

Elektronik

ANALOG & POWER

**Schwerpunkt Siliziumkarbid:
SiC aus der Foundry und
SiC-MOSFETs im Stresstest**

**Steckbrief-Features versus
Kleingedrucktes:
Datenblätter richtig lesen**

**Microcontroller: Fit für
mobile Anwendungen dank
Leistungsmanagement**



Jetzt 28 Seiten
**Elektronik
automotive**
als Heft im Heft!



Jetzt zugreifen



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



TELEFON: (+49) 30 915 884 91

DIGIKEY.DE



*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. © 2021 Digi-Key Electronics, 701 Brooks Ave. South, Thief River Falls, MN 56701, USA

INTELLIGENTE SOFTWARE BRAUCHT INTELLIGENTE ENTWICKLUNG

In letzter Zeit ist viel von adaptiven Systemen die Rede, die sich im laufenden Betrieb an ihre Umgebung anpassen. Aber wie kann das funktionieren? – Tesla hat ein schönes Beispiel dafür gezeigt: Aus Auswertungen der sozialen Medien hat sich herausgestellt, dass der sogenannte Autopilot, der in den USA schon im Einsatz ist, das Fahrzeug zu schnell um Ecken steuert. Die Fahrer haben den Autopilot übersteuert.

Daraufhin hat Tesla Daten aus den Fahrzeugen gesammelt und ausgewertet, um dieses Verhalten zu verifizieren. In einem weiteren Schritt wurde ein Algorithmus konzipiert, der das Fahrzeug bei zu engen Kurven stärker abbremst. Dieser Algorithmus wurde mit einem Service-Update »over-the-air« auf die Fahrzeuge verteilt. Schließlich wurde das Fahrverhalten erneut beobachtet, um zu sehen, wie die Fahrer das geänderte Autopilotverhalten akzeptieren.

Man könnte jetzt sagen, dass hier wieder einmal ein Produkt beim Kunden reift. Andererseits ist es ein Beispiel dafür, wie sich ein Produkt während des Betriebs an Bedürfnisse der Kunden anpassen lässt. Der nächste Schritt wäre dann, dass das Produkt selbstständig lernt und sich autonom adaptiert. Ganz gleich, ob in letzter Instanz von menschlichen Entwicklern gesteuert oder von einem Algorithmus: Dieses Vorgehen stellt völlig neue Herausforderungen an die Softwareentwicklung. Kevin Dallas, CEO von Wind River, formulierte es auf der embedded world Conference DIGITAL sehr griffig in dem Slogan: »develop once, deploy forever is over«. Seiner Meinung nach wird der Entwicklungsprozess in Zukunft stärker aus der Sicht des Gesamtsystems gesteuert werden. Nicht nur Softwareentwickler werden daran beteiligt sein. Das macht die Sache nicht einfacher. Die Systeme werden verteilt, stark skaliert und müssen trotzdem in Echtzeit reagieren, gegen Hackerangriffe abgesichert sein. Dass Security ein Thema ist, das sich mit der Auslieferung eines Gerätes nicht erledigt hat, sondern über die gesamte Lebenszeit gepflegt werden muss, das haben wir inzwischen gelernt. Bei adaptiven Systemen betrifft dies jedoch den gesamten Funktionsumfang. Hier sind noch viele Probleme ungelöst und müssen erforscht werden. Einen Überblick über dieses weite Feld gab Prof. Peter Liggesmeyer vom Fraunhofer-Institut für Experimentelles Software-Engineering auf der embedded world (S. 7). Weitgehend ungeklärt ist z.B. der gesamte Bereich der Zertifizierung solcher adaptiver Systeme.

Es ist ein Dilemma: Die Werkzeuge werden immer ausgefeilter, die Entwicklung immer komfortabler, aber Software kennt nur eine Richtung: immer umfangreicher, immer komplexer. Das wird uns noch viele Jahre beschäftigen.



JOACHIM KROLL

Chefredakteur
JKroll@weka-fachmedien.de

Zero8

Leiterplattensteckverbinder
mit höchster Skalierbarkeit!



SUPERKRAFT EFFIZIENZ

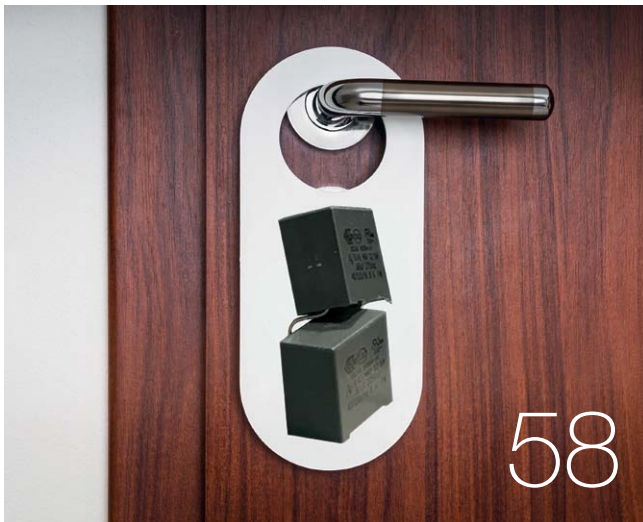
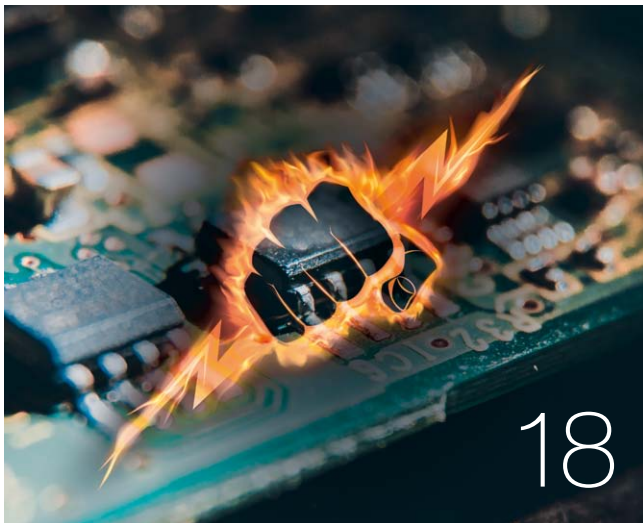
- Platzersparnis durch Raster 0,8 mm
- Variable Kontaktzahl von 12 bis 80
- Geschirmt und ungeschirmt verfügbar
- Stapelhöhen von 6 bis 20 mm
- Gewinkelte Bauformen für 90° und 180° Anwendungen

Profitieren Sie ab sofort von höchster Effizienz, Kontaktsicherheit, Signalschutz, Geschwindigkeit und Robustheit.



Scale

Für alle Fakten und Muster: www.zero8.ept.de



EDITORIAL

3 Intelligente Software braucht intelligente Entwicklung

IMPULSE

- 6 Ergebnisse der *Elektronik*-Marktstudie:**
Entwickler setzen auf Mobilfunk und MQTT
- 7 Softwareentwicklung:**
Die Vision einer »Runtime Self-Certification«
- 10 Interview mit Agnes Jahnke, X-Fab:**
Siliziumkarbid aus der Foundry
- 14 EDA-Tools:**
Agile Methoden bei der Halbleiter-Entwicklung

GMM-NEWS

15 Automotive meets Electronics 2021:
Vermehrter Einsatz von KI und Simulation

DISTRIBUTION

- 16 8-GB-Starterkit OKdo:**
Raspberry Pi 4 auf der Überholspur
- 16 Sierra Wireless Funkmodule:**
5G-Mobilfunk im M.2-Formfaktor

WIRTSCHAFT

- 17 S&T legt Zahlen vor:** Wachstum im Jahr 2020
- 17 Wachstumsmarkt Siliziumkarbid:**
SK Siltron investiert massiv in SiC-Wafer

LEISTUNGSELEKTRONIK

- 18 Gate-Oxid-Zuverlässigkeit:** SiC-MOSFETs
im Stresstest
- 24 Analysator für Leistungsbausteine:**
Kaskoden-GaN-FETs charakterisieren



Elektronik automotive
E-VEHICLES &
CONNECTED CARS

Chancen und Risiken des Technologietransfers von der Formel E auf die Straße
Mit energiesparendem DC-DC-Umsetzer den Fahrzeugakku schonen
Was Digital Twins in der E-Fahrzeugentwicklung wirklich leisten



Elektronik automotive
als Heft im Heft!

27



70

PASSIVE BAUELEMENTE

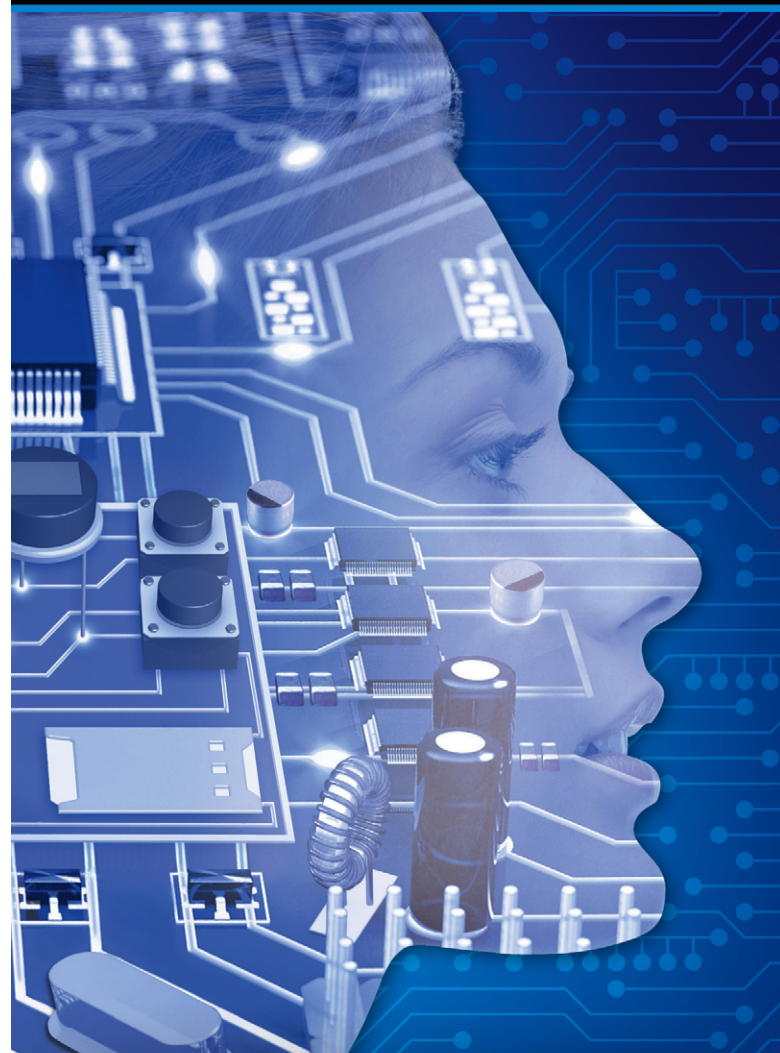
- 55 Zwischenkreiskondensatoren:** Wellenbrecher
- 58 Entstörkondensatoren:** Bitte nicht stören

ANALOG & POWER

- 62 Highspeed-Datenübertragung und EMV:**
Wir verstehen uns
- 66 Vorsicht bei Datenblättern:** Genau hinsehen
- 70 Leistungsmanagement für Mikrocontroller:**
Zeit stehlen – verlängern der Batteriebensdauer

VORSCHAU

- 79 Ausblick:** Elektronik 9, Termine und mehr
- 77 Impressum**
- 77 Inserenten**



HIGHTECH-BAUELEMENTE
für Ihre Innovationen

Als einer der führenden Distributoren für elektronische Bauelemente bieten wir Ihnen weltweit ein breites Produktportfolio, kompetente technische Unterstützung bei Produktentwicklung und Design, individuelle Logistik-Lösungen sowie umfangreiche Serviceleistungen.

- Semiconductors
- Passive Components
- Electromechanical Components
- Displays & Monitors
- Boards & Systems
- Storage Technologies
- Wireless Technologies

Informationen zu RUTRONIK:
Tel. +49 (0) 7231 801-0 | rutronik@rutronik.com

www.rutronik.com

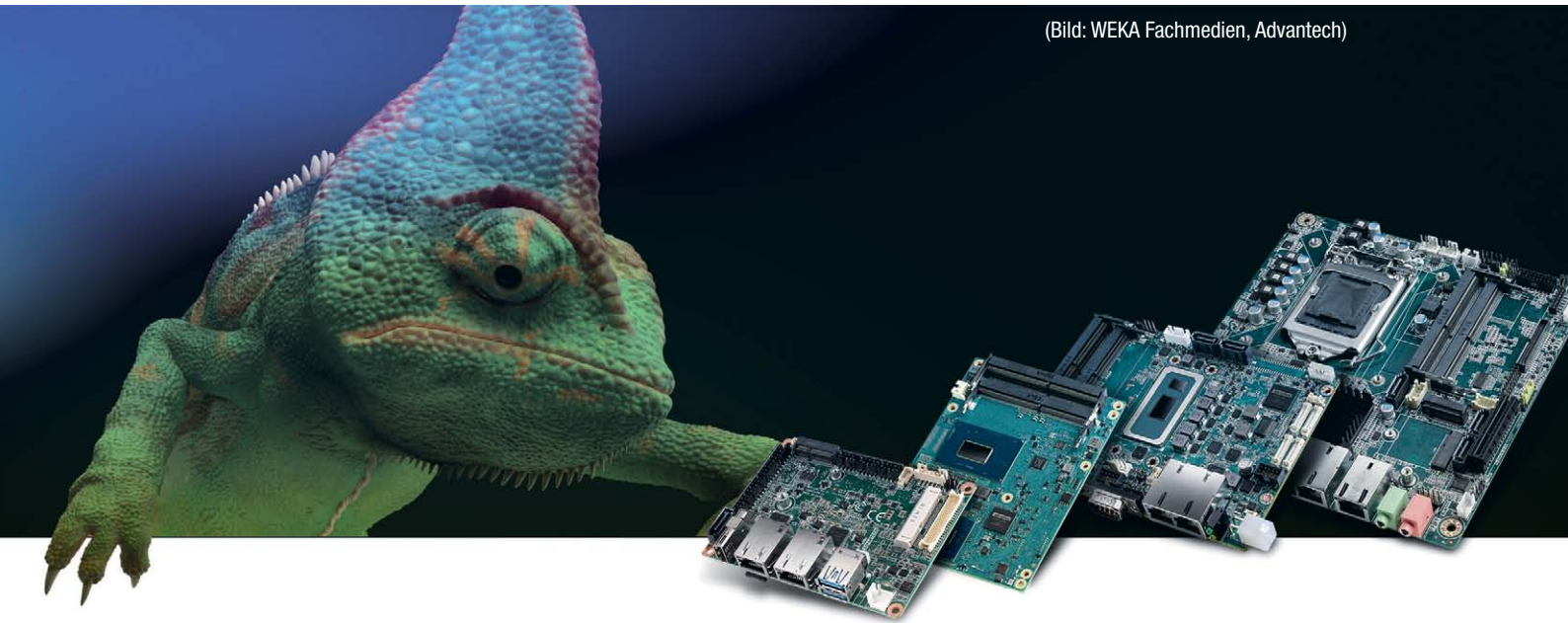


EMBEDDED-IoT-GERÄTE:

ENTWICKLER SETZEN AUF MOBILFUNK UND MQTT



Im vergangenen Jahr führte die Elektronik zusammen mit dem Embedded-Spezialisten Advantech eine Marktstudie durch. Denn besonders Embedded-IoT-Geräte stehen immer mehr im Fokus von Entwicklern. Doch was ist hierbei zu beachten? Von Tobias Schlichtmeier



(Bild: WEKA Fachmedien, Advantech)

Was treibt die Embedded-Branche um? Welche Hersteller von Computer-on-Modules (CoMs) sind führend und auf welche Trends setzen Entwickler? Diese Fragen und einige mehr stellten wir der Branche im vergangenen Jahr im Zuge einer Leserumfrage. Hierbei wurden verschiedene Themengebiete abgedeckt – unter anderem die Embedded-Systementwicklung. Hierbei sind mehr und mehr IoT-Geräte im Fokus der Entwickler.

