

PIEZOWANDLER

Haptik bei Touchscreens verbessern



HALBLEITER

Rechenintensive Projekte leichter bewältigen mit FPU's

ANALOG SCHALTWERKE

Rauscharme Referenzspannung

EMBEDDED WORLD 2021

Interview mit Keynote-Speaker Randall Restle

INNOVATOR DES JAHRES

Ergebnisse der Leserwahl



Über
9,6 Millionen
Produkte Online

DIGIKEY.DE

eu.support@digkey.com

Vorrätig@Digi-Key.

**Zuverlässigkeit, auf die
Sie zählen können.**



**ÜBER 1200
BRANCHENFÜHRENDE
ANBIETER**

**ÜBER 1,9 MILLIONEN
PRODUKTE AUF LAGER**

**TÄGLICH NEUE
TECHNOLOGIEN**

**ÜBER 9,6 MILLIONEN
PRODUKTE ONLINE**

**KOSTENLOSER
VERSAND**
BEI BESTELLUNGEN
AB 50 € ODER
\$60 USD*



TELEFON: (+49) 30 915 884 91

DIGIKEY.DE

eu.support@digikey.com



*Für alle Bestellungen unter 50,00 € wird eine Versandgebühr von 18,00 € in Rechnung gestellt. Bei Bestellungen unter \$60,00 USD wird eine Versandgebühr von \$22,00 USD berechnet. Alle Bestellungen werden per UPS, Federal Express oder DHL für die Lieferung innerhalb von 1 bis 3 Tagen (abhängig vom endgültigen Bestimmungsort) versendet. Keine Bearbeitungsgebühren. Alle Preise werden in Euro oder US-Dollar angegeben. Digi-Key ist ein autorisierter Distributor für alle Lieferpartner. Neue Produkte werden täglich hinzugefügt. Digi-Key und Digi-Key Electronics sind eingetragene Marken von Digi-Key Electronics in den USA und anderen Ländern. © 2020 Digi-Key Electronics, 701 Brooks Ave. South, Thief River Falls, MN 56701, USA

ECIA MEMBER
Supporting The Authorized Channel



Nicht normal, das »New-Normal«

Mit dieser Ausgabe der DESIGN&ELEKTRONIK halten Sie das letzte Heft des Jahres in Händen, ein Jahr, dem niemand eine Träne nachweinen wird, wenn es endlich zu Ende ist. Trotz der vielen Technik, die uns zur Verfügung steht, mussten wir in diesem Jahr die Erfahrung machen, dass wir Menschen vieles eben doch nicht unter Kontrolle haben. Umso wichtiger ist es, die Gestaltungsmöglichkeiten, die uns bleiben, auch wahrzunehmen. Eine weitere Erfahrung war, dass es sehr schnell möglich ist, Gewohnheiten zu ändern, wenn es nötig ist. Stichworte: Homeoffice und Bike-Lanes. Das sind die positiven Seiten der Krise: Sie hat gezeigt, dass wir schnell und flexibel reagieren können.

Auch der Digitalisierungsschub, der mit der Corona-Krise einhergeht, wird überwiegend positiv dargestellt. Einerseits ist es wichtig, während einer so schwierigen Zeit optimistisch zu bleiben. Andererseits kann das auch schnell in die Unglaublichkeit abrutschen. Wenn mir morgens beim Frühstück aus dem Radio die Stimme des Werbesprechers voller Freude verkündet: »Auch für ihr Unternehmen bietet die Digitalisierung eine Chance!«, dann empfinde ich das als blanken Hohn. Ich denke da zum Beispiel an eine Veranstaltungsagentur, die mittlere bis große Events mit Technik ausstattet und Beschallungsanlagen in Messehallen und Bierzelten installiert. 70 Angestellte, alle gekündigt. Oder die stark gebeutelte Tourismusbranche: Bahnfahrkarten, Flüge, Hotels buchen – das alles ist schon seit Jahren prima digitalisiert. Aber wenn keine Nachfrage mehr da ist, hilft auch noch so viel Digitalisierung der Branche nicht weiter.

Auch die Elektro- und Elektronikindustrie hat – digital gesehen – vor der Krise keineswegs hinterm Mond gelebt. Auch wenn immer wieder Defizite beklagt werden, die es zweifellos gibt, so berichtete Dr. Gunther

Kegel, Vorsitzender der Geschäftsführung bei Pepperl + Fuchs und Präsident des ZVEI: »Infrastrukturell waren fast alle unsere Mitarbeiter mit Laptops und mobilen Arbeitsplätzen sofort für das Homeoffice gerüstet. Im Kundenumfeld musste diese Infrastruktur zum Teil erst geschaffen werden.« Da wird es dann schwierig mit der Digitalisierung, wenn die Geschäfte schlecht laufen und das Geld für Investitionen ausgeht.

Für das kommende Jahr ergibt all das ein sehr gemischtes Bild. Immerhin tut sich mit den ermutigenden Fortschritten bei der Impfstoffentwicklung Licht am Horizont auf. Fest steht aber, dass uns die Krise nicht so schnell verlassen wird, wie sie gekommen ist. Gerade die leistungsfähigen, gesunden Berufstätigen zwischen 25 und 55 sind keine Risikogruppe und werden zuletzt geimpft werden. Deshalb erwarte ich nur ein allmähliches Anlaufen der geschäftlichen und sozialen Aktivitäten.

Viel ist auch von einem »New-Normal« die Rede, das sich nach der Krise einstellen soll. Sicherlich wird auch weiterhin ein Videomeeting manche Geschäftsreise ersetzen. Und die SPS connect hat gezeigt, wie eine digitale Veranstaltung erfolgreich organisiert werden kann. Aber der Mitmensch als potenzielle Infektionsquelle, Messe und Konferenz als mögliches Superspreading-Event? – Das kann und wird nicht das »New-Normal« sein. Innovation lebt von Austausch und gemeinsamer Kreativität, geschäftliche Kontakte brauchen Vertrauen. Beides erfordert die unmittelbare menschliche Begegnung. Ihr

Joachim Kroll

Joachim Kroll
 Dipl.-Ing., Chefredakteur
 JKroll@weka-fachmedien.de



PERSÖNLICH.

Wir suchen die Nähe zu Ihnen und bieten jederzeit ein offenes Ohr, eine helfende Hand und gute Ideen.

BIDIREKTIONALE HOCHLEISTUNGS-STROMVERSORGUNG.

Delta Elektronika
 SM-Serie 15 kW

NEU!
 Jetzt mit integrierter PV-Simulation



- ▶ integrierte Photo Voltaik (PV) Simulation
- ▶ Bidirektionale Leistungsstufe mit Netzzurückspeisefunktion
- ▶ Ausgangsspannung bis 1.500 V
- ▶ Wirkungsgrad bis 96 %
- ▶ Großer Eingangsspannungsbereich

SPEISE- UND RÜCKSPEISE-SYSTEM.

Regatron TC.GSS



- ▶ Ausgangsspannung bis 1.500 V
- ▶ Modular einfach erweiterbar
- ▶ 20 oder 32 kW pro Modul

Schulz-Electronic GmbH

Dr.-Rudolf-Eberle-Straße 2 · D-76534 Baden-Baden
 Tel.: +49 7223 96 36 0
 E-Mail: vertrieb@schulz-electronic.de
 Web: www.schulz-electronic.de

Haptik bei Touchscreens



Derzeit bieten Touchscreens nur eine begrenzte oder auch gar keine haptische Rückmeldung. Damit sich dies ändert, setzen Entwickler auf Piezowandler. Mit diesen Bauteilen lassen sich haptische Signale gut erzeugen – und sie bieten physikalische und elektrische Verbesserungen gegenüber konventionellen Vibrationsgeneratoren. **Seite 22**



Zentrale Eigenschaft einer Stromversorgung ist ihre Zuverlässigkeit. Aber was bedeutet Zuverlässigkeit? Wie kann man sie bestimmen? Was bedeutet das für den Anwender? Hier geht es um die Kennzahlen. **Seite 42**



Auch wenn wiederaufladbare Lithium-Ionen-Batterien hervorragend sind, bemühen sich Forscher, andere Zellchemien zu entwickeln. Ein Überblick über die Forschungsarbeiten jenseits von Lithium. **Seite 46**

Inhalt

EDITORIAL

Nicht normal, das »New-Normal« 3

BEST OF ONLINE

Unsere Top-3-Beiträge 5

TOOLS & TECHNOLOGIEN

Glosse: Systems-Engineering für

Anfänger und Fortgeschrittene 6

embedded world 2021: Alles DIGITAL 8

Das sind die Innovatoren des Jahres 2020 10

i.MX 8M Plus Visionärer Controller 12

EMBEDDED-SYSTEME / HALBLEITER

Interview Randall Restle 14

Rechenintensive Projekte bewältigen 17

DISPLAYS & HDMI's

Aktuelle Produkte 21

Titel – Haptische Rückmeldung verbessern 22

Außergewöhnliches erwünscht 28

STROMVERSORGUNG / POWERMANAGEMENT

Aktuelle Produkte 32

Rauscharme Referenzspannung 33

Netzteile und ihre Zuverlässigkeit (Teil 2) 42

Jenseits von Lithium 46

LESERSERVICE

Vorschau/Inserentenverzeichnis 50

Impressum 51

Online-Exklusiv – Unsere Top-3-Beiträge

Platz 1: Maker-Boards: Arduino zielt auf »Pro«-Kunden



Arduino ist eine der ältesten Maker-Plattformen.

Worin unterscheidet sie sich von anderen Maker-Systemen? Wer ist die Firma, die dahinter steht? Und wie sieht die Strategie für die Zukunft aus? – Diese und andere Fragen stellten wir Daniel Kilian, Global Sales Director bei Arduino.

Platz 2: Raspberry Pi: Jetzt auch als Desktop-PC verfügbar



Ab sofort gibt es den beliebten Raspberry Pi

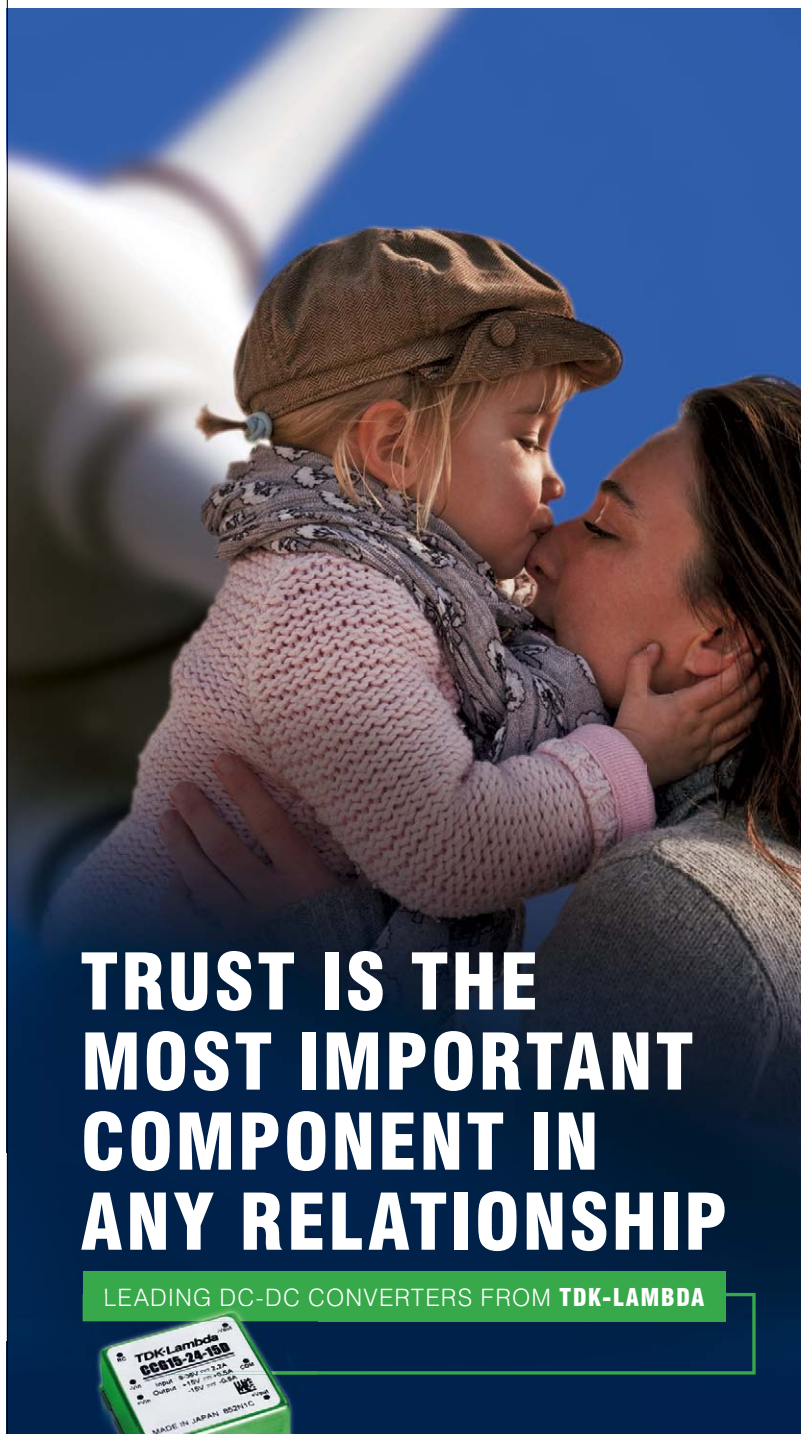
auch als Desktop-Version. Der preisgünstige Raspberry Pi 400 ist als gebrauchsfertiges Kit erhältlich und eignet sich sowohl für die Verwendung zu Hause oder im Bildungsbereich als auch für Industrie und Gewerbe.

Platz 3: Sanmina: Lehren aus der Covid-19-Pandemie für die Lieferkette



Covid-19 beeinflusst die Art und Weise, wie Hersteller, Zulieferer und Partner zusammenarbeiten, tiefgreifend und nachhaltig – mehr als der Tsunami 2011 in Japan

und die Knappheit bei MLCCs 2018. Welche Lehren wir aus der Pandemie ziehen sollten, erörtert Michael Ackers, Director Business Development Central Europe bei Sanmina.



TRUST IS THE MOST IMPORTANT COMPONENT IN ANY RELATIONSHIP

LEADING DC-DC CONVERTERS FROM TDK-LAMBDA



TDK-Lambda
Trusted • Innovative • Reliable

- Advanced circuit design & high-density mounting
- Precision-manufactured by robots
- High reliability & efficiency
- Minimum heat dissipation



Discover TDK-Lambda quality.

emea.lambda.tdk.com/dc-dc-converter

Systems-Engineering für Anfänger und Fortgeschrittene

Software durchdringt inzwischen viele Bereiche unseres Lebens – da gibt es immer wieder Neu- und Quereinsteiger, die sich mit Software beschäftigen müssen. Für sie wie auch für Routiniers, die neue Facetten entdecken oder sich über Weiterentwicklungen informieren wollen, hält die embedded world Conference viele interessante Vorträge bereit. Und vielleicht kommen ihnen die Erfahrungen, die Entwickler »Stefan« gemacht hat, bekannt vor ...

Mein Name ist Stefan*. Ich arbeite bei einem großen Automobilkonzern in der Motorenentwicklung. Unser aktuelles Problem besteht darin, dass die Motoren immer effizienter und leistungsstärker werden sollen, damit aber oft auch größer und schwerer werden und dadurch mehr Kraftstoff verbrauchen, als die immer schärfer werden den Zulassungsbestimmungen erlauben. Vom Klimaschutz mal ganz zu schweigen.

Neulich hatte ich in einer Fachzeitschrift gelesen, dass man Systeme mit *Software* effizienter und leichter machen kann – klang logisch, denn Software wiegt ja auch nichts. Also ging ich zu meinem Chef** – er ist von Hause aus Maschinenbauer – und versuchte, ihm meine Idee nahezubringen. Seine lapidare Antwort war: »Software im Auto? – Dafür übernehme ich keine Verantwortung!«. Klar, wer will schon während der Fahrt seinen Motor neu booten, wenn die Software mal wieder abgestürzt ist.

Also musste ich selbst sehen, wie ich diese Idee umsetze und suchte an der

Volkshochschule nach einem Programmierkurs. Man fragte mich, welche Sprache ich lernen möchte, C oder C++ oder Java? Und man sprach von prozeduralen und objektorientierten Sprachen. Ich verstand zunächst nur Bahnhof. Ich dachte, mit Deutsch, Englisch und sogar ein bisschen Russisch (von meiner Oma) wäre ich gut vorbereitet. Und warum C, wenn es C++ gibt, das kann doch nur besser sein.

Dann traf ich bei einem Klassentreffen meinen alten Kumpel Klaus***. Klaus hatte Informatik studiert und erzählte mir etwas von eingebetteten Systemen. Er bestärkte mich in der Idee, der Hardware durch Software Beine zu machen. Also ging ich wieder zu meinem Chef. Er hatte sich inzwischen wohl auch zum Thema Software im Auto umgehört – oft hört man auf dieser Ebene mehr auf Berater und Wettbewerber als auf seine eigenen Mitarbeiter. Er sagte zu mir: »Also gut, aber das ist nicht unser Thema, das macht der Zulieferer«.

Also rief ich meinen Kumpel bei unserem Stammzulieferer an und schilderte

ihm die Situation. Er sagte: »Gute Idee, lass mich mal machen«. Nach ein paar Wochen schickte er mir eine Datei, die ich »auf den Motor aufspielen sollte«. Es funktionierte natürlich nichts, und er konnte mir auch nicht genau sagen, was er gemacht hatte.

Da fiel mir Klaus wieder ein. Ich rief ihn an und er fragte mich, was ich denn dem Zuliefererkumpel für einen Auftrag gegeben hätte – genauer: Wie denn meine *Spezifikation* aussähe. Ich müsste doch dokumentieren, was mein System tun soll. Andernfalls würde mir der Zulieferer ja nur auf der Nase rumtanzen und für jede Änderung, um die ich ihn bitten würde, wieder Geld verlangen.

■ VHiT – vom Hirn ins Terminal

Jetzt verstand ich, was er mit *Requirements Engineering* meinte. Außerdem wollte Klaus wissen, wie denn mein *Entwicklungsprozess* aussähe. Er sagte, dass viele Leute noch immer den Fehler machen würden, die VHiT-Methode zu verwenden, »vom Hirn ins Terminal«. Dabei gäbe es doch mittlerweile erprobte, standardisierte Entwicklungsprozesse wie das V-Modell, die ein nachvollziehbares und qualitativ hochwertiges Vorgehen gewährleisten würden.

Aus vielen Krimis und Thrillern kenne ich natürlich V-Männer, und ich dachte zunächst, er meinte einen besonders attraktiven und hätte nur ein »!« zu viel am Ende. Aber dann habe ich doch die Bedeutung von Entwicklungsprozessen und Vorgehensmodellen verstanden.

Aber dann fing Klaus wieder mit dem Modell an. Er meinte, dass es sinnvoll sei, auf der Basis der Anforderungen zunächst ein Modell des Systems zu ent-

DR. KLAUS GRIMM



war jahrelang in der Forschung und Vorentwicklung eines deutschen Automobilkonzerns für den Bereich Software- & E/E-Technologien verantwortlich. Auf europäischer Ebene hat er sich als Präsident der ARTEMIS Industry Association viele Jahre für die Förderung und Vernetzung der Forschung im Bereich der eingebetteten Systeme engagiert. Als Mitglied des embedded world Steering Boards wirkt er an der Programmgestaltung der embedded world Conference mit.

wickeln und schon mal auf dem Rechner zu simulieren. Dann könnte man oft sogar sein Programm schon automatisch daraus generieren.

Mein Kumpel beim Zulieferer hatte davon übrigens auch schon gehört, hielt es aber im Sinne seines Brötchengebers für sinnvoller, »mich mit solchem Voodoo nicht auch noch zu belasten«. Heute weiß ich, warum. Mittlerweile hatte er mir ein *eingebettetes System* entwickelt, das auf meiner Hardware das tun sollte, was ich wollte. Nur wie konnte ich das nachprüfen? Klaus wusste wieder eine Lösung und führte mich in das systematische Testen ein. »Das kann man sogar schon auf der Modellebene und dann mit dem gesamten System tun.« – war sein vielversprechender Tipp.

Inzwischen hat auch mein Chef akzeptiert, dass die Entwicklung unweigerlich voranschreitet. Mittlerweile ist der Software-Anteil auch im Auto um ein Vielfaches größer und komplexer als in der Apollo 11 bei ihrer Landung auf dem Mond. Klaus erklärt das zum Teil dadurch, dass die Apollo zum Beispiel

keine elektrischen Fensterheber hatte, und die Astronauten nicht über eine WhatsApp-Gruppe, sondern noch direkt miteinander kommuniziert haben – und wohl auch nur dann, wenn es wirklich etwas zu besprechen gab.

Darüber hinaus konnten sie bei ihrer Navigation auch nicht darüber entscheiden, ob ihnen eine Frau oder ein Mann sagen sollte, wo es lang geht. Und eine Twitter-Botschaft wie »Houston, wir haben ein Problem« war damals sicher auch unvorstellbar.

Um zum Ende zu kommen: Mittlerweile läuft mein Motor wie geschmiert – natürlich mit weniger Kraftstoff – und mit Software. Für die Zukunft fühle ich mich software-technisch bestens gerüstet für die nächsten Antriebsgenerationen – Strom und Wasserstoff sollen ja groß im Kommen sein. Und dann noch das Ganze mit dem Internet ...

Zum Schluss erzählte mir Klaus noch, dass es eine Konferenz gibt, die jährlich in Nürnberg stattfindet und auf der sich viele schlaue Leute treffen und über ihre Erfahrungen und neuen Ideen

berichten – und zwar nicht nur aus der Automobilindustrie, sondern auch aus der Medizin, der Luft- und Raumfahrt, der Automatisierung und und und ... Das Ganze nennt sich *embedded world Conference* und steht bei mir ab jetzt fest im Terminkalender.

■ *embedded world Conference 2021 DIGITAL*

Ganz gleich ob Software für Sie so neu ist wie anfangs für »Stefan« oder ob Sie so ein alter Hase sind wie »Klaus«: die embedded world Conference 2021 bietet ein breites Angebot an Software- und anderen Themen. Das ausführliche Programm und die Anmeldung finden Sie auf www.embedded-world.eu. Informationen zur embedded world Exhibition: www.embedded-world.de

* Name von der Redaktion geändert.

** Name der Redaktion bekannt.

*** Name von der Redaktion nicht geändert.

Anzeige

RIGOL

Possibilities and More

Die Neuen: Sechs Richtige für alle Anwendungen und Leistungsklassen



MSO5000 Serie inkl. Bode-Diagramm
UltraVision II Speicheroszilloskope
Bis 350 MHz Bandbreite, 8 GS/sek. Echtzeitabtastrate, Deutsches Handbuch

DS1202Z-E
UltraVision Speicheroszilloskop
200 MHz Bandbreite, max. 24 Mpkt. Speichertiefe, 1 GS/sek. Echtzeitabtastrate



DG2000 Serie
SiFi II Arbiträre Funktionsgeneratoren
Bis zu 100 MHz Bandbreite, 2 analoge Kanäle, 250 MS/sek., 16 Bit Auflösung

DSG821(A) / 836(A)
High-End HF-Signalgeneratoren
9 kHz bis 3,6 GHz, Amplituden-Bereich -110 dBm to +13 dBm, IQ Modulator (A)



MSO8000
UltraVision II Speicheroszilloskop
Bis 2 GHz Bandbreite, 500 Mpkt. Speichertiefe, 10 GS/sek. Echtzeitabtastrate

RSA3015N / 3030N / 3045N
UltraReal Echtzeit-Spektrumanalysatoren
Vektor-Netzwerk-Analyse-Modus (VNA), 9 kHz bis 4,5 GHz, Bis 40 MHz Bandbreite



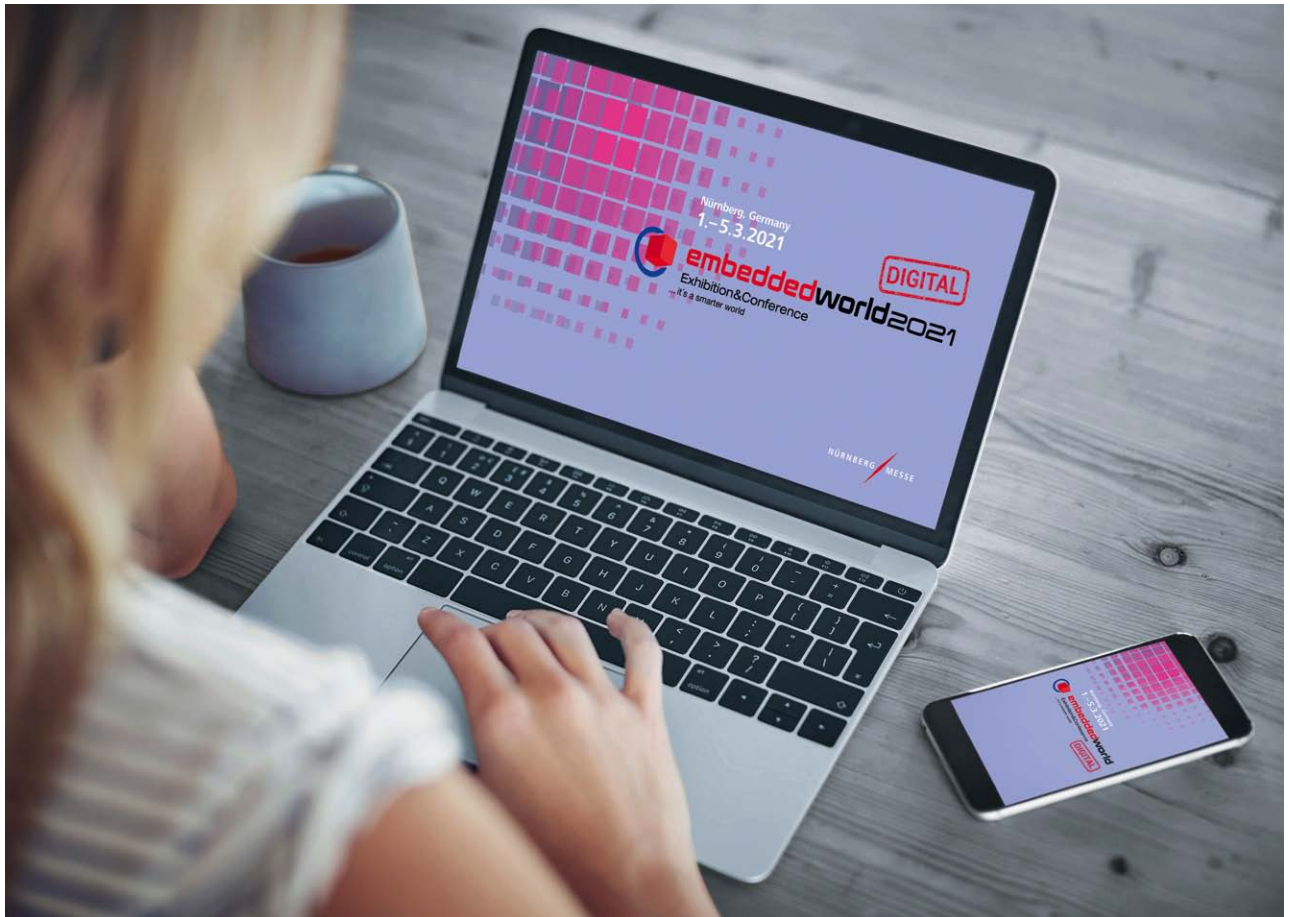


Bild: NürnbergMesse

embedded world 2021

Alles DIGITAL

 **embedded world 2021**
Exhibition & Conference
... it's a smarter world

DIGITAL

Mit der Entscheidung, die embedded world 2021 in einem rein digitalen Format zu veranstalten, hat die NürnbergMesse rechtzeitig die Weichen in Richtung einer virtuellen Veranstaltung gestellt, auf die sich alle vorbereiten können. Auch die Konferenzen finden digital statt und werden dadurch noch enger mit der Messe verzahnt.

Es war schon eine denkwürdige Veranstaltung, die embedded world 2020: Am Vorabend des Corona-Lockdown kam die Embedded-Community noch einmal zusammen. Damals dachten wir, dass man die Pandemie bis zum Herbst schon in den Griff bekommen werden – schließlich gab es schon SARS und MERS, die in Europa relativ periphere Ereignisse waren. Niemand ahnte im März 2020, dass die embedded world für so lange Zeit die letzte Großveranstaltung nicht nur in Nürnberg, sondern auf den Messen überhaupt sein würde. Mittlerweile laufen wir in die schwerste

Wirtschafts- und Gesellschaftskrise seit dem zweiten Weltkrieg. Gleichzeitig ist aber auch erstaunlich, wie schnell sich Betriebe und Geschäfte an die neuen Verhältnisse angepasst haben, Stichwort: Digitalisierungsschub.

Diesen Digitalisierungsschub haben – neben vielen anderen – insbesondere Veranstaltungen erlebt. Zwar wird das Bedürfnis nach physischem Austausch immer größer, je länger die coronabedingten Beschränkungen anhalten, aber Austausch und Information müssen weitergehen – und das ist vorläufig nur in digitaler Form möglich. Die digitalen

Veranstaltungen bringen aber auch Herausforderungen mit sich: Wie wirkt man der »digitalen Ermüdung« entgegen? – Immer öfter hört man, wie anstrengend virtuelle Meetings sind und wie dröge es ist, den ganzen Tag vor dem Bildschirm zu sitzen.

Die NürnbergMesse und WEKA haben für die embedded world 2021 DIGITAL deshalb ein völlig neues Veranstaltungskonzept erarbeitet. Aus drei Tagen werden fünf: vom 1. bis zum 5. März 2021. Alle Vorträge können von registrierten Teilnehmern auch »on demand« im Anschluss an die Live-Ausstrahlung angesehen werden. Aber alles von vorne.

■ Vom 1. bis zum 5. März 2021

Was bleibt, sind die drei Pfeiler der Veranstaltung: die embedded world Exhibition, die embedded world Conference

und die electronic displays Conference. Programm und Anmeldung befinden sich wie gewohnt auf den jeweiligen Webseiten (siehe *Kasten*). Die Veranstaltung selbst wird dann auf einem gemeinsamen Portal der NürnbergMesse stattfinden. Man geht also nicht mehr entweder ins Konferenzzentrum oder in die Ausstellung sondern hat alles unter einem gemeinsamen digitalen Dach.

Unter diesem Dach gibt es täglich ein Live-Programm von 10 Uhr bis 18 Uhr, am Freitag bis 15:30 Uhr. Strukturiert wird der Tag durch zwei feste Termine: Um 10:15 und 15:30 findet täglich eine Keynote oder eine Diskussionsrunde statt. Diese Vorträge beziehungsweise Panel Discussions sind für alle Besucher kostenlos. Dazwischen und bis 18 Uhr teilt sich das Programm auf in Aussteller-Vorträge (für Besucher kostenlos) und Konferenz-Vorträge (kostenpflichtig).

Erfreulicherweise hat das Interesse an der embedded world bei den Konferenzsprechern nicht nachgelassen, trotz der im Sommer noch bestehenden Unsicherheit über das Veranstaltungsformat. Die digitale Veranstaltung bietet nun die Chance, die enorme Menge an Vorträgen zu entzerren und weniger parallel laufen zu lassen. So wird zum Beispiel die electronic displays Conference, die bisher an zwei Tagen stattfand, auf fünf Tage verteilt und dafür ohne Parallelführungen auskommen. Die embedded world Conference wird ebenfalls fünftägig,

EMBEDDED WORLD 2021 DIGITAL

Die embedded world 2021 DIGITAL findet vom 1. bis 5 März 2021 statt und besteht aus drei Veranstaltungsteilen:

embedded world Exhibition www.embedded-world.de

embedded world Conference www.embedded-word.eu

electronic displays Conference www.electronic-displays.de

Programm und Anmeldung auf den jeweiligen Webseiten.

Key-Facts:

- Tägliches Live-Programm von 10 bis 18 Uhr, Freitag etwas kürzer,
- Keynotes und Panel-Discussions,
- Ausstellerpräsentationen kostenlos für Besucher,
- umfangreiches Konferenzprogramm (kostenpflichtig),
- Themenschwerpunkte embedded world Conference u. a.: Embedded AI, IoT, Safety/Security, OS, Software- und Systems-Engineering, Connectivity, SoC-Design, Embedded Vision,
- Themenschwerpunkte electronic displays Conference: μ LEDs & MEMS, OLED, Automotive Displays, Gesture & Haptics, Optical Bonding & Surfaces, Market Trends.

mit fünf Parallel-Sessions (bisher: acht bis neun) durchgeführt. Das ist weiterhin ein sehr großes Angebot und kaum jemand wird fünf Tage lang vor dem Bildschirm sitzen. Deshalb werden alle Vorträge aufgezeichnet und sind in den zwei Wochen nach der Live-Phase noch »on demand« abrufbar.

Das ausführliche Veranstaltungsprogramm werden wir in der DESIGN&ELEKTRONIK 1/2021 veröffentlichen, und natürlich finden Sie es auch auf den Veranstaltungsw Webseiten. Mit dem digitalen Konzept geben NürnbergMesse und WEKA den Stakeholdern der Embedded-Branche die Chance,

sich unter den gegebenen Umständen bestmöglich zu vernetzen, Informationen auszutauschen sowie Kontakte zu halten und zu knüpfen. DIGITAL – ist das nun das »neue Normal«? Sicher nicht, denn es heißt embedded world 2021 DIGITAL, also mit Jahreszahl. Ganz sicher wird die embedded world auch in den kommenden Jahren digitaler werden als bisher, aber sobald wir wieder raus dürfen aus den Home-Offices und die aufgestellten Plexiglas-Trennwände zertrümmern können, dann wird die Branche auch wieder physisch zusammenkommen und als erstes die Sektorkorken knallen lassen. (jk)

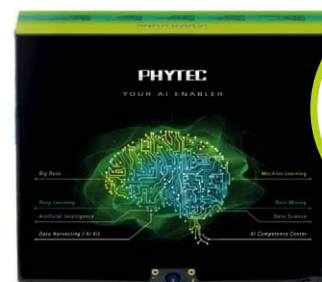
Anzeige

KI-Kit inkl. MIPI Kameramodul für embedded Systeme!

PHYTEC

KITINHALT

- phyBOARD-Pollux mit phyCORE-i.MX 8M Plus Modul inkl. Linux Yocto BSP
- Kameramodul mit HD Auflösung inkl. Objektiv, M12 (S-Mount), f=12 mm
- Vorinstalliertes Software-Image mit fertig installiertem Kameratreiber
- Software-Bibliotheken OpenCV, GStreamer vorinstalliert
- NXP eIQ Machine Learning SW im BSP integriert



Kit-Preis:

274 €

zzgl. MwSt.



Sprechen Sie mit unserem Datascientist über Ihr Projekt!



PHYTEC MESSTECHNIK GMBH
contact@phytec.de · www.phytec.de
 +49 (0) 6131 / 9221-32



Alle Bilder: WEKA Fachmedien

Bild 1: Am Nachmittag des 19. November moderierten Chefredakteur Joachim Kroll und Redakteurin Kathrin Veigel (beide DESIGN&ELEKTRONIK) die Preisverleihung zum »Innovator des Jahres 2020« in einem Live-Stream auf YouTube.

Ergebnisse der Leserwahl

Das sind die Innovatoren des Jahres 2020

Die Redaktion DESIGN&ELEKTRONIK stellte in diesem Jahr zum vierten Mal den »Innovator des Jahres« zur Wahl. Nun haben die Leser ihre Favoriten gewählt und die Ergebnisse stehen fest. Corona-bedingt fand die Preisverleihung per Live-Stream statt.

Auch auf die Gefahr hin, dass ich Sie langweile beziehungsweise Sie den folgenden Satz einfach nicht mehr lesen wollen – er muss dennoch hier stehen: Durch die Corona-Pandemie, die uns nach wie vor fest im Griff hat, läuft in diesem Jahr vieles nicht wie gewohnt oder geplant. Das betraf auch die Preisverleihung zum »Innovator des Jahres 2020«.

