sich bitte an den Autor unter mjbauer@iprimus.com.au oder an die Elektor-Redaktion unter redaktion@elektor.de



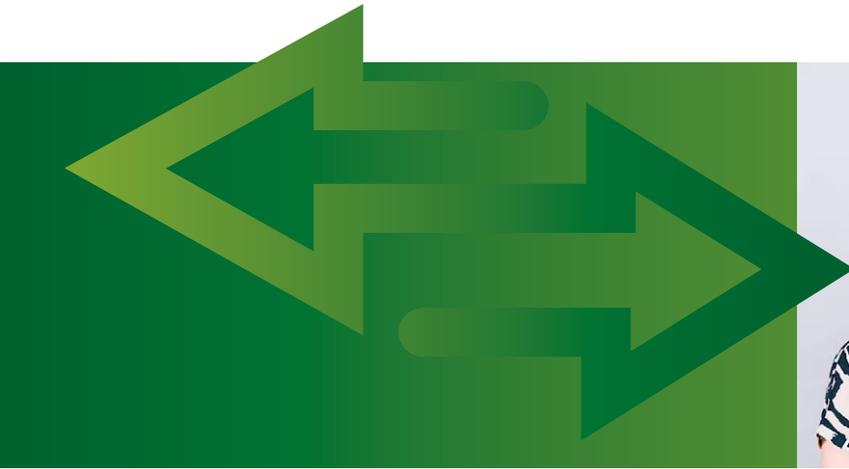
Passende Produkte

- > **Arduino Make-Your-Uno Kit**
www.elektor.de/20330
- > **Seeed Studio Grove LCD mit RGB-Hintergrundbeleuchtung**
www.elektor.de/20014

WEBLINKS

- [1] Github Repository „Touch sense on any MCU“ von M. J. Bauer: <https://github.com/M-J-Bauer/Touch-sense-on-any-MCU>
- [2] Github Repository AVR Dude: <https://github.com/mariusgreuel/avrdude/releases>
- [3] Elektor-Labs-Webseite für dieses Projekt: <https://elektormagazine.de/labs/touch-sense-technique-for-any-mcu>

Vaire-Mitbegründer diskutieren über adiabatisches, Reversible Computing



Hannah Earley und Rodolfo Rosini von Vaire Computing
(Quelle: eeNews Europe)

Von Peter Clarke (eeNews Europe)

eeNews Europe bat Rodolfo Rosini und Hannah Earley, Mitbegründer von Vaire Computing Ltd. um ein Gespräch über das Reversible Computing, das die technische Grundlage ihres Start-ups ist.

Rosini, CEO des Unternehmens, ist ein Serienunternehmer. Er hat Unternehmen in den Bereichen KI, Spiele sowie Mobiltelefonsicherheit gegründet. „Ich dachte mir, dass die Entwicklung und Einführung einer CPU-Architektur eine der komplexesten Aufgaben der Welt sein muss, eines der schwierigsten Dinge, die man tun kann. Ich wollte es versuchen“, sagte Rosini gegenüber *eeNews Europe*.

Earley promovierte an der University of Cambridge, bevor sie 2021 Vaire Computing mitbegründete und die Position des CTO übernahm. In Cambridge beschäftigte sie sich unter anderem mit reversiblen Computing und molekularer Programmierung. Nun möchte sie einige dieser Ideen in die Praxis umsetzen. [1]

Reversibles Computing unterscheidet sich grundlegend von der „klassischen“ Datenverarbeitung, die fast allen kommerziellen Datenverarbeitungssystemen zugrunde liegt, obwohl das Thema bereits seit den 1960er Jahren Gegenstand der akademischen Forschung ist.

Beinahe-Null-Energie

Das Ziel von Vaire ist es, einen KI-Prozessor oder -Beschleuniger zu entwickeln, der annähernd 4.000-mal energieeffizienter als vergleichbare, klassisch implementierte Geräte ist.