DIE FRAGE NACH DEM RICHTIGEN STANDARD

Immer mehr Embedded-Systeme kommen in Anwendungen in den Bereichen Internet of Things (IoT) sowie künstliche Intelligenz (KI) zum Einsatz. Für den Einsatzbereich eines IoT-Systems steht laut unserer Umfrage der Bereich Industrie 4.0/Smart Factory im Fokus. Auf den weiteren Plätzen folgen Smart Home/

Smart Building sowie Konsumprodukte. Neben dem Einsatzbereich müssen sich Entwickler die Frage nach dem IoT-Übertragungsstandard und dem richtigen Anwendungsübertragungsprotokoll stellen – hierbei stehen immer mehr Protokolle zur Wahl. Beim Übertragungsstandard ist zu sehen, dass neben Mobilfunk, WiFi und Bluetooth am häufigsten zum Einsatz kommen. LoRaWAN oder Narrowband IoT liegen in der Gunst der Entwickler

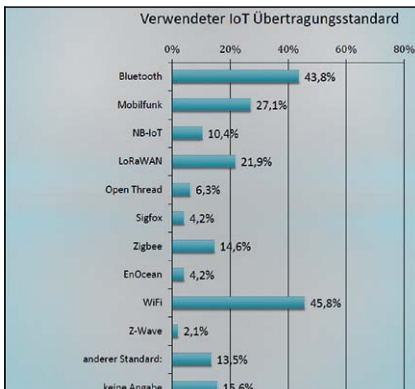


Bild 1. Beim IoT-Übertragungsstandard stehen mehr und mehr Protokolle zur Wahl.

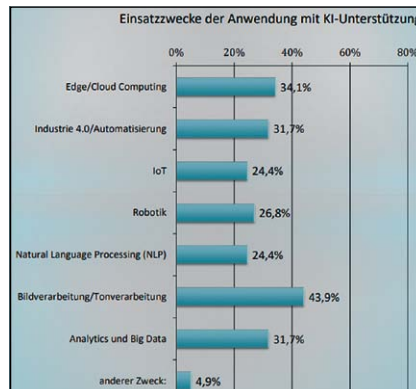


Bild 2. Einsatzbereiche für Entwicklungen mit künstlicher Intelligenz.

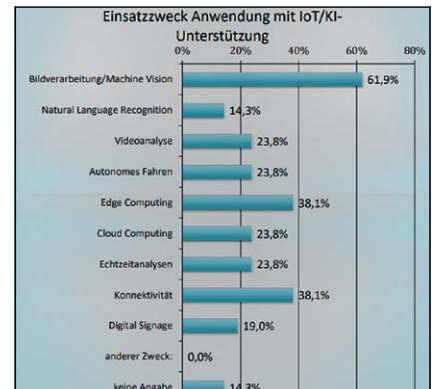


Bild 3. Einsatzbereiche von Industrie-PCs. (alle Bilder: WEKA Fachmedien | IFAK Institut)

bereits weit zurück (**Bild 1**). Beim Anwendungsübertragungsprotokoll ist MQTT mit knapp 30 Prozent der Stimmen führend, OPC UA liegt an zweiter Stelle mit etwa 15 Prozent.

KI AUF DEM VORMARSCH

Ebenso finden Entwicklungen rund um das Thema KI immer stärker Einzug in den Embedded-Bereich. Dabei ist ein Trend in Richtung Bild- beziehungsweise Tonverarbeitung zu sehen. Andere Anwendungsbereiche wie Edge- und Cloud-Computing, Industrie 4.0 oder

Big Data liegen jedoch nur knapp dahinter (**Bild 2**). Hierbei setzen Entwickler stark auf Machine Learning (ML), zunehmend jedoch ebenso auf Deep Learning (DL) sowie Reinforcement Learning. Das Thema der künstlichen Intelligenz wird sich im Zuge von Anwendungen wie Cobots, autonomem Fahren oder Smart Farming weiter in den Fokus der Entwickler drängen.

INDUSTRIE-PCs

Auch bei dem Einsatz von Industrie-PCs sieht man eine Tendenz in Richtung IoT

beziehungsweise KI. So gaben jeweils etwa 50 Prozent der Entwickler an, Industrie-PCs bei IoT- und KI-Projekten einzusetzen. Beliebtester Einsatzzweck ist hierbei klar die Bildverarbeitung beziehungsweise Machine Vision mit über 60 Prozent, Konnektivität und Edge Computing folgen auf den weiteren Plätzen (**Bild 3**). Autonomes Fahren, Cloud Computing oder Digital Signage scheinen in der Gunst der Entwickler noch zurückzuliegen. Die vollständige Studie können Sie hier beziehen:

<https://bit.ly/3vJBFH>

TS

SOFTWAREENTWICKLUNG

VISION: »RUNTIME SELF-CERTIFICATION«

Systeme, die während des Betriebs »lernen« und ihr Verhalten zur Laufzeit ändern, passen nicht zu traditionellen Safety-Zertifizierungsprozessen. Auch große Ökosysteme, die sich von Menschen nicht mehr überblicken und steuern lassen, stellen neue Herausforderungen dar. Prof. Dr. Peter Liggesmeyer gab in einer Keynote auf der embedded world 2021 DIGITAL einen Ausblick darauf, was uns die kommenden Jahre beschäftigen wird. Von Joachim Kroll

Was die Industrie vor Jahren mit ihren 4.0-Szenarien entwickelt hat, erfasst immer mehr Branchen: Digitalisierung, Vernetzung, physikalische Dinge bekommen eine digitale Repräsentanz, einen digitalen Zwilling. Mit der steigenden Bedeutung von künstlicher Intelligenz kommt hinzu, dass die Systeme adaptiv und lernfähig werden. Das hat massive Auswirkungen auf die Softwareentwicklung, denn viele Voraussetzungen, auf denen die Entwicklung von Software bisher beruhte, sind immer häufiger nicht mehr erfüllt. Bisherige Entwicklungsmodelle gingen von geschlossenen, statischen Systemen aus – mit einem phasenorientierten, traditionellen Entwicklungsprozess. Dem stehen immer mehr offene Systeme gegenüber, die groß, heterogen und verteilt sind, und die sich dynamisch an Umgebungsbedingungen anpassen.

Diesen Trend skizzierte Prof. Dr. Peter Liggesmeyer in seiner Keynote »Engineering Smart Ecosystems« auf der embedded world 2021 DIGITAL und zeichnete dazu zunächst die Effekte der digitalen Transformation in drei Phasen nach. Phase eins besteht im Ersatz traditioneller Produkte durch digitale Produkte, wobei viele Aspekte des Ökosystems erhalten bleiben. Beispielsweise war das beim Übergang von der LP zur CD so: Der digitale Tonträger hat den analogen verdrängt, ansonsten blieb aber alles beim Alten. In Phase zwei kommen digitale Prozesse ins Spiel, die auch die Umgebung beeinflussen. Im Fall der Musikwiedergabe waren das die Entwicklung der MP3-Kompression und der digitalen Abspielgeräte wie z.B. des

iPod. Plötzlich konnte man Dutzende CDs auf einen Speicherchip laden, der Tonträger wurde entmaterialisiert. Phase drei ist schließlich durch die Einführung digitaler Geschäftsmodelle gekennzeichnet. Hierfür stehen Streaming-Portale wie Spotify oder Apple Music, die über ein Abonnement den Zugriff auf ihr gesamtes Sortiment erlauben. Der Erwerb von Tonträgern bzw. einzelnen Titeln wird damit überflüssig.

VON INNOVATION ZU DISRUPTION

Der größte Teil der Softwareentwicklung ist durch inkrementelle Innovation gekennzeichnet, d.h. die Software führt zur Optimierung von Kosten bzw. Abläufen. Dem steht die disruptive Innovation gegenüber, bei der die technische Innovation durch



Alle Vorträge der embedded world 2021 DIGITAL, so auch die hier zitierte Keynote von Prof. Liggesmeyer, sind für registrierte Teilnehmer noch bis 30. Juni 2021 auf der Veranstaltungsplattform online abrufbar. Wer die Veranstaltung verpasst hat, kann sich auf www.embedded-world.eu auch jetzt noch ein Ticket besorgen und hat bis 30.06. Zugriff auf das volle Vortragsprogramm der Konferenz.

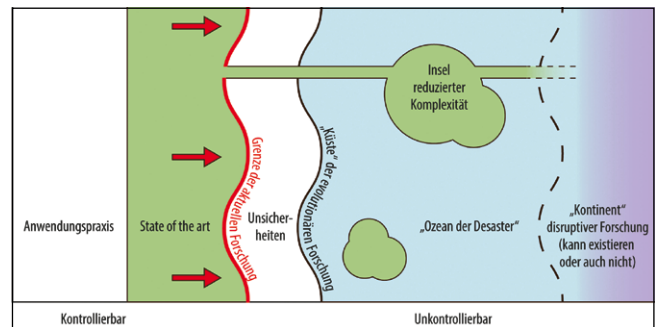
zusätzliche Wertschöpfung und neue, datengetriebene oder bereichsübergreifende Geschäftsmodelle ergänzt wird. Solche Innovationen benötigen meist eine neue technische Plattform. Wir erleben sie z.B. im Bereich der Mobilität (free-floating Car- und Bike-Sharing, Uber, Flixbus). Auch im Bereich der Smart Energy Systems ist eine solche Entwicklung feststellbar: Die großen, zentralen Energieversorgungsanlagen werden durch eine Unzahl größerer bis kleinster Produzenten erneuerbarer Energien ersetzt. Das gesamte Zusammenwirken aller Stakeholder im Energieversorgungsnetz ist so unüberschaubar, dass die Netzregelung von Menschen nicht mehr gesteuert werden kann. Viele Anwendungen und Vorgänge sind heute so komplex, dass sie sich nicht mehr in einem geschlossenen Modell berechnen lassen. An die Stelle der Berechnung tritt dann die Simulation, die auf verschiedenen Ebenen erfolgt. Bei einer ganzheitlichen Modellierung von Ökosystemen betrifft dies nicht nur den technischen Kern, sondern auch Organisationsaspekte, potenzielle Partner und Community-Aspekte. Kein Modell kann alle Erwartungen an die Modellierung eines Systems erfüllen. Deshalb sind bei komplexen Systemen unterschiedliche Modelle erforderlich, mit deren Vielfalt man umgehen muss und deren unterschiedliche Aspekte zusammengebracht werden müssen. Bei komplexen Systemen ist eine kontinuierliche Simulation erforderlich, die mit der Planungsphase beginnt und erst mit dem Lebensende des Systems endet.