So konnte die Redaktion der DESIGN&ELEKTRONIK den diesjährigen Innovatoren nicht wie in den Jahren zuvor im Rahmen eines Präsenz-Events in festlicher Umgebung die Auszeichnungen überreichen. Statt persönlicher Gespräche und einem geselligen Beisammensein bei allerlei Köstlichkeiten, gab es am Nachmittag des 19. November einen Live-Stream mit korrektem Abstand zwischen

den beiden Moderatoren Joachim Kroll, Chefredakteur der DESIGN&ELEKTRONIK, und der Redakteurin Kathrin Veigel. Die

anderen Redaktionskollegen, Ralf Higgelke von der DESIGN&ELEKTRONIK und Melanie Ehrhardt, Redakteurin der Fachzeitschrift Medical Design, wurden per Video dazugeschaltet.

■ Innovationen vorgestellt im Live-Stream

Während des Live-Streams, gesendet auf dem Youtube-Kanal der DESIGN&ELEKTRONIK (<https://bit.ly/2UwUCaw>), stellten die Redakteure die Innovationen aus den 13 Rubriken in kurzen Laudationen vor.

Dazwischen kamen in kurzen Interviews auch die Sponsoren der Leserwahl



Bild 2: DESIGN&ELEKTRONIK-Redakteur Ralf Higgelke mussten wir wegen der Corona-Beschränkungen als Video einspielen, da nur zwei Personen gleichzeitig im Live-Studio sein durften.



Bild 3: Auch die Sponsoren kamen zu Wort. Joachim Kroll befragte Andreas Mangler, wie sich die Corona-Pandemie bei Rutronik ausgewirkt hat.



Bild 4: Melanie Ehrhardt, Redakteurin der Medical Design, hat den Innovator des Jahres 2020 für die Rubrik Medizintechnik - das Unternehmen Sonotec - per Video-Einspielung vorgestellt.

zu Wort: Für Rutronik standen Andreas Mangler, Director Strategic Marketing, und Fabian Fischer, Manager International Marketing, Joachim Kroll Rede und Antwort. Für Inpotron Schaltnetzteile beantwortete Hermann Püthe, Geschäftsführender Gesellschafter, die Fragen von Ralf Higgele. In diesen Gesprächen ging es unter anderem darum, was aus Sicht der beiden Unternehmen Innovationen ausmacht und wie man auch in Zeiten der Krise, wie wir sie aktuell erleben, innovativ sein kann.

Folgende Innovationen aus den jeweiligen Rubriken haben unsere Leser überzeugt und das Rennen um Platz 1 gewonnen:

- **Analog- und Powermanagement-ICs:** Softwarekonfigurierbares analoges Frontend mit integriertem A/D-Wandler, Analog Devices
- **Cloud & Co:** Cloud4Testing: SaaS-Plattform für HF-Testsoftware, Rohde & Schwarz
- **Elektromechanik:** Dichte und sichere Stecksysteme für medizin-

technische Anwendungen, Nicolay

- **Embedded-Computing:** Basisboard-Design SimpleFlex, Avnet Integrated
- **Entwicklungssoftware:** GUI-Design-tool AppWizard, Segger Microcontroller
- **Grüne Technologien:** Lithiumgewinnung für Autobatterien aus Geothermal-Wasser, Vulcan Energy
- **Halbleiter:** Partnerschaft mit Arm für Ethos-U55, NXP Semiconductors
- **Medizintechnik:** Sonoflow-Co.56-Pro-Sensoren, Sonotec
- **Messtechnik:** 1500-A-Hochstrom-Sensor mit MOSFET Class D Endstufe, Vacuumschmelze
- **Optoelektronik & Displays:** Hybrid-Bonding, Data Modul
- **Passive Bauelemente:** Kobalt-Eisen-Werkstoff Vacodur 49, Vacuumschmelze
- **Stromversorgung:** Parallelschalten mit Redundanz auf der Hutschiene, TDK-Lambda
- **Systemdesign:** Embedded-System-plattform HeiSys, Heitec

SO LIEF DIE LESERWAHL ZUM »INNOVATOR DES JAHRES« AB



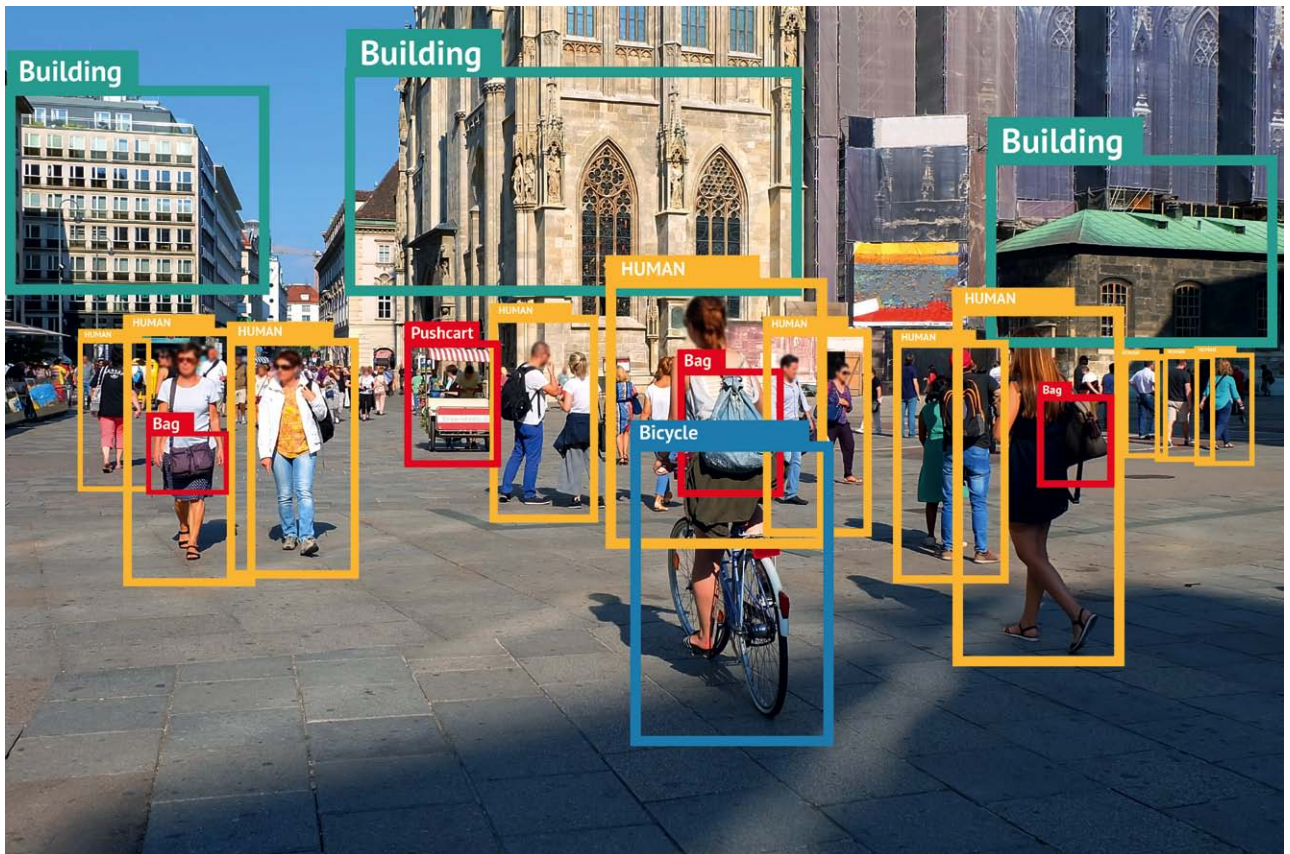
Mit der Wahl zum »Innovator des Jahres« will die Redaktion DESIGN&ELEKTRONIK jedes Jahr die Stars hinter den Produkten für die von ihnen entwickelten Top-Technologien auszeichnen. Um den vielfältigen Entwicklungsbereichen in der Elektronikwelt Rechnung zu tragen, hat die Redaktion diese in 13 Kategorien aufgeteilt. Ein Novum in diesem Jahr war, dass nicht nur reine Technik-Kategorien in die Abstimmung mit aufgenommen wurden, sondern mit der Kategorie »Grüne Technologien« auch solche mit Bezug zu derzeit gesellschaftlich relevanten Themen, zum Beispiel Nachhaltigkeit, Recycling oder alternative Kraftstoffe.

In diesen Kategorien konnten die Leser der DESIGN&ELEKTRONIK ihren »Innovator des Jahres 2020« bestimmen:

- Analog- und Powermanagement-ICs
- Cloud & Co.
- Elektromechanik
- Embedded Computing
- Entwicklungs-Software
- Grüne Technologien
- Halbleiter
- Medizintechnik
- Messtechnik
- Optoelektronik & Displays
- Passive Bauelemente
- Stromversorgung
- Systemdesign

Für die Online-Abstimmung hatten die Leser maximal 13 Stimmen – eine in jeder Rubrik. Mehrere Stimmen innerhalb einer Rubrik waren daher ungültig und wurden nicht ausgewertet. Konnten die Leser nicht in jeder Rubrik einen Favoriten ausfindig machen, war es trotzdem möglich, sich an der Wahl zu beteiligen. Dann stimmten sie eben nur in beispielsweise vier Rubriken ab.

Auch nächstes Jahr ruft die Redaktion der DESIGN&ELEKTRONIK wieder zur Wahl des »Innovator des Jahres« auf. Wollen wir hoffen, dass es dann wie gewohnt ein persönliches Treffen mit den Siegern der Leserwahl geben kann – mit allem, was dazu gehört: ein festlicher Rahmen, gutes Essen und viele interessante Gespräche. (kv)



zapp2photo | stock.adobe.com

i.MX 8M Plus

Visionärer Controller

Die i.MX-Prozessorfamilie von NXP entwickelt sich zu einem De-facto-Standard für Embedded-Anwendungen, aber in der neuesten Generation verliert man bei i.MX 8, 8X, 8M, und 8M mini so langsam den Überblick. Und jetzt auch gibt es auch noch einen »8M Plus« – wozu?

Embedded-Systeme werden preisgünstig produzierbar, wenn möglichst alle Funktionen in einem System-Chip gebündelt werden können. Dementsprechend geht der Trend vom Single-Board-Computer zum System-on-Chip. Smartphones und Tablets haben dieser Entwicklung einen starken Schub verliehen. Während diese Consumer-Geräte ein weitgehend identisches Feature-Set haben, sind Embedded-Anwendungen sehr divers. Die Gewichtung zwischen Rechenkapazität, Grafikleistung, Peripherieausstattung und Leistungsaufnahme ist bei jeder Art von Gerät anders, und auch bei der Rechenleistung sind die Anforderungen

unterschiedlich: Echtzeit-Verarbeitung, Krypto-Algorithmen, Bildverarbeitung oder KI-Inferencing beanspruchen unterschiedliche Verarbeitungseinheiten im Prozessor. Da kein OEM für unnötige Ressourcen Geld zahlen will, hat NXP die i.MX-8-Familie entsprechend breit aufgestellt und mit unterschiedlichen Familienmitgliedern ausgestattet.

Die Namensbestandteile Solo, Dual und Quad geben an, ob es sich um einen Single-, Dual- oder Quad-Core-Prozessor handelt, wobei auch das schon nicht ganz eindeutig ist und sich nur auf den Cortex-A53-Core bezieht. Das »Haupt« der Familie, der leistungsstärkste i.MX-8-Prozessor »QuadMax« enthält zum Beispiel

in Wirklichkeit zehn Cores: zwei A72, vier A53 und vier M4F. Während der A72 ein Hochleistungsrechenkern ist, ist der A53 gutes Mittelmaß und gerade richtig für die meisten Embedded-Anwendungen. Der M4F ist ein kleiner DSP-Kern mit Floating-Point-Einheit.

Innerhalb der i.MX-8-Unterfamilien gibt es, abgesehen von der Peripherie, unterschiedlich leistungsfähige Grafik- und Videoeinheiten. Was allen i.MX-Prozessoren gemeinsam ist, ist, dass die Grafik sich nicht für die Berechnung von Bayer-Patterns eignet. Bayer-Pattern ist das Datenformat, das die Bildsensoren von Kameras liefern und das sich erst weiterverarbeiten lässt, wenn es in RGB-Daten umgewandelt wird. Diese Berechnung ist aufwändig und für alle Arten von industrieller Bildverarbeitung wichtig. Zwar kann ein entsprechend leistungsfähiger i.MX-Prozessor diese Verarbeitung bewältigen, aber nur mit vergleichsweise hohem Aufwand.

Dieses Problem löst nun der i.MX 8M Plus, der Bayer-Pattern-Daten in Hardware umrechnen kann ohne dass einer seiner Cortex-A53-Kerne belastet wird. Von diesen besitzt er – je nach Ausführung – zwei oder vier.

Machine Learning mit Hardware-Unterstützung

Außerdem hat NXP im November anlässlich der virtuellen electronica 2020 angekündigt, die Neural Processing Unit (NPU) Ethos-U65 von Arm zu lizenzieren. Schon im Frühjahr hatte NXP angekündigt, die Ethos-U55-NPU in seine Mikrocontroller zu integrieren, wobei bis vor kurzem noch nicht bekannt war, um welche Mikrocontroller konkret es sich dabei handelt. Fest steht nur, dass Ethos-U55 eine Erweiterung für Cortex-M3-Controller darstellt, während die Ethos-U65-NPU auch mit Cortex-A-Kernen zusammenarbeitet. Doch nun ließ NXP die Katze aus dem Sack und kündigte an, dass die Ethos-U65-NPU in den bereits angekündigten i.MX 8M Plus integriert wird.

Ethos-U-55 und Ethos-U-65 sind sog. microNPUs zur Beschleunigung Rechenoperationen mit künstlichen Neuronalen Netzwerken wie sie beim Einsatz von Machine-Learning-Algorithmen angewendet werden. Eine microNPU kann Inferenz-Aufgaben von sie von Tensor Flow oder anderen AI-Frameworks generiert werden, besonders schnell und energieeffizient erledigen. Gegenüber einem Cortex-M3 ohne diese Erweiterung ist ein Cortex-M3 mit zur Seite gestellter NPU um den Faktor 10 schneller bei diesen Operationen. Konkret unterstützt die neue Lösung eine Rechengeschwindigkeit von bis zu 1 TOPS (512 parallele Multiply-Accumulate-Operationen bei 1 GHz).

Erweiterung der Entwicklungstools

Zur Hardware gehört allerdings auch die passenden Software – und das ist in diesem Fall das Entwicklungswerkzeug, mit dem die ML-Algorithmen für den Applikationsprozessor erzeugt werden. Durch eine Investition hat NXP eine exklusive strategische Partnerschaft mit Au-Zone Technologies in Kanada begründet, um die NXP-eigene eIQ Machine Learning (ML) Softwareentwicklungsumgebung mit anwenderfreundlichen ML-Tools zu erweitern. Mit der *DeepView ML Tool Suite* von Au-Zone wird eIQ um eine intuitive grafische Benutzeroberfläche (GUI) und einen Workflow erweitert. Damit können Entwickler aller Erfahrungsstufen, vom Anfänger bis zum Profi, Datensätze und Modelle importieren,

| Prozessor | Arm-Cortex-Kerne | weitere | | |
|-------------------|------------------|----------|--------|-------------------------|
| i.MX 8 QuadMax | 2x A72 | 4x A53 | 4x M4F | Tensilica HiFi 4 DSP |
| i.MX 8 QuadPlus | 1x A72 | | | |
| i.MX 8M Dual | | 2x A53 | | |
| i.MX 8M Quad | | 4x A53 | 1x M4F | |
| i.MX 8M QuadLite | | | | |
| i.MX 8M Solo | | 1x A53 | | |
| i.MX 8M Mini | | 1-4x A53 | 1x M4F | |
| i.MX 8M Mini Lite | | | | |
| i.MX 8 QuadXPlus | | 4x A53 | | |
| i.MX 8 DualXPlus | | 2x A35 | 1x M4F | Tensilica HiFi 4 DSP |
| i.MX 8 DualX | | | | |
| i.MX 8 M Plus | | 2-4x A53 | 1x M7 | NPU |

Übersicht über die i.MX-8-Familie und ihre Derivate. Neben den Prozessorkernen unterscheiden sich die Familienmitglieder durch Grafik- und Videoleistung.

sowie Neural-Network-Modelle und ML-Workloads über das gesamte NXP Edge Processing Portfolio hinweg in kürzester Zeit trainieren und bereitstellen. Um auch anspruchsvolle Anforderungen heutiger Industrie- und IoT-Anwendungen zu erfüllen, bietet die DeepViewML Tool Suite Entwicklern erweiterte Funktionen zum Bereinigen, Quantisieren, Validieren und Bereitstellen öffentlicher oder proprietärer NN-Modelle auf NXP-Geräten. Darüber hinaus ermöglicht DeepView mit der zielgerichteten Profilerstellung auf Diagrammebene Entwicklern Einblicke in die Laufzeit, um NN-Modellarchitekturen, Systemparameter und die Laufzeitleistung weiter zu optimieren. Durch die Ergänzung der Open-Source-Inferenztechnologien in NXP eIQ um die Au-Zone DeepView Runtime-Inferenzma-

schine können Entwickler ML-Workloads und Performance über viele Bausteine von NXP hinweg, rasch und mit minimalem Aufwand bereitstellen und bewerten. Ein wesentliches Merkmal der DeepView Laufzeit-Inferenzmaschine besteht darin, dass sie die System Speichernutzung und die Datenbewegungen für die jeweilige SoC-Architektur optimiert.

Preislich ist der i.MX 8M Plus nicht im High-End angesiedelt sondern eher auf dem Niveau eines i.MX 6. Mit seiner Bayer-Pattern-Conversion und der AI-Einheit ist er ein idealer Chip für Aufgaben der industriellen Bildverarbeitung und von Fahrerassistenzsystemen unter Nutzung von KI-Algorithmen. Derzeit befindet sich der i.MX 8M Plus im Bemusterungsstadium und soll ab April 2021 in die Serienproduktion gehen. (jk)

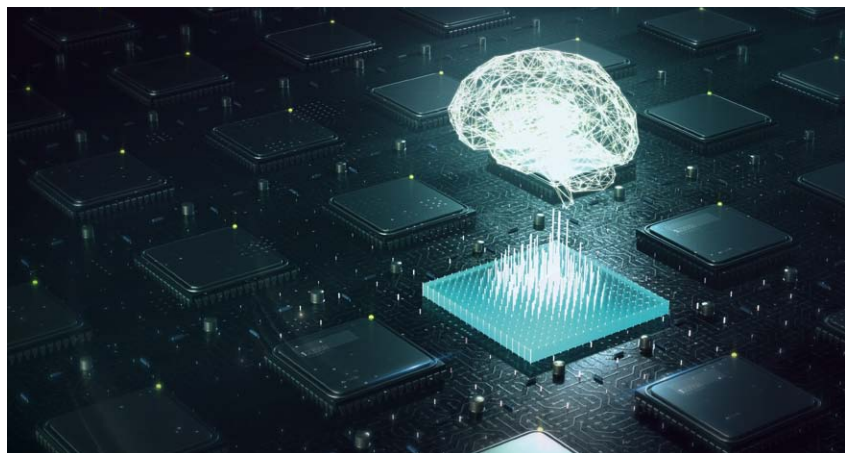


Bild: NXP

Die Applikationsprozessoren i.MX 8M Plus erweitert NXP mit dem ML-Beschleuniger Arm-Ethos-U-65, der die Inferenzleistung um den Faktor 10 beschleunigen soll.

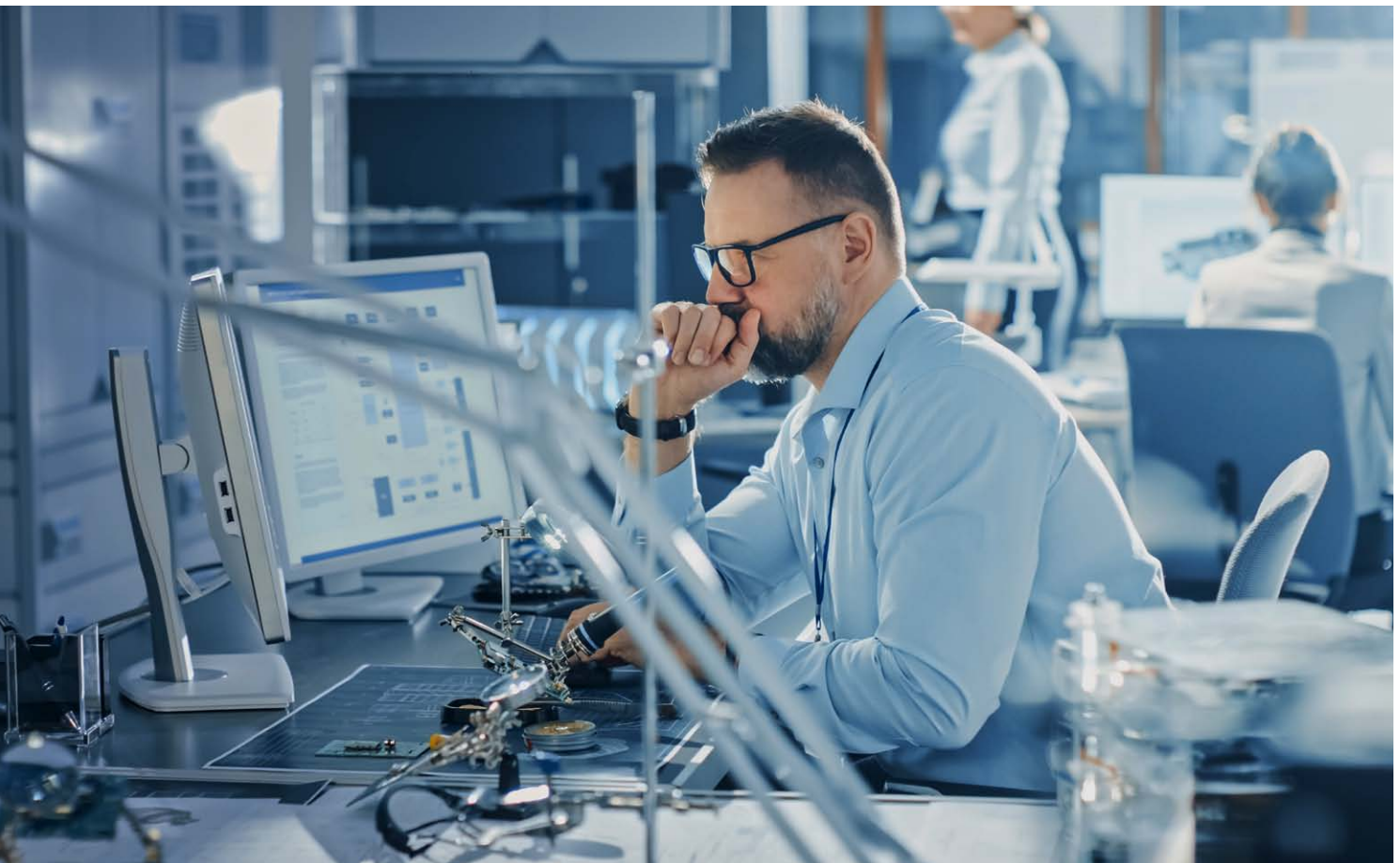


Bild: Gorodenkoff | stock.adobe.com

Alles immer einfacher?

Randall Restle war mehrere Jahrzehnte dafür verantwortlich, technische Teams zu leiten und Strategien zu entwickeln, die den Entwicklern die Arbeit erleichtern. Auf der embedded world Conference 2021 hält er eine Keynote zum Thema »Modern Embedded Engineering«. Seine Botschaft: Die Innovationen für Maker zahlen sich auch für Profis aus.



DESIGN&ELEKTRONIK:
**Herr Restle, Welche
Entwickler- oder Kundengruppen unterscheiden Sie im Sinne von Anfängern und Profis?**

Randall Restle: Nahezu jeder kann heute einen Arduino programmieren – sowohl Anfänger als auch Profis. Einen programmierbaren Logikbaustein können nur Wenige programmieren. Ein Anfänger ist jemand, der sich für Elektronik interessiert, aber keine formale Ausbildung in Elektronik hat. Ein Profi ist jemand, der diese Ausbildung absolviert hat und im

Allgemeinen in der Lage ist, elektronische Systeme von einem grundlegenden Ausgangsniveau aus zu entwickeln. Während also ein Anfänger sich mit einem Arduino entwickeln kann, ist der Profi in der Lage, etwas an das anzupassen, was ein Arduino kann, und er kann dies für ein Produkt tun, das in Massenproduktion hergestellt werden soll, da er sich mehr der Fehler bewusst ist, die ein Anfänger wahrscheinlich übersehen würde.

D&E: Wie unterscheiden sich diese Communities in den Regionen der Welt?

Restle: Der Westen (Nordamerika und Europa) hat eine lange Geschichte der

Elektrotechnik. Hier ist schon lange ein höherer Prozentsatz der Bürger in nicht-landwirtschaftlichen Bereichen tätig. Es ist nicht ungewöhnlich, dass eine Familie im Westen aus vielen Generationen von Ingenieuren besteht. Asien hat eine andere Geschichte. Es ist zunehmend industriell geprägt, aber bei so vielen Menschen bleibt dort zwangsläufig eine große Bevölkerungsgruppe in der Landwirtschaft tätig, auch wenn sich dies schnell ändert. Insbesondere China hat sehr hohe Einschreibungsraten für Ingenieur- und ingenieurbezogene Abschlüsse. Die Duke University in den USA hat eine Studie über

die Unterschiede zwischen westlicher und östlicher Ingenieurausbildung durchgeföhrt, und es gibt viele. Diese Studie ist im Internet verfügbar und eine interessante Lektüre.

» Maker sind jene Personen, die in der Regel nicht immer wieder die gleichen Produkte kaufen. «

D&E: Wie groß schätzen Sie den Anteil vom Digikey-Umsatz, den Maker ausmachen?

Restle: Digi-Key hat Hunderttausende von aktiven Kunden. Maker sind jene Personen, die in der Regel nicht immer wieder die gleichen Produkte kaufen und jene, die keine Produktionsmengen von Teilen kaufen. Ein weiteres Kriterium ist die Größe einer Bestellung. Hier gibt es natürlich Grauzonen. Bei vielen Kunden ähnelt die Arbeit an einem Hobby-Projekt der Arbeit für ihren Arbeitgeber, so dass wir nicht wirklich versuchen, festzustellen, wer welche Art von Kunde ist. Wir wissen einfach nicht, wie viel Prozent der Kunden Maker sind, aber wenn man bedenkt, dass Profis auch eine Art von Makern sind, würde ich sagen, dass der Anteil der Maker bei 100 Prozent liegt.

D&E: Können Nichttechniker wirklich Elektronik entwickeln?

Restle: Um das zu beantworten, ist eine Definition von »nichttechnischen« Personen erforderlich. Kürzlich hörte ich einen Podcast über »Amp Hour« mit Gast Clifford (jetzt Claire) Wolf. Wolf hat, soweit ich weiß, das erste Open-Source-Toolset geschaffen, das zur Durchführung von Logiksynthese verwendet wird, die auf kommerziellen programmierbaren Logikbausteinen funktioniert. Dieses Werkzeug heißt Yosys und ist nach eingehender Prüfung sehr beeindruckend. Wolf leitete auch das Format des Bitstreams von Lattice-FPGAs ab – eine unglaublich mühsame Sache. Es stellt sich heraus, dass Wolf keinen Abschluss von irgendeiner Universität hat, der als technisch angesehen werden könnte, aber er/sie ist sicherlich technisch gebildet. Ich denke, vielleicht machen allein Interesse und Fokussierung jemanden technisch oder nicht-technisch. Es gibt viele Autodidakten in der Welt wie C. Wolf. Ich denke, technisch zu sein liegt im Herzen. In diesem Fall, ja, Leute können Elektronik mit unkonventionellem Hintergrund entwickeln, aber sie sind meiner Meinung nach »technisch«.

D&E: Sind diese Entwicklungen echte kommerzielle Produkte?

Restle: Ich möchte auf jeden Fall von jemandem operiert werden, von dem ich weiß, dass er sein Chirurgenexamen bestanden hat. Wenn ein kommerzielles Produkt in einer Branche eingesetzt wird, die Sicherheit oder hohe Kosten erfordert, muss ein Fachmann für die technische Integrität des Produkts verantwortlich sein. Ich denke jedoch, dass es eine Menge kommerzieller Produkte gibt, die von Laien hergestellt werden, und ich kann ein aktuelles Beispiel nennen.

Mein Sohn ist Chirurg und Tierarzt, aber durch mich kennt er auch eingebettete Systeme. Er besitzt auch eine Bulldogge. Bulldoggen sind berüchtigt für Atembeschwerden, deshalb hat mein Sohn einen Drucksensor zusammengeschnürt, um die Druckwellenform in der Luftröhre seiner Bulldogge zu messen. Mein Sohn hat keine Qualifikation in Elektronik, aber das Krankenhaus, das ihn beschäftigt, möchte mehr von seinen Luftröhrensensoren, um seine Forschung voranzutreiben. Ich denke also, dies ist ein Beispiel für einen Amateur, der ein kommerzielles Produkt entwickelt. Wenn dieses Produkt populär genug ist, könnte es in Massen produziert und vielleicht als Bausatz vermarktet werden.

D&E: Können Sie eine Grenze zwischen Maker und Profi definieren?

Restle: Ein Maker ist jemand, der in der Lage ist, die Komplexität, die ihm jemand in Form eines ICs, Moduls oder Systems zur Verfügung gestellt hat, zu nutzen, um etwas elektronisches zu bauen, ohne vollständig zu verstehen, wie alles in diesen ICs oder Modulen funktioniert. Auch der Fachmann kennt vielleicht nicht alle diese Details. Aber der Unterschied zwischen dem Maker und dem Fachmann ist, dass ein Fachmann von seinem Arbeitgeber eingestellt wird, um Designentscheidungen für sein Unternehmen zu treffen, die zu sehr großen Käufen von Elektronik für seine Produkte führen können, während der Maker dies nicht tut.

» Ich glaube, dass unsere heutige Entwicklung auf zwei Technologien beruht: integrierte Schaltkreise und objektorientierte Programmierung. «

D&E: Technisch gesprochen: Welche Vereinfachungen bietet ein moderner Entwicklungs-Workflow?

Restle: Ich glaube, dass unsere heutige Entwicklung auf zwei Technologien beruht: integrierte Schaltkreise und objektorientierte Programmierung (OOP), und ich sehe diese

RANDALL RESTLE

hat mehr als 40 Jahre Erfahrung in der Elektronikindustrie. Er begann seine Laufbahn als Ingenieur für die Baldwin Piano and Organ Company, für die er digitale und analoge Schaltungen und eingebettete Software entwarf. Bei Texas Instruments war er in Boston Manager eines Design Centers, wo er die Unterstützung vieler internationaler Kunden mit komplexen elektronischen Anwendungen verantwortete.



Bis Juni 2020 war Restle Vice President für Applications Engineering bei Digi-Key Electronics und in dieser Funktion dafür verantwortlich, Strukturen und Mitarbeiter aufzubauen, um die Kunden bei der Auswahl und Nutzung von Produkten der Spitzentechnologie zu bedienen.

Derzeit hat Restle sein eigenes Unternehmen, das Führungskräften von Technologiefirmen Produktberatung, Entwicklungsstrategie und technisches Marketing anbietet.

Restle hat Abschlüsse als BSEE, MS und MBA der Universität von Cincinnati. Er ist ein Senior Mitglied des IEEE und hält mehrere Patente.

beiden Konzepte als fast dieselben Dinge in verschiedenen Formen. Kohäsion und Kopplung sind zwei beliebte Konzepte in der OOP. Kohäsion ist die Verwandtschaft der Teile einer gekapselten Einheit, unabhängig davon, ob es sich um eine Software-Klasse, ein Digitalmodul oder eine integrierte Schaltung handelt. Hohe Kohäsion ist besser als niedrige Kohäsion, weil sie Systeme leichter verständlich, prüfbar, wartbar und vieles mehr macht. Kopplung ist die Konnektivität oder Abhängigkeit eines Software- oder Hardware-Elements von einem anderen. Niedrige Kopplung ist besser als hohe Kopplung, da Änderungen an einem Element mit minimalen Auswirkungen auf das andere vorgenommen werden können. Da die Entwicklungsabläufe immer weiter voranschreiten, wird dieser Fortschritt meiner Meinung nach von unserer Fähigkeit abhängen, die Spezialitäten, die diejenigen von uns erworben haben, für die Nutzung durch andere zu kapseln. Diese Vorteile können nur realisiert werden, wenn der Zugang zu diesen Fachgebieten für den Nichtfachmann einfach genug ist. Auf diese Weise werden wir gegenseitig auf unseren Leistungen aufbauen und den Lebensstandard für uns alle verbessern.

» Es ist frustrierend schwierig geworden, mit den Fortschritten in der Elektronik Schritt zu halten. «

D&E: Das klingt so, als ob Elektronikentwicklung immer einfacher wird. Tatsächlich aber wird sie immer schwieriger und komplexer...

Restle: Es ist frustrierend schwierig geworden, mit den Fortschritten in der Elektronik Schritt zu halten. Es gibt einfach zu viele Details, als dass man sie im Kopf behalten könnte. Eine Tatsache, die einmal gelernt und nicht genutzt wird, ist eine Tatsache, die vergessen wird. Kürzlich musste ich eine längst vergessene Syntax der Programmiersprache C nachschlagen. Mein Interesse besteht also darin, Fachleute von der tollen Möglichkeit zu überzeugen, Laien die Möglichkeit zu geben, Dinge herzustellen. Dies gilt gleichermaßen für Fachleute, die ihren Kollegen helfen. Einfach ausgedrückt, wir müssen den Zugang

zu Komplexität erleichtern, und es sind die Fachleute, die die Werkzeuge dafür haben.

D&E: Sie wollen in Ihrer Embedded-World-Keynote die Hebelwirkung ansprechen, die mit der Verringerung der Integrationskomplexität verbunden ist. Wie lässt sich dieser Effekt verstärken? Wer oder welche Organisationen sind in der Lage, dies zu koordinieren?

Restle: Jemand, der begabt genug ist, ein elektronisches Gerät herzustellen, kann sicherlich herausfinden, wie er sein Gerät im Internet auffindbar machen kann. Wenn es populär ist, wird die Welt es angesichts aller sozialen Medienkanäle, die es heute gibt, finden. Ich glaube also nicht, dass wir die Verbreitung wirklich aufhalten können. Es ist eine wunderbare Zeit, ein Embedded-Ingenieur zu sein, weil es so viele Menschen gibt, denen wir helfen können. Ich habe mir einen Film angesehen, in dem ein Junge in Afrika eine Windmühle aufgebaut hat, um Wasser für die Bewässerung zu pumpen. Dieser Junge nutzte das Know-how aus einem Buch, um sein Dorf zu retten. Das wird in Zukunft weniger selten sein, und es ist keine koordinierende Organisation erforderlich.

» Ich glaube nicht, dass alles »offen« sein sollte. «

D&E: Welche Rolle spielt Open Source in diesem Szenario?

Restle: Open Source ermöglicht so viel Innovation, aber ich glaube nicht, dass alles »offen« sein sollte. Open Source überlebt auf der Grundlage der Meritokratie (*Meritokratie: Amtsträger werden aufgrund ihrer Leistungen ausgewählt, Anm. d. Red.*). Das ist schön. Es verhilft Open Source zu einer sehr hohen Qualität.

Es gibt jedoch Technologien, die jemand jahrelang entwickelt hat. Ich bin der Meinung, dass diese Entwickler in der Lage sein sollten, von ihrer Mühsal zu profitieren. Einige dieser Technologien könnten gefährlich sein, wenn sie offengelegt werden. Ich glaube also, dass Open Source eine entscheidende Rolle bei der Weiterentwicklung der Technologie spielt, aber ich bin kein Eiferer, der behauptet, es sei der einzige Weg, den man gehen kann.