„Wir können Chips mit nahezu Null-Verbrauch herstellen. Unsere Spezialität ist das adiabatische reversible Rechnen. Wir können bei Raumtemperatur arbeiten und verbrauchen fast keinen Strom“, sagte Rosini. Earley fügte hinzu: „Wir machen das in digitalem CMOS. Der Ansatz besteht darin, die Anordnung der Logik auf der Gate-Ebene und die Geschwindigkeit der Übergänge zu steuern.“

Die Umkehrbarkeit eines Berechnungsprozesses bedeutet, dass die Eingaben bei der Erzeugung einer Ausgabe nicht verloren gehen. In der akademischen Forschung wurde gezeigt, dass nur die Zerstörung von Informationen eine grundlegende Energiegrenze – die Landauer-Grenze – für Berechnungen setzt. Reversibles Rechnen würde es ermöglichen, diese Grenze zu unterschreiten.

Der adiabatische Teil des Konzepts besteht darin, dass der Energieverbrauch durch die Bewegung von Ladungen durch den Einsatz von Resonanzstrukturen verhindert wird. Anders gesagt: Die beim klassischen Rechnen geleistete Arbeit wird in Wärme umgewandelt, indem Ladung in den Boden entladen wird. Kann diese Energie innerhalb des Systems zurückgewonnen werden, kann sie für nachfolgende Operationen wiederverwendet werden. Zusammen mit der Reversibilität ermöglicht das theoretische Energieeffizienzgewinne in komplexen Systemen von mehr als drei Größenordnungen. Das geht aus wissenschaftlichen Veröffentlichungen hervor.

Langsamer Übergang

Eine der Möglichkeiten, den Energieverbrauch zu minimieren, besteht darin, die Bit-Übergänge langsam ablaufen zu lassen. Bei der klassischen Datenverarbeitung, selbst bei Gigahertz-Taktfrequenzen, werden die Bit-Übergänge durch nahezu rechteckige Taktsignale schnell durch-

geführt. Das führt zu einem hohen Widerstand und zu Verlusten durch Erwärmung. Die Wartezeiten auf den nächsten Taktgeber sind dann „lang“. Durch die Verwendung trapezförmiger Wellenformen mit sanften Gradienten und dadurch, dass die Übergänge einen größeren Anteil einer Taktperiode einnehmen, kann die Ladung adiabatisch oder nahezu adiabatisch in die und aus den Resonanzstrukturen fließen. Man kann das unter anderem durch den Einsatz mehrerer Takte erreichen, um den Anstieg und Abfall der Signale zu steuern.

Wären die Übergänge unendlich langsam, würde der Schaltvorgang keine Energie verbrauchen und keine Wärme erzeugen. Ausnahme wären Leckströme. Glücklicherweise macht sich der größte Teil dieses Vorteils relativ schnell bemerkbar. Das bedeutet, dass annähernd konventionelle Taktraten möglich sein sollten, erklärte Earley.

Earley sagte, dass Vaire weder ein Einschienen- noch ein Zweischienen-Logiksystem (Signal und Inverse) verwendet. „Das genaue Schienensystem ist also keines von beiden, aber die Einzelheiten sind noch nicht bekannt. Ich kann allerdings sagen, dass ein Single-Rail-System bei reversiblen Computersystemen generell nicht ideal ist. Und ja, wir benötigen mehr Takte als klassische CMOS. Unser Ansatz erfordert aber weit weniger Takte als einige Logikfamilien, die in der Vergangenheit entwickelt wurden, etwa SCRL – 24 oder mehr – oder Bennett-Taktung – beliebig viele.“

Die Komplexität mehrerer Signalschienen und Taktgeber ist einer der Gründe dafür, dass sich die adiabatische Umkehrtechnik bisher nicht durchgesetzt hat. Die theoretischen Vorteile sind mit zahlreichen Zusatzkosten und Kompromissen verbunden. Hinzu kommt das Henne-Ei-Problem der mangelnden Unterstützung durch Foundry- und EDA-Software.