DAS PROBLEM MIT SICHERHEIT UND BERECHENBARKEIT

Ein großes Problem für den sicherheitskritischen Einsatz stellen die jetzt heranreifenden, autonomen Systeme dar. Diese Systeme adaptieren ihr Verhalten zur Laufzeit. Das statische Systemdesign weicht einem flexibleren Vorgehen, bei dem sich die Systemeigenschaften während des Betriebs ändern. Darauf sind Zertifizierungsprozesse aber überhaupt nicht eingerichtet. »Wir brauchen einen völligen Paradigmenwechsel bei der Zertifizierung«, sagt Prof. Liggesmeyer, »so etwas wie Runtime Self-certification. Dafür sind komplett neue Lösungen nötig, die es heute noch nicht gibt.«

Dazu mahnt er einen pragmatischeren Umgang mit der Risikobewertung an: Laut der Automotive-Norm ISO 26262, Safety-Level D, ist ein akzeptables Risiko dann gegeben, wenn ein tödlicher Autounfall alle 10⁸ Stunden eintritt. Würde ein Fahrzeug diese Zeit konstant mit 50 km/h fahren, würden zwischen zwei tödlichen Unfällen fünf Milliarden Kilometer zurückgelegt werden. Erste praktische Erfahrungen von Tesla zeigen, dass die gesamte Flotte bis zum ersten tödlichen Unfall 210 Millionen Kilometer zurückgelegt hat. Dieser Wert liegt um Faktor 20 unter dem Zertifizierungsziel. Andererseits sagt die Statistik aus Deutschland, dass bei manuell gesteuerten Fahrzeugen ein tödlicher Unfall statistisch nach 219 Millionen Kilometer Fahrleistung auftritt – mithin die gleiche Größenordnung wie die autonom gesteuerten Tesla-Fahrleistungen. Das Beispiel ist statistisch natürlich nicht relevant, da es sich um eine Einzelfallbetrachtung handelt. Es zeigt aber, dass der Tesla-Autopilot auf Basis dieser Daten – bessere gibt es bisher nicht – immer-

hin so gut oder schlecht ist wie ein menschlicher Fahrer, und dieses Risiko gilt ja als akzeptabel. Es gilt also, technische Rahmenbedingungen, Annahmen und Bestimmungen einerseits, und die Realität andererseits unter einen Hut zu bringen. Das ist nicht nur eine technische Diskussion, sondern auch eine ethische, die auch die Akzeptanz dieser Systeme betrifft. Bis dahin ist es aber noch ein weiter Weg. Ein System, das aus Sicherheitsgründen zu häufig abschaltet, wird ebenso wenig akzeptiert wie eines, das Sicherheitsmängel aufweist. Liggesmeyer sagt dazu, autonome Systeme müssen die richtige Balance zwischen Verfügbarkeit und Sicherheit in ihre algorithmische Entscheidungsfindung einbeziehen. Das kann nur zur Laufzeit passieren, nicht beim Entwurf. Risiken müssen zur Laufzeit abgeschätzt, bewertet und entschieden werden. Liggesmeyer nennt dies »dynamisches Risikomanagement«. Bisher sind autonome Systeme in sicherheitskritischem Kontext nur in Umgebungen mit reduzierter Komplexität möglich. Beim autonomen Fahren ist dies z.B. die Autobahn: kein Gegen- und Querverkehr, keine Radfahrer, keine Fußgänger. Alles andere ist noch Gegenstand der Forschung. Ob diese auf dem Weg der schrittweisen Innovation fortfahren wird, oder ob es Entdeckungen und Entwicklungen gibt, die zu einem disruptiven Fortschritt führen, ist noch nicht absehbar. JK



Herausforderung an die Forschung: Was heute noch »State of the art« ist, geht demnächst in die Anwendungspraxis über. Die Grenze der aktuellen Forschung wird zwar stetig nach rechts verschoben, evolutionär ist dies aber nur bedingt möglich. Jenseits davon liegt der »Ozean der Desaster« – Phänomene, die technisch nicht beherrschbar sind. Ausnahmen sind nur die »Inseln reduzierter Komplexität«. Möglicherweise kann es sprunghafte Fortschritte in der Forschung geben – sicher ist das aber nicht. (Bild: Liggesmeyer)

PROF. DR. PETER LIGGESMEYER



ist Leiter des Fraunhofer-Instituts für Experimentelles Software Engineering IESE in Kaiserslautern. Neben zahlreichen anderen Funktionen ist er auch Mitglied des wissenschaftlichen Beirats zur Plattform »Industrie 4.0«. Seine Forschungsinteressen sind Sicherheits- und Zuverlässigkeitsanalysetechniken und Verfahren zur umfassenden Sicherheitsanalyse (Security und Safety) für digitale Ökosysteme, insbesondere in den Anwendungsgebieten Nutzfahrzeugtechnologie, Industrie 4.0, Medizin und »Smart Rural Areas«. Auf der embedded world 2021 DIGITAL hielt er einen Keynote-Vortrag mit dem Titel »Engineering Smart Ecosystems«. Dieser Beitrag ist eine Zusammenfassung der wesentlichen Punkte dieses Vortrags.

Bei Verlusten einfach Spitze



**Die Drosseln aus der XGL-Familie überzeugen durch den
branchenweit niedrigsten DC-Widerstand und äußerst geringe
AC-Verluste für eine breit gefächerte Palette an DC-DC-Wandlern.**

Coilcraft's XGL Familie ist in einer großen Anzahl von Induktivitätswerten (von 82 nH bis zu 47 uH) und einer Strombelastbarkeit von bis zu 43 Ampere verfügbar. Ein um bis zu 60% niedrigerer DCR-Wert gegenüber Vorgängerprodukten macht diese Bauelemente zu den Drosseln mit dem höchsten Wirkungsgrad, die heute auf dem Markt erhältlich sind!

Dank ihrer äußerst kleinen DC-Widerstände und höheren Effektivnennströme wird die XGL-Familie bei wesentlich niedrigeren Bauteil-Temperaturen

betrieben als vergleichbare Bauelemente.

Bei einer Bauteilhöchsttemperatur von 165°C bei Nennstrom und hoher Beständigkeit gegenüber thermischer Alterung, erfüllen die Drosseln aus der XGL-Familie die Anforderungen gemäß AEC-Q200 Grade 1, was sie zur idealen Wahl für Anwendungen in automobilen und anderen rauen Umgebungen macht.

Kostenlose Muster und das Datenblatt können Sie wie immer auf www.coilcraft.com/XGL bestellen bzw. herunterladen.

Coilcraft[®]

WWW.COILCRAFT.DE
e-mail: sales@coilcraft-europe.com

AGNES JAHNKE



ist bei X-Fab als Produktmarketing-Managerin für den Bereich Siliziumkarbid (SiC) und Galliumnitrid (GaN) zuständig.

INTERVIEW MIT AGNES JAHNKE, X-FAB

SILIZIUMKARBID AUS DER FOUNDRY

Bei Galliumnitrid gibt es bereits ein gut funktionierendes Foundry-Geschäft, nicht aber bei Siliziumkarbid. Welche Herausforderungen und Chancen es beim Prozessieren von SiC in einer Foundry gibt, verrät uns Agnes Jahnke, Produktmarketing-Managerin SiC und GaN bei X-Fab Semiconductor Foundries. Von Ralf Higgelke

Frau Jahnke, wie kam es eigentlich, dass X-Fab ins Foundry-Geschäft für Siliziumkarbid eingestiegen ist?

X-Fab ist eine Foundry-Gruppe für Analog- und Mixed-Signal-Halbleitertechnologien. Wir bieten CMOS- und SOI-auf-Silizium-basierte Technologien von 1,0 Mikrometer bis hinunter zu 0,13 Mikrometer an. Ergänzt wird unser Angebot durch MEMS- und Wide-Bandgap-Prozesse. Siliziumkarbid prozessieren wir bisher nur in Lubbock, Texas, in unserer 6-Zoll-Fab, die wir 1999 von Texas Instruments gekauft haben, ursprünglich um dort normale CMOS-Prozesse zu fahren. Unser Engagement für Siliziumkarbid begann 2013 mit der Idee, SiC-Wafer auf der gleichen Linie wie die Siliziumwafer zu prozessieren. Doch schon bald wurde uns klar, dass eine simple Umrüstung der Anlagen nicht ausreicht. Daher haben wir im Laufe der Zeit immer wieder neue, dedizierte SiC-Maschinen in die Fertigung integriert, von denen die meisten für 8-Zoll-Wafer geeignet sind. Heute besitzt X-Fab die weltweit größte reinrassige Foundry für Siliziumkarbid. Wir erhöhen ständig unsere Volumina in diesem Bereich und könnten im Grunde die gesamte Fab-Kapazität in Lubbock für Siliziumkarbid nutzen. Wir haben alle notwendigen Anlagen hinzugefügt, um hochwertige Dioden, JFETs und MOSFETs zu fertigen, und kürzlich haben wir einen eigenen Epi-Reaktor für hochwertige SiC-Wafer in Betrieb genommen.

Läuft das Foundry-Geschäftsmodell bei SiC genauso wie bei Silizium?

Es gibt schon einige Unterschiede. Gewöhnlich entwickeln Silizium-Foundries offene Technologieplattformen für das Prozessieren der Wafer. Die Kunden können ihr IC-Design mit einem sogenannten Process Development Kit und bekannter Software wie der von Cadence oder Mentor erstellen. Die Foundry ist für die Entwicklung des Halbleiterfertigungsprozesses und die Herstellung des Wafers verantwortlich. Dies

ist in der Summe ein extrem skalierbares Geschäftsmodell. Einige Partner möchten jedoch nicht nur ihr eigenes Design, sondern auch ihre eigene Prozess-IP implementieren und die Foundry als reine Fertigungsstätte nutzen – der sogenannte »Copy exact«-Ansatz. Auch wir nutzten dieses Geschäftsmodell in den Anfangsjahren bei Siliziumkarbid, aber mit jedem Kunden und unseren eigenen Lernzyklen in Forschung und Entwicklung kristallisierten sich ähnliche Best-Practice-Prozesse für die gleichen Bauelemente heraus. Daher entschlossen wir uns, Standardprozesse für gängige Fertigungsschritte zu entwickeln, so genannte Standard Process Blocks. Dadurch können heute auch weniger erfahrene Kunden eine Prozessentwicklung mit Siliziumkarbid beginnen, indem sie ihre Prozessarchitektur, ihr Design und ihren spezifischen Implantationsplan mitbringen. Alternativ dazu können Kunden SiC-Design oder Prozess-IP von unseren Partnern kaufen.

Bitte erklären Sie uns das mit den Standardprozessblöcken noch genauer.

Ein Standardprozessblock ist ein Satz von Prozessschritten für einen bestimmten Teil des Gesamtprozesses, der alle notwendigen Schritte für eine Schicht innerhalb des Prozessablaufs zusammenfasst. Beispiele dafür sind die Formierung des Gate-Anschlusses oder die ohmschen Kontakte. Ein Standardprozessblock umfasst drei Elemente: Erstens beinhaltet er Block-Routing-Spezifikationen und Routing-Spec-Werte. Das ist eine Beschreibung der notwendigen Prozessschritte und der Reihenfolge – Routing genannt –, die den entsprechenden Prozessschritt, zum Beispiel eine Gate-Formierung, definieren. Zweitens umfasst ein Standardprozessblock Spezifikationen für Bausteinblöcke, die das Ergebnis des Prozesses vorgeben. Und drittens braucht es Teststrukturen und -methoden für die Qualitätskontrolle innerhalb und außerhalb der Fertigungslinie, die Teil des Prüfplans sind.

Der Kunde kommt also zu X-Fab und fragt nach einem Prozess mit einem charakteristischen Ablauf. Wir haben ein sogenanntes Onboarding-Team zusammengestellt, das die Anforderungen prüft und sie mit den bereits entwickelten Standardprozessblöcken abgleicht. Wir stellen dem Kunden ein Process Installation Kit zur Verfügung, das alle notwendigen Informationen enthält, sodass ein Tape-out erfolgen kann. Das Onboarding-Team schlägt dann dem Kunden einen Prozessablauf vor, der auf unseren Standardprozessblöcken basiert. In einigen Fällen muss ein neuer Block entwickelt oder einige Blöcke müssen modifiziert werden. Insbesondere der Implantationsplan ist sehr kritisch für die Bauteileigenschaften und gehört daher dem Kunden. Das Onboarding-Team hilft dann dabei, den kundeneigenen Prozess als Kopie exakt in den Prozessablauf zu implementieren. In wenigen Fällen kann es auch notwendig sein, eine neue Maschine einzufügen.

Standardprozessblöcke helfen dem Kunden also dabei, einen Prozess schneller aufzusetzen, der am besten zu den Möglichkeiten der Produktionsmittel in der Foundry passt.

Kommen wir jetzt zum Fertigungsprozess selber. Welche Herausforderungen birgt ein SiC-Prozess?

Man könnte meinen, dass dies genauso einfach ist wie bei Siliziumwafern, aber genau das Gegenteil ist der Fall. Unsere Ingenieure standen vor einigen enormen Herausforderungen, bevor wir SiC-Wafer mit einer ähnlichen Ausbeute wie Siliziumwafer verarbeiten konnten.

Zuallererst einmal ist Siliziumkarbid durchsichtig und ziemlich spröde.

Daher mussten wir viele Anlagen anpassen, um SiC-Wafer handhaben, kennzeichnen und messen zu können. Eine zweite Herausforderung ist die Geometrie des SiC-Wafers. Im Vergleich zu Siliziumwafern sind diese stark gewölbt und rau, aber nur halb so dick. Stellen Sie sich also vor, Sie versuchen, eine Schüssel auf ein flaches Tablett zu legen und mit der gleichen Fokustiefe über den gesamten Wafer lithografisch Strukturen einzubringen – Sie werden scheitern. Ich meine, wenn Sie es vorher geschafft haben,

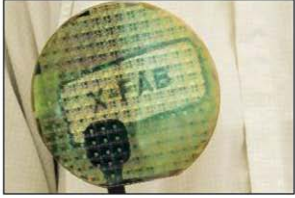
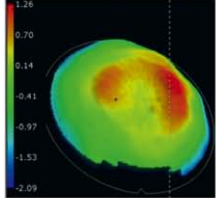
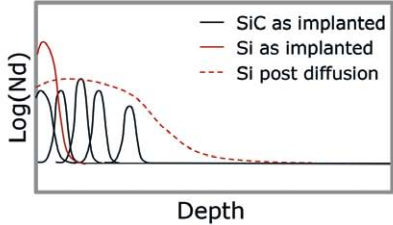
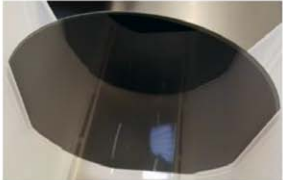
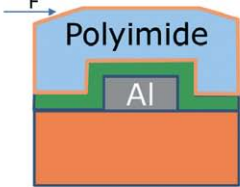
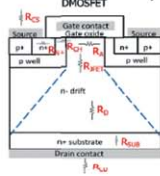
EIN BLICK, EIN KLICK!

Weltweit intuitiver Leiteranschluss?

Kein Problem, dank Hebel! Jetzt selbst überzeugen von den WAGO Leiterplattenklemmen und -Steckverbindern.



WAGO

<p>> SiC is transparent</p> <ul style="list-style-type: none"> • Handling, Marking, Metrology 	<p>> SiC wafer geometry</p> <ul style="list-style-type: none"> • Thickness, bow, flatness 	<p>> No diffusion of dopants in SiC</p>
		
<p>> High temperature anneal</p> <ul style="list-style-type: none"> • Peak temp. up to 1800°C 	<p>> Thick metal deposition</p> <ul style="list-style-type: none"> • 4µm to 5µm + Protective PI 	<p>> There is no perfect design</p> <ul style="list-style-type: none"> • Tradeoff between blocking voltage and R_{ds(on)} from drift layer thickness
		

Die Verarbeitung von Siliziumkarbid-Wafern (SiC) stellt zahlreiche Herausforderungen, welche über die von Silizium-Wafern hinausgehen. (Bild: X-Fab)

den Wafer an den Spannkopf (Wafer Chuck; Anm. d. Red.) anzusetzen.