D&E: Das wahrscheinlich erfolgreichste Projekt in diesem Bereich ist Raspberry Pi. Ist es ein Vorbild für andere Hardware/Software-Projekte?

Restle: Raspberry Pi (RPI) ist angesichts der Millionen von weltweit verkauften Einheiten von unglaublicher Bedeutung. Es hat die Menschen zweifellos in die Elektronik eingeführt und die Lebensqualität der Menschen durch die Freude an der Entwicklung und durch den Nutzen der hergestellten Geräte, die auf dem RPI basieren, verbessert. Als ein Computer auf einer Platine ist es jedoch nicht die einzige Technologie, die die Welt braucht. Warum haben wir nicht etwas so einfaches wie Arduino für den Entwurf programmierbarer Logik? Ich hoffe, dass Projekte wie RPI, Arduino, Beagle-Board, MikroBUS, Feather-Boards und so viele andere weiterhin weitere Basisboard-Plattformen inspirieren werden.

D&E: Gibt es ein einfaches Prototyping-System in der KI, das Sie empfehlen würden?

Restle: Ich begann meinen Beruf in den späten 1970er Jahren und war Assembler-Programmierer für eine Vielzahl von Mikroprozessoren, die in elektronischen Musikinstrumenten verwendet werden. Ich habe auch BASIC und FORTRAN gelernt, um Workstations und schließlich PCs zu programmieren. Dann kamen C und C++ und dann einige Hardware-Beschreibungssprachen (HDLs). Schließlich entschied ich mich für Python, und ich bin immer wieder erstaunt, wie wenig Python-Code so viel leisten kann. Eine kürzlich durchgeführte IEEE-Umfrage hat gezeigt, dass Python die beliebteste Programmiersprache ist. Ich liebe Python. Ich würde mit Python anfangen und mir KI-Module besorgen, die Leute programmiert haben, um meine KI-Reise zu beginnen.

Die Fragen stellten Prof. Dr.-Ing. Axel Sikora, Vorsitzender des Steering Boards der embedded world Conference und Joachim Kroll.



EMBEDDED WORLD KEYNOTE

Am Mittwoch, den 03. März 2021 um 15:30 hält Randall Restle seine Keynote auf der embedded world 2021 DIGITAL. Bitte besuchen Sie www.embedded-world.eu (Conference) oder www.embedded-world.de (Messe), falls sich der Zeitplan noch ändern sollte. Dort finden Sie auch das weitere Programm der digitalen Messe und Konferenz.



Bild: contrastwerkstatt – stock.adobe.com, Bild 1 bis 3: Arduino.cc, Bild 4: Hfex

Rechenintensive Projekte leichter bewältigen

Ob Maker oder Profis – viele verwenden heutzutage Arduino-Entwicklungsboards. Das Arduino-Ökosystem besteht aus verschiedenen Boards, angefangen vom Arduino Uno und Mega bis hin zum stärkeren Arduino Due. Wenn selbst Letzteres für anspruchsvolle Projekte nicht mehr ausreicht, steht Nutzern der ShieldBuddy mit Dreikern-Prozessor von Infineon und integrierten FPUs zur Verfügung.

Rolf Horn

Applications Engineer at Digi-Key Electronics

Maker nutzen die Entwicklungsboards von Arduino gerne, um ihre Projekte zu überwachen und zu steuern. Ingenieure verwenden diese Boards als Evaluierungs- und Prototyping-Plattformen, um die Entwicklung zu beschleunigen und die mit der Evaluierung von integrierten Schaltkreisen (ICs), Sensoren und Peripheriegeräten verbundenen Kosten zu

senken. Die Ingenieure arbeiten häufig in kleineren Teams mit engen Time-to-Market-Vorgaben. In dieser Konstellation müssen sie mehrere technische Aufgabenbereiche abdecken und gleichzeitig dafür sorgen, die Evaluierung von Komponenten zu beschleunigen und die Kosten zu senken.

Eine Lösung für diese Herausforderungen kann der Einsatz von Arduino-Boards zusammen mit Open-Source-Hardware

in Form von Sensor- und Peripherie-Breakout-Boards (BOBs) sein, kombiniert mit Open-Source-Software mit den zugehörigen Bibliotheken und Beispielprogrammen. Zwar gibt es eine Vielzahl von Arduino-Boards, um verschiedene Verarbeitungs- und Speicheranforderungen zu erfüllen, einige Berechnungen lassen sich jedoch besser mit einer Gleitkommaeinheit (Floating Point Unit, FPU) durchführen, um den Hauptprozessor nicht zu ver-

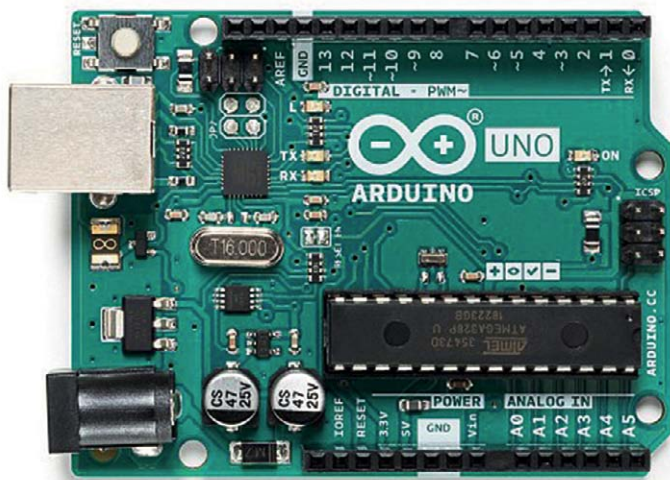


Bild 1: Das Entwicklungsboard Arduino Uno Rev3 ist mit dem 8-Bit-Mikrocontroller ATmega328P ausgerüstet, der mit 16 MHz läuft.

langsamen. Dieses Problem wurde innerhalb des Arduino-Ökosystems durch den *ShieldBuddy* gelöst – ein Board, das eine ähnliche physikalische Grundfläche wie Arduino-Boards aufweist, aber über drei unabhängige 32-Bit-Verarbeitungskerne verfügt, die jeweils mit 200 MHz arbeiten und eine eigene FPU besitzen.

Im Folgenden geht es um die verschiedenen Optionen der Arduino-Verarbeitungsplattform und warum die FPU-Fähigkeit für viele Anwendungen so wichtig ist. Dann wird der *ShieldBuddy* vorgestellt, ein Board, das eine ähnliche physikalische Grundfläche wie Arduino-Boards aufweist, aber drei unabhängige 32-Bit-Verarbeitungskerne hat, die jeweils mit 200 MHz arbeiten und jeweils eine eigene FPU besitzen. Zudem wird das Programmiermodell des *ShieldBuddy* erläutert und aufgezeigt, wie seine Eclipse-basierte Programmierum-

gebung und seine Unterstützung der integrierten Entwicklungsumgebung (IDE) von Arduino Makern und Profis einen schnellen Einstieg ermöglicht.

■ Arduino für Neueinsteiger und Profis

Neueinsteiger im Arduino-Universum starten typischerweise mit dem *Arduino Uno Rev3* (Bild 1), basierend auf dem 8-Bit-Mikrocontroller *ATmega328P*, der mit 16 MHz arbeitet. Dieses Board besitzt nur 32 KB Flash-Speicher, 2 KB SRAM, 14 digitale Ein-/Ausgangspins (E/A) und sechs analoge Eingangspins. Sechs der digitalen Pins können PWM-Ausgänge (Pulsweitenmodulation) bereitstellen, die analogen Pins lassen sich bei Bedarf auch als digitale I/O-Pins verwenden.

Die Grundfläche der Stiftleisten des *Arduino Uno Rev3* mit 14 digitalen E/A-

Pins, sechs analogen Eingangspins und verschiedenen Strom-, Masse- und Referenzpins bildet die Grundlage für ein großes Ökosystem von Aufsteckboards, die als Shields bezeichnet werden.

Viele Nutzer des *Uno Rev3* wechseln später zum *Arduino Mega 2560 Rev3* (Bild 2), das auf dem 8-Bit-Mikrocontroller *ATmega2560* (16 MHz) basiert. Diese Karte verfügt über 256 KB Flash-Speicher und 8 KB SRAM. Aufgrund der Grundfläche seiner Stiftleisten kann er die gleichen Shields wie der *Uno* tragen, jedoch ermöglichen zusätzliche Stiftleisten die Aufnahme von 54 digitalen E/A-Pins und 16 analogen Eingangspins. In diesem Fall können 15 der digitalen Pins PWM-Ausgänge bereitstellen. Auch hier sind die analogen Pins bei Bedarf auch als digitale I/O-Pins zu verwenden.

Zusätzlich zu den Einschränkungen, die ein 8-Bit-Datenpfad und ein 16-MHz-Takt mit sich bringen, enthalten weder die *Arduino-Uno*- noch die *Arduino-Mega*-Mikrocontroller eine FPU, was bedeutet, dass alle Berechnungen mit Fließkommawerten diese Prozessoren stark verlangsamen.

Für diejenigen Nutzer, die mehr Rechenleistung benötigen, kommt der *Arduino Due* (Bild 3) in Frage. Er hat eine ähnliche physikalische Grundfläche wie der *Arduino Mega*, basiert jedoch auf dem 32-Bit-Atmel-Controller *SAM3X8E*, der einen Arm Cortex-M3-Kern enthält und mit 84 MHz läuft. Dieses Board verfügt über 512 KB Flash-Speicher, 96 KB SRAM, 54 digitale E/A-Pins, zwölf analoge Eingangspins und zwei analoge Ausgangspins, die



Bild 2: Das Board Arduino Mega 2560 Rev3 basiert auf dem 8-Bit-Mikrocontroller ATmega2560, der mit 16 MHz läuft. Aufgrund der Grundfläche seiner Stiftleisten kann er die gleichen Abschirmungen wie der Arduino Uno tragen, verfügt aber über zusätzliche Stiftleisten, die insgesamt 54 digitale E/A-Pins und 16 analoge Eingangspins zur Verfügung stellen.

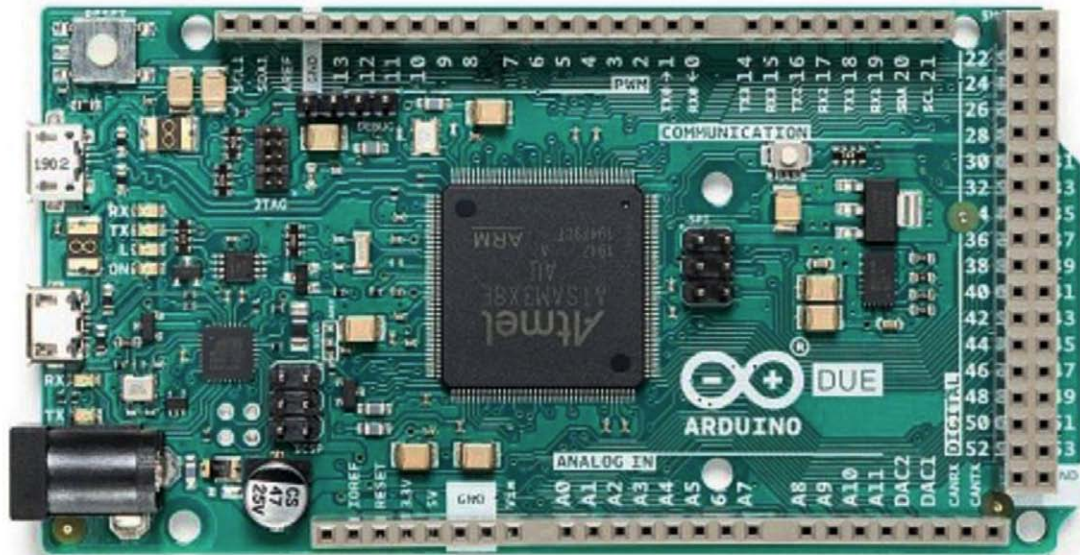


Bild 3: Das Entwicklungsboard Arduino Due verfügt über den 32-Bit-Atmel-Arm-Cortex-M3-Prozessor SAM3X8E mit 84 MHz. Der Footprint seiner Header ist identisch mit dem des Arduino Mega.

von Digital-Analog-Wandlern (DACs) angesteuert werden. In diesem Fall können nur zwölf der digitalen Pins PWM-Ausgänge bereitstellen, die analogen Pins lassen sich bei Bedarf auch als digitale I/O-Pins nutzen. Leider enthält der Prozessor des *Arduino Due*, wie der *Arduino Uno* und *Mega*, ebenfalls keine FPU.

Viele Anwender profitieren von den hohen Pin-Zahlen der Entwicklungsboards *Arduino Mega* und *Arduino Due*. Aber dessen 32-Bit-Prozessor, der mit 84 MHz läuft, kann für einige rechenintensive Aufgaben unzureichend sein. Ebenso könnten dessen 512 KB Flash-Speicher und 96 KB SRAM für umfangreichere Programme, die mit großen Datenmengen arbeiten, nicht ausreichen.

Mikrocontroller sind zwar in der Lage, immer größere Datenmengen zu verarbeiten. Dennoch ist es oft besser, einige Berechnungen mit FPUs vorzunehmen, um eine höhere Effizienz und geringere Latenzzeiten zu erzielen.

■ Warum FPUs wichtig sind

Dass FPUs nützlich sind, hat damit zu tun, wie Computer mit Zahlen umgehen. Die einfachste Art, Zahlen in Computern darzustellen, ist die Verwendung von ganzen Zahlen. Auch Berechnungen unter Verwendung von ganzen Zahlen durchzuführen ist rechnerisch günstig. Allerdings sind ganze Zahlen von Natur aus endlich und können keine große Präzision ausdrücken.

Dies ist für Ingenieure und Wissenschaftler problematisch, da sie oft extrem große und kleine Werte in ein und derselben Berechnung verwenden. Zum Beispiel müssen Physiker Berechnungen anstellen, die die numerischen Werte der Lichtgeschwindigkeit (300.000.000) und der Newtonschen Gravitationskonstante (0,000000000000006674) verwenden. Und Ingenieure benötigen beispielsweise Werte mit einem großen Dynamikbereich für Aufgaben wie die digitale Signalverarbeitung sowie für den Einsatz in Anwen-

dungen der künstlichen Intelligenz und des maschinellen Lernens.

Die Lösung besteht darin, die numerische Fließkommadarstellung zu nutzen, bei der der Dezimalpunkt in Bezug auf die einzelnen Ziffern der Zahl »schweben« kann, wodurch sich ein feinerer Grad an numerischer »Auflösung« erreichen lässt. Das Problem besteht darin, dass ein 32-Bit-Gleitkommawert zwar den gleichen Speicherplatz verbraucht wie eine 32-Bit-Festkommazahl, Berechnungen mit Gleitkommawerten jedoch wesentlich mehr Rechenressourcen erfordern.

Wenn der Prozessor Fließkommaberechnungen mit Standard-Festkomma-Hardware durchführen muss, wird das die Leistung des Prozessors erheblich beeinträchtigen. Besser ist es, den Prozessor mit einer speziellen FPU auszurüsten. So lassen sich anspruchsvolle Gleitkommaoperationen mit sehr wenigen Taktzyklen ausführen. Hier kommt nun der *ShieldBuddy* ins Spiel.

Anzeige

DISPLAY
ELECTRONIC ASSEMBLY
VISIONS

ELECTRONIC ASSEMBLY
new display design

- 2" ~ 4.3" inkl. Touch
- USB, SPI, I²C, RS232
- Steuern und Berechnen
- I/Os, Analog und Digital
- WYSIWYG Tool
- Wasserdichter Einbau
- 1000 cd/m²
- Brillante IPS-Displays

Smart mini HMI mit Touch

ELECTRONIC ASSEMBLY GmbH • Phone: +49 (0) 8105 / 778090 • vertrieb@lcd-module.de • www.lcd-module.de

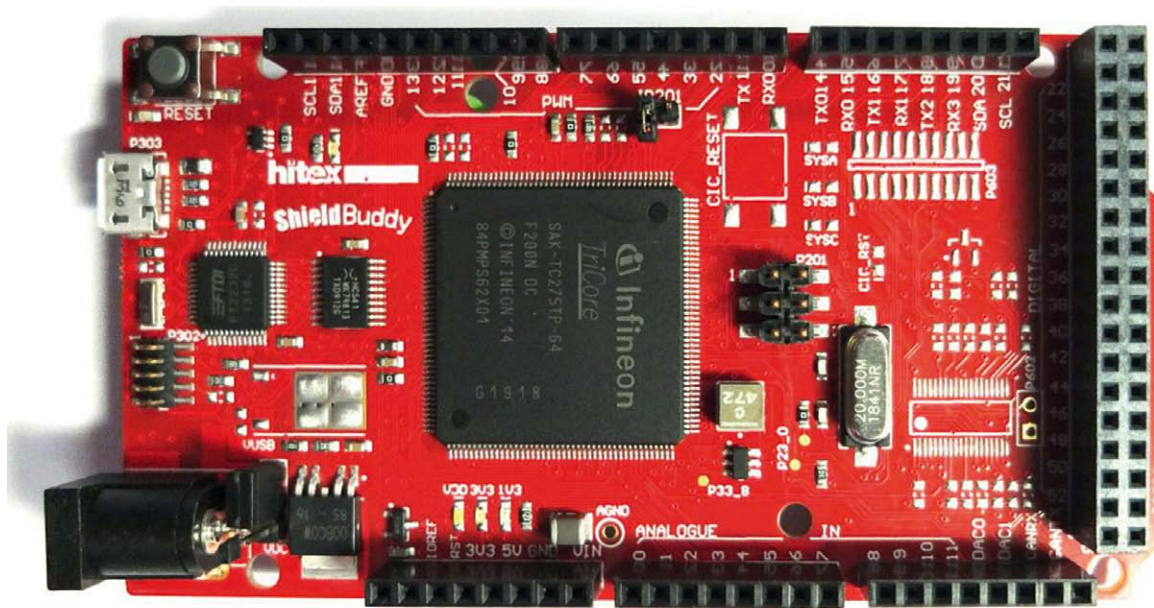


Bild 4: Der ShieldBuddy TC275 ist mit dem 32-Bit-Multicore-Prozessor TC275 von Infineon ausgestattet – auf einer Platine mit der gleichen Grundfläche wie der Arduino Mega und der Arduino Due, wodurch er mit vielen der verfügbaren Application Shields kompatibel ist.

■ FPU und hohe Leistung fürs Arduino-Ökosystem

Neu im Arduino-kompatiblen Bereich ist der *ShieldBuddy TC275* (Bild 4), das derzeit kleinste erhältliche Aurix-Entwicklungsboard. Das Board ist mit dem 32-Bit-Multicore-Prozessor *TC275* von Infineon Technologies ausgestattet und entspricht dem Arduino-Standard.

Der *ShieldBuddy* ist ähnlich groß wie der *Arduino Mega* und der *Arduino Due* und mit vielen der anwendungsspezifischen Shields kompatibel. Der Unterschied besteht in der Nutzung des Prozessors *TC275* mit seinen drei unabhängigen 32-Bit-Kernen, die jeweils mit 200 MHz arbeiten und eine eigene FPU besitzen. Darüber hinaus verfügt der *ShieldBuddy* über 4 MB Flash-Speicher (achtmal soviel wie der *Arduino Due* und 16-mal das des *Arduino Mega*) sowie 500 KB RAM (fünffmal das des *Arduino Due* und 62-mal das des *Arduino Mega*).

Das heißt dann zum Beispiel, dass der Kern des *Arduino Mega* nur etwa sechzehn 8-Bit-Instruktionen pro Mikrosekunde (μ s) verwaltet. Zum Vergleich: Jeder der Kerne des *TC275* hat eine Zykluszeit von 5 Nanosekunden, was bedeutet, dass jeder Kern typischerweise etwa 150 bis 200 32-Bit-Befehle/ μ s ausführen kann. Da jeder der Prozessorkerne des *ShieldBuddy* über eine eigene FPU verfügt, kann das Board Fließkomma-Berechnungen ohne oder mit nur geringen Leistungseinbußen durchführen.

■ Entwickeln mit dem ShieldBuddy

Bei der Arbeit mit dem *ShieldBuddy* möchten professionelle Software-Entwickler möglicherweise eine Eclipse-IDE verwenden, während Maker und Hersteller es vorziehen, die vertraute Arduino-IDE zu verwenden. Beide Optionen werden unterstützt. Nutzer von Arduino sind damit vertraut, dass jedes »Sketch« (Programm) zwei Standardfunktionen haben muss: `setup()`, die einmal ausgeführt wird, und `loop()`, die immer wieder ausgeführt wird. Nutzer können auch eigene Funktionen erstellen.

Die drei Kerne des *ShieldBuddy* werden als Kern 0, Kern 1 und Kern 2 bezeichnet. Bei der Arduino-IDE lassen sich die meisten vorhandenen Sketches für die Verwendung auf dem *ShieldBuddy* ohne Änderungen zusammensetzen. Standardmäßig werden die `setup()`- und `loop()`-Funktionen zusammen mit allen vom Nutzer erstellten Funktionen so kompiliert, dass sie auf Kern 0 laufen.

Erstellt der Nutzer ein neues Programm, kann er den gleichen Effekt erzielen, indem er diese Funktionen `setup0()` und `loop0()` nennt. Er kann auch `setup1()`- und `loop1()`-Funktionen erstellen, die zusammen mit allen vom Benutzer erstellten Funktionen automatisch kompiliert werden, um auf Kern 1 ausgeführt zu werden. In ähnlicher Weise werden die `setup2()`- und `loop2()`-Funktionen zusammen mit allen Funktionen automatisch kompiliert, um auf Kern 2 abzulaufen.

Standardmäßig läuft jeder Kern unabhängig, was bedeutet, dass es möglich ist, drei getrennte Programme gleichzeitig auf dem *ShieldBuddy* laufen zu lassen. Allerdings können die Kerne auch untereinander kommunizieren, indem sie Techniken wie Shared-Memory verwenden. Darüber hinaus kann jeder Kern »soft interrupts« in den anderen Kernen auslösen.

■ Fazit

Das Open-Source-Konzept von Arduino hat sich als sehr erfolgreich erwiesen, und die daraus resultierenden Hardware- und Software-Ökosysteme sind so gewachsen, dass sie Hunderte von Schutzschilden und Tausende von Bibliotheken und Anwendungen umfassen.

Während frühe Arduino-Entwicklungsboards wie das *Arduino Uno* und *Arduino Mega* etwas eingeschränkt waren, sind neuere Implementierungen wie das *Arduino Due* deutlich leistungsfähiger. Trotzdem benötigen viele Anwender mehr Platz für Code (Flash), mehr Platz für Daten (SRAM) und mehr Rechenleistung als jedes herkömmliche Arduino bieten kann.

Mit 4 MB Flash-Speicher, 500 KB SRAM und drei unabhängigen 32-Bit-Prozessorkernen, die mit 200 MHz laufen und jeweils über eine eigene FPU verfügen, hebt der *ShieldBuddy* das Arduino-Konzept auf eine neue Ebene und macht es für Maker und professionelle Ingenieure gleichermaßen interessant. (kv)

Flache und flexible Tastaturen

Folientastaturen sind aufgrund ihrer haptischen Eigenschaften sehr gefragt und beliebt. Durch den spürbaren Druckpunkt können sie auch mit Handschuhen bedient werden. Zudem lassen sie sich um weitere Eigenschaften, wie etwa eine antibakterielle Oberfläche für medizinische Anwendungen, ergänzen. Durch zusätzliche Beschichtungen können Folientastaturen auch vollständig gegen Wasser und Staub geschützt werden, UV-beständig oder lösungsmittelresistent sein. Da diese Art der Tastatur auf das jeweilige Bedienelement aufgeklebt wird, lässt sie sich leicht austauschen. Das macht sie in der Wartung oft deutlich kostengünstiger als andere Tastaturen. Ein weiterer Vorteil dieser Tastaturen sind deren Tasten: Sie können eine hohe Lebensdauer von etwa einer Million Schaltzyklen aufweisen. Zu den Herstellern von Folientastaturen zählt unter anderem das Unternehmen Zabel Technik.



Zabel Technik
www.zabel-technik.de

Displaymodule mit IP65-Schutz



Die TFT-Displaymodule der *POS-Pro*-Serie liefert Distec in Größen von 7 Zoll bis 17,3 Zoll und mit drei unterschiedlichen Ansteuerungen: *POS-RP-Pro* auf RaspberryPi-Basis mit dem aktuellen Compute-Modul *CM3/CM3+*, *POS-IQ-Pro* mit der Intel-x86-CPU der neuesten Pentium-Generation und *POS-4K-Pro* mit einer hohen Auflösung von 3840 Pixeln auf 2160 Pixeln. Die anschlussfertigen HMI-Systeme sind CE-zertifiziert und in einem Edelstahl-Chassis verbaut. Der frontseitige IP65-Schutz gegen Staub und Strahlwasser macht sie widerstandsfähig für Industrieumgebungen. Alle verfügen über blickwinkelunabhängige IPS- oder VA-Displays mit integriertem 10-Finger-PCAP-Touchscreen.

Distec
www.distec.de

Display für die Industrie

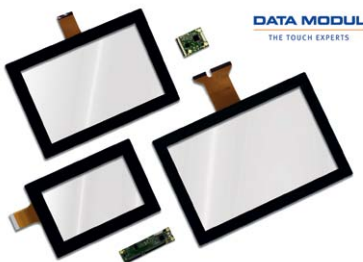
KOE hat ein neues 5,7 Zoll großes Full-HD-TFT-Hochleistungs-Displaymodul im Portfolio. Gemäß Hersteller zeichnet sich das Display *TX14D203VM0BAA* durch eine VGA-Auflösung von 640 Pixel × 480 Pixel sowie ein Seitenverhältnis von 4:3 aus. Zum Einsatz kommt die aktuelle IPS-Technologie, was eine sehr gute Farbsättigung und Bildstabilität, hohen Kontrast und hoch gesättigte Schwarzwerte gewährleisten soll. Rundum-Blickwinkel von bis zu 170° sind aktiviert (links/rechts, oben/unten). Das auf Industrieumgebungen ausgelegte Display-Modul soll auch eine sehr gute optische Leistung mit einem Kontrastverhältnis von 1000:1 und einer weißen LED-Hintergrundbeleuchtung mit einer nominalen Helligkeitsstufe von 800 cd/m² bieten.



KOE
www.koe.j-display.com

PCAP-Portfolio ergänzt

EasyTouch Plus heißt die neue Produktserie von Data Modul, die bedruckte Cover-Gläser mit der hauseigenen PCAP-Technologie *EasyTouch* sowie einem passenden Controller kombiniert. Anders als die *EasyTouch*-Display-Serie werden die *EasyTouch-Plus*-Produkte ohne assembliertes Display geliefert. Durch ihr Design und die hohe Stabilität können die Komponenten Glas/Touch sowie auch das Display einfach und unabhängig voneinander in Kundensysteme integriert werden. Dies gibt den Kunden mehr Freiheit bei der Wahl des passenden Displays und gewährleistet eine leichtere Austauschbarkeit im Servicefall.



Data Modul
www.data-modul.com

Touch-Bedienung neu gedacht



Der Einsatz von Touch-Displays, die hygienisch leicht gereinigt werden können, ist in Zeiten von Corona von großem Vorteil. Dieser lässt sich nochmals steigern, indem auch die letzte Berührung des Human Machine Interfaces (HMI) überflüssig wird. Möglich macht dies das *Remote Touch System (RTS)* von Garz & Fricke. Die Softwarelösung lässt sich in Geräten mit Wi-Fi- oder Mobilfunk-Modul einsetzen. Die Kontaktaufnahme erfolgt über QR-Codes, die der Nutzer scannt und damit die zu bedienende Maschine auswählt.

Garz & Fricke
www.garz-fricke.com

Automotive-konforme Touchscreen-Controller

Um das Fahrerlebnis zu verbessern und zu vereinfachen, verbauen Fahrzeughersteller neben dem zentralen Infotainment-Display zusätzliche Touch-Displays. Microchip unterstützt diese sekundären Displays nun durch sein erweitertes *maXTouch*-Angebot, die Touch-Controller der Serie *MXT288UD*. Der *MXT288UD-AM* und der *MXT144UD-AM* sollen einen stromsparenden Betrieb ermöglichen, wetterfest sein und das Bedienen und Berühren von Multifunktionsdisplays, Touchpads und Smart-Surfaces mit Handschuhen zulassen. Untergebracht sind sie in einem 7 mm × 7 mm kleinen VQFN56-Gehäuse.



Microchip
www.microchip.com



Bild: peshkova – stock.adobe.com, alle anderen Bilder: Maxim Integrated

Haptische Rückmeldung verbessern

Derzeit bieten Touchscreens nur eine begrenzte oder auch gar keine haptische Rückmeldung. Damit sich dies ändert, setzen Entwickler auf Piezowandler. Mit diesen Bauteilen lassen sich haptische Signale gut erzeugen – und sie bieten physikalische und elektrische Verbesserungen gegenüber konventionellen Vibrationsgeneratoren.

Tim Dhuyvetter

Senior Principle Member of the Technical Staff Mobile Solutions bei Maxim Integrated

Heute wird in den meisten Handheld- oder tragbaren elektronischen Geräten eine haptische Vibration durch einen elektromechanischen Wandler (EM-Wandler) erzeugt, der elektrische Signale in mechanische Schwingungen umwandelt. Dazu gehören ERM-Aktoren (mit einer exzentrisch rotierenden Masse) und lineare Resonanzaktoren (LRA-Aktoren). Diese EM-Wandler sind kostengünstig, einfach zu bedienen, und sie können mit Batteriespannung betrieben werden.

Es gibt jedoch einige Nachteile bei diesen Wandlern:

- Es handelt sich um Resonanzvorrichtungen, die eine bestimmte Vibrationsfrequenz erzeugen; im Falle eines LRA muss eine werkseitig stochastische Resonanzfrequenz kalibriert werden.
- EM-Wandler haben große Abmessungen (3 mm bis 5 mm hoch) und lassen sich deshalb schlecht in dünne Gehäuse einbauen.
- Sie erzeugen punktförmige Vibrationen und sind nicht in der Lage, auf einer Oberfläche verschiedene Frequenzmuster zu erzeugen.
- Sie sind ineffizient und haben bei jeder haptischen Rückmeldung eine hohe Leistungsaufnahme.

- LRA-Aktoren sind ziemlich bruchanfällig und können deshalb entweder durch elektrische oder physikalische Überbeanspruchung (zum Beispiel durch Herunterfallen) zerstört werden. Piezowandler eignen sich deswegen sehr gut als haptische Vibrationserzeuger, da sie nicht auf EM-Energieumwandlung basieren. Sie erzeugen mechanische Schwingungen durch den inversen Piezoeffekt, indem sie Schwingungen im Kristall durch die Einwirkung einer elektromotorischen Kraft (EMK) erzeugen, typischerweise stammt diese von einer Wechselspannungsquelle.

Piezowandler sind aufgrund mehrerer Eigenschaften vorteilhaft:

- Sie sind dünn (<1 mm) und flexibel. Es gibt viele Möglichkeiten, sie zu montieren, und sie können fast jedes gewünschte Frequenzmuster erzeugen.
- Sie erzeugen Vibrationen über ganze Bereiche einer Oberfläche und können berührungsempfindlich ausgeführt sein.
- Sie sind sehr effizient – abhängig von der Methode zum Ansteuern des Piezoelements.
- Sie können beliebige Vibrationsfrequenzen über einen großen Frequenzbereich wiedergeben.
- Sie können amplituden- oder frequenzmodulierte haptische Signalmuster erzeugen.
- Sie haben eine sehr geringe Trägheit und daher eine sehr schnelle Reaktionszeit.
- Sie erzeugen keine elektromagnetischen Störungen (EMI).
- Sie haben eine hohe Störfestigkeit in industriellen und kommerziellen Anwendungen.

Von Bedeutung ist aber auch, dass Piezoaktoren mit relativ hohen Spannungen betrieben werden müssen, um signifikante mechanische Schwingungen zu erzeugen; typischerweise sind das Spitze-Spitze-Spannungen von 60 V bis 200 V. Außerdem stellen Piezoaktoren in erster Linie eine kapazitive Last in der Treiberschaltung dar und lassen sich deshalb mit speziellen elektronischen Treiberschaltungen vorteilhaft betreiben.

■ Aufbau und physikalische Eigenschaften von Piezowandlern

Piezowandler gibt es, je nach Anwendung, in vielen unterschiedlichen physikalischen Ausprägungen. Ein Piezoaktor, der am häufigsten für die haptische und akustische Wiedergabe verwendet wird, hat die Form eines bimorphen Biegers, der auf einer Innenfläche montiert ist. Diese Fläche ist beispielsweise ein Bestandteil eines Gehäuses von tragbaren Geräten beziehungsweise Wearables oder eines Touchscreens. *Bild 1* zeigt ein Beispiel eines einlagigen Piezoaktors, der auf einer Oberfläche montiert wurde.

Ein Bimorph-Bieger besteht allgemein aus einer oder mehreren Lagen polykristallinen Keramikmaterials, das auf einer leitfähigen Unterlage (Messing oder Kupfer) mechanisch befestigt ist (*Bild 1*). Nachdem

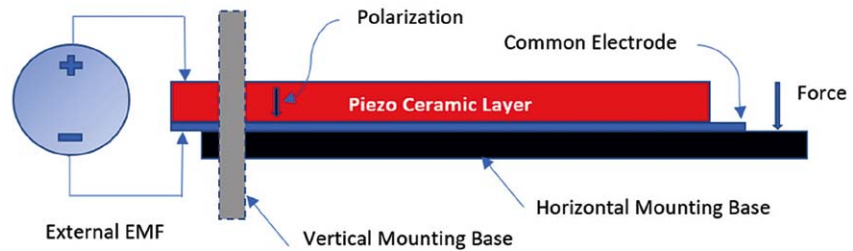


Bild 1: Aufbau bimorpher Piezoaktoren.

die einzelnen Lagen aufgebracht wurden, wird eine hohe DC-Polarisationsspannung an die Piezostruktur angelegt, um die Grenzfläche des Kristalls auszurichten und so den inversen Piezoeffekt zu verstärken, das heißt, die Spannung erhöht die elektromotorische Kraft. Anschließend definiert die Polarisationsspannung die Richtung der mechanischen Kraft, die mit der angelegten Spannung erzeugt wird. Eine Erhöhung der angelegten Spannung in Richtung der Polarisationsspannung erhöht die mechanische Kraft beziehungsweise die Verformung (Durchbiegung). Die Polarisierung der einzelnen Piezolagen kann in der gleichen Richtung oder in entgegengesetzten Richtungen erfolgen.

Jede Methode hat ihre Vorteile und lässt sich verwenden, um die gewünschten Piezoeffekte zu erzeugen. *Bild 1* zeigt einen Piezoaktor, der auf einer Oberfläche aufgebracht ist, die orthogonal zur Polarisationsspannung liegt. Dieser Aufbau und die ausgeübte elektromotorische Kraft erzeugt eine Kraft auf die Montage-Grundfläche, und folglich gibt es nur eine geringe Auslenkung des Piezoelements. Wenn die Grundfläche senkrecht zum Piezoaktor montiert wäre (in gestrichelten Linien dargestellt) und das gegenüberliegende Ende des Aktors nicht eingespannt wäre, würde dies eine größere Auslenkung des Piezos

verursachen. Die in *Bild 1* gezeigte Montageanordnung könnte beispielsweise eine Displayanzeige sein, wobei die generierte Kraft in die Oberfläche geleitet wird. Das erzeugt eine maximale Leitkraft bei minimaler Verformung. Diese Methode könnte zum Beispiel bei einem berührungsaktiven Display zur Erzeugung einer Vibration genutzt werden, die über die Finger haptisch wahrgenommen werden kann.