Solange das Mooresche Gesetz die Leistung und in geringerem Maße auch die Energieeffizienz steigerte, gab es keinen ausreichenden Anreiz für den Übergang zum reversiblen Rechnen, erklärte Rosini. Mit dem zunehmenden Bewusstsein für die Herausforderungen bei der Nachhaltigkeit im Zusammenhang mit künstlicher Intelligenz ist Rosini jedoch der Meinung, dass die Zeit des reversiblen Computing gekommen ist. „KI erreicht den Punkt, an dem sich ein plötzlicher Wechsel zu einem anderen Paradigma nicht lohnt, sondern unverzichtbar wird“, sagte er.

Earley unterstreicht diesen Punkt: „Wir wollen 4.000-mal energieeffizienter sein als das klassische Computing.“ Rosini fügte hinzu: „50 Jahre lang hatten wir klassisches Computing, das unumkehrbar war. Ich glaube, wir überschreiten eine Schwelle, an der alles umkehrbar sein wird.“

Earley fügte hinzu, dass das Quanten-Computing eine der reinsten Formen des reversiblen Computing ist und dass das reversible photonische Computing möglicherweise aus Gründen der Energieeffizienz irgendwann eingeführt wird.

Alternative Gates

Die Umkehrbarkeit erfordert jedoch eine 1:1-Korrelation zwischen Eingängen und Ausgängen, sodass intern auch andere Arten von Logik-Gates nötig sind. Die Funktion eines NAND-Gates mit zwei Eingängen und einem Ausgang zerstört etwa die Eingangsinforma-

tionen, sodass alternative Gate-Strukturen sowie Architekturen gefunden werden müssen.

„Die Eins-zu-eins-Äquivalenz ist keine Einschränkung, obwohl sie in Betracht gezogen werden muss“, sagte Earley. „Wir dachten, es könnte eine neue Befehlssatzarchitektur und andere grundlegende Bibliotheken erfordern“, fügte sie hinzu. „Wir haben viel Arbeit geleistet, um unsere Standardzellenbibliothek zu entwickeln sowie zu optimieren und um herauszufinden, wie sich diese Zellen zu verschiedenen logischen Funktionen kombinieren lassen.“

Rosini fügte hinzu: „Aber wir können alle Unterschiede innerhalb des Chips isolieren. Von außen sieht es also wie ein herkömmliches Software-Target aus. Wir wollen die [Software-]Infrastruktur nicht verwerfen. Es handelt sich immer noch um deterministisches Computing.“

Vaire hat vor kurzer Zeit auch angekündigt, dass es binnen von 12 Monaten einen reversiblen Computerchip auf den Markt bringen möchte (siehe Startup Vaire: Erster reversibler Computerchip in einem Jahr).

Earley bestätigte, dass das erste Band des Unternehmens für einen 22-nm-Fertigungsprozess entwickelt wird. Allerdings lehnte sie es ab, die Schmiede oder den Fertigungsprozess zu nennen, den Vaire anstrebt. Die wichtigste Entscheidung wäre hier die zwischen planaren, FinFET- oder vollständig angeregten Silizium-auf-Isolator-Prozessen.

Earley sagte, dass die adiabatische reversible Logik von Vaire im Wesentlichen unabhängig vom Prozess ist. „Wir haben CAD-Simulationen auf vielen Abstraktionsebenen durchgeführt“, sagte Earley. „Wir müssen nur noch validieren, dass wir die Ladung auf dem von uns erwarteten Niveau recyceln können.“

Dieses erste Auskopplung soll zu einer Reihe von Testchips gehören, die von Gates und einfachen Funktionen wie Addierern einschließlich Resonanzstrukturen bis hin zu Funktionsblöcken reichen und in einer Schaltung gipfeln werden, die sich via Software programmieren lässt.

Resonante Strukturen?