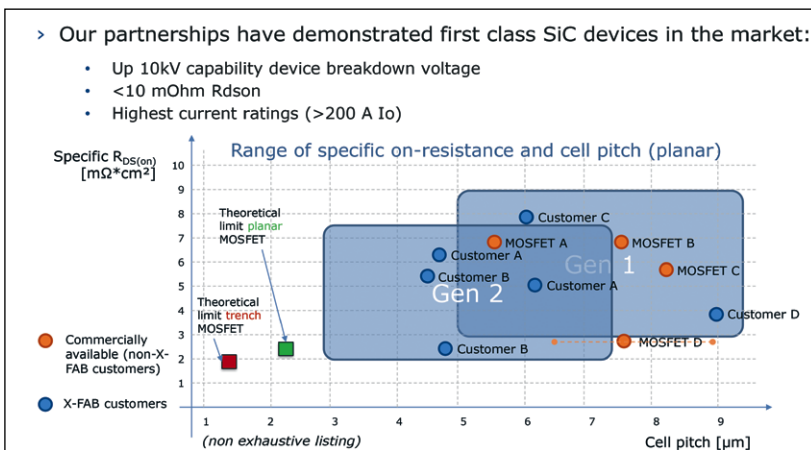
Die dritte Herausforderung liegt in dem physikalischen Unterschied zwischen dem Kristallgitter von Siliziumkarbid und Silizium. Bei Silizium implantiert man den Dotierstoff an der Oberfläche, und durch Diffusion entsteht die dotierte Schicht. Das funktioniert bei Siliziumkarbid aber nicht. Dort findet praktisch keine Diffusion statt, sondern die Dotierstoffe bleiben dort, wohin sie implantiert worden sind. Um den gewünschten Bahnwiderstand zu erreichen, müssen die implantierten Schichten erwärmt werden. Und man braucht mehrere, verkettete Dotierungen, um ein Dotierprofil zu erzeugen. Deshalb ist das Implantationschema so entscheidend für die Bauteileigenschaften. Man muss die Atome im Grunde mit dem richtigen Winkel, der richtigen Energie, der richtigen Dosierung und der richtigen Temperatur an die Stelle schießen, wo sie sein sollen.

Hier verbirgt sich also eine Menge Fachwissen, wie Sie sich vorstellen können.

Durch das Implantieren unter solch aggressiven Bedingungen entsteht auf dem Wafer gewissermaßen eine Kraterlandschaft. Um die Oberfläche später bearbeiten zu können, muss sie also mit einem Hochtemperatur-Glühprozess ausgeheilt werden. Dabei entsteht eine verkohlte Oberfläche auf dem Wafer. Und mit Hochtemperatur meine ich wirklich hoch! Silizium und andere Materialien würden bei diesen 1800 Grad Celsius einfach schmelzen.

Sind das schon alle Herausforderungen?

Nein. Wie Sie wissen, sprechen wir über Leistungsbaulemente und das bedeutet eine hohe Stromdichte durch sehr dicke Metallschichten an der Oberfläche des Halbleiters. Auf der anderen Seite müssen die Wafer für Bauelemente im Bereich von 600 Volt bis 1700 Volt sehr dünn sein. Denn je dünner der Chip ist, desto niedriger ist der Einschaltwiderstand. Dicke Metallschichten belasten SiC-Wafer jedoch stark. Und nicht zuletzt gibt es Herausforderungen beim Bauteildesign. Es gibt einfach kein perfektes Design, sondern nur sorgfältig ausbalancierte Kompromisse zum Beispiel zwischen Sperrspannung und Einschaltwiderstand. Um es zusammenzufassen: Siliziumkarbid-Wafer in einer Silizium-Fab zu prozessieren ist eine ziemliche Herausforderung. Aber wir haben das gemeistert. Und dabei spreche ich nur von den technischen Herausforderungen, nicht von den kaufmännischen, wie dem geringeren Durchsatz bei den meisten Maschinen oder den hohen Wafer- und Substratpreisen.



Kunden von X-Fab können SiC-MOSFETs auf dem neuesten Stand der Technik auf den Markt bringen. Die kommende Gen2 von X-Fab wird weitere Leistungsverbesserungen bieten. (Bild: X-Fab)

Welche Vorteile haben Halbleiterfirmen, die mit einer Foundry wie X-Fab arbeiten?

Zunächst einmal erhalten unsere Kunden genau das Bauteil, das ihren Bedürfnissen entspricht und die Anforderungen wiederum ihrer Kunden erfüllt. Sie haben die Möglichkeit, den besten SiC-MOSFET oder das effizienteste Leistungsmodul zu entwickeln, das die Welt je gesehen hat. Und durch die Zusammenarbeit mit X-Fab können sie dieses Ziel schneller erreichen. Letztendlich erleichtern wir unseren Kunden den Einstieg in die Arbeit mit diesem neuen Wide-Band-gap-Material, und sie können von den Skaleneffekten einer Foundry profitieren, also niedrigere Kosten pro Chip.

Gemeinsam mit unseren Kunden und Partnern haben wir Siliziumkarbid-Bauelemente mit bis zu zehn Kilovolt Durchbruchspannung, sehr niedrigen Einschaltwiderständen oder den höchsten Stromwerten der Branche realisiert.

Können Sie das etwas genauer spezifizieren?

Durch unseren Werkzeugsatz, unsere Prozessierungsmöglichkeiten und unsere Designregeln lassen sich in der ersten Generation zum Beispiel MOSFETs mit einer Zellenbreite von fünf bis etwa neun Mikrometern und einem spezifischen Einschaltwiderstand von bis zu drei Milliohm mal Quadratzentimeter realisieren. Die nächste Generation, die einen weiteren Ausbau

der Werkzeuge erfordert, wird den Weg bis an die theoretische Grenze verfolgen und Zellenabstände bis zu drei Mikrometern oder spezifische Einschaltwiderstände bis zu zwei Milliohm mal Quadratzentimeter ermöglichen. Die spezifischen Kennwerte der einzelnen Komponenten hängen vom individuellen Design ab und lassen sich an die Kundenbedürfnisse anpassen. Wenn Sie die Datenblätter verfügbarer SiC-MOSFETs oder die Werte aus Reverse-Engineering-Reports vergleichen, werden Sie feststellen, dass wir für unsere Kunden bereits heute sehr wettbewerbsfähige Bauelemente herstellen – und das in planarer Architektur.

Wie sieht die Technologie-Roadmap aus? Wird es bald SiC-Trench-MOSFETs bei X-Fab geben?

Wir arbeiten an der zweiten und dritten Prozessgeneration sowie an der Trench-Technik. Weitere Verbesserungen wird es auch bei der Epitaxie geben, wobei wir dort weitere Kapazitäten hinzufügen werden. Parallel dazu entwickeln wir ständig neue Standardprozessblöcke. Im Jahr 2020 haben wir die stark nachgefragte Rückseitendünung auf 110 Mikrometer sowie eine sinterfähige Metallisierung auf der Vorderseite hinzugefügt.

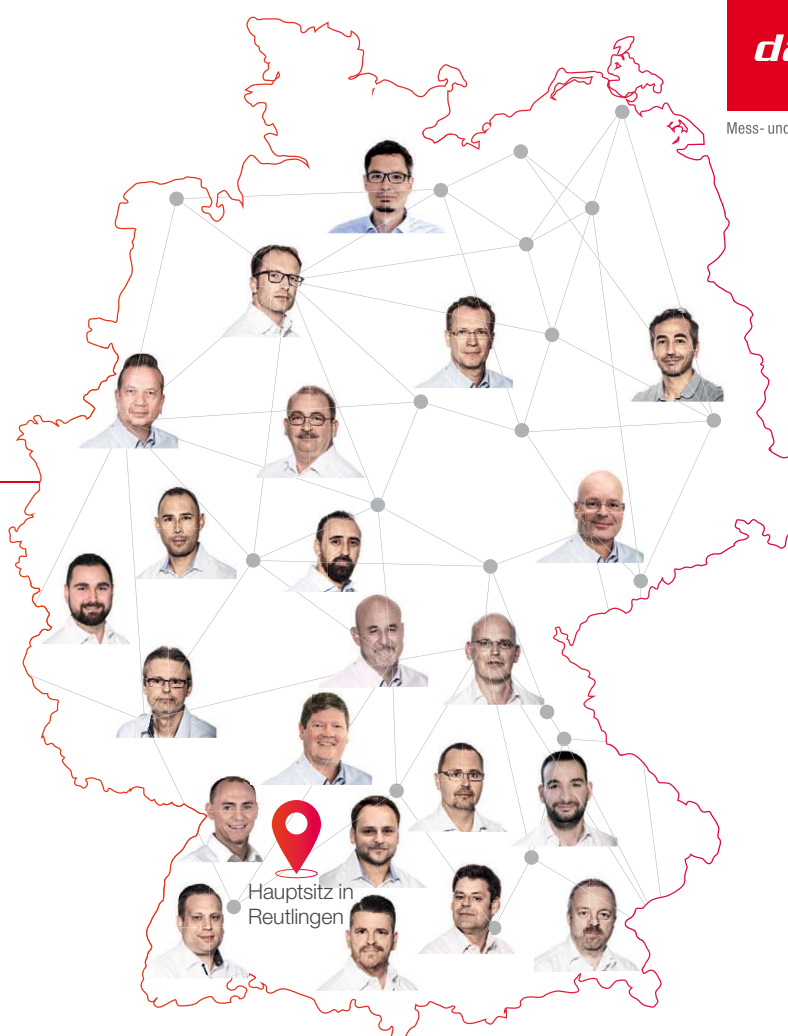
Frau Jahnke, herzlichen Dank für das Gespräch. RH

Experten lösen Ihre Messaufgabe.

Über 20 technische Experten im Außendienst stehen Ihnen jederzeit für ein individuelles Beratungsgespräch zur Verfügung. Ob vor Ort, am Telefon oder per Online-Demo.

Jetzt Termin vereinbaren.

>>> www.datatec.de/experten



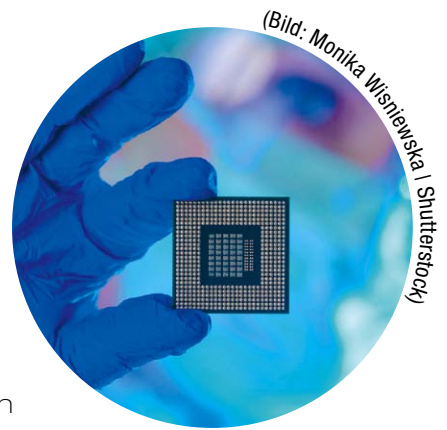
dataTec

Mess- und Prüftechnik. Die Experten.



EDA-TOOLS

AGILE METHODEN BEI DER HALBLEITER-ENTWICKLUNG



Ein Chipdesign kann mehrere Millionen Euro kosten. Mithilfe von agilen Methoden und einem entsprechenden EDA-Tool möchte LUBIS EDA der Halbleiterindustrie helfen, die Time-to-Market zu verkürzen und damit die Entwicklungskosten zu senken. Von Ralf Higgele

In puncto Hardwaredesign hat sich in der Industrie in den letzten Jahrzehnten nicht viel verändert. »Beim Chipdesign lag der Fokus bisher darauf, den vorhandenen Prozess schneller zu machen«, konstatiert Tobias Ludwig von der TU Kaiserslautern. »Die Idee, diesen mithilfe von agilen Ansätzen komplett neu zu gestalten und damit bei der Time-to-Market einen großen Zeitsprung nach vorne zu machen, hat bislang noch nicht gezündet.«

Deswegen bietet das Gründerteam um die Ingenieure Tobias Ludwig, Michael Schwarz und Dr. Max Birtel sowie den Softwareentwickler Tim Burr der Halbleiterindustrie jetzt einen geeigneten Werkzeugkasten, um das ungenutzte Potenzial zu erschließen. »Unsere Softwarelösung ermöglicht es Unternehmen, bewährte Ansätze aus der agilen Softwareentwicklung in die Welt der Hardware zu übertragen«, so Ludwig. »Mehr Kundennähe, schnellere Releases, Fehlerminimierung im Initialdesign – all das ist dadurch auch in der Hardwareentwicklung möglich.« Die Gründer

planen, das Software-Tool künftig unter dem Namen LUBIS EDA zu vermarkten. Der entscheidende Vorteil besteht im frühzeitigen und kontinuierlichen Testen, weil es eben nicht erst am Ende, sondern nach jedem Anpassungsschritt stattfindet. So soll sich die Zeit, die insgesamt benötigt wird, um den Chip zu verifizieren, signifikant reduzieren lassen. »Aus der Erfahrung heraus können wir mindestens zehn Prozent Zeitersparnis allein beim Testen garantieren«, unterstreicht Dr. Max Birtel. »Da sich die Entwicklungskosten für einen Chip je nach Komplexität in einem Bereich von knapp zwei bis hin zu sechs Millionen Euro bewegen, liegt auf der Hand, welches Einsparpotenzial sich je Projekt eröffnet.«

Der Einstieg in die neue Methodik kann auch über einen Teilprozess erfolgen, da sich das neue Entwicklungswerkzeug parallel zu bestehenden Entwicklungs-umgebungen betreiben lässt. Sprich, Dokumente und Daten aus bestehenden Teilprozessen lassen sich einpflegen und am Ende die Resultate ins bisherige System zurückspielen.

»Unsere Methodik setzt an dem Punkt an, wenn das kundenspezifische Entwurfsdesign erstmals in Gestalt von konkreten Hardwareanforderungen und -eigenschaften festgeschrieben wird«, erläutert Birtel. »Chiphersteller können mithilfe unserer Software das noch abstrakte Pflichtenheft in einen virtuellen Prototyp überführen, der alle Funktionen der späteren physischen Hardware abbildet.« Dabei lassen sich mit dem agilen System alle Entwicklungsziele erreichen, die in der Halbleiterindustrie relevant sind – von möglichst kleinen über möglichst energiesparende bis hin zu möglichst leistungsstarken Chips.