Es ist zu beachten, dass jedes Material, das sich zwischen dem Piezoelement und der Montagefläche befindet, mechanische Energie absorbiert und dazu neigt, die übertragene Schwingung zu dämpfen, insbesondere wenn das Material weich oder elastisch ist. Ein Piezowandler lässt sich auch dazu verwenden, um ein lokales haptische Rückmeldung zu geben. Das kann zum Beispiel durch die Anordnung einer Anzahl von Piezoelementen unter einem Touchscreen oder einem Tastaturdisplay erreicht werden, sodass jedes Piezoelement entsprechend seiner Platzierung ein lokales haptisches Gefühl erzeugt. Wird eine Berührung wahrgenommen, ermittelt das Display nicht nur die X-Y-Position der Berührung, sondern es wird auch ein Piezotreiber aktiviert, der den jeweiligen Piezoaktor anregt. Das lässt sich durch einen Hochspannungs-MUX oder durch separate Piezoverstärker erreichen.

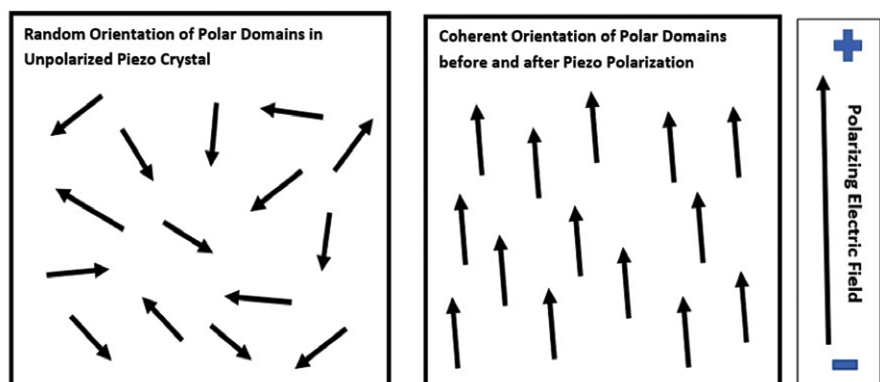


Bild 2: Piezoaktor mit polykristallinen Domänen vor und nach der Polarisation.



Bild 3: Mit einem Netzwerkanalysator ermittelter Frequenzgang eines Piezoaktors.

Jede einzelne polykristalline Keramiklage erzeugt eine Kraft, die proportional zur angelegten Spannung ist. Somit erzeugen n Schichten das n-fache dieser Kraft:

$$Q = C \times V \quad (C = \text{Piezokapazität}; V = \text{angelegte Spannung})$$

$$F = Q \times d33 \quad (d33 = \text{Ladungskonstante der Polarisationsvektoren})$$

$$F(\text{total}) = n(Q \times d33)$$

Piezomaterialien unterliegen verschiedenen Alterungs- oder Degradationseffekten, die unmittelbar verheerende Auswirkungen haben, oder die im Laufe der Zeit immer mehr zunehmen. Temperatur, Feuchtigkeit und Druck können langfristige Schäden und eine Verschlechterung der Lebensdauer und des Piezoeffekts verursachen.

Die hermetische Abdichtung des Piezoaktors reduziert die Auswirkungen von Feuchtigkeit; der normale atmosphärische Druck bewirkt nur geringe Alterungseffekte. Hauptursachen für die Alterung von Piezoaktoren sind hohe Temperaturen und ein kontinuierlicher DC-Bias (Gleichstromvorspannung).

Eine Überhöhung der Spannung ist ähnlich wie ein Spannungsdurchbruch und kann sich schlimm auswirken. Wird ein Piezoaktor Differenzspannungen ausgesetzt, die die Polarisationsspannung übersteigen, kehrt die Piezokeramik in ihre ursprüngliche zufällige Kristallstruktur zurück und der Piezoeffekt verkleinert sich. Ähnlich verhält es sich, wenn ein Piezoelement Temperaturen über dem Curiepunkt ausgesetzt ist. Auch dann wird die

Kristallstruktur wieder regellos angeordnet. Sowohl die Gleichstromvorspannung als auch hohe Temperaturen verursachen eine zunehmende Verschlechterung des Piezoeffekts. Die Polarisierung des Piezomaterials zeigt Bild 2.

■ Modellierung des Piezoelements und Resonanz

Wie bereits erwähnt, entspricht das elektrische Modell eines Piezoaktors in erster Linie einem Kondensator mit Vorwiderstand. Dies ist zwar eine nützliche Vereinfachung für die Schaltungsmodellierung, sie trifft aber nicht ganz zu. Tatsächlich zeigt die Messung am Piezoelement mit einem Netzwerkanalysator, dass es mehrere elektrische Resonanzfrequenzen gibt, die ungefähr bei dem Oktav-Vielfachen der primären Resonanzfrequenz auftreten. Tritt beispielsweise die primäre elektrische Resonanzfrequenz eines bestimmten Piezoelements bei 8 kHz bis 9 kHz auf, gibt es weitere Resonanzen bei 34 kHz und 83 kHz.

Das wurde zwar im Labor so beobachtet, es könnte aber auch nur für dieses spezielle Piezoelement gelten. Entscheidend ist jedoch, dass die elektrische Resonanz unabhängig von der mechanischen Resonanz ist, und die mechanische Resonanz für haptische Anwendungen weitaus nützlicher und wichtiger ist als die elektrische Resonanz. Zum Beispiel zeigt der erwähnte bimorphe Piezoaktor, wenn er mit einer Schraubzwinge montiert wird, mit seiner Kapazität von 400 nF bei etwa 300 Hz eine mechanische Resonanz (was sich mit einem laserbasierten Messsystem ermitteln lässt). Daher ist die elektrische Resonanzfrequenz 30-mal höher als die mechanische Resonanz und hat kaum Einfluss auf den Treiberverstärker.

Dabei gilt es zu beachten, dass die mechanische Resonanz von der Montageart und der Masse der Halterung abhängig ist. Der endgültige mechanische Resonanzwert wird daher stochastisch sein und von seiner Montage, Masse und Herstellung abhängen.

Die Kapazität des Piezoelements, also die Menge der gespeicherten Ladung im Piezoelement, spielt ebenfalls eine große Rolle. Ein Treibersignal für ein Piezoelement ist eine kontinuierliche Sinuswelle, die abhängig von der mechanischen Resonanzfrequenz ist. Da der Stromverlauf in einem Kondensator dem Spannungsverlauf um 90° nacheilt, erreicht der Ladestrom in

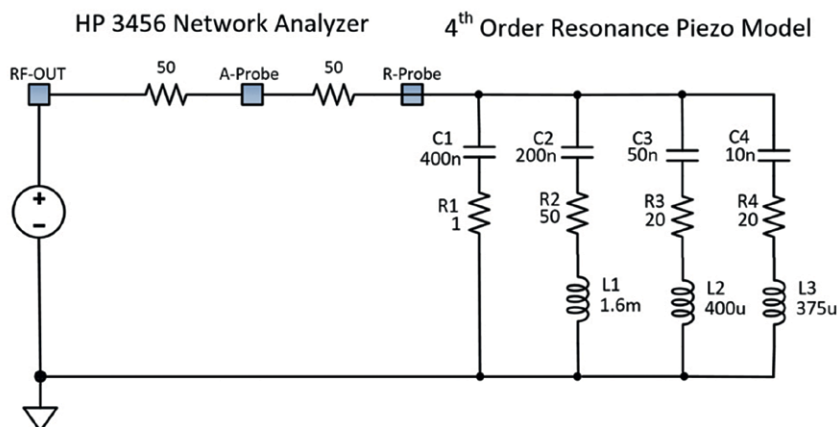


Bild 4: Adäquates elektrisches Modell eines Piezoelements.

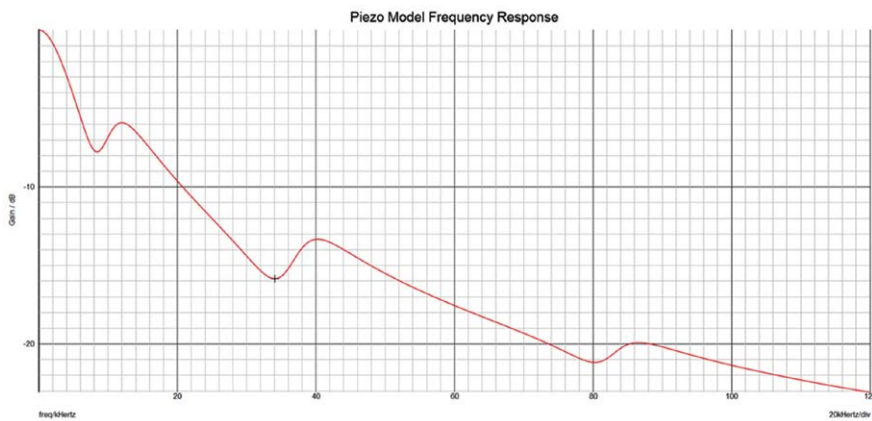


Bild 5: Simulation des Frequenzgangs eines Piezoelements.

einem Piezoelement einen Spitzenwert bei -6 dB der angelegten Spitzenspannung (oder allgemein bei der maximalen Anstiegsrate von V_{OUT}). Daher erreicht auch die Blindleistung, die zum Laden eines Piezoelements nötig ist, bei dieser Spannung Spitzenwerte. Interessant hierbei ist auch, dass die Kapazität des Piezoelements bei niedrigen Frequenzen keinen festen Wert besitzt; jedoch hat sie Spannungskoeffizienten erster und zweiter Ordnung. Beispielsweise erreicht bei einigen Piezowandlern die Kapazität Spitzenwerte bei einer Spannung, die niedriger als ihr Nennwert ist. Das erschwert die exakte elektrische Modellierung des Piezoelements. Erfreulicherweise ist ein einzelner Kondensator und ein Vorwiderstand für die meisten haptischen Anwendungen, die nur ein Antwortsignal mit geringer Bandbreite erfordern, ausreichend. Außerdem ist es von Bedeu-

tung, dass sich die elektrische Energie, die zum Antrieb des Piezoaktors nötig ist, bei der mechanischen Resonanzfrequenz nicht wesentlich ändert, außer dass die Ladeenergie linear mit der Frequenz verläuft.

Für haptische Anwendungen sind die Anforderungen an die Bandbreite im Regelkreis im Allgemeinen gering (3 kHz bis 5 kHz sind normalerweise ausreichend). Zu beachten ist auch, dass bei einem Gleichstrom die angelegte Spannung am Piezoelement statisch ist und keine Vibrationen erzeugt. Da die elektrische Last in erster Linie kapazitiv ist (mit elektrischen Resonanzpunkten), steigt der Ladestrom des Piezoelements mit zunehmender Frequenz bis der äquivalente Serienwiderstand (Equivalent Series Resistance, ESR) dominiert und das Piezoelement zum elektrischen Widerstand wird. Bild 3 zeigt einen mittels Netzwerkanalysator gemess-

senen Frequenzgang der Piezoelement-Impedanz. Bild 4 und Bild 5 zeigen ein elektrisches Modell beziehungsweise einen simulierten Frequenzgang des Piezoelements. Die Serie der LRC-Netzwerke ist so konfiguriert, dass sie den gemessenen elektrischen Frequenzresonanzpunkten bei 8 kHz, 34 kHz und 80 kHz entsprechen, die jeweils eine niedrige Güte aufweisen. C1, R1 stellen die niederfrequente Kapazität und den Vorwiderstand des Piezoelements dar; sie bestimmen die Last am Verstärkerausgang.

■ Ladung des Piezoelements und Energiebedarf

Die meisten haptischen Signale basieren auf sinusförmigen oder Gaußschen Kurven. Die Kurvenverläufe können sich wiederholen und eine Toneburst-Hüllkurve bilden oder es können einzelne Impulse sein. Sie können auch aus amplitudenmodulierten Hüllkurven bestehen, aus frequenzmodulierten Tonebursts oder einer beliebigen Kombination aus beiden Varianten. Die nahezu unbegrenzten haptischen Verläufe lassen sich verwenden, um jedes gewünschte haptische Gefühl zu erzeugen. Die einfachsten haptischen Kurvenverläufe kommen für die einfache Alarm- oder Berührungsrückmeldung zum Einsatz. Da haptische Kurvenverläufe im Prinzip den Kurvenverläufen von Audiosignalen entsprechen, kann der Klang eines haptischen Signals eines Piezoaktors ebenfalls dazu verwendet werden, um die Rückmeldung zu verbessern.

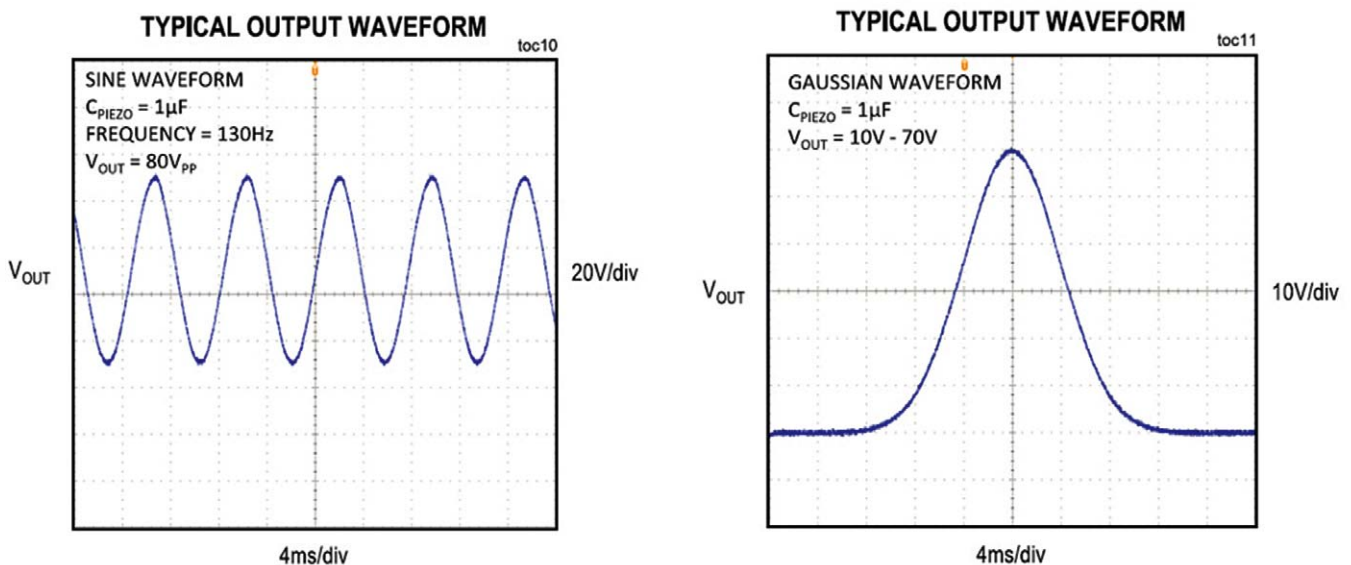


Bild 6: Beispiele für typische haptische Kurvenverläufe (links: Sinuswelle; rechts: Gaußsche Welle).

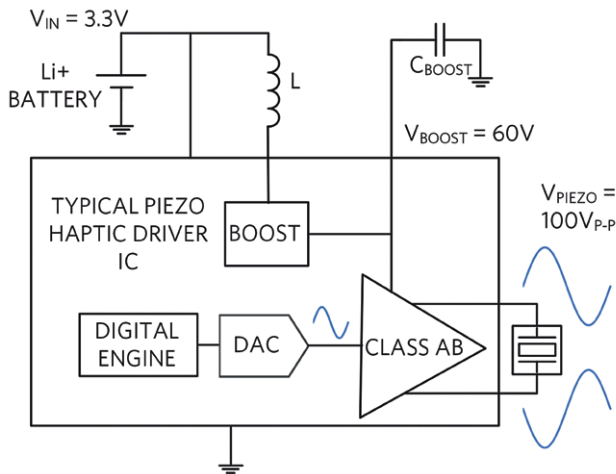


Bild 7: Derzeitige Piezotreiberschaltung mit Aufwärtswandler und Verstärker der Klasse AB.

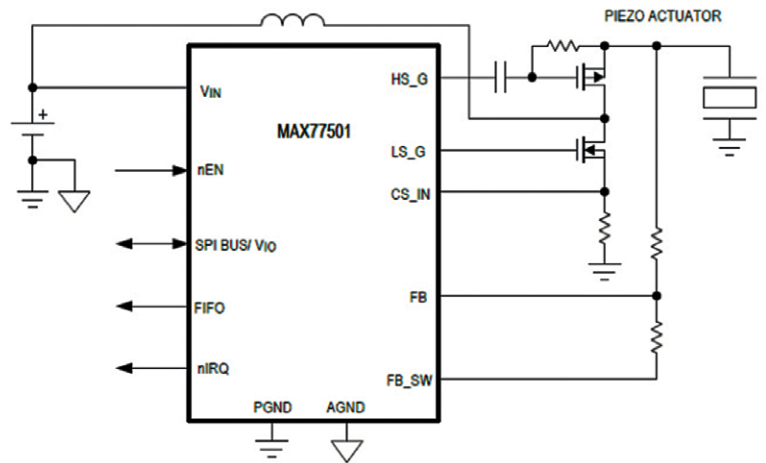


Bild 8: Piezotreiber-IC mit Energierückgewinnung.

Die Energie, die nötig ist, um einen Kondensator (also das Piezoelement) mit einer sinusförmigen Spannung zu laden, ist proportional zu Frequenz, Spannung und Kapazität:

P_{reactive} ist proportional zu $2\pi \times C \times V^2 \times F$

Aus dieser Gleichung bestimmen die unabhängigen Variablen von C, V und F die zum Betreiben eines Piezoelements erforderliche Energiemenge. Um einen bestimmten Piezoaktor mit einem haptischen Signal zu betreiben, sind die Kapazität und die Frequenz für die jeweilige Anwendung grundsätzlich festgelegt. Beispielsweise liegt die typische haptische Frequenz zwischen 100 Hz und 300 Hz, die Kapazität der Piezoaktoren liegt im Bereich von 100 nF bis über 1 μ F (abhängig von der Anzahl und der Größe der Keramiklagen). Die abhängige Variable links in der Gleichung entspricht dem Spannungshub. Die Dicke der Piezokeramik und Art der verwendeten Keramik bedingt die maximale Spitzenspannung. Wie erwähnt, darf die Polarisationsspannung nicht überschritten werden. Üblicherweise erhältliche Piezoaktoren haben eine maximale Nennspannung von 30 V bis 200 V. Diese Werte sind nur typische Werte; es werden ständig neue Piezowerkstoffe und Bautechniken entwickelt, insbesondere aufgrund neuer Anwendungsanforderungen und Einsatzfälle.

Gegenwärtig aber bestimmen die kapazitive Funktionsweise von Piezomaterialien und die Notwendigkeit, Hochspannungssignale zu erzeugen, den Ladeenergiebedarf sowie die Art der elektronischen Schaltungen, die zur Ansteuerung von Piezoelementen verwendet werden. Aufgrund der kapazitiven Funktionsweise einer Pie-

zoplast ist eine norton-basierte Treiberschaltung (Stromausgang) am besten geeignet.

Die Differentialgleichung der Kondensatorspannung in Abhängigkeit vom Ladestrom lautet:

$dV = (di/C)dt$ (Die Zunahme der Kondensatorspannung ist proportional zum Integral des Ladestroms über die Zeit) sowie

$Q = CV$ (Die Gesamtladung des Kondensators ist proportional zum Produkt aus Kapazität und Spannung am Kondensator).

Daraus folgt:

$dQ = di \times dt$ (Die Zunahme an gespeicherter Ladung ist proportional zum Integral des Ladestroms über die Zeit)

Die derzeitigen Piezotreiberschaltungen verwenden häufig einen konventionellen Aufwärtswandler, um eine Hochvoltschiene zu erzeugen, die einen Linearverstärker zur Erzeugung der Ausgangsspannung versorgt (Bild 7).

Die in Bild 7 dargestellte Piezotreiber-Topologie weist mehrere Nachteile auf, die in erster Linie mit der Leistungsaufnahme am Eingang und der IC-Verlustleistung zusammenhängen. Bei näherer Betrachtung gibt es zwei Stufen der Leistungsumwandlung – jede

mit eigenen Leistungsverlusten. Erstens gibt es einen Aufwärtswandler, um eine Hochspannungs-Gleichstromversorgung für den Differenzausgangsverstärker zu erzeugen. Der typische Wirkungsgrad des Aufwärtswandlers mit hohem Umwandlungsverhältnis bei der Hochspannungsversorgung liegt etwa bei 70 Prozent bis 85 Prozent. Der zweite Leistungswandler ist der Ausgangsverstärker, der den Piezoaktor differentiell ansteuert. In dieser Ausführung ist der Piezoplasttreiber ein Linearverstärker (ein Verstärker der Klasse AB), der typischerweise einen Wirkungsgrad von 50 Prozent bis 67 Prozent aufweist. Das Produkt der beiden Wirkungsgrade ergibt einen Gesamtwirkungsgrad von 35 Prozent bis 57 Prozent.

Es ist zu beachten, dass es keine reale Ausgangsleistung für die Piezoplast gibt, denn die Last ist kapazitiv. Daher fällt die gesamte Eingangsleistung im IC ab. Bei einer großen Piezokapazität (>1 μ F), einem großen Spannungshub (>100 V_{pp}) und ei-

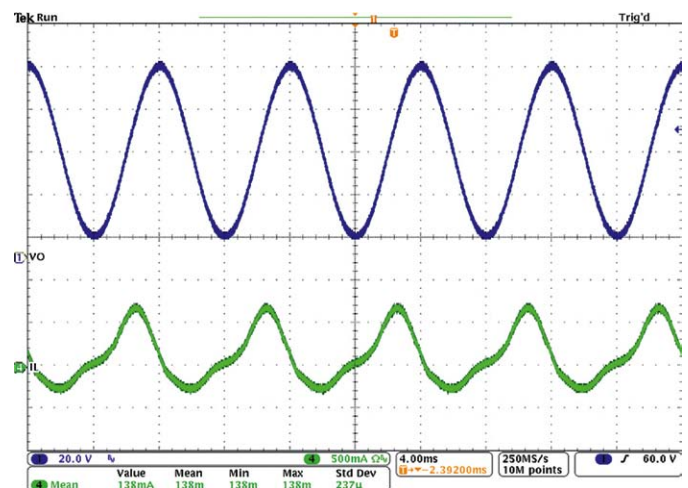


Bild 9: Piezohaptisches Ausgangssignal (blau) und Eingangsstrom (grün).

ner hochfrequenten haptischen Rückmeldung (circa 300 Hz) wird die Eingangsleistung außerordentlich hoch, wodurch sich der IC stark erwärmt und wahrscheinlich an seine thermische Belastungsgrenze kommt. Interessant dabei ist, dass sich in dieser Topologie der Verstärker der Klasse AB durch einen Verstärker der Klasse D ersetzen lässt, was zu einer viel höheren Treibereffizienz führt. Man benötigt jedoch eine niederohmige Induktivität in Reihe zur Piezoplast, um das modulierte Klasse-D-Trägersignal zu dämpfen, bevor es sich im Piezoelement abbaut.

■ Aufladung und Energierückgewinnung

Um den Leistungsverlust zu reduzieren, kann Energierückgewinnung dazu verwendet werden, die Energie, die zum Aufladen der Piezokapazität genutzt wird, zu erhalten und sie an die Eingangsversorgung oder einen Kondensator zur Zwischenspeicherung zurückzuführen. Bei dieser Methode wird der größte Teil der Blindenergie aus dem Piezoelement zurückgewonnen und die Eingangsleistung stark reduziert. Verglichen mit den Verlusten in der Topologie gemäß Bild 7 ist es somit möglich, einen fast zehnfach höheren energetischen Wirkungsgrad zu erreichen.

Bild 8 zeigt ein vereinfachtes Blockschaltbild des piezohaptischen, aufwärts regelnden Aktortreibers MAX77501 von Maxim. Er wird als Single-Ended-Ausgangstreiber/Controller mit externen LeistungsfETs konfiguriert und bietet eine große Anwendungsflexibilität. Der Baustein integriert in der 12-V-BiCMOS-Technik 10-V-Gate-Treiberanschlüsse. Haptische Signale können als Streaming-Daten über die SPI-Schnittstelle oder gespeichert von einem internen 9-KB-RAM wiedergegeben werden.

Ein 12-Bit-DAC und ein Pufferverstärker vervollständigen den Signalpfad des digitalen Antriebs. Die Eingangsversorgungsspannung beträgt 2,8 V bis 5,5 V, der Boost-Verstärker kann üblicherweise Piezoplastspitzen bis zu 120 V und bis zu einer Kapazität 2 μF treiben. Zur weiteren digitalen Ausstattung gehören die Enable-Funktion, der Status des Fifo-Speichers und eine System-Interrupt-Anforderung (nIRQ) aufgrund von Fehlerbedingungen.

Die Prinzipien der Energierückgewinnung beziehungsweise des Energie-Recyclings sind im Kurvendigramm in Bild 9 veranschaulicht. Der obere Plot (blau)

zeigt ein haptisches Sinussignal eines Piezoaktors (80 V Spitze-Spitze bei 250 Hz). Der untere zeigt den am Batterieausgang (3,6 V) gemessenen Eingangsversorgungsstrom. Während des Anstiegs von dV/dT von V_{OUT} wird Energie von der Batterie benötigt, um die Piezokapazität zu laden, der Batteriestrom ist positiv (>0). Es ist zu beachten, dass der Eingangsstrom bei der maximalen dV/dT von V_{OUT} oder mit einer Verzögerung von V_{OUT} um 90° seinen Höhepunkt erreicht. Bei abfallendem dV/dT muss die Energie aus dem Piezoelement entnommen werden, um V_{OUT} mit der Zeit zu reduzieren; der Eingangsversorgungsstrom ist jetzt negativ (das heißt, die Batterieversorgung erhält Energie zurück, die wieder in der Batterie gespeichert wird). Eine Darstellung von V_{BATTERY} ist hier nicht zu sehen, aber je nach Widerstand beim Betrieb der Batterie lässt sich beobachten, wie die Spannung V_{BATTERY} steigt und fällt, wenn der Versorgungsstrom vorwärts oder rückwärts fließt. In den Spitzen- oder Talbereichen, in denen V_{OUT} keine Steigung aufweist (dV/dT ist Null), ist der Eingangsversorgungsstrom nahezu Null.

Bei dieser Methode wird Energie zum Laden des Piezoelements verwendet und zurückgewonnen, wenn kein Ladevorgang stattfindet. Natürlich gibt es Energieverluste, denn bei den realen Verlustelementen (zum Beispiel Schalter, Metall und DCR-Induktivität) fallen in beide Richtungen des Energietransfers Verluste an, was zu einem Gesamtwirkungsgradverlust in jedem vollständigen Zyklus des haptischen Signals führt. Beträgt der Leistungsverlust pro Zyklus beispielsweise 20 Prozent, so ergibt sich eine Effizienzverbesserung von 8:1 im Vergleich zum Zyklus ohne Energierückgewinnung. In Bild 7 ist zu erkennen, dass der lineare Verstärker während beider positiver dV_{OUT}/dT -Phasen Energie vom Ausgang des Aufwärtswandlers entnimmt, um die Piezokapazität zu laden. Der Verstärker Ausgang muss dann die im Piezoelement gespeicherte Energie während der negativen dV_{OUT}/dT -Phasen über die Masse entladen. Die Entladung der im Piezoelement gespeicherten Energie führt zu einem drastischen Anstieg der Eingangsleistung, die größtenteils vom IC verbraucht wird. (kv)

Anzeige

display®
...since 1984

LED
TOUCH
LCD
LED
TFT

Not only a project,
it's a Partnership!

TOUCH
LCD
KEYPADS
OLED
TFT
KEYPADS

TUV
SUD
80 891

COLOUR UP

YOUR LIFE

www.display-elektronik.de

Display Elektronik GmbH · Am Rauner Graben 15 · D-63667 Nidda
Tel. 0 60 43 - 9 88 88 - 0 · Fax 0 60 43 - 9 88 88 - 11

NEWSLETTER: www.display-elektronik.de/newsletter.html

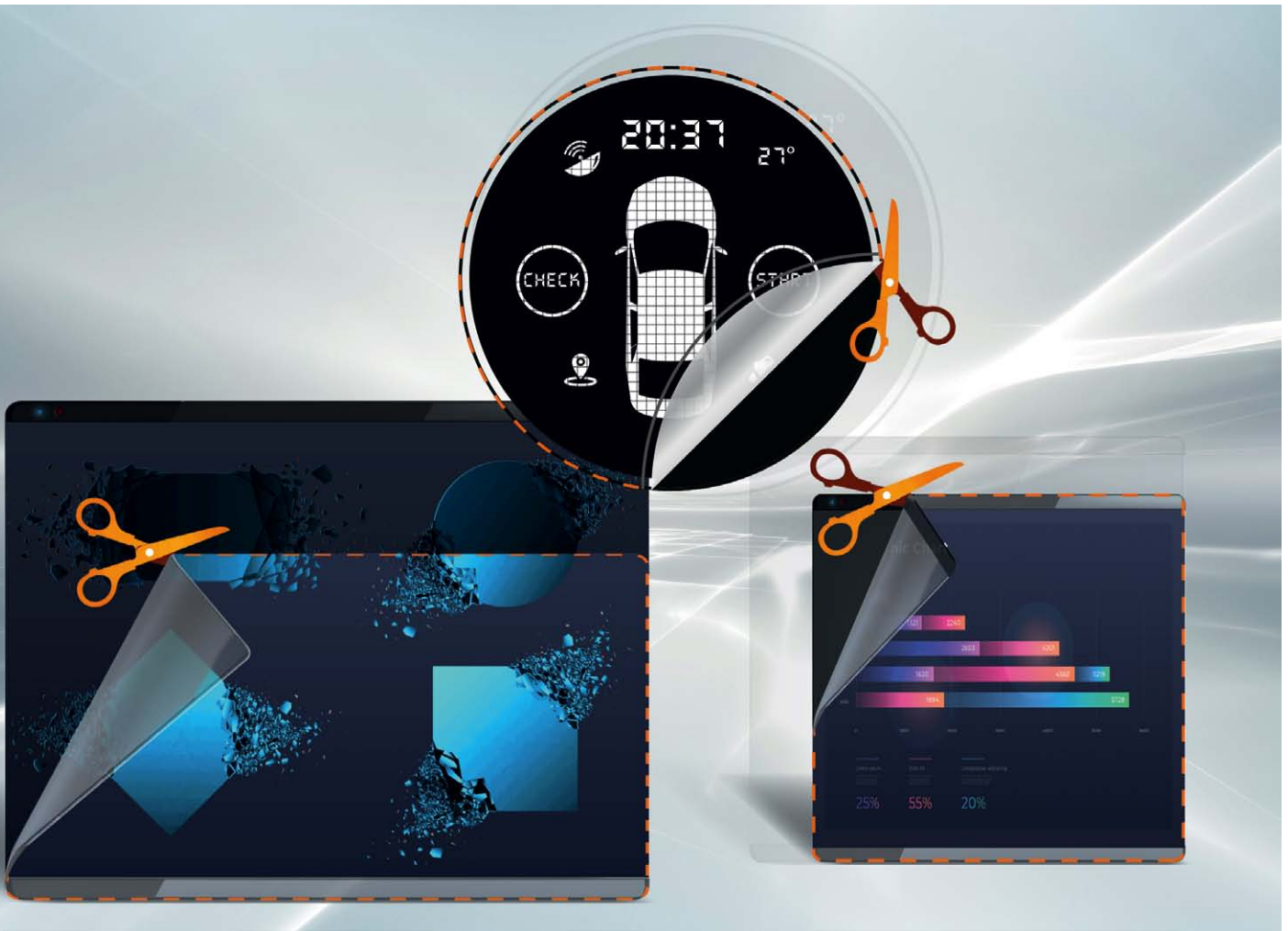


Bild: 59616241/148589345 – shutterstock.com, alle anderen Bilder: Hy-Line Computer Components

Außergewöhnliches erwünscht

Mit dem Format 4:3 ging es los in der Display-Welt, SXGA nutzte 5:4. Die Migration auf 16:9 ist vollzogen, mobile Geräte strecken das Bildformat bis auf 2:1. Manche Anwendungen können mit all der angebotenen Display-Fläche jedoch nicht viel anfangen. Zum Beispiel Wegweiser, denen ein sehr schlankes Display reicht. Um Displays für solche Ansprüche herzustellen, gibt es verschiedene Ansätze.

Rudolf Sosnowsky
CTO bei Hy-Line Computer Components

Grundsätzlich ist es mithilfe zweier Ansätze möglich, der Nachfrage nach TFTs mit speziellen Seitenverhältnissen gerecht zu werden: Ein Display wird genau passend entwickelt und hergestellt, oder ein groß-

formatiges Display wird zugeschnitten. Beide Methoden haben Vor- und Nachteile: Die Entwicklung eines kundenspezifischen TFTs hat hohe Entwicklungskosten von mehreren 100.000 Euro zur Folge, und die Stückzahl muss so hoch sein, dass es sich lohnt, die Produktion umzurüsten.

Einfacher dagegen ist es, ein geeignetes Spender-Display zuzuschneiden. Außer dem Display-Panel selbst sind das LED-Backlight, der Rahmen (Bezel) und der gesamte Folienstack anzupassen. Durch den Längsschnitt entstehen Displays mit Seitenverhältnissen von zum Beispiel 32:9 oder 16:3.

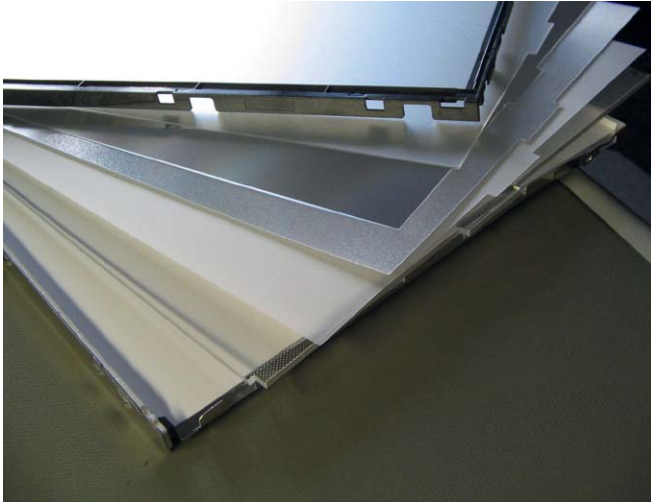


Bild 1: Foliensack eines TFT-Moduls.

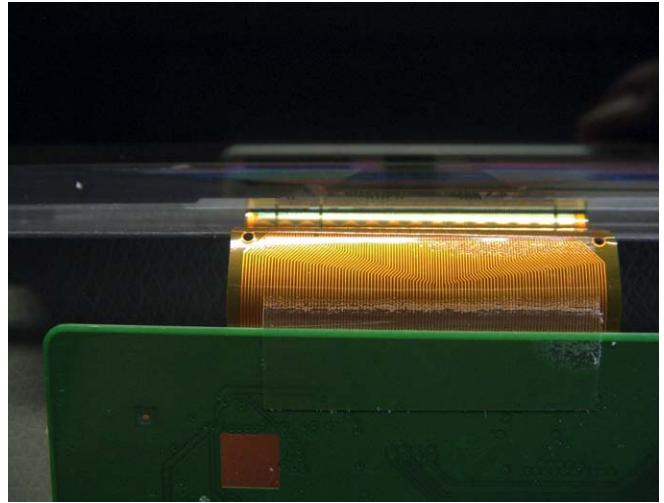


Bild 3: Verbindung zwischen Timing Controller und LCD-Panel.

■ So schneidet man TFTs

Ein TFT-Display moduliert von hinten durchscheinendes Licht weißer LEDs, die auf einer streifenförmigen Leiterplatte angeordnet sind. Von einer Diffusorplatte wird das Licht in die Fläche gestreut. Bevor es das Display-Glas erreicht, passiert es verschiedene optische Folien, die es für die Anwendung konditionieren. Bild 1 zeigt den Aufbau eines typischen TFT-Moduls. Unten ist die Rückseite des Moduls, nach oben folgen Diffusor, Folien und schließlich das Panel (nicht im Bild). Der Montagerahmen, Bezel genannt, hält alle Komponenten zusammen.