Was sind nun diese Resonanzstrukturen? Passive LCR-Schaltungen ließen sich wahrscheinlich am einfachsten integrieren. Bieten sie aber die erforderliche Leistung und Kontrolloptionen? Würden aktive, transistorbasierte Schaltungen besser funktionieren – aber zu welchen Kosten? Und was ist mit MEMS?

Earley lehnte es ab, Einzelheiten zu nennen. „Wir untersuchen viele Resonator-Optionen, da sie jeweils Kompromisse aufweisen, die für verschiedene Produktsegmente sinnvoll sind.“ Die Schwierigkeit bei MEMS besteht darin, dass der Entwicklungsprozess viel weniger standardisiert ist und ein tieferes Fertigungs-Know-how erfordert als bei Mixed-Signal-CMOS. Die Zeitspanne für die Entwicklung von MEMS-basierten Resonatoren ist demnach länger.

Vaire befasst sich auch mit den höheren Ebenen des Hardware-Software-Stacks. Rosini sagte, dass man an der Kompilierung arbeitet und dass Andrew Sloss, Vizepräsident für Technologie bei Vaire Computing, zuvor für ein Forschungsprogramm für reversibles Computing beim Prozessor-Lizenzgeber Arm Ltd. verantwortlich war (siehe



Reversibles Computing unterscheidet sich grundlegend vom „klassischen“ Computing, das fast allen bisher kommerziell genutzten Rechnern zugrunde liegt.

Arm-Entwicklungsveteran schließt sich dem Startup „Reversible Computing“ an). Vaire hat zudem Mike Frank, einen prominenten Forscher auf dem Gebiet des reversiblen Rechnens bei den Sandia National Laboratories, als leitenden Wissenschaftler engagiert.

Rosini ist sich darüber im Klaren, dass er ein Chipunternehmen ohne Fabrikgebäude mit einem Angebot an Verarbeitungsprodukten unter seiner eigenen Marke schaffen will. Der alternative Weg nach vorne – die Schaffung von funktionalem geistigem Eigentum und dessen Lizenzierung an Chiphersteller – schöpft laut Rosini nicht genug von dem geschaffenen Wert ab. „Wir hatten bereits Unternehmen, die nach einer Lizenzierung gefragt haben. Wir haben das höflich abgelehnt“, fügte er hinzu.

Das Produktgeschäftsmodell wird jedoch erheblich mehr Finanzmittel erfordern, damit das Unternehmen die verschiedenen Generationen von Testchips weiterentwickeln kann. Rosini sagte, er rechne damit, dass Vaire im Jahr 2027 ein Produkt auf dem Markt haben werde. Aber kann Vaire angesichts der erforderlichen zusätzlichen Schaltungen, komplexeren Gates und Resonanzstrukturen eine Überlegenheit in Bezug auf Leistung, Energieeffizienz und Kosten erreichen? Das ist der sogenannte PPA-Kompromiss (Performance, Power, Area).

Mengenbasiertes Computing

Earley sagte, dass es bei der Vaire-Architektur nicht darum geht, Vorteile in einem einzelnen planaren Schaltkreis zu erzielen. „Die wirklichen Leistungsvorteile ergeben sich, wenn wir mehrschichtiges, mengenbasiertes Computing betreiben“, sagte sie. Das liegt daran, dass die Energieeffizienz von Vaire eine dichte Stapelung von Schaltkreisen ermöglicht. Bei herkömmlichen Verarbeitungsschaltkreisen ist das aus thermischen Gründen nicht möglich.

Earley sagte, dass bei einfachen seriellen Berechnungen, insbesondere bei starken Datenabhängigkeiten, die reversible Logik wahrscheinlich nur geringe oder gar keine Vorteile gegenüber der herkömmlichen Logik aufweist. „Sie ist zwar universell einsetzbar, aber die adiabati-

sche reversible Logik eignet sich viel besser für stark parallele Operationen“, führte sie aus.