»In unserem Tool stecken nahezu 15 Jahre Entwicklungsarbeit«, so Birtel weiter. »Jetzt sind wir bereit für Pilotprojekte, um unsere Softwarelösung in spezifischen Anwendungsfällen zu evaluieren. Dadurch erhoffen wir uns auch weitere Impulse für unser Geschäftsmodell – sprich, wie wir die Software letztendlich am Markt am besten anbieten können.« RH



Tim Burr, Tobias Ludwig, Michael Schwarz und Dr. Max Birtel (v.l.n.r.) wollen mit dem Tool LUBIS EDA agile Methoden beim Halbleiterdesign ermöglichen.

AUTOMOTIVE MEETS ELECTRONICS 2021

VERMEHRTER EINSATZ VON KI UND SIMULATION

Am 10. und 11. März 2021 fand die diesjährige »Automotive meets Electronics« statt – in Anbetracht der Einschränkungen durch die Corona-Pandemie natürlich virtuell. Neben spannenden Fachbeiträgen konnten die Teilnehmer drei Keynotes und eine Podiumsdiskussion verfolgen. Von Dr. Michael Wahl

Die Struktur der Konferenz wurde an die Online-Möglichkeiten angepasst: Für die einzelnen Fachbeiträge gab es deshalb Kurzvorträge. Fragen konnten in speziellen Breakout-Sessions gestellt werden. Die Konferenz fand an zwei aufeinanderfolgenden Nachmittagen statt, was sich für das Online-Format als positiv herausstellte.

Prof. Dieter Schramm von der Universität Duisburg-Essen berichtete in seiner Keynote über das automatisierte Fahren in der Binnenschifffahrt, das gegenüber dem motorisierten Straßenverkehr deutlich mehr Freiheitsgrade besitzt und auch Effekte durch unterschiedliche Wassertiefe berücksichtigen muss, beispielsweise den unterschiedlichen Kurvenradius.

Dr. Berthold Hellenthal von der Car.Software Org aus Ingolstadt widmete sich in seinem Vortrag dem Wandel von Volkswagen vom Fahrzeughersteller zum softwareorientierten Unternehmen, in dem Mehrwert durch neue Dienstleistungen geschaffen werden soll. Dies erfordert grundlegende Veränderungen in der Struktur der Informationsverarbeitung im Fahrzeug und in der Zulieferkette, bei denen die zukünftigen Rollen der Partner noch nicht feststehen. In der dritten Keynote stellte Dr. Wolfgang Schneider

anschaulich dar, inwieweit sich die rechtlichen Rahmenbedingungen für das automatisierte Fahren in den vergangenen Jahren geändert haben.

KLASSISCHE THEMEN – NEUE SCHWERPUNKTE

Bei den Fachvorträgen zeigt sich, dass die klassischen Themen, wie zum Beispiel die Traktorienberechnung, zunehmend durch den Einsatz von KI-Algorithmen ergänzt werden. KI-Algorithmen bewähren sich darüber hinaus auch bei der Simulation des Verhaltens von Rad-aufhängungen. Ein neuer Schwerpunkt ist der Übergang hin zu verstärkter Simulation. Das Ziel ist es, das Verhalten vom Sensor über die Steuergeräte bis hin zum Gesamtsystem beschreiben zu können, um die Entwicklungszeiten zu verkürzen. Das Verhalten der Komponenten und des Gesamtsystems soll sich dann in der Simulation wesentlich umfangreicher testen lassen, als es mit hybriden Systemen möglich ist. Auch die Fehlersuche und -beseitigung findet dann vorwiegend im virtuellen Raum statt. Dies wurde auch in der Podiumsdiskussion zum Thema »Neue Entwicklungskonzepte mittels virtueller Technik« deutlich. Die Konferenz schloss mit der Aussicht,

sich im nächsten Jahr wieder persönlich in Dortmund treffen zu können und dann auch die Diskussionen sowie den Informationsaustausch in den Pausen wieder erleben zu dürfen.

Dr. Michael Wahl, Chairman der AmE 2021 IH



Leistungsinduktivitäten in Ferrit- und Metallverbundtechnik

- NPIS_L Standard
- NPIS_LA AEC-Q200
- NPIS_LS erweiterte Größen
- NPIS_LP erhöhte Leistung
- NPIM_L Metallverbund
- NPIM_LP erhöhte Leistung

Konstruktionsvorteile

- Reduzierte Baugrößen verfügbar
- Höhere Leistung
- Weniger Verluste
- Schutz vor Vibrationen
- Temperaturbereich -40 bis +125° C



Elektronische und elektromechanische Bauelemente - sofort ab Lager

WWW.GUDECO.DE



Mit dem Starterkit von OKdo den Raspberry Pi 4 voll ausschöpfen (Bild: RS Components)

Das von OKdo entwickelte und weltweit exklusiv über OKdo und RS Components erhältliche Raspberry Pi-4-Model-B-Entwicklungs-kit mit 8 GB RAM ermöglicht einen einfachen Zugriff auf den derzeit leistungsstärksten Pi-SBC. OKdo ist ein 2019 gegründetes Unternehmen der RS Mutter Electrocomponents und konzentriert sich auf Single Board Computing sowie Produkte rund ums IoT. Das jüngst vorgestellte Starterkit basiert auf dem Raspberry Pi 4 Model B mit 8 GB RAM. Es bietet alles, was Anwender benötigen, um dessen Leistung voll auszuschöpfen. Dazu gehören eine mit Linux vorinstallierte 32-GB-MicroSD-Karte (NOOBS 3.1.1), ein 5-V-Netzteil, HDMI-

8-GB-STARTERKIT OKDO

RASPBERRY PI 4 AUF DER ÜBERHOLSPUR

und USB-Kabel, ein SD-Kartenleser und ein Aluminiumgehäuse mit Lüfter und Kühlkörpern sowie die Anleitung für den Einstieg von OKdo und das Projekthandbuch »Get Inspired«.

Die im Kit neben einem Aluminiumgehäuse und dem Lüfter enthaltenen drei Kühlkörper lassen sich direkt an den Prozessor der Platine, das RAM und den USB-Controller anschließen. Mit diesen Hardwarelementen können Benutzer die maximale Betriebsgeschwindigkeit des Prozessors von 1,5 GHz voll ausnutzen. Mit seinem 8 GB LPDDR4-RAM-Speicher übertrifft der im Kit enthaltene Raspberry Pi 4 Model B viele Desktop-PCs. Zusätzlich verfügt der Raspberry Pi 4 Model B über zwei Micro-HDMI-Anschlüsse, sodass der Betrieb von zwei externen Displays mit einer Auflösung von bis zu 4Kp60 gleichzeitig möglich ist. Die zwei im Kit ebenfalls enthaltenen Micro-HDMI-zu-HDMI-Kabel machen die Nutzung dieser neuen Funktion noch einfacher.

Der Prozessor des Raspberry Pi 4 Model B ist der leistungsfähigste, der bislang in einem Raspberry Pi zur Anwendung kam. Der Broadcom BCM2711 ist ein Quad-Core-Prozessor mit vier Arm Cortex-A72 64-Bit-Kernen, die auf der Armv8-Architektur basieren. Darüber hinaus erweitert der Raspberry Pi 4 Model B die Schnittstellenoptionen des SBC. Neben den beiden USB-2.0-Anschlüssen bietet er jetzt zwei USB-3.0-Anschlüsse. Dies wird ergänzt durch 2,4 GHz und 5,0 GHz IEEE 802.11b/g/n/ac und drahtlose Bluetooth 5.0 BLE-Konnektivität sowie Gigabit-Ethernet.

Das Kit eignet sich als Basis für die neuesten und anspruchsvollsten Anwendungen in den Bereichen KI, Robotik und Industrie 4.0. Trotz seiner hohen Leistungsfähigkeit stellt der SBC für den Bildungsbereich immer noch einen einfachen Zugang dar, um zu einem Preis auf Einsteigerniveau Erfahrungen mit hoher Processing Performance zu sammeln. ZÜ

SIERRA WIRELESS FUNKMODULE

5G-MOBILFUNK IM M.2-FORMFAKTOR

Die Funkmodule EM9190 und EM9191 von Sierra Wireless bringen die schnelle 5G-Mobilfunktechnologie in industrielle Anwendungen. Erhältlich sind sie über Glyn.

Die Module sind weltweit in 5G-Netzen einsetzbar, mit Fall-back auf 4G LTE und 3G UMTS. Das EM9190 unterstützt auch die 5G-Kommunikation mit Frequenzen über 20 GHz (Millimeterwellen) und ermöglicht so Datenraten bis zu 5,5 Gbit/s im Downlink und 3 Gbit/s im Uplink. Ohne Millimeterwellen sind bis zu 4 Gbit/s im Downlink und 600 Mbit/s im Uplink möglich. Weiterhin enthalten die Module einen integrierten GNSS-Empfänger zur Positionsbestimmung mit GPS-, Glonass-, BeiDou- und Galileo-Satellitensystemen. Die Module eignen sich damit für Anwendungen im Bereich Mobile Computing sowie für Industrie-Router, Videoübertragung und Digital Signage.

EINFACH INTEGRIEREN DANK M.2-STANDARD

Durch den standardisierten M.2-Formfaktor lassen sich die Funkmodule bequem in kompatible Hardware integrieren, z.B.

Embedded PCs, Router oder andere Anwendungen für Mobile Computing. So ist ein einfacher Wechsel zu künftigen Funkmodulen möglich. Als Schnittstellen stehen PCIe und USB 3.1 zur Verfügung. Die Module sind zudem für den industriellen Arbeitsbereich von -40 bis 85 °C ausgelegt. ZÜ



Die Module von Sierra Wireless bringen 5G in industrielle Anwendungen.

(Bild: Glyn)

S&T LEGT ZAHLEN VOR

WACHSTUM IM JAHR 2020

Die S&T AG bestätigt ihre am 23.02.2021 veröffentlichten vorläufigen Zahlen für das Geschäftsjahr 2020. Mit den Zahlen beweist der Konzern im Pandemie-Jahr 2020 seine Krisenfestigkeit.

Beim Umsatz verzeichnete das Unternehmen ein Wachstum von 12 % zum Vorjahr auf 1.254,8 Mio. Euro (Vorjahr: 1.122,9 Mio. Euro), das EBITDA wurde um 16 % auf 130,0 Mio. Euro (Vorjahr: 111,7 Mio. Euro) gesteigert. Das Periodenergebnis nach Minderheitenanteil stieg ebenso um rund 13 % auf 55,6 Mio. Euro (Vorjahr: 49,1 Mio. Euro), das Ergebnis je Aktie (unverwässert) konnte somit um 15 % auf 86 Cent erhöht werden (Vorjahr: 75 Cent).

Zudem erwirtschaftete die S&T-Gruppe im Jahr 2020 ein Rekordhoch beim operativen Cashflow mit 140,8 Mio. Euro und ist somit bestens aufgestellt, ihr künftiges Wachstum zu finanzieren. Der Anstieg beim Auftragsbestand um 10 % auf 927 Mio. Euro und der Projektpipeline um 25 % auf 2.702 Mio. Euro zeigen die Anpassungsfähigkeit der S&T-Gruppe in schwierigen Zeiten.

Entsprechend kommunizierter Pläne, will S&T rund 50 % des jährlichen Nettogewinnes für Dividendenzahlungen und Aktienrückkäufe verwenden, während sie 50 % in das weitere Wachstum im Rahmen der Agenda 2023 investieren will. Aufgrund der guten finanziellen Situation und des Gewinnanstiegs wird der Vorstand der S&T der Hauptversammlung einerseits eine erhöhte Dividende von 30 Cent für das abgelaufene Geschäftsjahr vorschlagen, nachdem Covid-19-bedingt in 2020 keine Dividende ausbezahlt wurde. Andererseits sollen, nachdem 2019 und 2020 bereits knapp 27 Mio. Euro in Aktienrückkäufe investiert wurden, bis zu 20 Mio. Euro für weitere Aktienrückkäufe im laufenden Geschäftsjahr 2021 verwendet werden.

Hannes Niederhauser, CEO der S&T AG, sieht zuversichtlich in die Zukunft: »Das Geschäftsjahr 2020 war für die S&T-Gruppe das zehnte Rekordjahr in Folge. Auch wenn sich die Welt und die S&T geändert haben, halten wir an unseren Zielen fest und planen auch zukünftig nachhaltig zu wachsen. Für 2021 wollen wir, bei einem Umsatzanstieg auf mindestens 1.400 Mio. Euro und einem EBITDA von mindestens 140 Mio. Euro, das Ergebnis je Aktie weiter auf rund 1 Euro je

Aktie steigern. Zudem bekräftigen wir unser Mittelfristziel für 2023 von 2 Mrd. Euro Umsatz bei einem EBITDA von 220 Mio. Euro.« TS

Hannes Niederhauser ist CEO der S&T AG.
(Bild: S&T)

WACHSTUMSMARKT SILIZIUMKARBID

SK SILTRON INVESTIERT MASSIV IN SiC-WAFER



(Bild: SK Siltron)

SK Siltron hat SiC-Wafer als Wachstumsquelle identifiziert. Daher wird das Unternehmen laut südkoreanischen Medien in den nächsten Jahren in großem Umfang in die Produktion von SiC-Wafern investieren, um die wachsende Nachfrage zu decken.

Wie mehrere Quellen aus der Halbleiterindustrie nun mitgeteilt haben, prognostiziert der Marktforscher TrendForce, dass der Umsatz mit SiC-Leistungshalbleitern in diesem Jahr 680 Mio. US-Dollar erreichen wird – ein Plus von 32 Prozent gegenüber dem Vorjahr. Ein anderer Marktforscher, Yole Development, prognostiziert ebenfalls ein starkes Marktwachstum für SiC-Leistungshalbleiter von 973,4 Mio. US-Dollar im Jahr 2022 auf 10,87 Mrd. US-Dollar im Jahr 2030.