TFT-Panels bestehen aus zwei Gläsern, zwischen denen das Flüssigkristall-Material eingeschlossen ist. Die Ausrichtung des Flüssigkristalls und damit die Lichtdurchlässigkeit bestimmt ein elektrisches Feld,

das von Elektroden auf der Innenseite der beiden Gläser ausgeht. Diese werden über Treiberbausteine angesteuert, die am Rand des Glases getrennt für x- und y-Richtung (Spalten/Zeilen) platziert sind. Bei Displays mit höherer Auflösung sind mehrere ICs in Serie geschaltet. Für die 1080 Zeilen eines Full-HD-Displays sind es zwei oder drei ICs. Trennt man die Leitungen hinter dem ersten oder dem zweiten IC ab, kann das Teildisplay weiter funktionieren.

Aus der Anordnung der ICs ergibt sich die mögliche Teilung: Das Display kann nur so zerschnitten werden, dass die Ausgänge eines ICs vollständig intakt bleiben, also nur in ganzzahligen Bruchteilen. Das längliche Display bezeichnen Hersteller als Stretch-Display oder Bar-Type-Display (Bar, engl. für Streifen). Bild 2 zeigt ein Display, das nach dem Schneiden ein 32:9-Format aufweist. Solange für jedes

Pixel ein Zeilen- und ein Spaltentreiber existiert, ist die Form des Displays gleichgültig. Optische Eigenschaften und Umgebungsbedingungen des Original-Displays bleiben erhalten.

■ Elektrische Ansteuerung

Der Timing-Controller wandelt das vom LCD-Controller kommende LVDS-Signal in Ansteuersignale für die Treiber um, die über Flexfolien angeschlossen sind. Während die Verbindung zwischen Leiterplatte und Glas (Bild 3) nur wenige Dutzend Leitungen hat, haben die Treiber-ICs, die sich direkt auf dem Glas befinden, mehrere Hundert Ausgänge, um die Display-Segmente zu steuern. Andere Komponenten auf dem Board erzeugen die für den Betrieb des Displays und des LED-Backlights erforderlichen Spannungen.

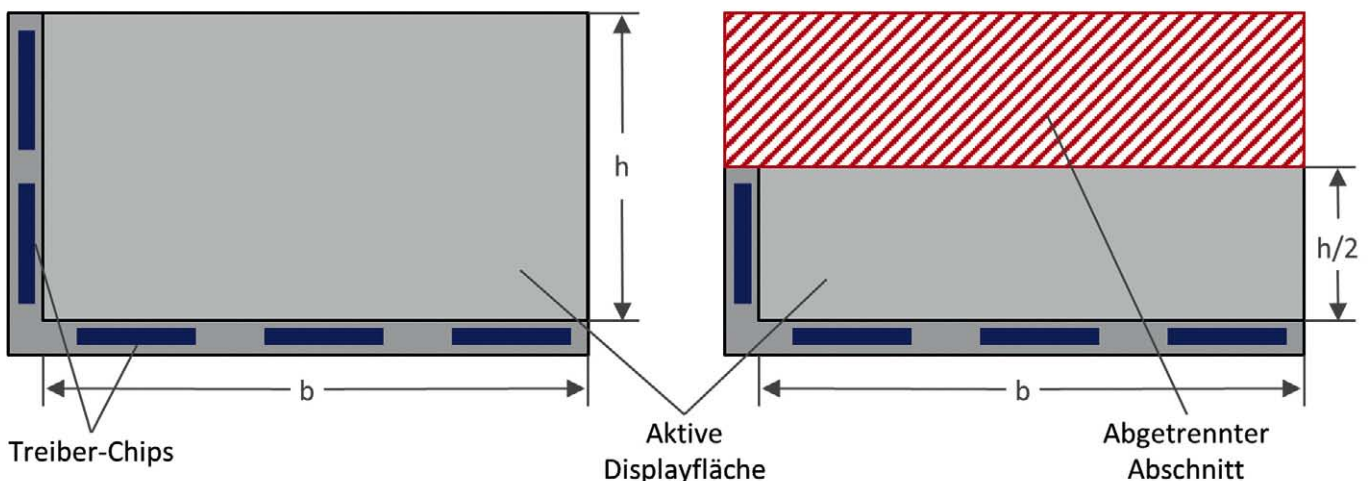


Bild 2: Horizontaler Schnitt bei einem Half-Size-Display.



Bild 4: Kleinformatiges Display mit kreisförmiger Bildfläche für den Einsatz zum Beispiel in Smart Watches.



Bild 5: Quadratisches Display in einem Radargerät.

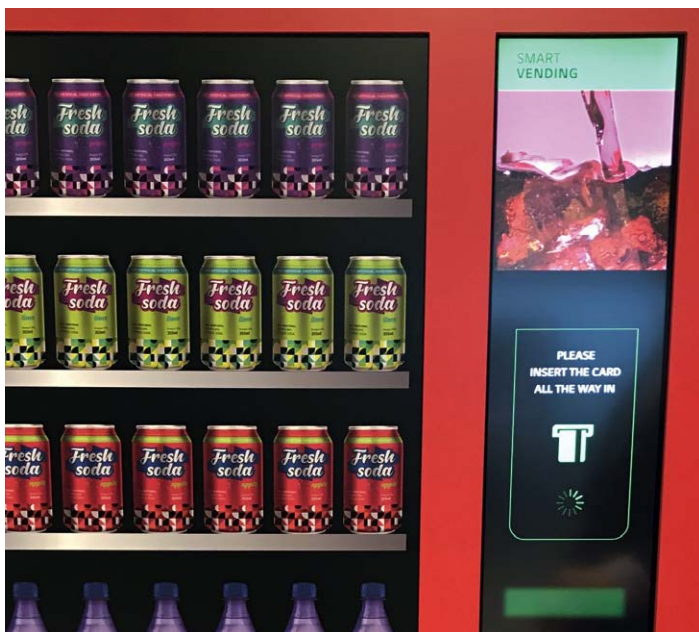


Bild 6: Bei Getränkeautomaten sind schlanke Displays gefragt.

Bei formgeschnittenen Displays bleibt das Timing-Controller-Board unverändert und weiß nichts von der reduzierten Zahl der Treiberausgänge. Da es mit dem Timing des Originalmoduls (zum Beispiel 1920×1080) angesteuert wird, sind die Timing-Parameter der Ansteuerung unverändert. Lediglich die Applikationssoftware muss auf das geänderte Format des Teilbildschirms Rücksicht nehmen.

■ Displays in ungewöhnlichen Formaten

Daneben gibt es Displays mit originalen quadratischen oder runden Abmessungen. Kleine Displays dieser Art verwenden einen Single-Chip-TFT-Controller, der als Chip-on-Glass auf dem Panel integriert ist. Er vereint die Funktionen von Timing-Controller, Treiber für Zeilen und Spalten, manche auch den Frame-Buffer. Die Host-Schnittstelle rechnet nicht mit einer PC-Umgebung, sondern mit einem Arm-Controller oder einem anderen Mikrocontroller. Neben MIPI lässt sich das Display über SPI oder einen CPU-Bus mit Daten befüllen. Zur Entlastung des System-Controllers lässt sich die Farbtiefe von 24 Bits auf 16 Bits reduzieren.

Bild 7: Electronic Shelf Label Display installiert in einem Supermarktregal.



Single-Chip-Displays sind in Diagonalen bis zu 5 Zoll und einer Auflösung bis 720×720 gebräuchlich. Das 26,5-Zoll-Display von LG Display bietet mit 1920×1920 eine hohe Auflösung im

quadratischen Format und wird über LVDS angebunden. Ein Seitenverhältnis von 3:2 haben Displays, die in Tablet-Computern wie dem Apple iPad eingesetzt werden.

Smart-Watches oder Fitness-Uhren verwenden runde Displays. Hier werden die Ansteuerleitungen für Zeilen und Spalten am Rand des Sichtbereichs geführt. Beim in *Bild 4* gezeigten Display liegt der Treiber als Single-Chip-Lösung am unteren Ende des Glases, sodass das Gehäuse entsprechend geformt sein muss.

■ Anwendungsbeispiele

Geschnittene Displays lassen sich dort einsetzen, wo hauptsächlich Informationen im Textformat ausgegeben werden müssen, zum Beispiel bei einer Haltestellen-Anzeige, einer Sitzplatzreservierung, einem Linienplan oder einem variablen Wegweiser im Konferenzgebäude.

Das quadratische 26,5-Zoll-Display von LG Display eignet sich gut für die Darstellung von Messwerten von Systemen wie Radar oder Sonar, die eine kreisförmige Abdeckung bieten (*Bild 5*). Kleine quadratische Displays passen in Schalterdosen in der Hausautomatisierung.

Runde Displays finden auch Einsatz in der Industrie als intelligente Rundinstrumente, die Messwerte nicht nur aufnehmen und anzeigen, sondern auch an den Leitstand weiter übermitteln. Mit ihnen lässt sich lokal nicht nur ein Messwert, sondern auch ein Trend oder eine Warnfunktion anzeigen, die dem Mitarbeiter vor Ort wertvolle Zusatzinformationen liefert.

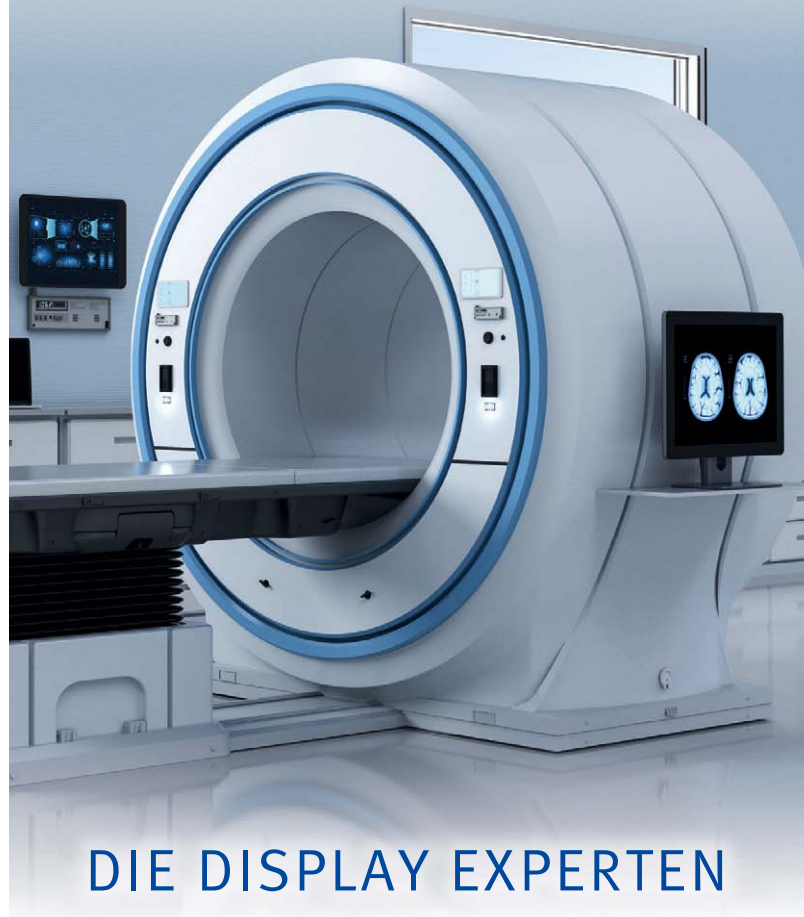
Im Porträtformat finden schlanke Displays dort Verwendung, wo lange Listen ausgegeben oder der Platz an einem Getränkeautomaten (*Bild 6*) oder einer Aufzugsteuerung genutzt werden soll. Mit einem Touchscreen versehen, bieten sie dem Kunden einen Mehrwert, indem sie etwa beim Getränkeautomaten weitere Informationen zum gewählten Produkt geben oder Alternativen anzeigen.

Eine besondere Lösung kann mit dem Electronic Shelf Label Display von LG Display (*Bild 7*) realisiert werden. Der Touchscreen in In-Cell-Technik ist als integraler Bestandteil des Displays ausgeführt und befindet sich innerhalb der TFT-Zelle. Der Treiber-IC bedient sowohl Display als auch Touchscreen, ohne dass es zu wechselseitigen Beeinflussungen kommt. Mit nur 48 mm Höhe ist das Display schlank genug, um eine herkömmliche Beschriftung des Regals zu ersetzen. Auch für Haushaltsgeräte wie Waschmaschine, Spülmaschine und Herd ist dieses zeilenförmige Display geeignet.

■ Fazit

Displays mit Sonderformaten werden bei beengten Platzverhältnissen eingesetzt oder wenn der Inhalt ein bestimmtes Format vorgibt. Größere Displays lassen sich durch Zuschneiden herstellen, während kleinere bereits mit Sonderabmessungen gefertigt werden.

In Kombination mit einem Touchscreen ermöglicht ein Display eine neue Benutzerschnittstelle: Interaktivität macht das Endprodukt für den Anwender vielseitiger einsetzbar und für den Endnutzer attraktiver. Dem Designer steht dabei eine große Vielfalt an Displays mit Sonderformaten zur Auswahl. (kv)



DIE DISPLAY EXPERTEN

Unsere Branchenexpertise, unser Marktwissen und unsere Erfahrung in allen Bereichen der Displaytechnik machen uns zum perfekten Partner für professionelle Displaylösungen.

- › Portfolio führender Displayhersteller
- › Breites Spektrum an Anzeigetechnologien wie MIPS, EPaper, TFT, OLED, reflective Displays, FALD, InCell-Touch
- › Diagonalen von unter 1“ bis 110“
- › Value Added Displays
- › Kundenspezifische Komplettlösungen
- › Langzeitverfügbarkeit
- › Lifecycle-Management

Entdecken Sie unsere aktuellen Produkthighlights unter www.data-modul.com/de/produkt-highlights



FÜHRENDE DISPLAY
TECHNOLOGIE PARTNER



IN-HOUSE
OPTICAL BONDING



IN-HOUSE EMBEDDED
ENTWICKLUNG



KUNDENSPEZIFISCHE
SYSTEMLÖSUNGEN

400 W auf nur 3 Zoll x 5 Zoll

Die medizinischen Anwendungen zertifizierten Netzteile der Serie *CUS400M* von TDK-Lambda, das bei Hy-Line Power Components erhältlich ist, liefern mit forcierter Belüftung eine Dauerleistung von 400 W. Konvektions- und kontaktgekühlt sind 250 W dauernd und 400 W kurzzeitig möglich. Das *CUS400M* hat eine Eingangs-/Ausgangs-Isolation von 4000 V (2xMoPP), eine Eingangs-/Erde-Isolation von 1500 V (1xMoPP) und eine Ausgangs-/Erde-Isolation von 1500 V (1xMoPP). Geräte mit 12 V und 24 V Ausgangsspannung sind bereits verfügbar, weitere Spannungen bis 48 V kommen noch hinzu.



TDK-Lambda/Hy-Line Power Components
www.hy-line-group.com

AC-DC-Wandler schaffen 305 V am Eingang

In einen erweiterten Eingangsspannungsbereich von 85 V bis 305 V können die AC-DC-Wandler der Serie *TMPW* von Traco arbeiten, die in verschiedenen Modellen für Ausgangsleistungen zwischen 5 W und 50 W verfügbar sind. Der Grenzwert von 305 V (277 V $\pm 10\%$) leitet sich aus dreiphasiger Versorgungsspannung 480 V ab, wie sie häufig in



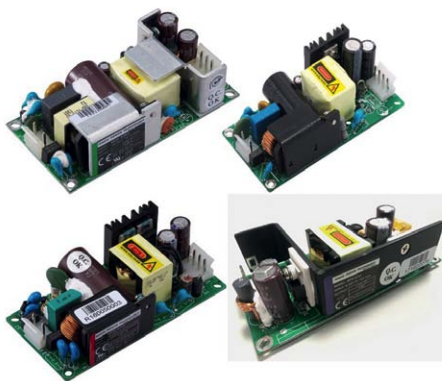
ErP ready **CB** Scheme IEC/EN 62368-1 IEC/EN 60335-1 **CE** **UL** 62368-1 **us** prepared

Industrieanwendungen vorkommt. Aufgrund der höheren Spannung fließen geringere Ströme, sodass die Konstruktion insgesamt kompakter und leichter werden kann. Die Module sind als Platinen- und Gehäusevarianten mit JST-Steckverbinder für unterschiedliche Anwendungskonfigurationen verfügbar.

Traco Power
www.tracopower.com

Verschiedene Einbaunetzteile im Standardmaß

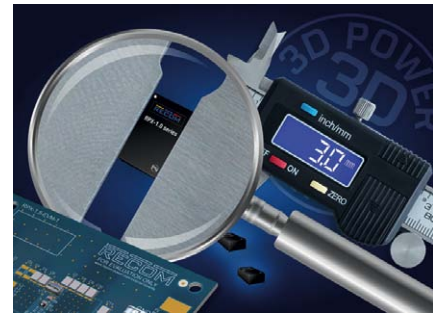
Mit verschiedenen Netzteilserien im einheitlichen Raster von 2 Zoll x 4 Zoll (101,6 mm x 50,8 mm) möchte Magic Power Technology dem Systementwickler die größtmögliche Flexibilität sichern, bis die Leistungsaufnahme seines Systems endgültig feststeht. Gehäuse und Kabelsätze ergänzen das Angebot. In diesem Raster sind Medizin-Netzteile (2xMOPP) mit 115 W, ein galvanisch getrenntes DC-DC-Netzteil mit 100 W sowie nach der neuen Norm EN 62368-1 zugelassene Stromversorgungen mit 80 W, 115 W, 130 W und 200 W erhältlich. Alle sind nach Herstellerangabe für 24/7-Einsatz ausgelegt und mit hochwertigen Elektrolytkondensatoren bestückt.



Magic Power Technology
www.mgpower.de

Hoch integrierte Power-Module

In Partnerschaft mit einem OSAT-Unternehmen (Outsourced Semiconductor Assembly and Test) hat Recom sein Sortiment an Leistungsmodulen erweitert. Die Abwärtswandler-Module *RPX-1.0* und *RPX-1.5* im thermisch verbesserten, 3 mm x 5 mm großen QFN-Gehäuse mit 1,6 mm Höhe beruhen auf einer dreidimensionalen Packaging-Technologie. Das *RPX-1.0* ist für 1 A und der *RPX-1.5*



für 1,5 A Laststrom ausgelegt. Jeder Wandler hat einen Eingangsbereich von 4 V bis 36 V und einen über externe Widerstände einstellbaren Ausgang zwischen 0,8 V und 30 V. Sie arbeiten bis zu Umgebungstemperaturen bis +100 °C.

Recom Power
www.recom-power.com

Einschaltstrombegrenzer für die Hutschiene

Für die Begrenzung hoher Einschaltströme hat Schukat den Einschaltstrombegrenzer *ESB303.LED.200/400* für kapazitive Lasten von Camtec in sein Programm aufgenommen. Zum Einsatz kommt er unter anderem beim Betrieb mehrerer Schaltnetzteile oder LED-Treiber an einem Sicherungsautomaten. Die Besonderheit: Anwender benötigen nur noch eine Geräteversion für die gängigen Gebäudeinstallationen. Er eignet sich sowohl für den Betrieb als 3-kanaliger Begrenzer in einphasigen 230-V-Netzen als auch als dreiphasiger Begrenzer in 400-V-Netzen mit Neutralleiter. Auch der Betrieb in dreiphasigen 200-V-Netzen mit Neutralleiter ist abgedeckt.



Camtec Power Supplies/ Schukat electronic
www.schukat.com



Bild: Elnur – stock.adobe.com; alle anderen Bilder: Analog Devices

Rauscharme Referenzspannung

Die Nachfrage nach extrem genauen Messungen mit einer Auflösung von mehr als 24 Bit steigt in verschiedenen Branchen. Dafür ist nicht nur ein entsprechend genauer Analog-Digital-Wandler nötig, sondern auch die Referenzspannung muss extrem rauscharm sein. Was ist dabei zu beachten?

Anshul Shah

Applikationsingenieur bei der Instrumentation and Precision Technology Group von Analog Devices

Der Bedarf an extrem präzisen Messungen steigt stetig. Um nur ein Beispiel zu nennen, verwendet die pharmazeutische Industrie Laborwaagen, die eine Auflösung von 0,0001 mg über den gesamten Messbereich von 2,1 g bieten, weshalb dafür ein Analog-Digital-Wandler (ADC) mit einer Auflösung von über 24 Bit erforderlich ist.

Diese hochpräzisen Systeme zu kalibrieren und zu prüfen, stellt die Messtechnik-Industrie vor die Herausforderung, Prüfmittel anzubieten, die eine Auflösung von mehr als 25 Bit bei mindestens 7,5-stelliger Messgenauigkeit erreichen.

Um eine derart hohe Auflösung zu erreichen, muss das Rauschen in der gesamten Signalkette außergewöhnlich niedrig sein. *Bild 1* zeigt, wie sich das Rauschen

in Abhängigkeit von der effektiven Anzahl der Bits (Effective Number Of Bits; ENOB) und dem Signal-Rausch-Verhältnis (Signal to Noise Ratio; SNR) darstellt. Dabei errechnet sich das Rauschen auf Basis einer Referenzspannung V_{REF} von 5 V und eines ADC-Eingangs, der auf den vollen Skalenbereich eingestellt ist. Um eine Auflösung von 25 Bit oder einen Dynamikbereich von 152 dB zu erreichen, darf der Effektivwert

| ENOB / Bit | SNR / dB | Rauschen / μV (RMS) |
|------------|----------|--------------------------------|
| 20 | 122,16 | 7,798301 |
| 21 | 128,18 | 3,89942 |
| 22 | 134,20 | 1,949845 |
| 23 | 140,22 | 0,97499 |
| 24 | 146,24 | 0,487528 |
| 25 | 152,26 | 0,243781 |
| 26 | 158,28 | 0,121899 |
| 27 | 164,30 | 0,060954 |
| 28 | 170,32 | 0,030479 |
| 29 | 176,34 | 0,015241 |
| 30 | 182,36 | 0,007621 |
| 31 | 188,38 | 0,003811 |
| 32 | 194,40 | 0,001905 |

Tabelle 1: Erforderlicher Dynamikbereich und maximal zulässiges Systemrauschen, um eine bestimmte ENOB zu erreichen ($V_{REF} = 5\text{ V}$, ADC-Eingang auf vollen Skalenbereich eingestellt).

für das Systemrauschen daher höchstens $0,2437\ \mu\text{V}$ betragen.

Die Spannungsreferenz legt die Schwelle für das analoge Eingangssignal fest, die der ADC auflösen kann. Nachfolgende Gleichung stellt die ideale Übertragungsfunktion eines solchen Bausteins dar. Der Ausgangscode – in dezimaler Form – errechnet sich aus dem analogen Eingangssignal V_{IN} , der Spannungsreferenz V_{REF} und der Anzahl der ADC-Bits N:

$$\text{ADC-Code} = V_{IN} \cdot 2^N / V_{REF}$$

Die im Datenblatt des ADCs angegebene Auflösung wird normalerweise mit einer Technik mit kurzgeschlossenem Eingang bestimmt, bei der der Eingang des Bausteins mit Masse verbunden ist oder die differentiellen Eingänge an eine gemeinsame Quelle angeschlossen sind. Diese Technik hilft dabei, die absolute Grenze der Auflösung zu ermitteln, indem das Rauschen sowohl des ADC-Eingangs und als auch der Spannungsreferenz ausgeblendet werden. Dies ist der Fall, da V_{IN} auf 0 V eingestellt ist, wodurch das Verhältnis von V_{IN} zu V_{REF} gleich Null ist.

Um die Auswirkungen des Rauschens der Spannungsreferenz auf das Gesamtrauschen des Systems zu untersuchen, zeigt Bild 2 die Beziehung zwischen dem gesamten Systemrauschen (Effektivwert) und der Gleichspannung am ADC-Eingang. Für diesen Test verwendeten wir den 32-Bit-ADC AD7177-2, wobei dessen V_{REF} -Eingang an den LTC6655-5 (5 V) und dessen ADC-Eingang an eine rauscharme Gleichspannungsquelle angeschlossen

war. Die ausgangsseitige Datenrate des ADCs war auf 10 kSPS (Kilo-Sample per Second) eingestellt. Es ist zu beachten, dass das Rauschen am ADC über dessen gesamten Eingangsspannungsbereich konstant bleibt ($35\text{ nV}/\sqrt{\text{Hz}}$), während das Rauschen der DC-Eingänge des ADC ansteigt ($\leq 6\text{ nV}/\sqrt{\text{Hz}}$). Allerdings bleibt dieser Wert im Vergleich zum Rauschen der Spannungsreferenz ($96\text{ nV}/\sqrt{\text{Hz}}$) gering. Wie in Bild 2 dargestellt, ist das Gesamtrauschen proportional zur Gleichspannung am Eingang des ADCs. Der Grund dafür ist, dass

mit steigendem V_{IN} das Verhältnis V_{IN}/V_{REF} zunimmt und somit das V_{REF} -Rauschen das Gesamtrauschen des Systems dominiert, wenn der ADC-Eingang auf Vollaussteuerung eingestellt ist. Das Rauschen jeder einzelnen Komponente in der Signalkette addiert sich über die Quadratwurzelsumme (RSS) und ergibt die Kurvenform in Bild 2.

Um eine hohe Messauflösung von 25 Bit oder mehr zu erreichen, benötigen selbst die besten auf dem Markt erhältlichen separaten Spannungsreferenzen mit einer rauscharmen Spezifikation etwas Hilfe, um das Rauschen zu dämpfen. Eine externe Schaltung wie beispielsweise ein Filter kann das Rauschen so weit dämpfen, dass der gewünschte Dynamikbereich des ADCs erreicht wird.

Der verbleibende Teil dieses Artikels erläutert verschiedene Arten von Tiefpassfiltern und wie sich diese einsetzen lassen, um das Rauschen der Spannungsreferenz zu senken. Hierbei kommen Filterentwurfstechniken und Kompromisse zwischen den Filtern zur Sprache. Zwei Arten von Tiefpassfiltern, die in diesem Zusammenhang besprochen werden, sind einfache passive RC-Tiefpassfilter und aktive Tiefpassfilter mit Signalflussgraphen. Mit Ergebnissen der Systemevaluierung mit einem Sigma-Delta-ADC schließt dieser Beitrag ab.

Rauschreduzierung mit passivem Tiefpass

Bild 3 zeigt eine Spannungsreferenz, die einen ADC über einen Tiefpassfilter ver-

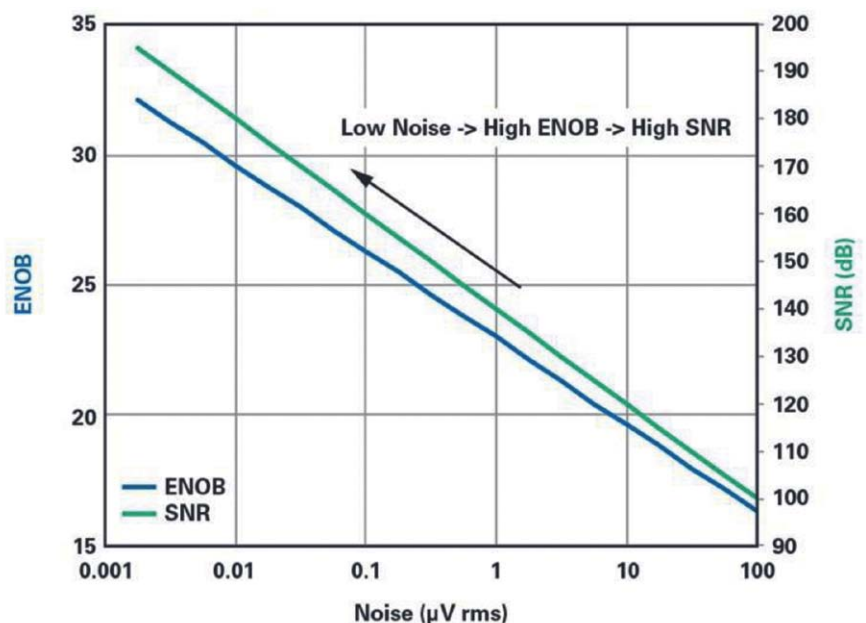


Bild 1: Rauschen in Abhängigkeit zur effektiven Anzahl der Bits (Effective Number Of Bits; ENOB) und dem Signal-Rausch-Verhältnis (Signal to Noise Ratio; SNR).

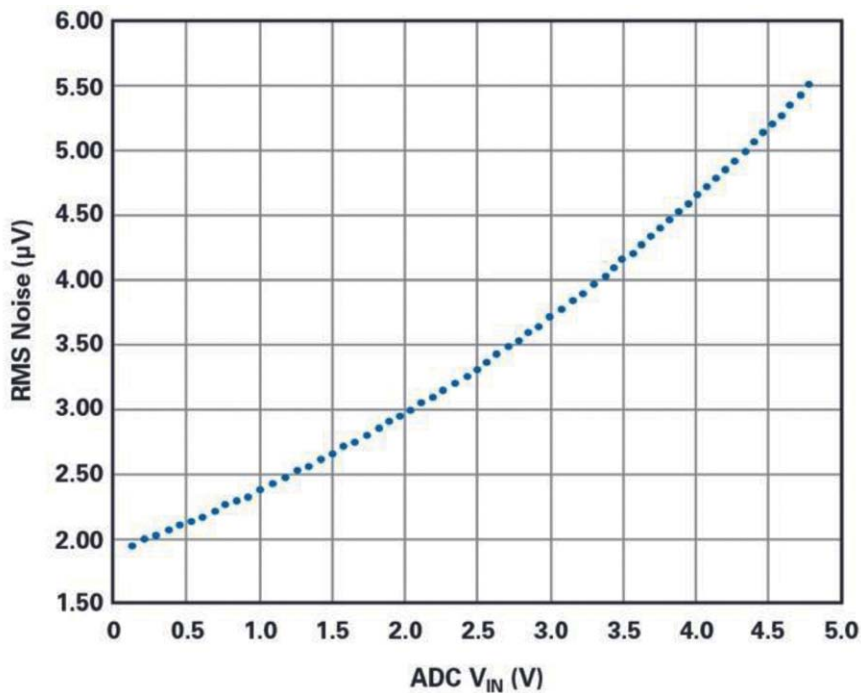


Bild 2: Systemrauschen (Effektivwert) in Abhängigkeit zur Eingangsspannung des ADCs. V_{REF} ist auf den LTC6655-5 gelegt.

sorgt. Dieser besteht aus einem externen Speicherkondensator C1, dessen äquivalenten Serienwiderstand (ESR) und der Ausgangsimpedanz eines Pufferverstärkers R_o für die Spannungsreferenz. Die Eckfrequenz des passiven RC-Tiefpasses bestimmt sich durch

$$f_c = 1/(2\pi \cdot RC)$$

Demnach ist die Bandbreite umgekehrt proportional zum Widerstand R und zur Kapazität C.

Der Kondensator C1 wirkt auch als lokaler Energiespeicher, um Spannungsspitzen zu glätten. Diese können entstehen, wenn die Spannungsreferenzschaltung des ADCs plötzlich den Laststrom ändert. Bild 4 zeigt das dynamische Verhalten des Referenzstroms des Sigma-Delta-ADCs AD7177-2 und des SAR-ADCs (Successive Approximation Register) AD7980.

Der Anwender kann den Wert des Kondensators C1 so wählen, dass er die Anforderung an die Grenzfrequenz des Tiefpasses erfüllt. Allerdings benötigen manche SAR-ADCs einen Kondensator von mindestens 10 µF am Referenzeingang, um korrekt zu funktionieren. Dieser Mindestwert reduziert die Phasenreserve des Referenzpuffers, und mit abnehmender Phasenreserve ist die Rückkopplung des Puffers nicht mehr negativ [1]. Die Signale in der Nähe der Eckfrequenz (3-dB-Punkt) mit Einheitsverstärkung werden gleichphasig mit den eingehenden Signalen rückgekoppelt. Dies führt

dazu, dass die Regelung in der Nähe der Eckfrequenz eine Störspitze erzeugt [1]. Da die Bandbreite von der Eckfrequenz bis zu 16 MHz reicht, dominiert dies die Störspitze das gesamte integrierte Rauschen (Effektivwert). Obwohl der Kondensator C1 der Spannungsreferenz als Rauschfilter fungiert und Spannungsspitzen ausgleicht, stellt diese Rauschspitze den größten Störfaktor dar. Bild 5 zeigt die Störspitze der Spannungsreferenz LTC6655, die durch C1 eingebracht wird. Die Höhe der Störspitze bestimmt sich aus dem Wert des Kondensators und seinem ESR.

Meist sind die Spannungsreferenzen mit einer komplexen Ausgangsstufe ausgestattet, um eine große kapazitive Last treiben zu können, wie sie für ADC-Referenzschaltungen oft nötig ist. So ist die Ausgangsstufe des LTC6655 beispielsweise so ausgelegt, dass sie bei einem auf 10 µF

festgelegten Speicherkapazität kritisch gedämpft wird. Wenn die Speicherkapazität des Bausteins auf den Mindestwert von 2,7 µF oder den Höchstwert von 100 µF eingestellt wird, kommt es zu Störspitzen.

Zwar dämpft der äquivalente Serienwiderstand ESR von C1 die primäre Störspitze, führt aber eine sekundäre Störspitze bei 100 kHz und darüber ein. Dies lässt sich dadurch erklären, dass der ESR des Kondensators eine Nullstelle einfügt, wodurch sich die Phasenreserve vergrößert und die primäre Störspitze reduziert wird. Allerdings verbindet sich diese Nullstelle mit der inhärenten Nullstelle des LTC6655 und erzeugt eine sekundäre Störspitze. (Wichtig: Das Rauschverhalten in Bild 5 ist einzig und allein für den LTC6655 gültig.)

Eine der anderen Lösungen, um das Rauschen der Spannungsreferenz zu filtern, die Störspitze zu beseitigen und den ADC korrekt anzusteuern, besteht darin, zwischen den passiven RC-Tiefpass noch einen zusätzlichen Pufferverstärker zu schalten (Bild 6). Dadurch lassen sich die Designbeschränkungen des Tiefpasses und des Eingangskondensators der ADC-Referenzspannung voneinander entkoppeln.

Stellt man die Eckfrequenz der passiven RC-Tiefpasses deutlich unterhalb der Crossover-Frequenz mit Einheitsverstärkung ein, reduzieren sich nicht nur das breitbandige und das niederfrequente Rauschen, sondern es werden auch Störspitzen vermieden. Bild 7 zeigt beispielhaft das Rauschverhalten des LTC6655 mit C1 = 100 µF (ESR = 0 Ω), gefolgt von einem passiven Tiefpass mit R = 10 kΩ und C2 = 10 µF (ESR = 0 Ω), wodurch eine Polstelle bei 1,59 Hz entsteht.

Durch Erhöhen des Widerstands R des Tiefpassfilters lässt sich zwar die Eckfrequenz senken, aber auch die Genauigkeit der Präzisions-Spannungsreferenz kann sich verschlechtern. Fügt der Anwender einen passiven RC-Tiefpass hinzu, muss er

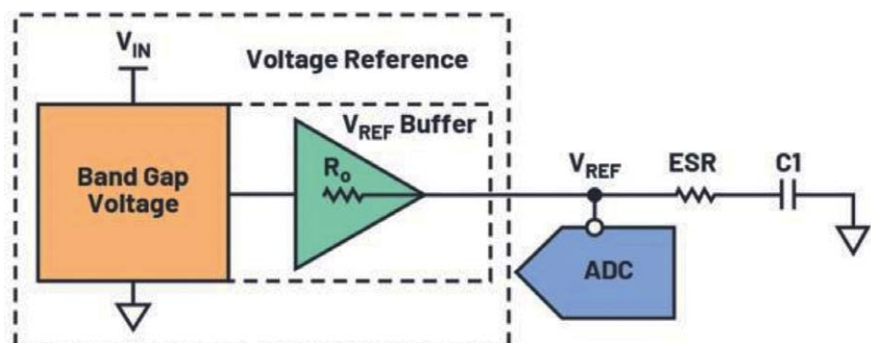


Bild 3: Tiefpassfilter zwischen Spannungsreferenz und ADC.