Das gilt auch für den KI-Sektor, in dem der Energieverbrauch zu einer ernsthaften Herausforderung wird. KI ist zudem ein Sektor, in dem Rosini bereits Geschäfte und Erfahrungen gemacht hat. „Wir wollen mit einem generischen NPU-Chip (Neural Processing Unit) für den Edge-Bereich einsteigen“, sagte er.

Glücklicherweise muss Vaire nicht unbedingt ein komplettes System für die Verarbeitung entwickeln. Der einfachste Punkt für die Einführung adiabatischer reversibler Logik könnte in einer hybriden Architektur liegen.

Earley sagte: „Unser jüngst eingereichtes Patent betrifft genau das – hybride irreversible/reversible Systeme. Es gibt geringere Ergebnisse, wenn man alles reversibel macht – obwohl diese Ergebnisse besser werden, wenn man die Energierückgewinnung verbessert. Das ist ein wichtiger Teil unserer Roadmap, beginnend mit einem Chip, bei dem die größten Energiesenken auf umkehrbare Logik umgestellt wurden. Mit der Zeit erhöht man dann die reversible Funktionalität und Komplexität, wenn es sinnvoll ist.“

Hinsichtlich der Einführung des adiabatischen, reversiblen Computings bleiben Fragen offen. Wird er einen eigenen ISA haben oder mit einer hybriden Implementierung mit einem Arm- oder RISC-V-Prozessor verbunden? Wie werden aktive Speicher implementiert und wie werden sie an den nichtflüchtigen Speicher angeschlossen? Vieles wird sicherlich vom Benchmarking dieser ersten Prototyp-Chips abhängen.

Ein radikaler technologischer Wandel ist in der Chipindustrie nur schwer zu erreichen. Die zunehmende Nutzung und der Stromverbrauch von KI-Anwendungen im Rechenzentrum und die Notwendigkeit, sparsam mit Strom umzugehen, um KI am Rande des Rechenzentrums durchzuführen, könnten allerdings dazu führen, dass das adiabatische reversible Computing schließlich bei den Kunden Interesse auslöst. ◀

240524-02



Vaire muss nicht zwingend ein komplettes System zur Verarbeitung entwickeln.

Anmerkung der Redaktion

eeNews Europe veröffentlichte diesen Artikel erstmals am 12. Juli 2024. Besuchen Sie www.eenewseurope.com für weitere Nachrichten und Interviews.

WEBLINKS

[1] P. Clarke, „Startup Vaire says first reversible computing chip due in a year“, eeNews Europe, 2. Juli 2024: www.eenewseurope.com/en/startup-vaire-says-first-reversible-computing-chip-due-in-a-year/

[2] Vaire Computing: <https://vaire.co/>

PCBWay

PCBWay – Ihr vertrauenswürdiger Partner für Flex- und Rigid-Flex-Leiterplatten

■ Flexible, langlebige und zuverlässige PCB-Lösungen

Egal, ob Sie flexible Leiterplatten für komplexe 3D-Layouts oder Rigid-Flex-Leiterplatten benötigen, um die Vorteile von starren und flexiblen Leiterplatten zu kombinieren – PCBWay bietet Ihnen hochwertige maßgeschneiderte Dienstleistungen.



Hohe Präzision



Vielseitiges Design



Reliable Quality

Start from Only **\$46.74**



Treffen Sie uns auf der electronica 2024!

Besuchen Sie uns auf der **Standnummer A1.163** während der electronica, der weltweit führenden Fachmesse für die Elektronikindustrie. Sprechen Sie mit unseren Experten darüber, wie wir Ihnen die besten Flex- und Rigid-Flex-Leiterplattenlösungen für Ihr nächstes Projekt liefern können.



www.pcbway.com



service@pcbway.com

Wir unterstützen die Ingenieurinnen und Ingenieure von morgen

- Studienförderungen
- Bildungsrabatte
- Ingenieurtechnische Ausbildungsressourcen

mouser.com/educationalsales-emea