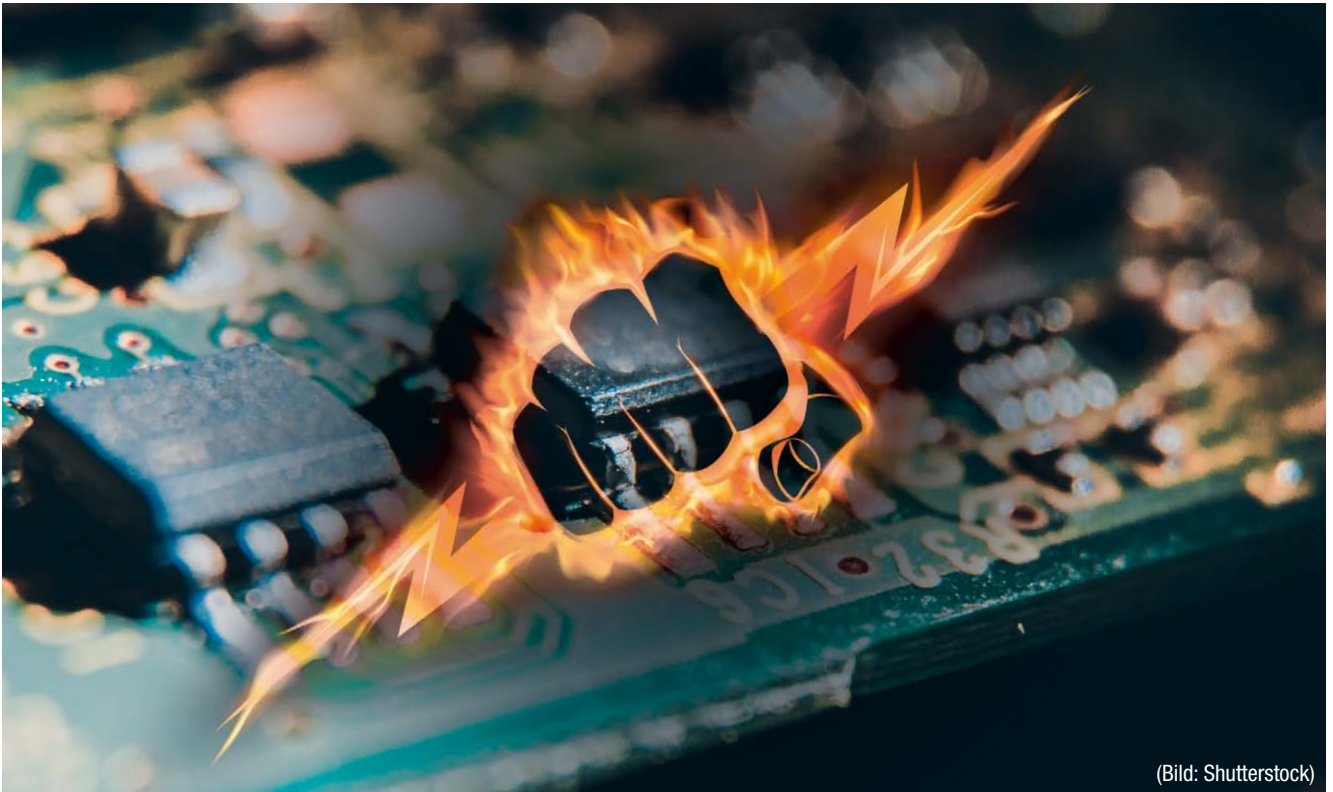
Vor diesem Hintergrund hat SK Siltron die SiC-Wafer als Wachstumsquelle der nächsten Generation identifiziert und im vergangenen Jahr in großem Umfang investiert. Im Februar 2020 erwarb das südkoreanische Unternehmen die SiC-Wafer-Sparte des US-Chemieriesen DuPont für 450 Mio. Dollar. Als Teil der Bemühungen, die Marktführerschaft zu übernehmen, beabsichtigt SK Siltron, in den nächsten fünf Jahren in großem Umfang zu investieren und die dazugehörigen Anlagen zu erweitern. Das Geschäft mit SiC-Wafern, das bis zum vergangenen Jahr 2020 bei SK Siltron rote Zahlen geschrieben hat, wird in diesem Jahr 2021 voraussichtlich erstmals in die Gewinnzone kommen.

Nach Angaben von Branchenkennern entfallen 40 Prozent des SiC-Wafer-Marktes auf die US-Firma Cree/Wolfspeed, gefolgt von II-VI mit 35 Prozent. Es folgt SK Siltron als einziger südkoreanischer Hersteller von SiC-Wafern.

Ein namentlich nicht genannter Vertreter von SK Siltron erklärte, dass sich der Markt für SiC-Wafer in einer frühen Entstehungsphase befinde, in der sich die Marktposition mit einem einzigen Auftrag ändern könne. Das Unternehmen wägt den Zeitraum für umfassende Investitionen ab, um den Marktanteil auszubauen, fügte der Vertreter hinzu.

RH

SiC-MOSFETs IM STRESSTEST



(Bild: Shutterstock)

Im Vergleich zu Silizium-MOSFETs weisen Siliziumkarbid-MOSFETs eine hohe Anzahl an Defekten im Gate-Oxid auf – lange Zeit ein ernstes Problem bei deren Zuverlässigkeit und für die Kommerzialisierung. Doch in den vergangenen Jahren kamen bessere Fertigungsmethoden und neue Testverfahren – mit Einfluss auch auf die Zuverlässigkeit des Gate-Oxids.

Von Dr. Thomas Aichinger

Viele Konzepte und Technologien, die sich bei der Verarbeitung von Silizium durchgesetzt haben, ließen sich bei der Entwicklung der Siliziumkarbid-Technologie (SiC) übernehmen – darunter auch Verfahren, um die Langzeitstabilität von Siliziumbauelementen zu

verifizieren. Tiefergehende Analysen haben jedoch gezeigt, dass SiC-basierte Bauelemente noch zusätzliche Zuverlässigkeitstests erfordern. Zum Beispiel ist das Material selbst auf spezifische Defektstrukturen zu untersuchen. Des Weiteren sind im

Gegensatz zu Silizium auftretende Anisotropien und andere mechanische sowie thermische Eigenschaften zu berücksichtigen. Zudem haben SiC-Bauelemente im Gegensatz zu Si-Bausteinen eine größere Bandlücke, was sich auf Dichte und Dynamik

von Grenzflächenzuständen in MOS-basierten Bauelementen auswirkt. Im Betrieb entstehen innerhalb des Materials und an den äußeren Grenzflächen – zum Beispiel an den Randabschlussstrukturen – bis zu zehnfach stärkere elektrische Felder, was wiederum die Lebensdauer des Oxids beeinflussen kann und spezielle Abschirmstrukturen erfordert. Gleichzeitig können im Gate-Oxid von SiC-MOSFETs vermehrt Schwachstellen auftreten, die auf sogenannte extrinsische Defekte zurückzuführen sind. Dabei handelt es sich um winzige Verzerrungen bzw. Störungen im Gate-Oxid, die im Prinzip so wirken, als wäre das Oxid an diesen Stellen dünner. Derartige Störungen stehen oft in Zusammenhang mit Epitaxie- oder Substratdefekten [1], metallischen Verunreinigungen, Partikeln oder anderen extrinsischen Einschlüssen im Gate-Oxid, die während der Herstellung der Bauelemente eingebracht wurden (**Bild 1**).

Weil die extrinsische Defektdichte bei SiC selbst heute noch immer viel größer

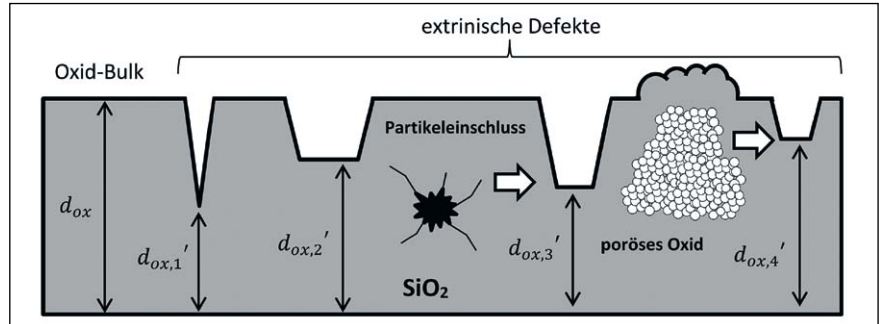


Bild 1: Darstellung verschiedener Arten extrinsischer Defekte im Gate-Oxid. (Bild: Infineon Technologies)

ist als bei Silizium, sind neben Maßnahmen, die die Defektdichte verringern, auch Methoden wichtig, die die Auswirkung der Defekte auf das Endprodukt reduzieren. Solche Methoden sind zum Beispiel elektrische Selektionsverfahren, sogenannte Screening-Verfahren. Beides erfordert ein hohes Maß an Know-how und ein breites Hintergrundwissen rund um die Herstellungsprozesse, Materialeigenschaften und Ausfallmechanismen. Infineon hat neben der langjährigen Expertise mit Siliziumtechnologien auch wissenschaftliche Kooperationen während

der Entwicklung und Produktion von SiC-basierten Leistungsbaulementen genutzt, um diese intensiv zu analysieren und maßgeschneiderte Screening-Verfahren zu entwickeln.

So konnte das Unternehmen neue Tests und Modellierungsansätze entwickeln, die auch Betriebsarten einbeziehen, die bei Silizium-Leistungshalbleitern weniger üblich sind. Zusätzlich modifiziert es bereits etablierte Tests, um SiC-spezifische Anforderungen zu berücksichtigen. Im Laufe der Zeit entstanden somit aussagekräftige Charakterisierungs- und Validierungsschemata, die

Test&Measurement

Das **gelbe Y** ist der Schlüssel zum **grünen A**

YOKOGAWA ◆

A

B

C

D

E

F

G

Neues EU-Energielabel

Die Leistungsanalytoren von Yokogawa sind für Sie der Schlüssel zum Erfolg, wenn es um die Entwicklung von energieeffizienten Produkten geht.

Precision Making

tmi.yokogawa.com/de



WT333E Digitaler Leistungsanalysator

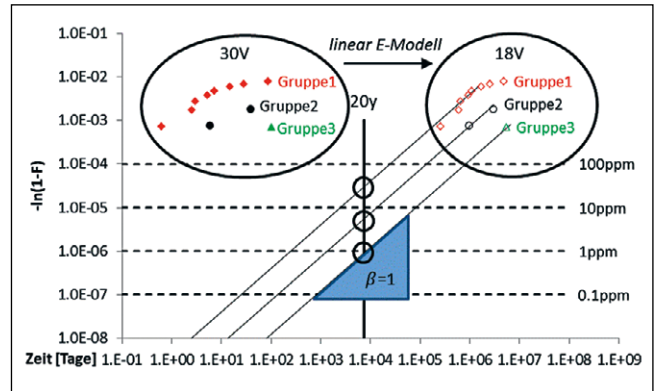
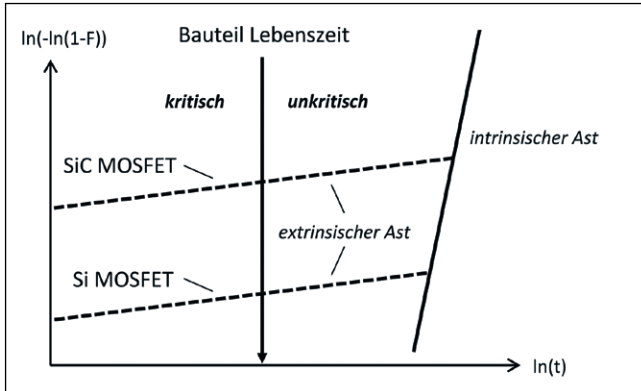


Bild 2: SiC-Bauelemente weisen deutlich mehr extrinsische Defekte im Gate-Oxid auf. Bild 3: Weibull-Verteilung der Ausfallwahrscheinlichkeiten im Marathon-Test für die drei verschiedenen SiC-Trench-MOSFET-Probengruppen mit unterschiedlichen extrinsischen Defektdichten. (Bilder: Infineon Technologies)

auf Stresstestanalysen beruhen, die auf spezifischen Mission-Profilen basieren. Mit diesen lassen sich kritische Betriebsbedingungen für SiC-Bauteile bewerten und neue potenzielle Ausfallmechanismen verstehen.

ELEKTRISCHES GATE-OXID-SCREENING

Indem die Defektdichte während des Herstellungsprozesses minimiert wird, verringert sich die Anzahl an Bauteilen, die am Ende des Prozesses kritische Gate-Oxid-Defekte beinhalten. Trotzdem weisen heute auf Siliziumkarbid gefertigte Gate-Oxide noch deutlich höhere extrinsische Defektdichten auf als vergleichbare Silizium-Bausteine (Bild 2). Dadurch steigt die Wahrscheinlichkeit für Frühausfälle im Feld. Damit SiC-MOSFETs ähnlich zuverlässig arbeiten wie ihre Gegenstücke aus Silizium, sind daher zusätzliche elek-

trische Selektionsverfahren nötig. Nur so lassen sich potenziell schwache Bauelemente mit hinreichender Effizienz identifizieren und eliminieren.

Ein klassisches Beispiel für ein solches elektrisches Auswahlverfahren ist ein Burn-in-Test. Bei diesem Test werden die Bauelemente typischerweise bei niedrigen Gate-Spannungen und erhöhten Temperaturen für längere Zeit belastet. Bauteile, die ausfallen, werden entfernt, die anderen dürfen ausgeliefert werden. Dieser Ansatz hat jedoch mehrere Nachteile: Ein Burn-in ist zeitaufwendig, kostspielig und kann aufgrund des langanhaltenden Gate-Stresses bei hoher Vorspannung (Bias) und hoher Temperatur dazu führen, dass kritische elektrische Bauteilparameter wie z. B. die Schwellenspannung und der On-Widerstand zu driften beginnen. Diese Effekte sind allgemein als Spannung-Temperatur-Instabilitäten (Bias Temperature Instabilities) bekannt [2]. Besser geeignet ist darum ein weitaus kürzerer, dafür deutlich schärferer elektrischer Endtest, der im Folgenden als »Screeningtest« bezeichnet wird: Dabei werden die einzelnen Bauelemente hohen Spannungspulsen am Gate mit definierter Amplitude und Zeit ausgesetzt [3] [4]. Spannung und Zeit werden dabei so ausgelegt, dass Bauelemente mit kritischen extrinsischen Defekten ausfallen. Übrig bleiben nur Chips ohne oder mit nur unkritischen extrinsischen Defekten. Die Zuverlässigkeit des Gate-Oxids bei der überlebende Population ist nach dem Screeningtest deutlich höher [5].