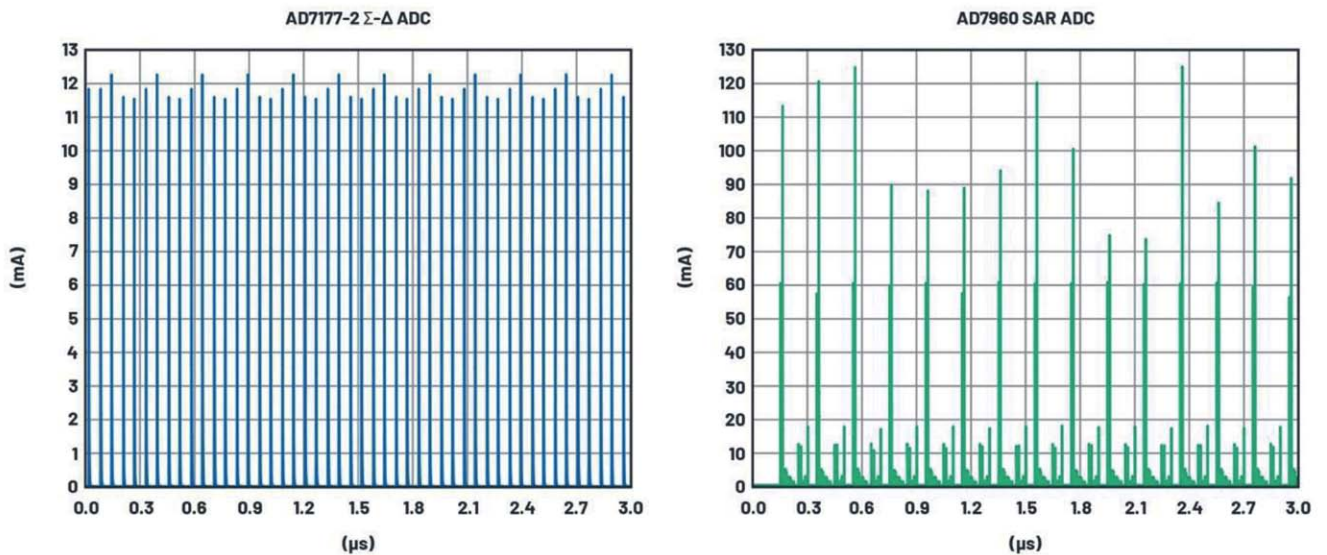


Bild 4: Dynamische Referenzströme (simuliert) des AD7177-2 und AD7980.

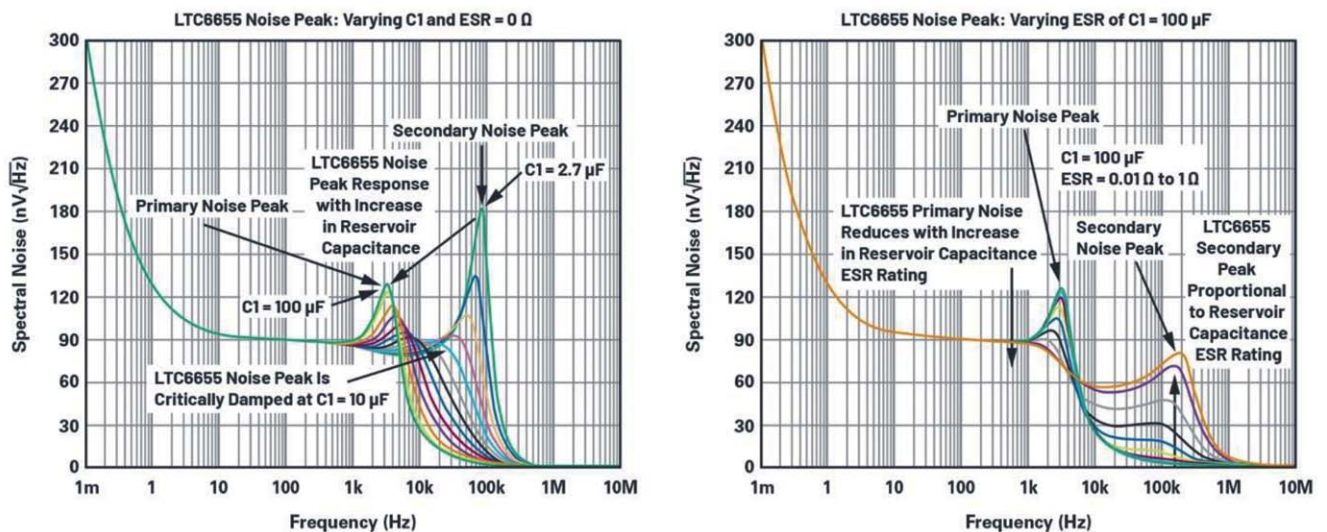


Bild 5: Referenzspannungsrauschen des LTC6655 mit Spitzenwert der Rauschdichte.

auch die Folgen für die Lastausregelung und das VREF-Pufferverhalten ($\tau = R \cdot C$)

bedenken, denn dies wirkt sich auf das Einschwingverhalten des ADCs bei der Ansteuerung aus.

Um die erforderliche transiente Leistungsfähigkeit zu erreichen, empfiehlt es sich, einen Puffer zu verwenden (Bild 6). Zu den wichtigsten Anforderungen, die bei dessen Auswahl zu berücksichtigen sind, gehören ein extrem niedriges Rauschen, die Fähigkeit, hohe kapazitive Lasten zu unterstützen, niedrige Verzerrungen, eine ausgezeichnete Anstiegsgeschwindigkeit (Slew Rate) und eine große Verstärkungsbandbreite. Empfehlungen für Referenzpuffer sind die ADA4805-1 und ADA4807-1.

■ Rauschunterdrückung mit aktivem Tiefpass

Tabelle 1 nennt den erforderlichen Dynamikbereich und das maximal zulässige Systemrauschen, die eingehalten werden müssen, um eine gewünschte ENOB des ADCs zu erreichen. Abhängig von dessen Bandbreite erreicht ein einpoliger Tief-

passfilter mit einer Dämpfung von 20 dB pro Dekade möglicherweise nicht die gewünschte breitbandige Rauschunterdrückung. Kaskadierte passive Tiefpassfilter erzeugen eine Kettenstruktur, die einen Filter höherer Ordnung erzeugen kann, wobei jedoch die Eingangsimpedanz jedes Abschnitts den vorangehenden Filter belastet. Dies kann die DC-Genauigkeit der

| $C_{NR} / \mu F$ | $f_{co} / Hz @ 2,500 V$ | $f_c / Hz @ 4,096 V$ | $f_c / Hz @ 5,000 V$ |
|------------------|-------------------------|----------------------|----------------------|
| 0,1 | 5305 | 4233 | 3969 |
| 1,0 | 531 | 423 | 397 |
| 10 | 53 | 42,3 | 39,7 |
| 100 | 5,3 | 4,2 | 4,0 |

Tabelle 2: Eckfrequenz f_c für verschiedene Werte des an den NR-Pin angeschlossenen Kondensators C_{NR} (Bild 10).

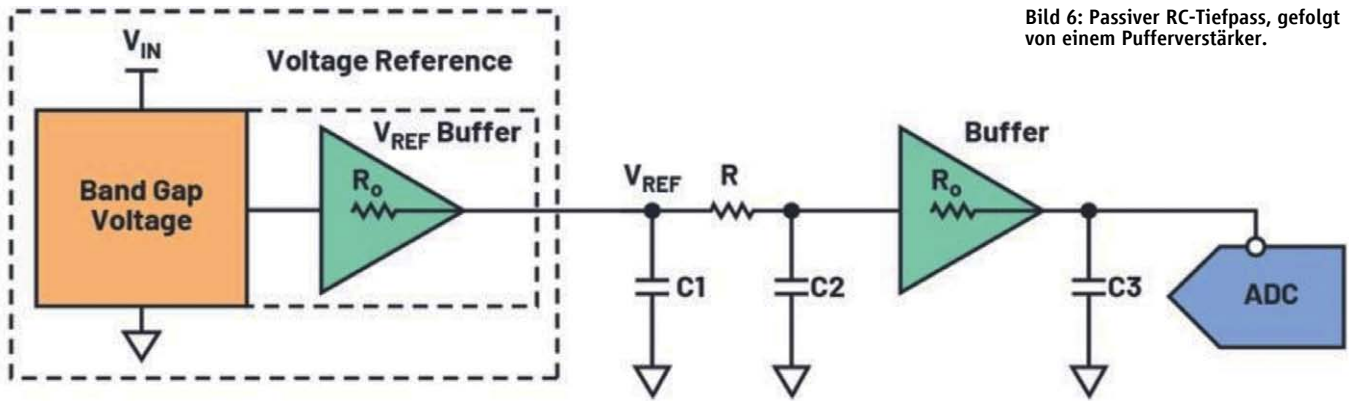


Bild 6: Passiver RC-Tiefpass, gefolgt von einem Pufferverstärker.

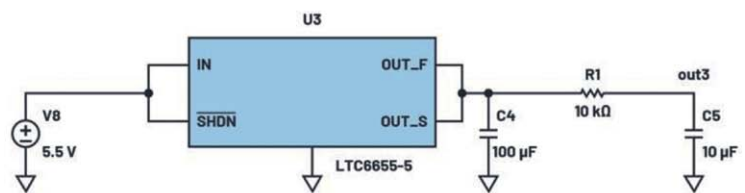
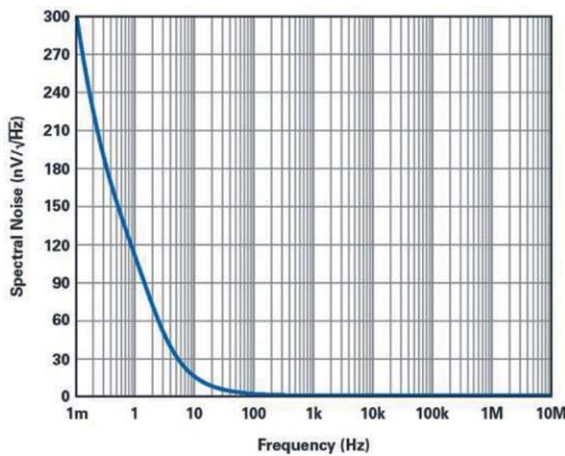


Bild 7: Spektrale Rauschverteilung bei einem LTC6655-5 mit nachfolgendem passivem RC-Tiefpass.

Präzisions-Spannungsreferenz verschlechtern. Ein Tiefpass höherer Ordnung, der auf aktiven Komponenten basiert, isoliert jedoch den Eingang vom Ausgang, minimiert die Beeinträchtigung der DC-Genauigkeit der Spannungsreferenz und bietet eine niedrige Ausgangsimpedanz, um die Referenzschaltung des ADCs anzusteuern.

Es gibt mehrere verschiedene Arten von aktiven Tiefpassfiltern, z. B. Bessel-, Butterworth-, Tschebyscheff- und elliptische Filter (Bild 8). Ein flacher Bandpass ohne Welligkeit beeinträchtigt die DC-Genauigkeit der Präzisions-Spannungsreferenz nur minimal. Von allen Filtertypen kann ein Tiefpass auf der Grundlage der Butterworth-Topologie einen flachen Bandpass und eine hohe Dämpfung erreichen.

Ein Signalflussgraph (SFG) stellt ein System grafisch dar, das aus einem Satz linearer Gleichungen abgeleitet ist. Ein SFG fungiert als Brücke von einer Übertragungsfunktion zu einer entsprechenden Schaltungstopologie eines Systems [2]. Diese Theorie lässt sich auf den Entwurf analoger Filter, die auf aktiven Schaltungen basieren, anwenden.

Der Hauptvorteil eines Filterentwurfs mit einem Signalflussgraph besteht darin, dass sich Dämpfungsfaktor, Güte

und Grenzfrequenz individuell steuern lassen. Ein solcher Tiefpass kann dazu beitragen, Rauschen zu dämpfen und das Signal-Rausch-Verhältnis zu verbessern. Allerdings steigen dadurch die Bauteilkosten, die Leiterplattenfläche und die

Leistungsaufnahme. Außerdem kann ein solcher Tiefpass die Ausgangsspannung der Referenz durch die Temperatur beeinflussen. Dies führt zu einem kleinen Fehler im ppm-Bereich und verringert somit die Genauigkeit der Gleichspannung. Bild 9

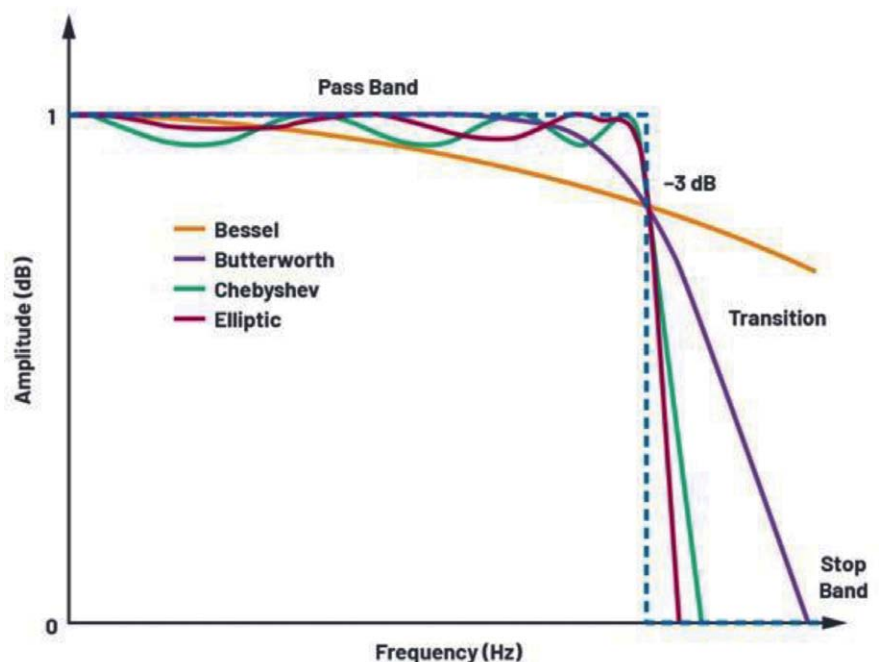


Bild 8: Amplitudengänge verschiedener aktiver Tiefpässe.

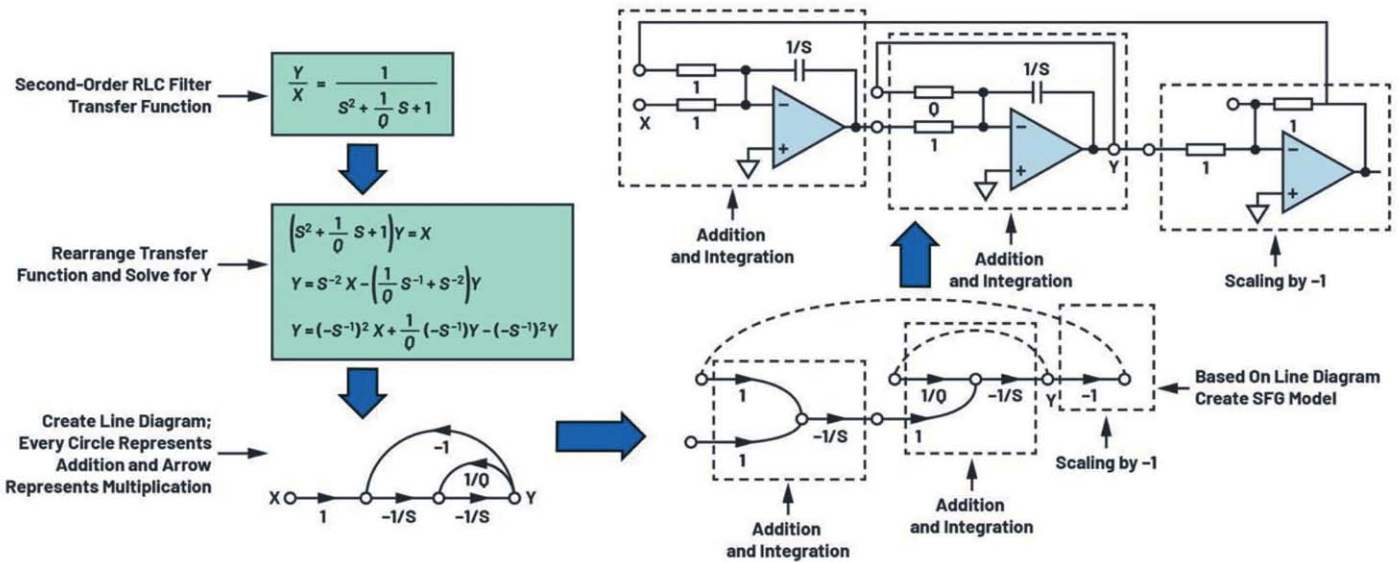


Bild 9: Implementierung eines aktiven RC-Tiefpasses basierend auf der Signalflussgraph-Methode.

| Spannungsoption | 2,500 V | 4,096 V | 5,000 V |
|-----------------|---------|---------|---------|
| R3 ± 15 % | 300 Ω | 376 Ω | 401 Ω |

Tabelle 3: Wert des Widerstandes R3 (Bild 10) für die drei Spannungsoptione.

| LTC6655 | LTC6655LN passivem Tiefpass | LTC6655 mit aktivem Tiefpass | Eingangsrauschen am ADC |
|---------|-----------------------------|------------------------------|-------------------------|
| 96 | 32 | 2,4 | 6,7 |

Tabelle 4: Spektrale Rauschdichte bei 1 kHz in nV/√Hz.

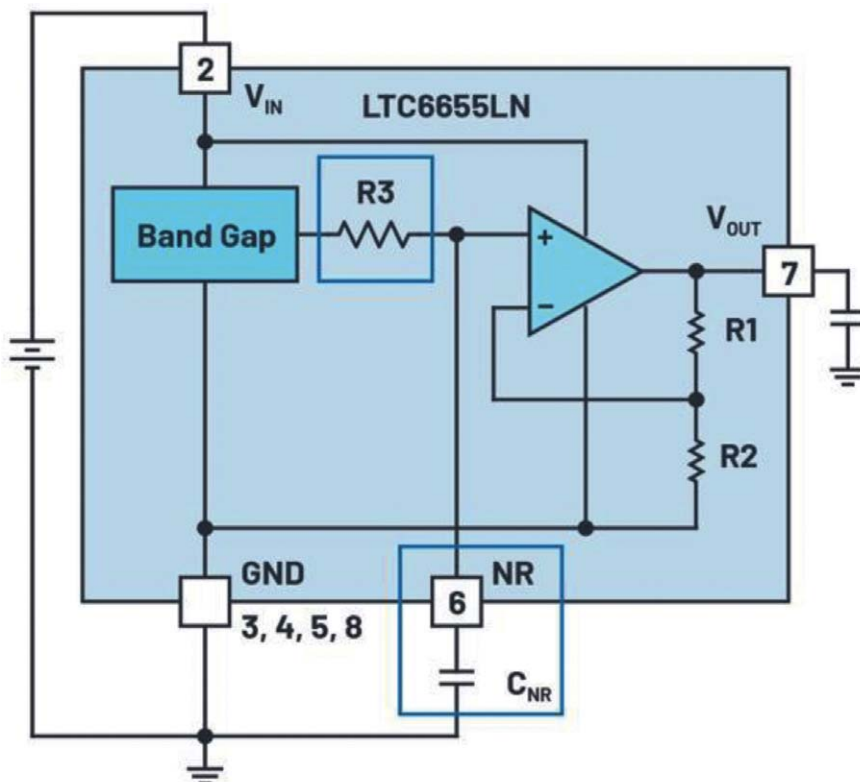


Bild 10: Blockschaltbild des LTC6655LN.

zeigt ein Beispiel für einen Tiefpassfilter zweiter Ordnung, der mithilfe der SFG-Methode von der Übertragungsfunktion zu Schaltungsblöcken übergeht. Der Skalierungswiderstand R und der Kondensator C werden für die Eckfrequenz konfiguriert:

$$R = R_s \cdot R_n$$

$$C = C_n / (W_s \cdot R)$$

wobei sowohl R_s als auch C_n Skalierungsfaktoren sind, W_s die Eckfrequenz in Radiant pro Sekunde. Weitere Einzelheiten über die Theorie der Signalflussgraphen finden sich in [2].

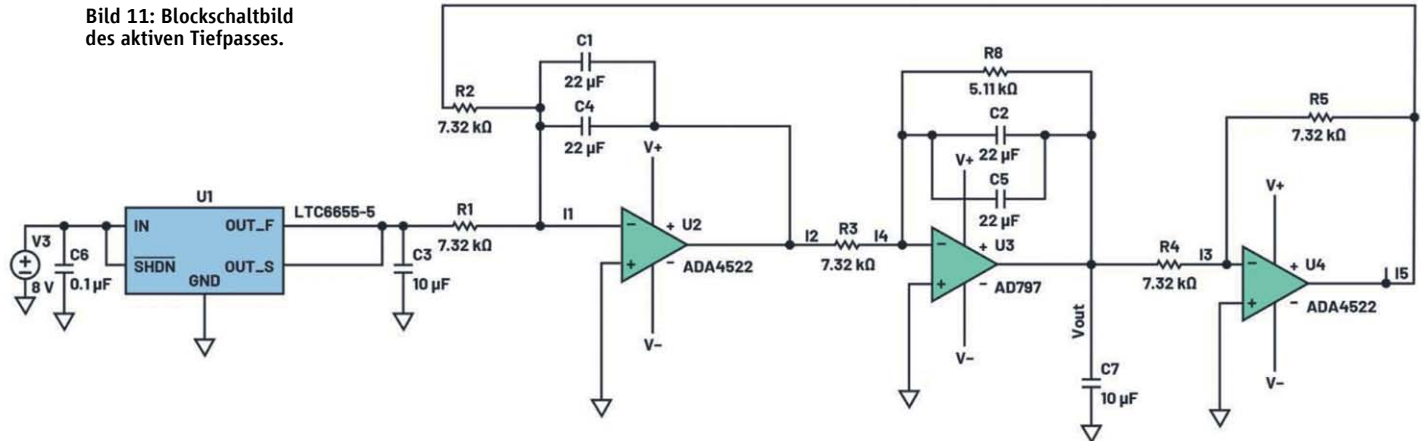
Es folgt ein Berechnungsbeispiel für den Entwurf eines Butterworth-Tiefpasses zweiter Ordnung mit einer Eckfrequenz von 0,5 Hz Grenzfrequenz mit der SFG-Methode: Der Widerstand R sei 10 kΩ, der Kondensator C sei 39 pF und die Diode sei vom Typ 1N4001. Zur Vereinfachung dieses Beispiels seien $R_s = 1 \Omega$ und $C_n = 1 F$. Die Eckfrequenz f_s sei 0,5 Hz, um eine maximale Unterdrückung des Breitbandrauschens zu erreichen, weswegen $W_s = 2\pi \cdot 0,5 \text{ Hz} = 3,141 \text{ rad}$ sei. Der Dämpfungsfaktor Q soll auf 0,71 eingestellt sein. Mit diesem Wert lassen sich ein flacher Bandpass und eine hohe Dämpfung erzielen, um die Butterworth-Topologie widerzuspiegeln. Die Werte für R, C und R_q wurden in einem iterativen Prozess gewählt, um ein geringes thermisches Rauschen zu erreichen und die Verfügbarkeit von Bauelementen für die Oberflächmontage zu gewährleisten:

$$R = 7,32 \text{ k}\Omega$$

$$C = C_n / (W_s \cdot R) = 44 \mu\text{F}$$

$$R_q = R \cdot Q = 5,2 \text{ k}\Omega$$

Bild 11: Blockschaltbild des aktiven Tiefpasses.



Vorstellung des LTC6655LN

Angesichts der Kompromisse zwischen dem passiven RC-Tiefpass und dem aktiven Tiefpass empfiehlt es sich, ein solches Filter vor dem integrierten rauscharmen Puffer der Spannungsreferenz zu platzieren (Bild 10). Dadurch reduziert sich nicht nur die Grundfläche auf der Leiterplatte, auch die Reaktion des Spannungsreferenzpuffers wird nicht behindert. Mithilfe eines Spannungsreferenzpuffers mit schnellem Einschwingverhalten, hoher Eingangsimpedanz und der Fähigkeit, Strom aufzunehmen und abzugeben, lässt sich eine schlechte Lastausregelung kompensieren, die Gleichstromgenauigkeit aufrechterhalten und das Transientenverhalten verbessern. Der LTC6655LN nutzt die Vorteile dieser Architektur. Er besitzt einen Pin zur

Rauscherunterdrückung, um das Breitbandrauschen zu reduzieren, sowie einen integrierten Ausgangspuffer. Auch enthält er einen internen Widerstand $R3$ und kann mithilfe eines externen Kondensators am Rauscherunterdrückungsanschluss NR zu einem Tiefpassfilter kombiniert werden. Bei der Architektur des LTC6655LN kann der Benutzer die Eckfrequenz des Tiefpassfilters entsprechend seinen Systemanforderungen konfigurieren (Tabelle 2).

Der passive RC-Tiefpass im LTC6655LN wird an den nicht invertierenden Pin des Puffers angeschlossen, den empfindlichsten Anschluss dieses Bauelements. Bei der Auswahl eines externen Kondensators ist Vorsicht geboten, denn ein Kriechstrom durch den Widerstand $R3$ muss verhindert werden, um die Gleichstromgenauigkeit nicht zu beeinträchtigen. Außerdem verlaufen die Schwankungen von R und

C nicht synchron zueinander, sodass sich die RC-Zeitkonstante und die Eckfrequenz aufgrund von Prozess-, Spannungs- und Temperaturschwankungen ändern können.

Eine Spannungsreferenz wie der LTC6655LN mit integriertem Tiefpass vereinfacht das Design von Rauschfiltern und eliminiert den externen Puffer, um die Spannungsreferenzschaltung des ADCs zu speisen.

Aufbau der Testschaltung

Um die Leistungsfähigkeit des LTC6655LN einerseits mit passivem RC-Tiefpass und andererseits mit aktivem Tiefpass zu vergleichen, kam der hochpräzise Analog-Digital-Wandler AD7177-2 zum Einsatz. Bei dem AD7177-2 handelt es sich um einen zwei- bzw. vierkanaligen Sigma-Delta-Wandler mit einer Auflösung von 32 Bit für

| Ausgangsdatenrate / SPS | Vollausschlag für den Dynamikbereich des ADCs / dB | Dynamikbereich des ungefilterten LTC6655 / dB | Dynamikbereich des passiv gefilterten LTC6655LN / dB | Dynamikbereich des aktiv gefilterten LTC6655 / dB | Unterschied im Dynamikbereich / dB (passiv gefilterter LTC6655LN zu ungefiltertem LTC6655) | Unterschied im Dynamikbereich / dB (aktiv gefilterter LTC6655 zu ungefiltertem LTC6655) |
|-------------------------|--|---|--|---|--|---|
| 10.000 | 135,40 | 126,88 | 132,22 | 134,65 | 5,33 | 7,77 |
| 5000 | 138,41 | 129,14 | 135,08 | 137,37 | 5,94 | 8,23 |
| 2500 | 140,82 | 132,91 | 137,23 | 139,86 | 4,32 | 6,95 |
| 1000 | 144,43 | 136,50 | 140,11 | 142,42 | 3,61 | 5,92 |
| 500 | 148,65 | 137,55 | 141,95 | 144,37 | 4,40 | 6,83 |
| 200 | 152,86 | 139,83 | 144,15 | 147,40 | 4,32 | 7,57 |
| 100 | 156,47 | 143,32 | 145,82 | 150,49 | 2,49 | 7,17 |
| 59,96 | 157,08 | 143,66 | 147,31 | 151,71 | 3,65 | 8,05 |
| 49,96 | 159,48 | 146,58 | 148,43 | 151,72 | 1,85 | 5,14 |
| 20 | 162,49 | 149,51 | 149,56 | 152,26 | 0,06 | 2,76 |
| 10 | 163,70 | 149,58 | 149,72 | 152,26 | 0,14 | 2,68 |
| 5 | 165,50 | 150,07 | 150,25 | 152,26 | 0,18 | 2,19 |

Tabelle 5: Übersicht und Vergleich der verschiedenen Dynamikbereiche.

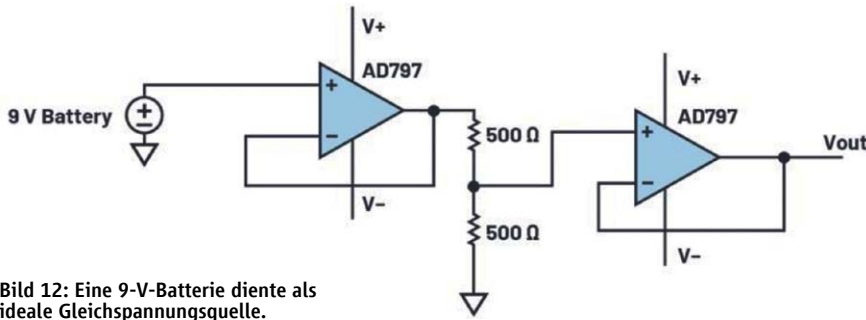


Bild 12: Eine 9-V-Batterie diente als ideale Gleichspannungsquelle.

Eingangssignale mit geringer Bandbreite. In den Baustein ist ein programmierbarer digitaler Tiefpassfilter integriert, bei dem die Anwender die Ausgangsdatenrate (Output Data Rate, ODR) von 5 SPS (Sample pro Sekunde) bis 10 kSPS einstellen können.

Die beim Design des aktiven Tiefpasses (Bild 11) verwendeten Komponenten waren zwei Operationsverstärker vom Typ ADA4522-1, ein Operationsverstärker (OPV) vom Typ AD797, SMD-Widerstände mit 25 ppm Genauigkeit, oberflächenmontierbare Vielschicht-Keramik Kondensatoren (MLCCs) und ein Folienkondensator von Wima mit 10 µF. Der ADA4522 ist ein Rail-to-Rail-OPV mit einer breitbandigen Rauschdichte von 5,8 nV/√Hz und einem Flickerrauschen von 177 nV (Spitze zu Spitze). Der AD797 ist ein rauscharmer Operationsverstärker mit einer breitbandigen Rauschdichte von 0,9 nV/√Hz, einem Flickerrauschen von 50 nV (Spitze zu Spitze), einer Anstiegs-

geschwindigkeit von 20 V/µs und einer Verstärkungsbandbreite von 100 MHz, wodurch er sich für die Ansteuerung eines A-D-Wandlers eignet.

Um die Leistungsfähigkeit bei Verwendung des LTC6655LN mit einem AD7177-2 korrekt beurteilen zu können, ist eine Gleichspannungsquelle mit einem Gesamttrauschen erforderlich, das geringer ist als das der ADC-Spannungsreferenz und des ADC-Rauschens. Daher wurde eine ideale Quelle verwendet, nämlich eine 9-V-Batterie (Bild 12).

■ Filter im Vergleich

Bild 13 zeigt die spektrale Rauschdichte, Bild 14 die Ausgangsdatenrate (ODR) im Vergleich zur ENOB, wobei der V_{REF}-Eingang des AD7177-2 zum einen an einen LTC6655LN mit passivem RC-Tiefpass (NR-Kondensator 10 µF) zum anderen an einen aktiv gefilterten LTC6655LN angeschlossen

war. Eine Übersicht über den Vergleich der spektralen Rauschdichte bei 1 kHz enthält Tabelle 4. Sowohl Bild 13 als auch Bild 14 zeigen zwei wichtige Bereiche: Bereich A und Bereich B.

Das Diagramm der spektralen Rauschdichte in Bild 13 zeigt im Bereich A, dass bei einer Ausgangsdatenrate ab 500 SPS und höher sowohl das gefilterte Eingangssourcenrauschen des LTC6655 (SFG Noise; blau) als auch das Rauschen der ADC-Gleichspannungsquelle (DC Source Noise; grün) deutlich geringer sind als das des ADCs (ADC Noise; violett). Daraus ergibt sich die geringste Abweichung von der durch den ADC erreichbaren maximalen Leistungsfähigkeit, wie im Bereich A in Bild 14 dargestellt. Die wichtigste Erkenntnis auf der Grundlage der Ausgangsdatenrate im Verhältnis zur ENOB und der Darstellung der spektralen Rauschdichte ist, dass im Bereich A der Anstieg des gesamten integrierten Rauschens (Effektivwert) verhindert, dass die Signalkette eine Messauflösung von 25 Bit erreicht.

Im Bereich B zeigt der Graph der spektralen Rauschdichte (Bild 13), dass das Flickerrauschen der drei Spannungsreferenz-Optionen und der Gleichstromquelle steigt und das Rauschen der Gleichstromquelle (grüne Linie) das Rauschen des Gesamtsystems dominiert. Dieser Anstieg des Flickerrauschens innerhalb des Bereichs B erklärt den Anstieg der Abweichung der ENOB zwischen der gemessenen Performance und

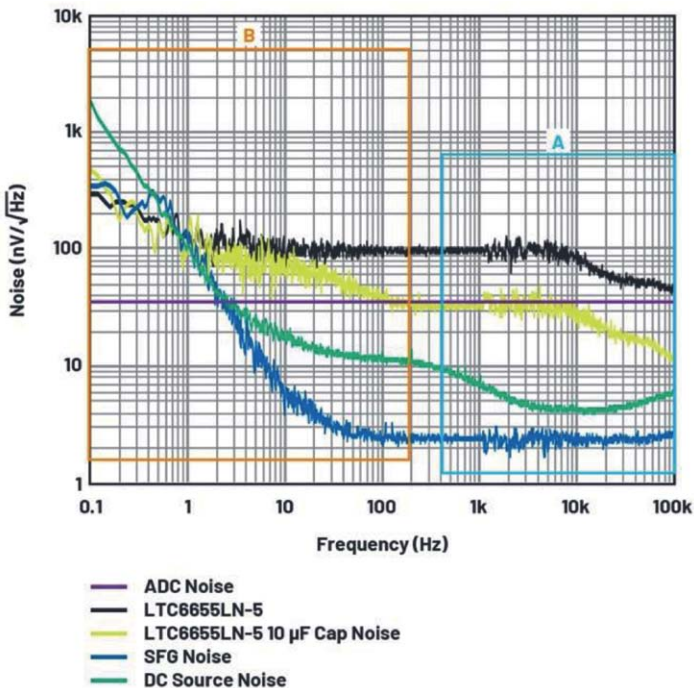


Bild 13: Spektrale Rauschdichte für die verschiedenen Rauschteile des Systems.

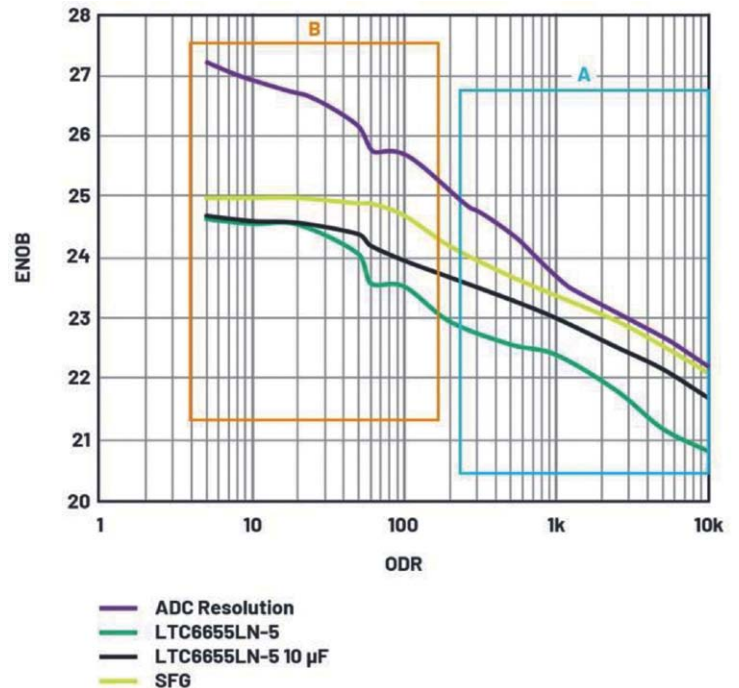


Bild 14: Ausgangsdatenrate (ODR) in Abhängigkeit der effektiven Zahl der Bits (ENOB).

dem durch den ADC erreichbaren Maximum (Bild 14).