Eine Voraussetzung für ein schnelles und effizientes Gate-Spannungs-

Screening ist eine Bulk-Oxidschicht, die deutlich dicker ist als jene, die nötig wäre, um lediglich intrinsische Lebensdauerziele zu erfüllen. Durch die dickere Oxidschicht lassen sich Screening-Spannungen verwenden, die erheblich höher sind als die typische Betriebsspannung der Bauelemente, ohne dass dadurch fehlerfreie Bauelemente geschädigt werden. Dabei gilt: Je höher das Verhältnis von Screeningsspannung zu Betriebsspannung ist, desto effizienter wirkt das elektrische Screening und desto niedriger ist danach die Fehlerwahrscheinlichkeit im Feld [6].

Ein Nachteil der dickeren Bulk-Oxidschicht ist ein leicht erhöhter elektrischer Widerstand im MOS-Kanal. Dieser ist in erster Näherung direkt proportional zur Dicke des Gate-Oxids und kann in bestimmten Fällen einen großen Teil des gesamten On-Widerstands ausmachen. Dies gilt insbesondere bei Bauelementen niedrigerer Spannungsklassen, die einen vergleichsweise geringen Widerstand in der Driftzone aufweisen. Die hohe Screeningeffizienz und damit auch die ausgezeichnete Gate-Oxid-Zuverlässigkeit von SiC-MOSFETs haben also einen Preis: Der On-Widerstand steigt leicht.

Dieser Kompromiss lässt sich zwar nicht völlig umgehen, doch die Tatsache, dass sich die Bulk-Oxiddicke unterschiedlich stark auf den On-Widerstand und die Zuverlässigkeit des Gate-Oxids auswirkt, kann man nutzen. So steigt die Zuverlässigkeit des Gate-Oxids durch Verwendung höherer Screeningsspannungen exponentiell mit der Oxiddicke,

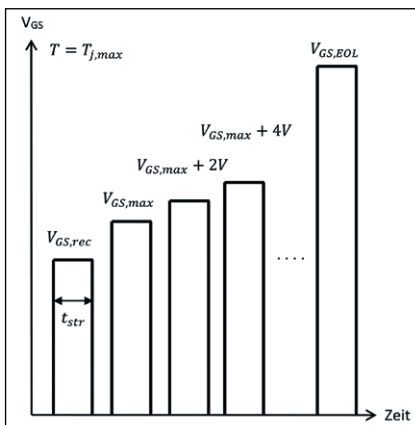


Bild 4: Vor und nach jeder Stressessequenz werden die Chips auf Gate-Source-Leckströme überprüft. (Bild: Infineon Technologies)

während sich der On-Widerstand oft nur minimal erhöht. Bei höheren Temperaturen ist der Anteil des Driftzonen-Widerstands noch ausgeprägter, wodurch die Leistungseinbuße eines dickeren Bulk-Oxids in relativen Zahlen ausgedrückt nochmals deutlich kleiner wird. Nutzt man eine dickere Bulk-Oxidschicht, verzichtet man also bewusst auf ein nur geringes Maß an Leistungsfähigkeit; im Gegenzug erhöht sich die Zuverlässigkeit der Bauteile jedoch drastisch.

EXTRINSISCHE GATE-OXID-ZUVERLÄSSIGKEIT BEWERTEN

Um die Ausfallwahrscheinlichkeiten unter normalen Betriebsbedingungen zuverlässig vorherzusagen zu können, ist es zwingend erforderlich, Stresstests durchzuführen, die das Frühausfallverhalten der Bauelemente untersuchen [7]. Tests, die darauf abzielen, die intrinsische Lebenszeit des Bulk-Oxids zu erforschen, eignen sich nicht, um Aus-

fälle zu untersuchen, die während des normalen Gerätebetriebs innerhalb der üblichen Chip-Lebensdauer auftreten können. Ein Beispiel dafür sind hoch beschleunigte TDDB-Tests (Time Dependent Dielectric Breakdown), die typischerweise nur an einer kleinen Anzahl von Proben durchgeführt werden. Um dieses Problem zu überwinden, hat Infineon zwei neuartige Stresstest-Ansätze entwickelt beziehungsweise mitentwickelt. Diese zielen darauf ab, die Wirksamkeit des Screenings zu verifizieren.

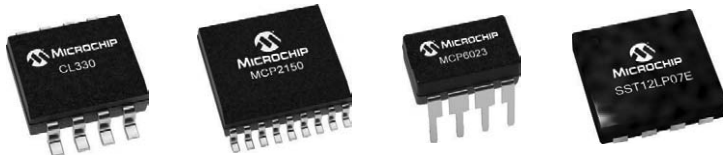
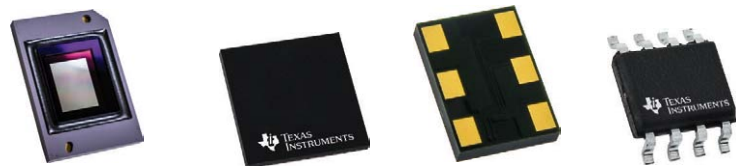
MARATHON-STRESSTEST

Ein gängiger Ansatz, extrinsische Ausfälle zu untersuchen, ist der Marathon-Stresstest. Dabei wird eine große Anzahl an Bauelementen so nah wie möglich an den realen Anwendungsbedingungen belastet. Große Stückzahlen zu testen ist dabei besonders wichtig, denn extrinsische Ausfälle sind in der Regel sehr selten, insbesondere nach elektrischem Screening. Im Gegensatz zum klassischen Burn-in-Test ist die

Stresszeit im Marathon-Test auch deutlich länger angesetzt: 100 Tage lang werden parallel tausende Chips getestet, wodurch sich die Wahrscheinlichkeit nochmal deutlich erhöht, seltene extrinsische Fehler zu finden. Um die großen Probenmengen zu bewältigen, entwickelte Infineon einen speziellen Testaufbau. Dabei werden mehrere Chips in einem Gehäuse, viele Gehäuse auf einem Stressboard und mehrere Stressboards in einem Ofen untergebracht. Noch dazu lassen sich mehrere Öfen parallel betreiben.

In einer Fallstudie wurden drei unabhängige Marathon-Testläufe an drei unterschiedlichen Mustergruppen durchgeführt. Die getesteten Bauelemente wurden im Vorfeld elektrisch gescreent und wiesen dabei unterschiedliche extrinsische Defektdichten auf. Die drei Gruppen entsprachen in etwa den einzelnen Entwicklungsstufen der Bauelemente: Bei Gruppe 1 handelte es sich um Chips im Anfangsstadium der Oxid-Prozessentwicklung,

Eine Bezugsquelle für Ihre Stücklisten

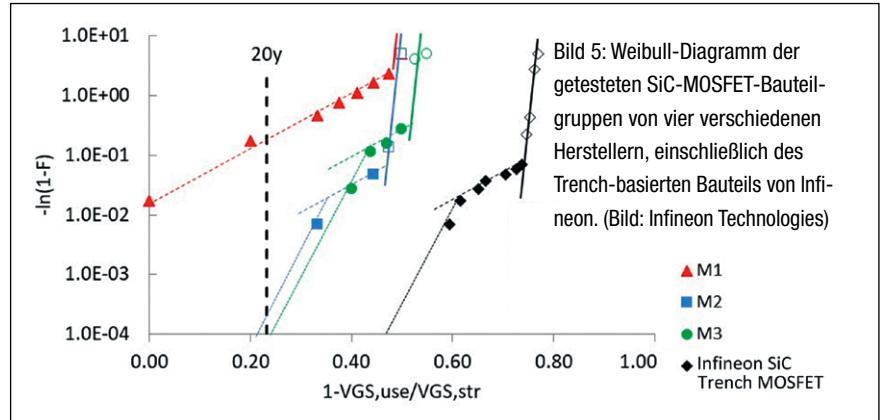


Aktuellste und größte Auswahl
elektronischer Bauelemente auf Lager



Literatur

- [1] J. Senzaki, K. Kojima, T. Kato, A. Shimozato, and K. Fukuda, »Correlation between reliability of thermal oxides and dislocations in n-type 4H-SiC epitaxial wafers«. *Appl.Phys.Letters.*, vol. 89, 2006, pp. 022909, DOI: 10.1063/1.2221525.
- [2] G. Rescher, G. Pobegen, and T. Grasser, »Threshold voltage instabilities of present SiC-power MOSFETs under positive bias temperature stress«. *Materials Science Forum*, vol. 858, Trans Tech Publications, Ltd., May 2016, pp. 481–484, DOI:10.4028/www.scientific.net/msf.858.481
- [3] V. Malandrucolo, M. Ciappa, H. Rothleitner, and W. Fichtner, »A new built-in screening methodology to achieve zero defects in the automotive environment«. *Micr.Rel.*, vol. 49, 2009, pp. 1334–1340, DOI: 10.1016/j.microrel.2009.07.016
- [4] T.E. Kopley, M. Ring, C. Choi, and J. Colbath, »Combined Vramp and TDDB Analysis for Gate Oxide Reliability Assessment and Screening«. *Proc. IIRW 2015*, pp. 138–142, DOI: 10.1109/IIRW.2015.7437087
- [5] T. Aichinger, and M. Schmidt. »Gate-oxide reliability and failure-rate reduction of industrial SiC MOSFETs«, *Proc. IRPS 2020*, DOI: 10.1109/IRPS45951.2020.9128223
- [6] J. Lutz, T. Aichinger, and R. Rupp. »Chapter 7: Reliability Evaluation«, K. Saganuma (Ed.). »Wide Bandgap Power Semiconductor Packaging: Materials, Components, and Reliability«. Elsevier, 2018, pp. 155–200, ISBN: 9780081020944.
- [7] K.P. Cheung. »SiC Power MOSFET Gate Oxide Breakdown Reliability – Current Status«. 2018 IEEE International Reliability Physics Symposium (IRPS), Burlingame, CA, USA, 2018, pp. 2B.3-1–2B.3-5, DOI: 10.1109/IRPS.2018.8353545.
- [8] J. W. McPherson, and D. A. Baglee. »Acceleration Factors for Thin Gate Oxide Stressing«. 23rd International Reliability Physics Symposium, Orlando, FL, USA, 1985, pp. 1–5, DOI: 10.1109/IRPS.1985.362066
- [9] M. Beier-Moebius, J. Lutz. »Breakdown of gate oxide of 1.2 kV SiC-MOSFETs under high temperature and high gate voltage«. *PCIM Europe 2016*, pp. 1–8.



während Gruppe 3 den Technologiestatus kurz vor der Produktfreigabe darstellte. Das Experiment sollte die Effizienz verschiedener Verbesserungen bei Prozessen und elektrischem Screening überwachen und quantifizieren helfen. Während der Testdauer von 100 Tagen wurden die Gruppen mit unterschiedlichen Spannungen am Gate belastet und dabei Temperaturen von durchgehend +150 °C ausgesetzt.

Bei der besten Gruppe (Gruppe 3), kam es bei einer Gate-Source-Spannung $U_{GS} = +30$ V zu einem Ausfall – bei +25 V und –15 V gab es dagegen keinen einzigen Ausfall. In **Bild 3** sind die Ausfälle während des Marathon-Stresstests als Weibull-Verteilungen dargestellt. Für die entsprechende Weibull-Verteilungen unter Betriebsbedingungen, wurde die Zeit bis zum Ausfall bei einer U_{GS} von +30 V in die Zeit bis zum Ausfall bei einer U_{GS} von +18 V unter Verwendung des linearen E-Modells [7] [8] umgerechnet. Dabei ist jedoch Folgendes zu beachten: Alle beobachteten Ausfälle wären umgerechnet auf eine typische Betriebsspannung von +18 V bei +150 °C weit jenseits der angenommenen spezifizierten Produktlebensdauer von 20 Jahren aufgetreten. Durch Extrapolation der Messdaten lässt sich davon eine Fehlerwahrscheinlichkeit für eine maximale Betriebszeit von rund 20 Jahren bei +18 V und +150 °C ableiten.

Der Marathon-Stresstest eignet sich hervorragend, um die Ausfallwahrscheinlichkeit von SiC-MOSFET-Chips während des normalen Betriebs abzuschätzen. Der Test erfordert jedoch einen großen Stichprobenumfang und muss auf sehr anspruchsvolle Weise

kalibriert werden. Der Gate-Spannungspegel liegt hier weit unterhalb der intrinsischen Durchbruchgrenze der getesteten Bauelemente. Gleichzeitig muss die Spannung jedoch hoch genug sein, um einige wenige extrinsische Ausfälle innerhalb der geplanten Testdauer auszulösen. Somit sind umfangreiche Voruntersuchungen beziehungsweise ausführliche Kenntnisse über die zu testenden Bauelemente erforderlich, um geeignete Stressbedingungen definieren zu können. Aus diesem Grund ist der Marathon-Stresstest vor allem für die Hersteller von Bauelementen geeignet, die die Zuverlässigkeit ihrer SiC-MOSFETs quantifizieren wollen. Für einen qualitativen Vergleich der Gate-Oxid-Zuverlässigkeit von Bauelementen verschiedener Hersteller ist der Test eher ungeeignet. Hier sollte stattdessen ein End-of-Life-Stresstest wie der Gate-Spannungs-Stufen-Stresstest eingesetzt werden [6] [9].

GATE-SPANNUNGS-STUFEN-STRESSTEST

Bei diesem Test wird eine kleinere Anzahl von SiC-MOSFET-Bauelementen untersucht: Rund 100 Teile werden bei der maximal zulässigen Sperrschichttemperatur $T_{j,max}$ in schrittweise ansteigenden Gate-Stress-Stufen für eine definierte Stresszeit t_{str} – beispielsweise 24 Stunden oder 168 Stunden pro Stufe – getestet (**Bild 4**). Nach jeder Erhöhung des Spannungspegels überprüft man die Bauelemente auf Gate-Source-Leckströme, fehlerhafte Chips werden gezählt und entfernt. Im ersten Schritt werden die Chips bei der empfohlenen Gate-Nutzungsspan-

nung $U_{GS,rec}$ vorgespannt, zum Beispiel bei +15 V oder +18 V. Im zweiten Schritt wird die maximal zulässige Gate-Spannung $U_{GS,max}$ verwendet. Anschließend wird die Gate-Spannung nach jedem Schritt um beispielsweise +2 V so lange erhöht, bis alle Bauelemente ausgefallen sind ($U_{GS,EOL}$). Am Ende analysiert man Zeit und Anzahl der ausgefallenen Bauelemente mithilfe der Weibull-Statistik. Bei einem Test wurden zum Beispiel Chips von vier verschiedenen Herstellern überprüft (**Bild 5**), darunter auch SiC-Trench-MOSFETs von Infineon. Viele Bauteile, vor allem aber jene von M1, fielen wegen einer hohen Anzahl von extrinsischen Ausfällen bei bereits relativ niedrigen Gate-Spannungen auf. Die vierte Gruppe zeigt die höchste Gate-Oxid-Zuverlässigkeit. Erste extrinsische Ausfälle treten dort erst bei Stresstufen auf, wo bereits alle Bauteile von M1, M2 und M3 ausgefallen waren.