Gemäß dem Graphen von Ausgangsdatenrate gegenüber ENOB erreicht der aktiv gefilterte LTC6655 eine Auflösung von 25 Bit bei 20 SPS und darunter, während die Auflösung beim passiv gefilterten LTC6655LN-5 mit einem NR-Kondensator mit 10 µF höchstens 24,6 Bit beträgt.

Tabelle 5 fasst die Leistungsdaten des A-D-Wandlers AD7177-2 zusammen, wobei der V_{REF} -Eingang entweder an einen passiv gefilterten LTC6655LN oder einen aktiv gefilterten LTC6655 angeschlossen ist. Wenn die ADC-Eingänge miteinander verbunden sind und der V_{REF} -Eingang an den LTC6655 angeschlossen ist, ergibt die Vollausschlagsspalte den besten Dynamikbereich, den der AD7177-2 erreichen könnte.

Da die ADC-Eingänge nahezu auf den vollen Skalenbereich eingestellt sind, erhöht sich der Dynamikbereich beim passiv gefilterten LTC6655LN-5 durchschnittlich um 4 dB bei bis zu 59,96 SPS im Vergleich zum ungefilterten LTC6655. Bei einem aktiv gefilterten LTC6655 hingegen erhöht sich der Dynamikbereich im Vergleich zum

ungefilterten Baustein um durchschnittlich 7 dB bei bis zu 59,96 SPS. Die Differenz des Dynamikbereichs variiert unterhalb von 59,96 SPS nur wenig, und die Varianz beruht hauptsächlich auf dem dominierenden niederfrequenten Flickerauschen, das durch die DC-Eingangssquelle des ADCs induziert wird.

Im Vergleich zum passiv gefilterten LTC6655LN verringert sich das Breitbandrauschen bei 1 kHz um 62 %, beim aktiv gefilterten LTC6655 um 97 %.

Fazit

Wenn ein Präzisionssystem eine Auflösung von 25 Bit oder höher erreichen soll, ist es notwendig, das Rauschen der Spannungsreferenz zu berücksichtigen. Wie in Bild 2 dargestellt, ist der Beitrag des V_{REF} -Rauschens zum Systemrauschen proportional zur Ausnutzung des vollen Skalenbereichs des ADCs. Dieser Artikel hat gezeigt, dass ein zusätzliches Filter zu einer Präzisions-Spannungsreferenz das V_{REF} -Rauschen dämpft. Dies wiederum vermindert das gesamte Systemrauschen.

Ein LTC6655 als Spannungsreferenz, gefolgt von einem aktiven Tiefpass, kann das Breitbandrauschen um 97 % gegenüber dem nicht gefilterten LTC6655 reduzieren. Dies ist mit zusätzlichen Kosten für Bauteile, mehr Platinenfläche, höherer Stromaufnahme und einigen ppm niedrigerer Gleichspannungsgenauigkeit verbunden, und der Präzisions-Referenzausgang kann mit der Temperatur variieren.

Unter Berücksichtigung der Kompromisse bei aktiven Tiefpässen zeichnet sich der LTC6655LN durch einfaches Design und niedrige Stromaufnahme aus, benötigt nur einen einzigen Kondensator, um das Breitbandrauschen zu reduzieren, und macht einen externen Puffer zur Ansteuerung eines ADCs überflüssig. Mit einem 10 µF großen NR-Kondensator reduziert der LTC6655LN das Breitbandrauschen im Vergleich zum filterlosen LTC6655 um 62 %. Daher können Anwender nun die Vorteile des integrierten Tiefpassfilters im LTC6655LN nutzen, um Präzisionssysteme mit der gewünschten Auflösung zu realisieren. (rh)

Anzeige

TRACO POWER

Reliable. Available. Now.

www.tracopower.com

Gekapselte AC/DC-Schaltnetzteile

Ultrakompakte Leiterplatten- und Gehäusevarianten



Für den Einsatz in
Industrie und Haushalt

- Vier Leistungsstufen: 5, 10, 25 und 50 Watt
- Betrieb mit 90–305 V AC
- Vorbereitet für Klasse II (keine Sicherheitserdung)
- Interner Filter EN55032 Klasse B
- Zulassung nach IEC/EN/UL 62368-1
- 3 Jahre Produktgarantie



| | TMPW 5 (5 Watt) | TMPW 10 (10 Watt) | TMPW 25 (25 Watt) | TMPW 50 (50 Watt) |
|-----------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| Leiterplattenvariante | 1.46 × 1.08 × 0.69" | 1.46 × 1.08 × 0.79" | 2.07 × 1.08 × 0.93" | 2.92 × 1.85 × 0.91" |
| Gehäusevariante | 2.17 × 1.70 × 0.91" | 2.17 × 1.70 × 0.91" | 3.48 × 1.50 × 0.95" | 3.82 × 1.90 × 1.00" |





Netzteile und ihre Zuverlässigkeit (Teil 2)

Zentrale Eigenschaft einer Stromversorgung ist ihre Zuverlässigkeit. Andernfalls ist jedes elektronische Gerät akut gefährdet. Aber was bedeutet Zuverlässigkeit? Wie kann man sie bestimmen? Was bedeutet das für den Anwender? In diesem zweiten Teil unserer zweiteiligen Serie geht es um die Kennzahlen.

Ron Stull
Power Systems Engineer bei CUI

Netzteile stehen meist nicht im Rampenlicht und erhalten nicht die gleich Aufmerksamkeit wie Prozessoren und Displays, aber für den Betrieb von Geräten und Systemen sie sind genauso wichtig. Eine fehlerbehaftete oder zu schwach ausgelegte Versorgung kann ein System zum Stillstand bringen oder sporadische Fehler verursachen, die das Endprodukt und den Ruf des OEM gefährden.

Aber nicht nur der komplette Ausfall der Stromversorgung gibt Anlass zur Sorge – ein Netzteil, das schlecht konzipiert oder unsachgemäß erstellt ist, kann sich vor-

zeitig verschlechtern und unerklärliche oder falsch diagnostizierte Probleme verursachen. Kurz gesagt: Zuverlässigkeit ist unerlässlich.

Dieser zweiteilige Beitrag behandelt Aspekte rund um die Zuverlässigkeit von Netzteilen und Stromversorgungen, wie sie beurteilt wird und wie sie sich verbessern lässt. Im ersten Teil [1] ging es um die Metriken für Zuverlässigkeit, in diesem zweiten Teil geht es um Belastungen, die die Zuverlässigkeit eines Netzteils beeinflussen, sowie Maßnahmen, wie sich deren Zuverlässigkeit durch das Design verbessern lassen.

Die Lebensdauer eines Netzteils wird durch drei Arten von Belastungen beein-

flusst: thermische, mechanische und elektrische. Ein qualitativ hochwertiges Design nimmt jede dieser Belastungen vorweg und ergreift die erforderlichen Maßnahmen, um deren Auftreten und Auswirkungen zu minimieren.

■ Auswirkungen verschiedener Belastungen

Thermische Belastung ist die herausforderndste und heimtückischste Belastungsart, da sie sich auf so vielen Arten widerspiegelt. Netzteile geben von Natur aus Wärme ab: Eine 1000-W-Versorgung mit einem hohen Wirkungsgrad von 90 Pro-

zent erzeugt immer noch 100 W Wärme. Es ist jedoch nicht nur die eigene Verlustleistung, die dazu führt, dass das Netzteil bei erhöhten Temperaturen arbeiten muss. Der größte Teil der Energie, den das Netzteil ja an die Elektronik liefert, endet schließlich auch als Verlustwärme innerhalb des Gehäuses. Einige Netzteile können auch außerhalb ihres Gehäuses zum Antrieb von Lasten wie Motoren verwendet werden. All diese Faktoren tragen zur thermischen Gesamtlast und zum Wärmeanstieg des Produkts bei.

Thermische Belastung tritt in zwei Formen auf: statisch und dynamisch. Eine statische thermische Belastung bedeutet einen Betrieb bei konstant erhöhten Temperaturen, wodurch Bauteile und ihre Grundmaterialien verschlechtert beziehungsweise geschädigt werden. Großvolumige Kondensatoren können austrocknen oder ihre Dichtungen werden überbeansprucht, und sogar Widerstandsbeschichtungen können sich verschlechtern und brechen. Verbindungsstellen und Steckbereiche können sich ausdehnen und Fehlanpassungen aufweisen.

Dynamische thermische Belastungen sind mit den Aufheiz- und Abkühlzyklen verbunden, die auftreten, wenn die Versorgung von niedriger auf hohe Last wechselt und umgekehrt oder ein- und ausgeschaltet wird. Bei jedem Mal dehnen sich die Strukturen und Verbindungen aus und ziehen sich zusammen, sodass schließlich Mikrorisse aufgrund unterschiedlicher Wärmeausdehnungskoeffizienten zwischen den Materialien entstehen (Bild 1). Solche wiederholten Zyklen können zu Brüchen und Ausfällen führen und beeinflussen sich gegenseitig, sodass es schwierig ist, die schlechtere Produktzuverlässigkeit abzuschätzen, die sie tatsächlich verursachen.

Bei mechanischer Beanspruchung hängt der Schweregrad davon ab, wie und wo das Netzteil montiert und verwendet wird. Diese Belastung kann zeitliche intermittierende als auch Totalausfälle verursachen, da sich Risse bilden, Schaltkreise öffnen und in einigen Fällen auch wieder verbinden. Möglicherweise ist das Netzteil bei normalem Gebrauch Vibrationen ausgesetzt oder die Leiterplatte, Anschlüsse oder Verkabelung verbiegen sich unerwartet. Mechanische Belastungen können auch durch einen unsachgemäßen Herstellungsprozess verursacht werden, zum Beispiel durch ein zu fest angezogenes Befestigungselement.

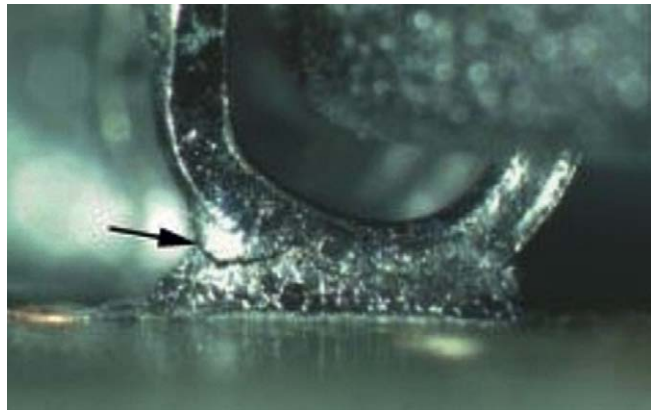


Bild 1: Aufgrund der dynamischen Beanspruchung von Bauteilen in Stromversorgungen können Mikrorisse entstehen.

Elektrische Belastung tritt auf, wenn ein Bauteil über seinen Nennwert hinaus betrieben wird – entweder durch schlechte Auswahl oder durch einmalige Ereignisse. So kann ein Kondensator für 100 V ausgelegt sein, erfährt aber während des Betriebs eine Spannungsspitze mit 150 V. Oder ein Widerstand wird spezifiziert, der bis zu 1 A Strom handhaben soll und einem bestimmten maximalen absoluten Spitzenleistungspegel entspricht. Im Betrieb erfährt er jedoch einen Impuls mit höherem Strom aufgrund von Transienten oder eines externen ESD-Ereignisses. Das Ergebnis ist in vielen Fällen vorzeitiges Altern und ein frühzeitiger Ausfall.

■ Zuverlässigkeit per Design

Das Design auf dem Papier und die Topologie sollten robust und bedacht sein

sowie die Auswirkungen der Last, Transienten und Störungen berücksichtigen. Die erforderlichen Minimal- und Maximalwerte der Bauteilparameter sind sorgfältig zu bestimmen, um einen zuverlässigen Betrieb zu gewährleisten, denn ein »typischer« Wert ist nahezu bedeutungslos. Augenmerk sollten Entwickler auch auf die Werte für kritische Parameter der zweiten und dritten Ebene legen, beispielsweise weniger bekannte Faktoren der magnetischen Bauteile, wie den Temperaturkoeffizienten einiger Parameter. Um das Design zu verifizieren, ist SPICE, ein Simulationsprogramm mit Schwerpunkt auf integrierte Schaltkreise, oder eine ähnliche Modellierung unerlässlich. Dabei sollten realistische, nicht vereinfachte Modelle der Bauelemente, der Leiterplatte und der Leiterbahnen zum Einsatz kommen, um die statische als auch die transiente

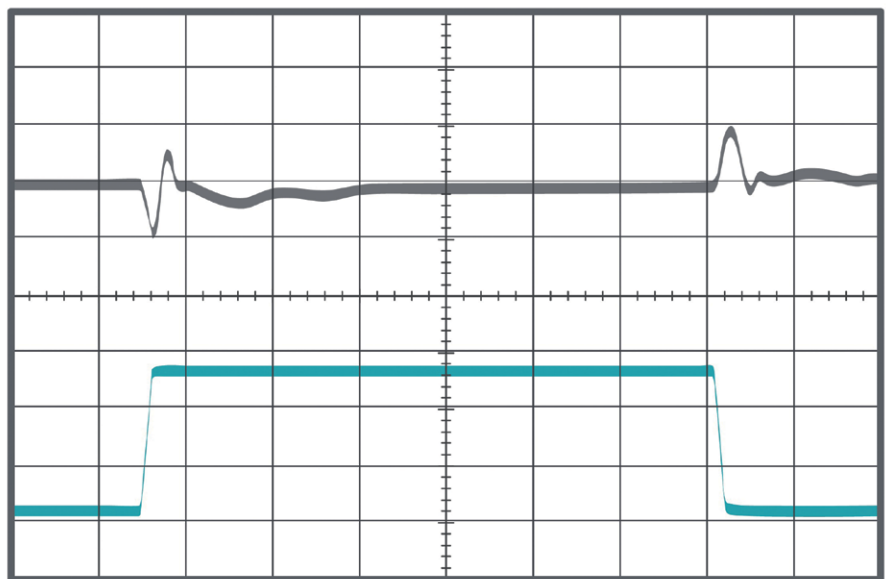


Bild 2: Bei einem Lastsprung beispielsweise von 12,5 A auf 37,5 A und wieder zurück (blaue Kurve) ist zu sehen, dass die Spannung (schwarze Linie) einbricht und überschwingt. Damit dies in akzeptablen Grenzen bleibt, Leiter, stromführende Pfade und Massepfade ausreichend niederinduktiv ausgelegt sein.

Leistungsfähigkeit zu überprüfen. Danach wählt man die Bauteile mit konservativer Ausrichtung, wobei sowohl für viele ihrer spezifizierten Werte ein zusätzlicher Spielraum vorhanden sein muss, damit das System auch einwandfrei arbeitet, wenn sich bestimmte Bauteilparameter mit der Zeit verändern. Beispielsweise entweicht Elektrolyt aus Elektrolytkondensatoren, sodass ihre Kapazität über die Zeit sinkt.

Schließlich muss das Layout die Tatsache berücksichtigen, dass die meisten Netzteile erhebliche Ströme in der Größenordnung von einigen zehn Ampere oder noch mehr handhaben müssen. Das bedeutet, dass Leiterbahnen möglichst kurz sein sollten, um den Spannungsabfall zu minimieren. Möglicherweise ist eine extra dicke Kupferummantelung erforderlich, und auch Stromschienen sind von Vorteil. Die Leiterplatte muss groß genug, um die Bauteile unterzubringen und die Ströme handhaben zu können, und die Durchgangslöcher (Vias) müssen ausreichend groß und beschichtet sein. Keiner dieser Faktoren taucht jedoch im Schaltplan auf.

Um die Auswirkungen von Transienten zu minimieren, ist auch die Streuinduktivität der Leiterbahnen von entscheidender Bedeutung: Eine 5 cm lange Leiterbahn mit geradem Verlauf hat zwar den gleichen Gleichstromwiderstand wie eine gleich lange, jedoch gewundene Leiterbahn, weist aber eine viel höhere Streuinduktivität auf.

Dies kann sich je nach Betriebsfrequenz des Netzteils auf die Stabilität des Regelkreises und das Transientenverhalten auswirken. Das Design muss also jedes Mal, wenn hohe Ströme und schnelle Laständerungen auftreten, robust in Sachen Layout und Leiterbahnen sein, sowohl hinsichtlich der stromführenden Pfade als auch der Massepfade (Bild 2).

Auch die thermische Analyse des Designs und seine Umsetzung ist entscheidend. Diese muss die Vorhersagen über den erwarteten gesamten Temperaturanstieg sowie lokale Hotspots validieren. Denn große Bauteile können den Kühlluftstrom behindern, sodass dieser daneben liegende kleinere, wärmere Bauelemente nicht erreicht.

Die Schaltungskomplexität ist ein Indikator für mögliche Unzuverlässigkeit. Jedes zusätzliche Bauteil in einer Schaltung erhöht die Anzahl der Komponenten und fügt somit etwas hinzu, das ausfallen kann. Es gibt jedoch ein Argument das dieser Regel widerspricht: Ein fehlendes Bauteil kann dasjenige sein, das dazu beiträgt, zuverlässige langfristige Leistungsfähigkeit sicherzustellen.

■ Auswahl der Bauteile und Fertigung

Nach dem Design ist der nächste wichtige Schritt die Auswahl spezifischer Bauelemente und Anbieter. Diese Bauelemente

müssen nicht nur die vom Entwickler angegebenen Spezifikationen erfüllen, sondern auch zum Fertigungsprozess kompatibel sein. Dies kann Montagelaschen, ausreichend große Verbindungspunkte, schwere Drahtleitungen sowie gegebenenfalls Schraubklemmen mit einschließen.

Magnetische Komponenten (Transformatoren und Induktivitäten) sind zwar vom Konzept her einfach, erfordern jedoch besondere Aufmerksamkeit. Sind sie nicht richtig konzipiert oder aufgebaut oder sind ihre Kernhälften nicht richtig verklebt, können sie hörbar zu schwingen beginnen. Dies ist nicht nur für Nutzer irritierend, sondern kann auch zu ermüdungsbedingten Ausfällen und Brüchen führen, wobei Bauelemente von der Platine fallen können.

Glaubwürdigkeit und Konformität des Anbieters sind entscheidend. Der Grund dafür ist, dass es zunächst schwierig ist, ein korrekt und konsistent gefertigtes Bauteil – beispielsweise einen Kondensator – von einem schlecht gefertigten Bauteil zu unterscheiden. Daher ist es wichtig, mit einem kompetenten Lieferanten zusammenzuarbeiten. Dadurch lässt sich sicherstellen, dass die Materialbeschaffung und Lieferkette, der Herstellungsprozess und die Qualifizierung/Verifizierung ordnungsgemäß dokumentiert und eingehalten werden.

Es gibt auch allgemeine Bauteilfaktoren: Einige Bauteilklassen sind naturgemäß fehleranfälliger als andere. So sind Festwiderstände zuverlässiger als variable Widerstände (Potentiometer) und Filmkondensatoren sind zuverlässiger als Elektrolytkondensatoren.

Selbst wenn das Design solide ist und die Bauteile auf der Stückliste von glaubwürdigen Lieferanten bereitgestellt wird, müssen das Design und die Bauteile so gestaltet sein, dass sie montiert werden können. Bei Bedarf müssen dann Halterungen und Stützen verwendet werden, da viele Bauelemente in Stromversorgungen im Gegensatz zu ICs relativ groß und schwer sind.

Sogar die grundlegenden Lötverfahren beim Aufbau von Netzteilen sind zu berücksichtigen. Die gängigen Reflow-Löttemperaturprofile sind gut etabliert für traditionelle bleihaltige Lote. Die Vorschriften für bleifreie Bauelemente und Lötmitel erfordern jedoch ein etwas anderes Reflow-Lötprofil. So muss die Spitztemperatur höher sein, um den richtigen Lötfluss, eine Dochtwirkung und eine zuverlässige

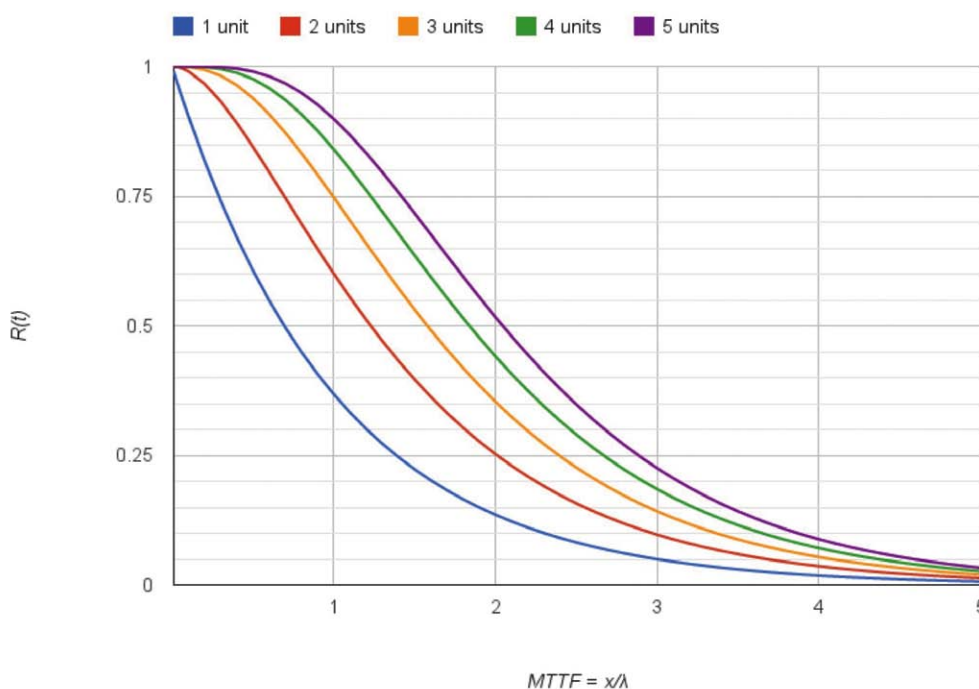


Bild 3: Bei einer N+1-Redundanz sinkt die Wahrscheinlichkeit eines Systemausfalls.

Verbindung zu gewährleisten. Daher müssen alle verwendeten Bauelemente auch qualifiziert sein, um nach dieser höheren Reflow-Temperatur und Einwirk-/Lötzeit die Spezifikationen zu erfüllen.

■ Zuverlässigkeit weiter steigern

Neben einem umsichtigen elektrischen Design kann der Zulieferer viele Maßnahmen ergreifen, um die Gesamtzuverlässigkeit zu erhöhen. Darunter fallen verbesserte Bauteile, Redundanz und Derating.

Bauteile, die von Natur aus zuverlässiger sind – aufgrund der Physik, ihres Designs, ihrer Materialien oder ihres Herstellungs- und Testprozesses – können das Gesamtrisiko erheblich reduzieren, erhöhen jedoch die Gesamtkosten. Bei Stromversorgungen sind die Kondensatoren der häufigste Fehlerpunkt. Daher hat die Verwendung von Kondensatoren mit längerer Lebensdauer den größten Effekt.

Bei der Basisredundanz werden nur N identische Stromversorgungen für die Last benötigt, aber $N+1$ werden parallel verwendet, wobei N so niedrig wie eins sein kann, aber meist eine Zahl zwischen zwei und sechs ist. Fällt eine der N Einheiten aus, können die verbleibenden Einheiten den erforderlichen Ausgangsstrom liefern. Dieser Ansatz funktioniert deshalb, weil die Wahrscheinlichkeit, dass mehr als eine Einheit ausfällt, recht gering ist. Beträgt zum Beispiel die Ausfallwahrscheinlichkeit bei einer einzelnen Stromversorgung zum Beispiel 1 %, dann sinkt diese bei zwei parallelgeschalteten Stromversorgungen auf 100 ppm ($1\% \times 1\%$; Bild 3). Natürlich bringt die $N+1$ -Redundanz auch höhere Vorlaufkosten und häufig die Notwendigkeit einer Hot-Swap-Fähigkeit mit sich, um die ausgefallene Versorgung zu ersetzen.

Bauelemente zu verwenden, die weit unter ihren Nennspezifikationen liegt, ist eine einfache Methode, um die Zuverlässigkeit zu steigern. Diese Methode ist als Derating bekannt. Betreibt man beispielsweise ein Bauteil, das für einen zuverlässigen Betrieb bei $+85\text{ °C}$ ausgelegt ist, nur bei $+55\text{ °C}$, dann steigt die Zuverlässigkeit. Als Faustregel gilt, dass sich die Lebensdauer eines Bauteils bei jedem Temperaturabfall um 10 K verdoppelt. Diese Beziehung zwischen Temperatur und Lebensdauer basiert auf dem theoretischen Rahmen der Arrhenius-Gleichung, die Temperatur und Alterungsbeschleunigung in Beziehung setzt, als auch auf einer

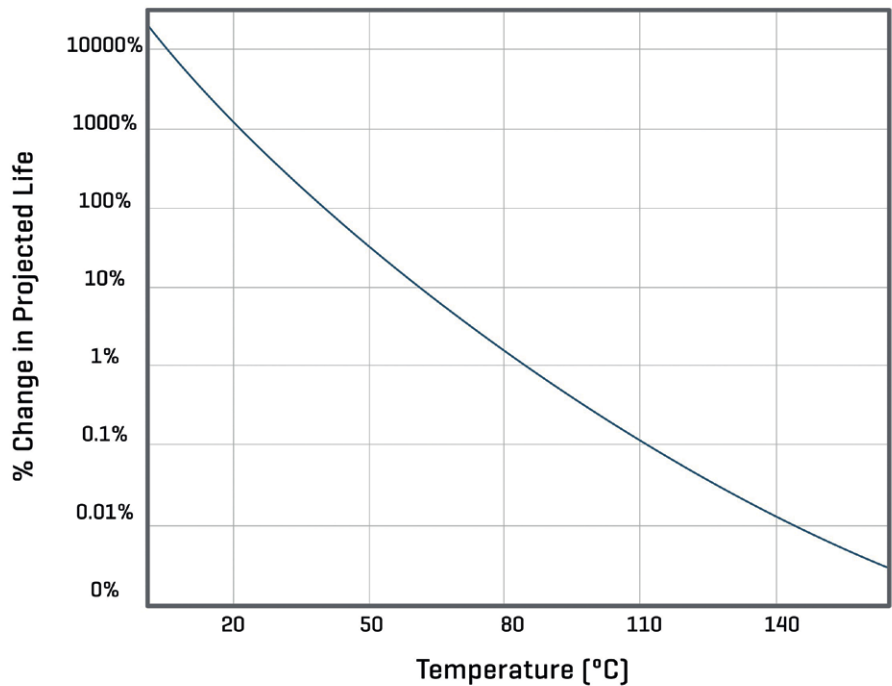


Bild 4: Einfluss der Temperatur auf die projizierte Lebensdauer eines Bauelements. Die Darstellung basiert auf einem Bauteil, das für $+85\text{ °C}$ und eine Aktivierungsenergie (E_a) von 1,0 ausgelegt ist.

erheblichen Menge von Testdaten aus der Branche.

■ Teststrategie und Wärmemanagement

Gemäß der Ausfallwahrscheinlichkeit ist ein Ausfall in der frühen Phase der Lebensdauer eines Bauteils wahrscheinlicher als während seiner Nutzungsdauer [1]. Durch Burn-in-Tests werden Bauteile ausgesondert, die schon früh im Feld ausgefallen wären und daher die Gesamtzuverlässigkeit herabgesetzt hätten.

Zu beachten ist, dass sich Burn-in-Tests zum Ausmerzen früher Fehler von Tests über eine längere Lebensdauer unterscheiden. Burn-in identifiziert frühe Bauteilausfälle, was besonders hilfreich ist, um ein frühzeitiges Versagen im Feld zu vermeiden. Lebensdauertests durch verlängerte Nutzung des Netzteils sollen die Zuverlässigkeitszahlen bestätigen, sind jedoch kein Ersatz für eine gründliche Designanalyse und Fertigung.

Lebensdauertests sind Teil des langfristigen Produktinspektionsprozesses und können nützliches Feedback zum Design- und Fertigungsprozess geben. Für ein gut konzipiertes und gebautes Netzteil ist die Anzahl der langfristigen Ausfälle relativ gering, und es ist schwierig, aus diesen kleinen Zahlenreihen zu extrapolieren. Kleine Änderungen der zugrunde liegen-

den Annahmen können zu großen Unterschieden im Ergebnis der numerischen Analyse führen.

Wie oben unter dem Stichwort Derating angedeutet, wirkt sich die Arbeitstemperatur erheblich auf die Zuverlässigkeit aus (Bild 4). Dieser Effekt basiert auf der Arrhenius-Gleichung, mit der die Beschleunigung der temperaturabhängigen physikalischen Prozesse modelliert wird, die zum Verschleiß führen. Aus der Arrhenius-Gleichung lässt sich schlussfolgern, dass der beste Weg, um die Zuverlässigkeit zu erhöhen, darin besteht, die Höhe des Temperaturanstieg und die Zahl der Temperaturzyklen zu minimieren. Dies erfordert jedoch ein sorgfältig geplantes Wärmemanagement der Kühlung über einen oder mehrere Kühlarten: Konvektion, Leitung und Strahlung.

Da es davon abhängt, wie der Kunde das Netzteil montiert, sind das Gehäuse, zusätzliche Bauteile im Gehäuse, die Umgebungsbedingungen, Verwendung oder Nichtverwendung aktiver Kühlung wie Lüfter und andere Faktoren, häufig außerhalb der direkten Kontrolle des OEM. (rh)

REFERENZEN

- [1] Ron Stull, Netzteile und ihre Zuverlässigkeit (Teil 1), DESIGN&ELEKTRONIK 10/2020 S. 45ff., <https://tinyurl.com/y37e85jg>



Quelle: Andreas160578 / Pixabay

Jenseits von Lithium

Auch wenn wiederaufladbare Lithium-Ionen-Batterien hervorragend sind, bemühen sich Forscher weltweit, andere Zellchemien zu entwickeln und marktreif zu machen. Im Folgenden ein Überblick über Forschungsarbeiten der letzten Monate jenseits von Lithium – meist auf Basis von Kochsalz.

Ralf Higgelke

Viele heute verwendete Batterien belasten die Umwelt erheblich, nicht zuletzt durch den Abbau der darin verwendeten Metalle. »Deshalb haben wir im Rahmen unserer Forschung eine Batterie entwickelt, die aus häufig in der Natur vorkommenden Elementen aufgebaut ist und die zur Herstellung organischer Batteriematerialien verwendet werden können«, erklärt Christian Strietzel von der Fakultät für Materialwissenschaften und Ingenieurwesen der Universität Uppsala.

Aus diesem Grund wählte das Forscherteam Chinone als Aktivmaterial für ihre Protonen-Batterie [1]. Diese organischen Kohlenstoffverbindungen kommen

in der Natur reichlich vor, zum Beispiel bei der Photosynthese. Die Eigenschaft der Chinone, die sich die Forscher zunutze gemacht haben, ist ihre Fähigkeit, beim Laden und Entladen der Batterie Wasserstoff-Ionen – sprich Protonen – zu absorbieren und wieder abzugeben. Als Elektrolyt dient eine säurehaltige wässrige Lösung, um die Protonen innerhalb der Batterie zu transportieren. Dies ist nicht nur umweltfreundlich, sondern bietet auch Sicherheit, weil nicht die Gefahr besteht, dass die Batterie brennt oder gar explodiert.

Aber das ist nicht der einzige Vorteil dieser Protonenbatterie. Denn sie kommt ohne die anspruchsvolle Elektronik aus, wie sie für Lithium-Ionen-Batterien erforderlich ist. Ein weiterer Vorteil ist, dass die

Batterie unabhängig von den Umgebungstemperaturen ist. »Bekanntlich nimmt die Leistung von herkömmlichen Batterien bei niedrigen Temperaturen ab. Wir konnten nachweisen, dass unsere organische Protonenbatterie ihre Eigenschaften – zum Beispiel ihre Kapazität – bis hinunter zu $-24\text{ }^{\circ}\text{C}$ beibehält«, erklärt Strietzel.

»Es bleibt noch viel Entwicklungsarbeit an der Batterie zu leisten, bevor sie zu einem Alltagsgegenstand wird«, betont der Forscher. »Doch unsere Protonenbatterie ist ein großer Schritt in Richtung einer zukünftigen Herstellung von nachhaltigen organischen Batterien.«

■ Kathode für Natrium-Ionen-Batterien

Eine wiederaufladbare Natrium-Ionen-Batterie mit einer ähnlichen Kapazität wie herkömmliche Lithium-Ionen-Batterien hat ein Team der Washington State University und des Pacific Northwest National Laboratory entwickelt [2]. Bis dato war es nicht gelungen, Natrium-Ionen-Batterien zu entwickeln, die so viel Energie speichern wie Lithium-Ionen-Batterien. Auch das Aufladen erfolgte nicht schnell und effizient genug. Ein zentrales Problem für einige der aussichtsreichsten Katodenmaterialien besteht darin, dass sich an der Oberfläche der Kathode eine Schicht inaktiver Natriumkristalle bildet, die den Fluss der Natrium-Ionen stoppt und folglich die Batterie zerstört. Dieser Vorgang heißt im Fachjargon Plating und kann auch bei Lithium-Ionen-Batterien auftreten. »Die zentrale Herausforderung«, so Junhua Song (Bild 1), Erstautor der Studie, »besteht darin, dass die Batterie sowohl eine hohe Energiedichte als auch eine gute Zyklenfestigkeit aufweist.« Nach tausend Ladezyklen blieben bei dieser Natrium-Ionen-Batterie immerhin noch 80 Prozent Restkapazität.

Im Rahmen dieser Arbeit schuf das Team eine Kathode aus geschichtetem Metalloxid und einen flüssigen Elektrolyten, der zusätzliche Natrium-Ionen enthielt. Dadurch wurde die Lösung salziger und interagierte besser mit der Kathode. Durch den Aufbau der Kathode und des Elektrolytsystems bleiben die Natrium-Ionen ständig in Bewegung, sodass sich an der Oberfläche keine inaktiven Kristalle ansammeln und der elektrische Strom ungehindert fließen kann.

Die Forscher arbeiten nun daran, die Wechselwirkung zwischen Elektrolyt und Kathode besser zu verstehen. So können

sie mit unterschiedlichen Materialien für ein verbessertes Batteriedesign arbeiten. Auch wollen sie eine Batterie entwerfen, die ohne Kobalt auskommt, einem anderen relativ teuren und seltenen Metall. »Wenn wir gangbare Alternativen sowohl für Lithium als auch für Kobalt finden können, könnte die Natrium-Ionen-Batterie tatsächlich in Konkurrenz zu Lithium-Ionen-Batterien treten«, fügte Song hinzu.

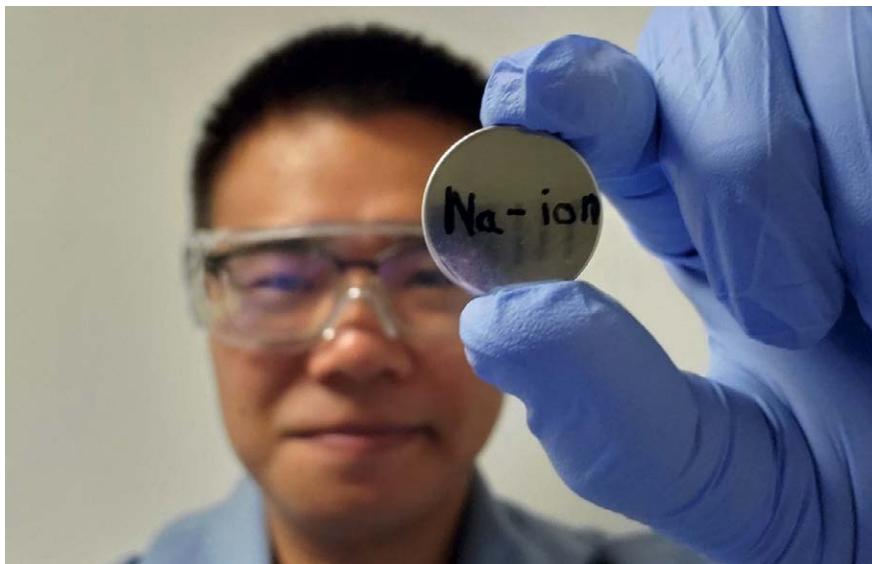
■ Zwischen Akku und Superkondensator

Die Lücke zwischen Superkondensatoren und Akkus könnten hybride Natrium-Ionen-Kondensatoren schließen. Bei solchen Bauelementen war bislang das Design geeigneter Anodenmaterialien mit schnellem kinetischem Verhalten sowie langer Lebensdauer in Abstimmung mit den Kathodenmaterialien eine Herausforderung. Ein Team der Pekinger University of Science and Technology und des Institute of Semiconductors der Chinesischen Akademie der Wissenschaften hat Nb_2O_5 -Nanoröhren und Übergänge zwischen Nanodraht zu Nanoröhren auf Kohlenstoffgewebe über einen einfachen hydrothermalen Prozess direkt synthetisiert [3].

Diese Nanoröhren zeigten eine hohe reversible Kapazität von 175 mAh/g bei einer Stromdichte von 1 A/g mit einer Coulomb-Effizienz (Lade-Effizienz) von 97 Prozent nach 1500 Zyklen (Bild 2). Darüber hinaus zeigten die mit Nb_2O_5 -Nanoröhren und Elektrodenmaterialien aus Aktivkohle hergestellten Natrium-Ionen-Kondensatoren eine Energiedichte von 195 Wh/kg bei 120 W/kg, eine Leistungsdichte von 7328 W/kg bei 28 Wh/kg und 80 Prozent Restkapazität nach 5000 Zyklen.

Prof. Guozhen Shen vom State Key Laboratory for Superlattices and Microstructures, Institute of Semiconductors, erklärt: »Obwohl Niob-Oxid chemisch stabil ist und große interplanare Abstände aufweist, leitet es elektrischen Strom relativ schlecht. Um dies zu überwinden, züchteten wir Niob-Oxid-Nanomaterialien mit unterschiedlicher Morphologie direkt auf den Stromkollektoren aus Kohlenstoffgewebe und nutzten dabei den Synergieeffekt von Pyridin und des pH-Wertes der Säurelösung.«

Die physikalischen und elektrochemischen Eigenschaften der hergestellten Materialien wurden systematisch untersucht. Die Studien ergaben, dass die Nanoröhren eine große spezifische Oberfläche und ein großes Porenvolumen aufweisen. Dadurch



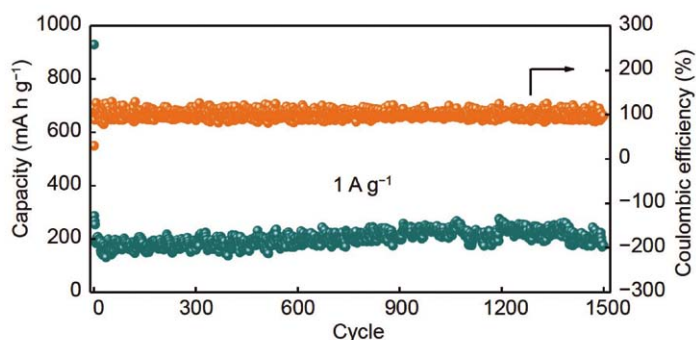
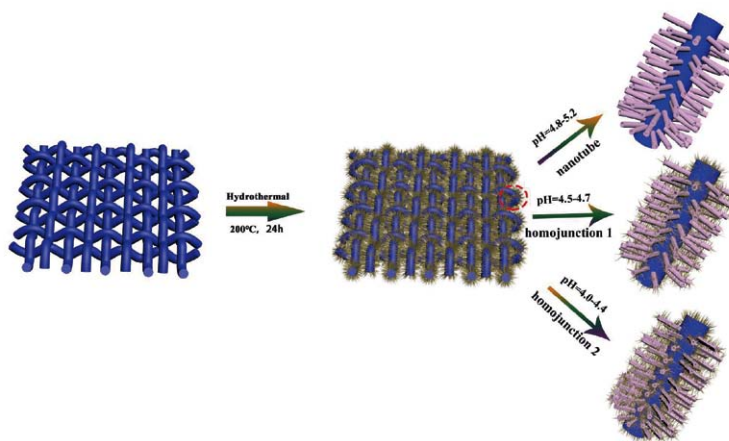
Quelle: Washington State University

Bild 1: Junhua Song und seine Kollegen von der Washington State University entwickelten eine Natrium-Ionen-Batterie, die ebenso viel Energie speichern kann und genauso gut arbeitet wie handelsübliche Lithium-Ionen-Batterien.

entstehen mehr aktive Stellen, die an elektrochemischen Reaktionen beteiligt sind. Die Elektrode auf Basis von Nb_2O_5 -Nanoröhren besitzt nicht nur eine hohe elektrische Leitfähigkeit, sondern reduziert auch die volumetrische Ausdehnung, die durch die Einlagerung und den Abfluss von Natriumionen verursacht wird.

»Darüber hinaus können die biegsamen Bauelemente unter verschiedenen Biegezuständen ganz normal arbeiten«, so Shen weiter.

»Unsere Niob-Oxid-Nanoröhren können daher vielversprechende Elektrodenmaterialien für biegsame und tragbare Energiespeicher sein.«



Quelle: Science China Press

Bild 2: (oben) Schematische Darstellung des Wachstums von Nb_2O_5 -basierten Materialien auf Kohlenstoffgewebe für den Natrium-Ionen-Kondensator; (unten) die Kapazität (blaue Kurve) und die Coulomb-Effizienz (gelbe Kurve) bleiben auch nach 1500 Zyklen sehr stabil.

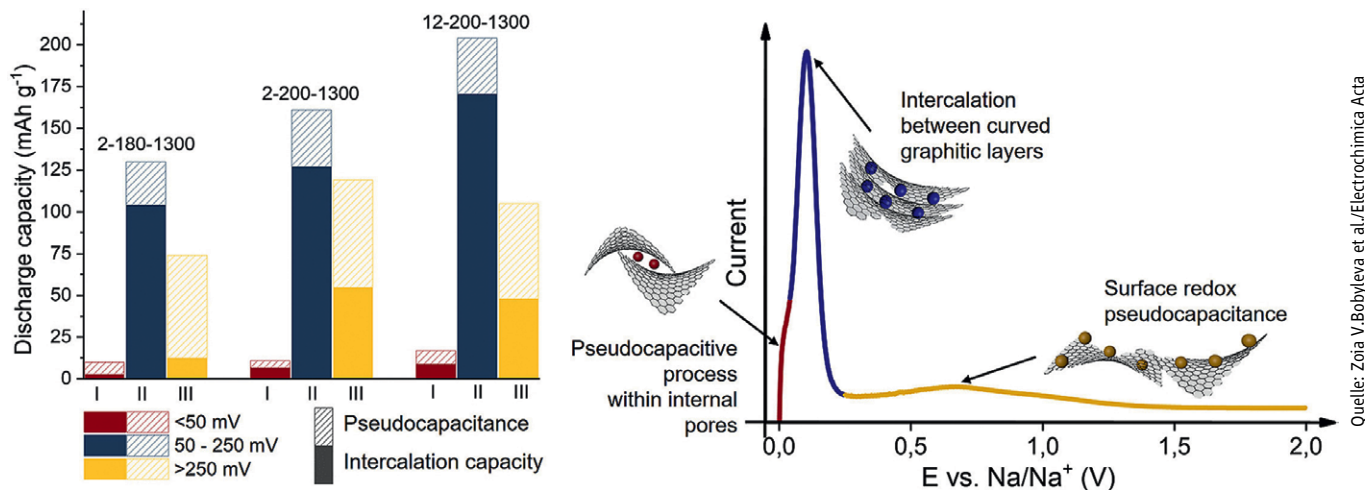


Bild 3: (links) Speicherkapazität der neuen Natrium-Ionen-Batterie mit Hartcarbon; (rechts) die Lade-/Entlade-Kurve zeigt sowohl eine Interkalation als auch ein pseudokapazitives Verhalten.

■ Neuer Interkalationsmechanismus entdeckt

Obwohl Natrium in seinen chemischen Eigenschaften dem Lithium ähnelt, weist es auch Unterschiede auf, die neue Ansätze bei der Konstruktion von Natrium-Ionen-Batterien erforderlich machen. Nach wie vor erweist sich die Anode als Herausforderung. Graphit, wie er bei Lithium-Ionen-Batterien erfolgreich eingesetzt wird, funktioniert dort nicht, da die Kohlenstoff-Hexagone und der Natriumkationen unterschiedlich groß sind, damit sich die Ionen im Kohlenstoffgitter einlagern können (Interkalation). Hartcarbon scheint das einzige Material zu sein, das sich tatsächlich als Anodenmaterial eignet. Denn es besitzt eine unregelmäßige Anordnung verzerrter graphitähnlicher Schichten und verfügt über eine vergleichbare Speicherkapazität für Natriumionen wie Graphit für Lithiumionen. Allerdings blieb bislang noch unklar, warum und wie dies geschieht.

Forscher des Skolkovo Institute of Science and Technology (Skoltech) und der

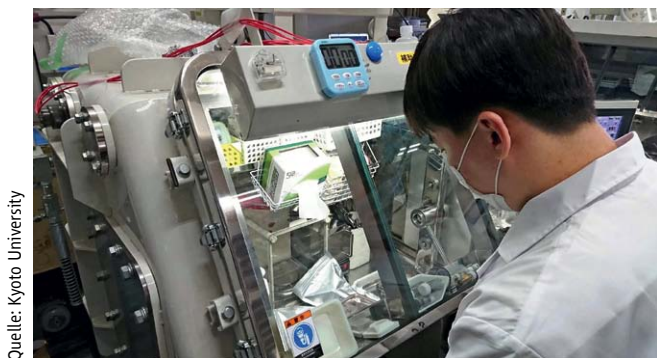
Staatliche Universität Moskau haben die Art der elektrochemischen Reaktion ermittelt, die mit der Ladungsspeicherung im Anodenmaterial für Natrium-Ionen-Batterien verbunden ist [4]. Ihre Erkenntnisse könnten zusammen mit der vom gleichen Team entwickelten Herstellungsmethode für Anoden dazu beitragen, die Kommerzialisierung dieser Art von Batterien voranzutreiben.

»Es gab mehrere Thesen, wie Natrium in Hartcarbon eingebracht werden könnte«, sagte Oleg Drozhzhin, Projektleiter und leitender Forscher am Center for Energy Science and Technology (CEST) von Skoltech und an der Staatliche Universität Moskau. »In unserer Studie haben wir eine davon validiert und leicht erweitert. Wir fanden heraus, dass Hartcarbon ein interkalationsartiges Verhalten zeigt, um den größten Teil der Ladung zu speichern. Gleichzeitig finden auch Oberflächenprozesse statt, die mit der sogenannten Pseudokapazität verbunden sind, wie wir sie von Superkondensatoren her kennen« (Bild 3).

»Diese Arbeit ist bemerkenswert«, kommentiert Evgeny Antipov, ein Skoltech-Professor und Leiter der Abteilung Elektrochemie an der chemischen Fakultät der Staatlichen Universität Moskau. »Denn sie zeigt nicht nur, wie Hartcarbon im Natrium-Ionen-System funktioniert, sondern auch, wie es sich mit einer Kapazität von über 300 mAh/g herstellen lässt – ein Wert, der mit der von Graphit in Lithium-Ionen-Batterien vergleichbar ist. Und, was noch wichtiger ist – wir wissen, wie es funktioniert.«

■ 1000 km fahren ohne Nachladen

Reichweite ist einer der Knackpunkte bei der Elektromobilität. Zwar hat sich diese im Laufe der Jahre deutlich vergrößert, weil die Leistungsfähigkeit von Li-Ionen-Batterien stetig verbessert worden ist und die Rekuperation der Bremsenergie Einzug gehalten hat. Einige der neuesten Modelle von Tesla und Nissan zum Beispiel können unter idealen Bedingungen bis zu 600 km



Quelle: Kyoto University

Bild 4: Forscher der Kyoto University und von Toyota arbeiten an einem neuen Typ von wiederaufladbaren Batterien auf Fluoridbasis, mit der man 1000 km ohne Aufladen fahren könnte.



Bild 5: Die Außenhaut dieses Spielzeug-Roboters bildet die biomorphe Zink-Luft-Batterie, mit der dieser Skorpion mit Energie versorgt wird [5].

pro Ladung zurücklegen. Experten meinen jedoch, dass es eine theoretische Grenze für die Energiedichte von Lithium-Ionen-Batterien gibt. Folglich lässt sich ihre Reichweite nicht viel weiter steigern.

Mit der neuen Fluor-Ionen-Batterie, an der die Forscher der Kyoto University und von Toyota Motor arbeiten, könnten Elektroautos mit einer einzigen Ladung 1000 km weit fahren. Bei dem unter der Leitung von Prof. Yoshiharu Uchimoto entwickelten Prototyp kommen eine Anode aus Fluor, Kupfer und Kobalt sowie eine Kathode, die hauptsächlich aus Lanthan besteht, zum Einsatz (*Bild 4*). Wie die Forscher bestätigten, weist dieser Prototyp eine höhere theoretische Energiedichte auf, wodurch er eine bis zu siebenmal größere Reichweite als die heutigen Lithium-Ionen-Batterien haben könnte.

Die Forscher haben sich für einen Festelektrolyten anstelle der in Lithium-Ionen-Batterien üblicherweise verwendeten Flüssigelektrolyte entschieden. Ein wesentlicher Vorteil solcher Festkörperbatterien besteht darin, dass sie nicht in Brand geraten können. Infolgedessen müssen die Ingenieure keine Systeme entwickeln, die eine Überhitzung verhindern.

Doch auf dem Weg zu einer Fluor-Ionen-Batterie gilt es auch, Herausforderungen zu meistern. Die größte besteht darin, dass diese bisher nur bei erhöhten Temperaturen funktionieren, denn Fluorid leitet elektrischen Strom nur dann brauchbar, wenn der feste Elektrolyt ausreichend erwärmt ist. Dies macht Fluorid-Ionen-Batterien für viele Konsumgüteranwendungen unbrauchbar. Die erforderlichen hohen Temperaturen führen auch dazu, dass sich die Elektroden ausdehnen. Das Team der Kyoto University und von Toyota glaubt, einen Weg gefunden zu haben, um genau das zu verhindern. Zu diesem Zweck bestehen die Elektroden aus einer Legierung aus Kobalt, Nickel und Kupfer. Das Team plant, die in der Anode verwendeten Materialien zu optimieren, um sicherzustellen, dass die Batterie ohne Kapazitätsverlust geladen und entladen werden kann.

■ **Biomorphe Zink-Luft-Batterie**

Die Anwendungen für Roboter explodieren – von Lieferdrohnen und Zustellrobotern bis hin zu Krankenpflege-Robotern und automatisierten Flurförderfahrzeugen. Auf der Mikroebene befassen sich Forscher mit sehr kleinen Schwarmrobotern, die sich

selbst zu größeren Einheiten zusammenschließen können. Dort wären herkömmliche Einzelbatterien zu groß und ineffizient. Biomorphe Batterien, die wie Fettpolster verteilt in die Struktur des Roboters integriert sind, können Platz schaffen und das Gewicht reduzieren. Bislang konnten sie die Hauptbatterie jedoch nur ergänzen, nicht aber ersetzen.

»Beim Design von Robotern sind die Entwickler durch den Bedarf an Batterien eingeschränkt, die oft mehr als zwanzig Prozent des verfügbaren Platzes im Inneren eines Roboters einnehmen oder einen etwa gleich großen Anteil an dessen Gewicht ausmachen«, erklärte Nicholas Kotov, Professor für chemische Verfahrenstechnik und Materialwissenschaft an der University of Michigan, der die Forschung leitete. Er ergänzt: »Keine andere strukturelle Batterie, über die berichtet wurde, ist in Bezug auf die Energiedichte mit aktuellen Lithium-Ionen-Batterien vergleichbar. Wir haben daher unsere bisherige strukturelle Zink-Luft-Batterie durch zehn Einzelmaßnahmen verbessert und damit einzelne Parameter um den Faktor 100 verbessern können.« Die Kombination von Energiedichte und kostengünstigen Materialien bedeute, dass die Batterie bereits jetzt die Reichweite von Zustellrobotern verdoppeln könne, so Kotov.

»Dies ist jedoch nicht die Grenze. Wir schätzen, dass Roboter 72-mal mehr Kapazität im Vergleich zu einer einzelnen Lithium-Ionen-Batterie haben könnten, wenn ihre Außenhülle durch Zinkbatterien ersetzt würde«, glaubt Mingqiang Wang, der Erstautor. Ahmet Emre, Doktorand der Biomedizintechnik an Kotovs Labor, ergänzt: »Diese Batterien erfüllen gleich zwei Aufgaben. Sie speichern Energie und schützen das Innenleben des Roboters. Dadurch bilden sie die Multifunktionalität von Fettgewebe nach, das in Lebewesen als Energiespeicher dient.«

Die neue Batterie beruht darauf, dass Hydroxid-Ionen zwischen einer Zinkelektrode und der Luftseite durch eine Elektrolytmembran geleitet werden. Diese Membran besteht zum Teil aus einem Geflecht von Aramid-Nanofasern, wie sie sich in schusssicheren Kevlar-Westen finden, und einem neuen wässrigen Polymer-Gel, welches den Austausch der Hydroxid-Ionen zwischen den Elektroden unterstützt. Die Batterie besteht aus preiswerten, reichlich vorhandenen und weitgehend ungiftigen Materialien und ist umweltfreundlicher als die derzeit verwendeten. Das Gel und die

Aramid-Nanofasern entzünden sich nicht, wenn die Batterie beschädigt wird – anders als der brennbare Elektrolyt in Lithium-Ionen-Batterien. Zudem lassen sich die Aramid-Nanofasern aus ausgedienten Schutzwesten wiederverwenden.

Um ihre Batterien vorzuführen, testeten die Forscher mit normal großen und miniaturisierten Spielzeugrobotern in Form eines Wurms und eines Skorpions (*Bild 5*). Das Team ersetzte deren ursprüngliche Batterien durch Zink-Luft-Zellen. Sie verdrahteten die Zellen mit den Antrieben und wickelten sie um die Außenflächen der gruseligen Krabber [5].

Der Nachteil von Zinkbatterien ist, dass sie ihre hohe Kapazität nur für etwa 100 Zyklen beibehalten, statt der 500 Zyklen oder mehr, wie wir sie von Lithium-Ionen-Batterien in unseren Smartphones erwarten. Das liegt daran, dass das metallische Zink spitze Dendriten ausbildet, die schließlich den Separator zwischen den Elektroden durchstechen. Das stabile Geflecht aus Aramid-Nanofasern zwischen den Elektroden ist der Schlüssel zu der relativ langen Lebenszyklusdauer einer Zinkbatterie. Und dank der kostengünstigen und recycelbaren Materialien lassen sich die Batterien leicht wechseln. (rh)

REFERENZEN

- [1] Ch. Strietzel, et al., An aqueous conducting redox polymer based proton battery that can withstand rapid constant-voltage charging and sub-zero temperatures, *Angewandte Chemie*, 2020. DOI: 10.1002/anie.202001191
- [2] J. Song, et al., Controlling Surface Phase Transition and Chemical Reactivity of O₃-Layered Metal Oxide Cathodes for High-Performance Na-Ion Batteries, *ACS Energy Lett.* 2020, 5, 1718–1725, April 28, 2020, DOI: 10.1021/acsenergylett.0c00700
- [3] R. Jia, et al., Nb₂O₅ nanotubes on carbon cloth for high performance sodium-ion capacitors, *Science China Materials* (2020). DOI: 10.1007/s40843-020-1278-9
- [4] Z. V. Bobyleva, et al., Unveiling pseudocapacitive behavior of hard carbon anode materials for sodium-ion batteries, *Electrochimica Acta*, Vol. 354, 2020, 136647, DOI: 10.1016/j.electacta.2020.136647
- [5] Structural, Rechargeable Zinc Battery, Youtube-Video, <https://tinyurl.com/yyedyd9t>



AUSGABE 1/2021

Erscheinungstermin: 18.02.2021

Anzeigenschluss: 22.01.2021

> Embedded-Computing

Künstliche Intelligenz, Industriecomputer, Embedded-Hardware, Embedded-Software, Entwicklungs- und Testwerkzeuge

> Halbleiter

Mikrocontroller, Prozessoren, DSPs, Programmierbare Logik, Schnittstellen

> Displays & HDMI's

LCDs, TFTs, OLEDs, Schalter, Taster, Folientastaturen, Schnittstellen, Sensorik- & Aktorik-Anwendungen

Vorschau

AUSGABE 2/2021

Erscheinungstermin: 23.03.21

Anzeigenschluss: 24.02.21

> Elektromechanik

Verbindungstechnik, Gehäuse, Wärme- und Kühlmanagement, Schalter, Taster, HDMI's

> Stromversorgung

AC-DC-Wandler, DC-DC-Wandler, Batterien- und Ladetechnik, Power-Management

> Internet of Things / Industrie 4.0

Machine-Learning, Kommunikationstechnik, Safety & Security, Komponenten

Ihr Thema ist unser Thema!

Wenn Sie zu einer dieser beiden Ausgaben einen Beitrag schreiben oder eine Anzeige platzieren wollen, rufen Sie uns an!

Redaktion:

089/255 56-1345

redaktion@design-elektronik.de

Anzeigen:

089/255 56-1376

media@design-elektronik.de

Inserentenverzeichnis

| | | | |
|----------------------------|-----|--------------------------------------|----|
| DATA MODUL AG | 31 | Schulz-Electronic GmbH | 3 |
| Digi-Key Electronics | 1,2 | TDK-Lambda Germany GmbH | 5 |
| DISPLAY ELEKTRONIK GmbH | 27 | Traco Electronic AG | 41 |
| ELECTRONIC ASSEMBLY GmbH | 19 | Würth Elektronik eiSos GmbH & Co. KG | 52 |
| PHYTEC Messtechnik GmbH | 9 | | |
| RIGOL Technologies EU GmbH | 7 | | |

Impressum

Redaktion:

Chefredakteur: Dipl.-Ing. Joachim Kroll, verantwortlich für den redaktionellen Teil
Redakteure: Dipl.-Ing. (FH) Ralf Higgelke, Kathrin Veigel (M. A.)

Ressorts:

Joachim Kroll (jk/1335): Mikrocontroller, DSP, Mikroprozessoren, IoT, Industrie 4.0, Speicher, Embedded-Systeme
Ralf Higgelke (rh/1341): Stromversorgung, Leistungselektronik, Analogtechnik, Elektromechanik, Passive Bauelemente
Kathrin Veigel (kv/1746): Messtechnik, Optoelektronik, EDA-Tools, Entwicklungssysteme, Systemdesign

Teamassistenz: Michaela Stolka (ms/1376)

E-Mail: mstolka@weka-fachmedien.de

Layout: JournalMedia, Haar

Chef vom Dienst: Dipl.-Volkswirt Hartmut Dernerde (_der/1080)

Manuskripteinsendungen:

Manuskripte werden von der Redaktion gerne angenommen. Sie müssen frei sein von Rechten Dritter. Sollten sie auch an anderer Stelle zur Veröffentlichung oder gewerblichen Nutzung angeboten worden sein, so muss das angegeben werden. Mit der Einsendung gibt der Verfasser die Zustimmung zum Abdruck in den von der WEKA FACHMEDIEN GmbH herausgegebenen Publikationen. Manuskripte werden von der Redaktion überarbeitet und eventuell gekürzt. Honorare nach Vereinbarung. Für unverlangt eingesandte Manuskripte wird keine Haftung übernommen.

Urheberrecht:

Alle in DESIGN&ELEKTRONIK erschienenen Beiträge sind urheberrechtlich geschützt. Alle Rechte, auch Übersetzungen, vorbehalten. Reproduktionen, gleich welcher Art, ob Fotokopie, Mikrofilm oder Erfassung in Datenverarbeitungsanlagen, nur mit schriftlicher Genehmigung des Verlages. Aus der Veröffentlichung kann nicht geschlossen werden, dass die beschriebene Lösung oder verwendete Bezeichnung frei von gewerblichen Schutzrechten sind.

Datenschutzbeauftragter: Dr. Jürgen Rotter; E-Mail: datenschutz@wekanet.de

Bestell- und Abonnement-Service:

WEKA Fachmedien GmbH, c/o Zenit Pressevertrieb GmbH
Postfach 810640, 70523 Stuttgart
Telefon: 0711/72 52 210, Fax: 0711/72 52 333, E-Mail: abo@weka-fachmedien.de

Erscheinungsweise: 9 Ausgaben

Jahresabonnement Print Inland 68,40 €, davon 36,55 € Heft, 31,85 € Versand
Jahresabonnement Print Ausland 79,45 €, davon 36,55 € Heft, 42,90 € Versand
inkl. der aktuellen MwSt.
Einzelausgabe Print 7,50 €, inkl. der aktuellen MwSt.,
zzgl. 3,00 € Versandkosten
(Inland/Ausland) 24,99 €, inkl. der aktuellen
MwSt., ohne Versandkosten
Einzelausgabe digitales E-Paper (Inland/Ausland) 2,99 €, inkl. der aktuellen
MwSt., ohne Versandkosten
shop.weka-fachmedien.de



LA ELFA 12/13
LEBENSANALYSE ELEKTRONIKFACHMEDIEN

Leitung Herstellung: Marion Stephan (1442)

Sonderdruck-Dienst: Deniz Schams (1441)

Druck: L. N. Schaffrath, Marktweg 42-50, 47608 Geldern

Director New Business: Marc Adelberg (1572)

Gesamtanzeigenleitung: Christian Stadler – Sales Director (1375)
Sonja Winkler – Sales Director (1383)

Mediaberatung: Petra Beck (1378), Burkhard Bock (1305), Birgit Fischer (1372),

Katrin Hühn (1370), Tanja Lewin (1386), Konrad Nadler (1382),

Martina Niekrawietz (1309), Bernhard Reinisch (1382)

Assistenz: Michaela Stolka (1376)

Anzeigenverwaltung und Disposition: Teresa Manuri (1482)

International Account Manager:

Martina Niekrawietz (1309), Konrad Nadler (1382)

Auslandsrepräsentanten:

China: Worldwide Focus Media Co., Ltd., Judy Wang, Unit 17, 9/F Tower A, New Mandarin Plaza, No.14 Science Museum Road, Tsimshatsui, Kowloon, Hongkong
Tel.: +00852-30780826,

E-Mail: judywang2000@vip.126.com

USA: E&Tech Media, llc, Véronique Lamarque, 80 Kenrick Street, Brighton,

MA 02135, USA, Tel.: +1-860-536-6677,

E-Mail: veronique.lamarque@gmail.com

Anzeigenpreise: Es gilt die Preisliste Nr. 36 vom 1.12.2020

Vertriebsleitung: Marc Schneider (1509), E-Mail: mschneider@weka-fachmedien.de

Haftung:

Für den Fall, dass in DESIGN&ELEKTRONIK unzutreffende Informationen oder in veröffentlichten Programmen oder Schaltungen Fehler enthalten sein sollten, kommt eine Haftung nur bei grober Fahrlässigkeit des Verlages oder seiner Mitarbeiter in Betracht.

Anschrift des Verlages:

WEKA Fachmedien GmbH
Richard-Reitzner-Allee 2, 85540 Haar
Tel.: 089/255 56-1000, Fax: 089/255 56-1199
www.weka-fachmedien.de

Geschäftsführer: Kurt Skupin, Matthäus Hose

Alleinige Gesellschafterin der WEKA Fachmedien GmbH ist die WEKA Group GmbH, Kissing.

Telefondurchwahl im Verlag:

Wählen Sie direkt: Per Durchwahl können Sie alle Abteilungen direkt erreichen. Sie wählen 089/255 56- und dann die Nummer, die in Klammern hinter dem jeweiligen Namen steht.

Diese Zeitschrift ist auf chlorfrei gebleichtem Papier mit einem Altpapieranteil von 100 % gedruckt. Die Druckfarben sind schwermetallfrei.

Mitglied der Informationsgemeinschaft zur Feststellung der Verbreitung von Werbeträgern e. V. (IVW), Bad Godesberg.



Redaktion: Telefon 089/255 56-1376, Fax 089/255 56-1654
redaktion@design-elektronik.de



Mediaberatung: Telefon 089/255 56-1376, Fax 089/255 56-1651
media@design-elektronik.de

Abonnementbestellung

Bitte ausschneiden und einsenden an:

WEKA FACHMEDIEN GmbH, c/o Zenit Pressevertrieb GmbH, Postfach 810640, 70523 Stuttgart
Tel. 0711/72 52 210
Oder per Fax an: 0711/72 52 333

Ich bestelle DESIGN&ELEKTRONIK mit 13 Ausgaben jährlich zum Preis von zurzeit 68,40 Euro inkl. 7% MwSt. im Inland.
Auslandspreis 78,- Euro. Ich kann jederzeit kündigen. Geld für bezahlte aber noch nicht gelieferte Ausgaben erhalte ich zurück.

Ich bin damit einverstanden,
dass die zu entrichtenden Abonentengebühren

vierteljährlich halbjährlich jährlich

von meinem Konto abgebucht werden.

IBAN

BIC

Kreditinstitut

Datum, Unterschrift

Firma

Name

Vorname

Abteilung

Beruf

Straße, Nr.

PLZ, Ort

Telefon*

Fax*

E-Mail*

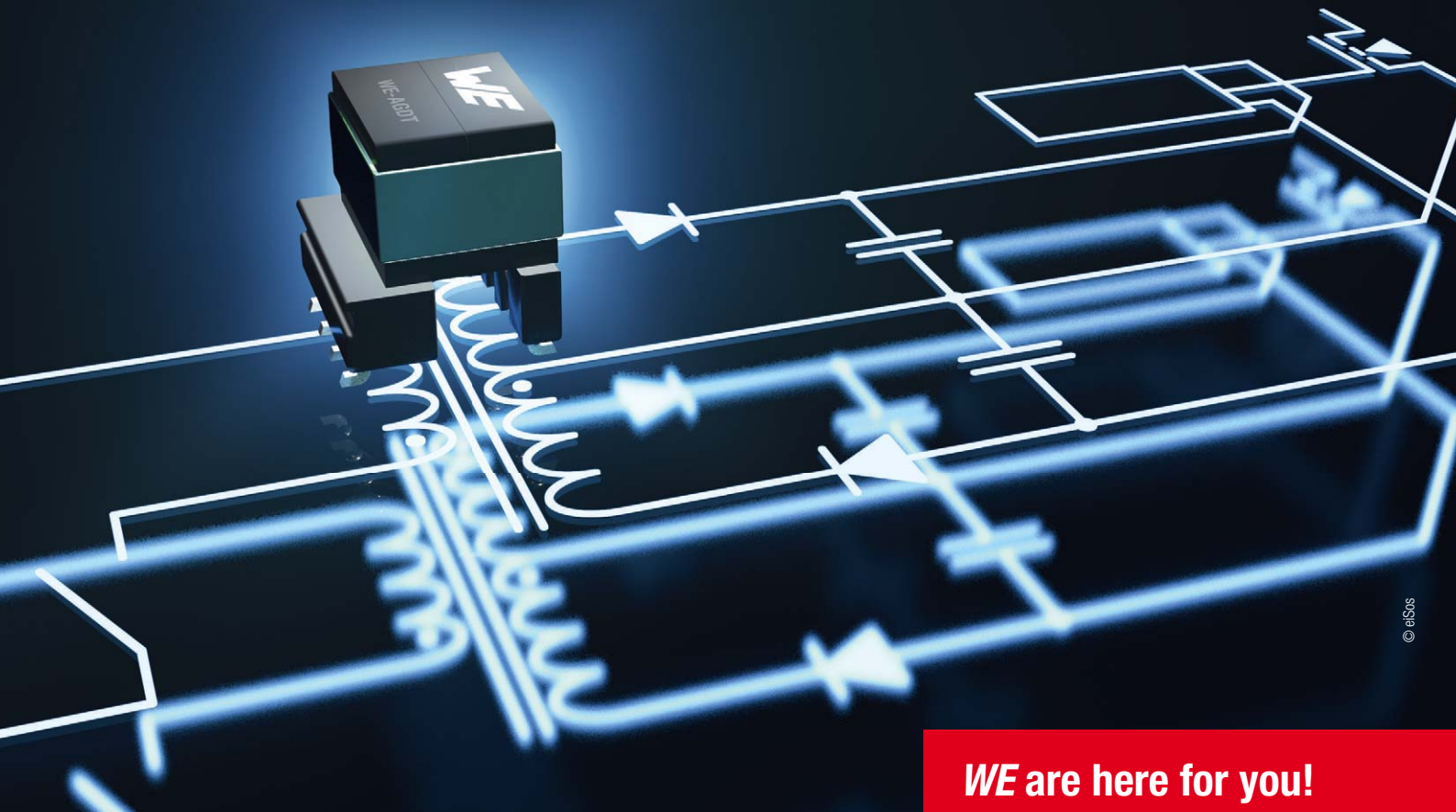
Ein gesetzliches Widerrufsrecht besteht nicht (§§ 505, 491 Abs. 2 Nr. 1 BGB).
WEKA FACHMEDIEN GmbH, Richard-Reitzner-Allee 2, 85540 Haar, HRB 119806 Amtsgericht München

Hinweis: Ihre Daten werden von uns zur Durchführung des Vertrages und für Direktmarketingzwecke verarbeitet und genutzt.

*Mit dem Ausfüllen stimme ich dem Erhalt von Serviceangeboten zu. Die Zustimmung kann jederzeit durch Löschung der Kommunikationsdaten widerrufen werden. (Diese Angaben sind freiwillig.)

Drive hard. Drive safe.

WE-AGDT Gate Drive Transformer



© a3s0s

WE are here for you!

Nehmen Sie teil an unseren kostenlosen Webinaren: www.we-online.de/webinare

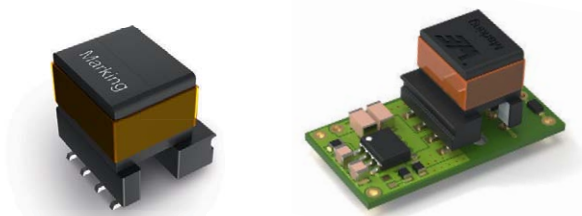
WE-AGDT

Mit der WE-AGDT-Serie von Würth Elektronik lassen sich diskrete SiC-Gate-Treiber-Designs einfacher als je zuvor realisieren. Bei diesen Bauteilen handelt es sich um kompakte SMT-Übertrager, die für SiC-Anwendungen optimiert sind. Mit einer extrem niedrigen Kapazität zwischen Primär- und Sekundärwicklung trägt der WE-AGDT zu einer höheren Immunität gegen Gleichtakt-Transiente (CMTI) bei. Die Serie ist nach AEC-Q200 qualifiziert und entspricht den Sicherheitsstandards nach IEC62368-1 und IEC61558-2-16. Referenzdesigns sind für jeden WE-AGDT-Übertrager erhältlich. Die Komplettlösung ist kompakt und lässt sich vollautomatisch bestücken.

Produkte ab Lager verfügbar. Kostenlose Muster erhältlich.

Weitere Informationen unter: www.we-online.de/agdt

- Optimiert für SiC-Gate Treiber Stromversorgung
- Niedrige Kapazität zwischen den Wicklungen bis min. 6.8 pF
- Immunität gegen Gleichtakt-Transiente (CMTI bis über 100 kV/μs)
- IEC62368-1 / IEC61558-2-16
- Bis zu 6 W Ausgangsleistung
- Unipolare und bipolare Ausgangsspannung
- Kompakt & leicht



#ReadyForTheFuture