ZUSAMMENFASSUNG

Die Zuverlässigkeit des Gate-Oxids von SiC-MOSFETs hat sich in den vergangenen Jahren deutlich verbessert. Trotzdem sind die Defektdichten am Ende des Prozesses noch zu hoch, weswegen eine Annäherung an den Silizium-Standard – also eine einstellige

ppm-Rate – schwierig ist. Um sich dem Silizium-Standard anzunähern, müssen alle SiC-Bauteile am Ende des Herstellungsprozesses einem Screening unterzogen werden, das Bauteile mit potenziell lebensdauerkritischen Defekten aussortiert. Dabei gilt: Je dicker das Bulk-Oxid, desto schärfer und effizienter kann das elektrische Screening gestaltet werden. Mithilfe des Marathon-Stresstests lässt sich die maximale Ausfallwahrscheinlichkeit von industriellen SiC-Trench-MOSFETs im Feld unter typischen Betriebsbedingungen abschätzen. Bei dem Test wird eine große Anzahl von Bauelementen mit Spannungen nahe der Betriebsspannung belastet.

Die Ergebnisse des Tests zeigen, dass durch eine optimierte Verarbeitung und ein effizient gestaltetes elektrisches

Screening SiC-MOSFETs ebenfalls eine exzellente Gate-Oxid-Zuverlässigkeit erreichen können, die der von Si-Bauelementen in nichts nachsteht. Sobald jedoch die Gate-Oxid-Zuverlässigkeit von einer begrenzten Anzahl an Bauelementen mit weitgehend unbekanntem Gate-Oxid-Eigenschaften verglichen werden soll, ist der Marathon-Stresstest eher ungeeignet. Dafür wurde ein generischer End-of-Life-Stresstest, der Gate-Spannungs-Stufen-Stresstest, entwickelt. Dieser bietet zwar nicht die gleiche Vorhersagekraft in Bezug auf die Ausfallwahrscheinlichkeit über die Lebensdauer wie der Marathon-Stresstest, ist jedoch deutlich einfacher durchzuführen und daher nützlich, um die Zuverlässigkeit von SiC-MOSFETs verschiedener Hersteller zumindest qualitativ zu vergleichen. RH



DR. THOMAS AICHINGER

promovierte 2010 in Elektrotechnik an der Technischen Universität Wien. 2011 und 2012 war Aichinger Postdoktorand an der Penn State University, PA, USA. Seit 2012 ist er Teil des SiC-MOSFET-Technologieentwicklungsteams von Infineon, außerdem ist er derzeit Vorsitzender der SiC-Sitzung des IEEE International Reliability Physics Symposium (IRPS) und Co-Vorsitzender der Arbeitsgruppe im JEDEC-Unterkomitee JC-70.2, das sich mit den Standards für SiC-Leistungshalbleiter (PECS) beschäftigt.

DIE ALL-IN-ONE-LÖSUNG DER LEISTUNGSELEKTRONIK

EA-PSB 10000:

Das smarte Kraftpaket mit der höchsten Leistungsdichte im Markt



Elektro-Automatik

- Bidirektional, Autoranging, regenerativ
- Digitale Steuerung

- Wirkungsgrad bis über 96%
- Luft- oder Wasserkühlung
- Integrierter Funktionsgenerator sowie farbiges TFT Display

- Batterie-, Brennstoffzellen- und Photovoltaiksimation
- 30kW Leistung auf 4HE, 19", bis 2000V, bis 1000A

Ideal für viele Anwendungen:



BATTERY PACKS



BATTERY CELLS



FUEL CELLS



EV CHARGING SYSTEMS



HV-CONVERTER



EV / PHEV



ON-BOARD CHARGERS



HV-FUSES

ANALYSATOR FÜR LEISTUNGSBAUSTEINE

KASKODEN-GaN-FETs CHARAKTERISIEREN



(Bild: Prostock-studio | Shutterstock)

Einer der beliebtesten GaN-Bauelementtypen ist der Kaskoden-GaN-FET. Für die Schaltungsentwicklung muss die Oszillationsanfälligkeit des Bausteins berücksichtigt werden – meist mit viel Aufwand. Ein Doppelpuls-Testsystem mit anwendungsspezifischem Testboard erleichtert diese Arbeit. Von Ryo Takeda, Takamasa Arai, Bernhard Holzinger, Michael Zimmermann und Mike Hawes.

Unter den GaN-Leistungshalbleitern zählen die Kaskoden-GaN-FETs zu den ersten kommerziell erhältlichen Bausteinen. Zwei Merkmale machen sie besonders: Sie ermöglichen einen selbstperrenden Betrieb und ihr Spannungsbereich für die Gate-Ansteuerung ist sehr weit. Schaltungsentwickler haben jedoch schnell festgestellt, dass sich mit Kaskoden-GaN-FETs nicht so einfach Schaltkreise aufbauen lassen.

Die Bausteine neigen zum Schwingen und ihre Charakterisierung erweist sich als schwierig. Wird ein Kaskoden-GaN-FET in einer Schaltung verwendet, integrieren viele Entwickler auch einen großen Gate-Widerstand, was den Vorteil eines schnellen GaN-Leitungsbaulements wieder schmälert. Beim Ausschalten kann es außerdem zu divergenten Schwingungen bis zur Zerstörung von Bauteil und Periphe-

rieschaltung kommen. Das Einschalten kann zu starkem Ringing bei der Gate-Spannung führen (**Bild 1**). Beide Effekte hängen mit dem Aufbau des Kaskoden-GaN-Bauelements zusammen. Die Kaskode besteht aus einem Niederspannungs-Si-MOSFET und einem Hochspannungs-GaN-HEMT. Der Aufbau ist in **Bild 2** dargestellt. Die divergente Schwingung beim Einschalten wird durch den Lawinen-

durchbruch des Niederspannungs-Si-MOSFETs verursacht [1]. Die in Bild 1 zu sehende Oszillation von V_{gs} steht im Zusammenhang mit der Asymmetrie von V_{gs} aufgrund der Induktivität zwischen der MOSFET-Source und dem GaN-HEMT-Gate. Die Charakterisierung der dynamischen Parameter von Kaskoden-GaN-FETs ist sowohl für Hersteller von Bauelementen als auch für Entwickler von Leistungsschaltungen relevant. Der Entwickler bekommt aus der Charakterisierung die Information, wie er Schwingungen und Ringing vermeiden kann.

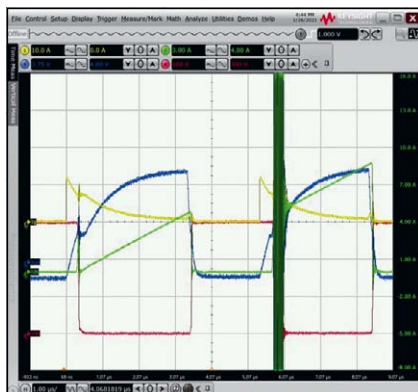


Bild 1. Große Schwingungen beim Einschalten eines Kaskoden-GaN-FETs.

(Bild: Keysight Technologies)

DREI FAKTOREN ZUR SCHWINGUNGSDÄMPFUNG

Es gibt drei relevante Faktoren, die für das Dämpfen von Schwingungen relevant sind: (1) eine Snubber-Schaltung, (2) eine Ferritperle und der Gate-Widerstand (R_g). Die RC-Snubber-Schaltung besteht aus einem Widerstand und einem in Reihe geschalteten Kondensator, d. h. einem einfachen Tiefpassfilter. Wenn er zwischen Drain und Source des Leistungs-FETs angebracht wird, kann er den starken Spannungsanstieg beim Ausschalten des FETs reduzieren oder eliminieren. Die Snubber-Schaltung ist ein wichtiges Werkzeug, um Schwingungen zu dämpfen. Die richtige Kombination aus Widerstand und Kondensator für die Anwendung kann über einen Doppelpulstest bestimmt werden. Die Ferritperle reflektiert und dämpft durch ihr induktives Verhalten hochfrequentes Rauschen. Wenn eine entsprechend große Ferritperle verwendet wird, basierend auf der Rauschfrequenz an V_{gs} während des Doppelpulstests, wird das Rauschen sauber entfernt. Es gibt Ferritperlen in Chipform mit spiralförmiger Struktur in horizontaler Richtung, die die Streukapazität minimiert und daher effektiv zur Unterdrückung der Schwingungen beiträgt. In den Anwendungshinweisen der Hersteller von Kaskoden-GaN-FETs wird die Verwendung von Ferritperlen empfohlen und beschrieben.

Der Gatewiderstand R_g begrenzt den Strom, der in das Gate fließt und steuert somit die Anstiegsgeschwindigkeit

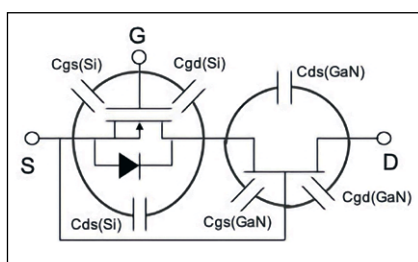


Bild 2. Kaskodenaufbau für GaN-Bauelemente im Hochspannungs-Verarmungsmodus.

(Bild: Keysight Technologies)

von V_{gs} . Dieser Zusammenhang ist wichtig beim Design von Leistungsschaltungen. Ein Austausch von R_g ist jedoch nicht sinnvoll, da der Gate-Widerstand für GaN-Leistungsschaltungen normalerweise ein SMD-Baustein ist, um die Streuinduktivität zu minimieren. Daher sollte R_g ein- und ausgelötet werden, um die Abhängigkeit des Gate-Widerstands zu messen. Alle drei Aspekte müssen für das Design von Leistungselektronikschaltungen berücksichtigt werden. Um die Auswirkungen von verschiedenen RC-Snubberschaltungen, Ferritperlen und R_g zu sehen, können Entwickler ein Doppelpuls-Testsystem nutzen, mit dem sich auch der Baustein charakterisieren lässt.

KASKODEN-GaN-FETs CHARAKTERISIEREN

Der Dynamic Power Device Analyzer/ Doppelpulstester PD1500A von Keysight ist modular aufgebaut und ermöglicht den Einbau von kundenspezifischen GaN-Testboards. Im GaN-Testboard speichert ein EEPROM die eindeutigen Prüflingsinformationen wie maximale V_{GS} , V_{DS} , I_D und Klemmschaltungs-

WERDEN SIE
MIT IHRER
LÖSUNG TEIL
DER Elektronik



Bildhinweis: fotolia: #190897096 | raz studio

AUF ALLEN RELEVANTEN KANÄLEN

PRINT

DIGITAL

EVENTS

SOCIAL MEDIA

JETZT BUCHEN!

Mediaberatung Elektronik
media@elektronik.de
+49 (89) 255 56-1376

elektronik.de | elektronik-automotive.de

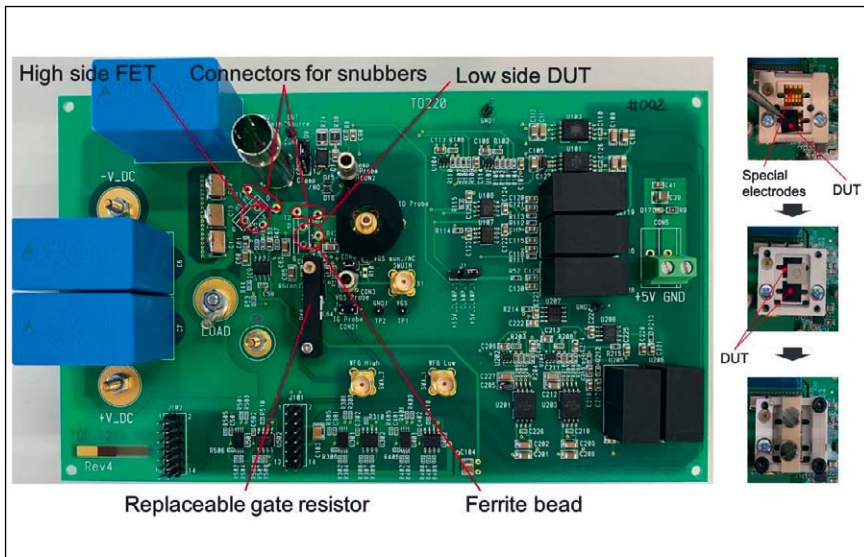


Bild 3. Testboard für TO-220 Kaskoden-GaN-FETs mit lötfreiem Kontakt zum Prüfling und austauschbarem Gate-Widerstand. (Bild: Keysight Technologies)

spannung. Die Steuersoftware erkennt anhand dieser Werte potenziell gefährliche Testbedingungen und vermeidet Überspannung, Überstrom und andere bauteilgefährdende Bedingungen. In die kundenspezifischen GaN-Testboards sind ein Stromsensor mit niedriger Induktivität integriert, ein lötfreier Kontakt zum Prüfling und eine AUTOCAL-Implementierung für reproduzierbare und zuverlässige Messungen. Die Temperaturmessung und -regelung wird über den lötfreien DUT-Steckverbinder durchgeführt, wodurch außerdem temperaturabhängige Messungen vorgenommen werden können. Für Kaskoden-GaN-Bauelemente sind zusätzliche Funktionen verfügbar, um ihre Charakterisierung zu vereinfachen. Das kundenspezifische Testboard ist in **Bild 3** dargestellt. Es hat Anschlüsse für Ferritperlen und einen lötfreien Trough-Hole-Anschluss, um verschiedene RC-Snubber für den Schaltungsaufbau zu bewerten. Ein lötfrei austauschbarer Gate-Widerstand ist ebenfalls implementiert. Das gleiche Board und der gleiche Prüfling können so schnell mit unterschiedlichen Gate-Widerständen getestet und bewertet werden. **Bild 4** zeigt ein Beispiel für die Verwendung des lötfreien, austauschbaren Gate-Widerstandes. Das in Bild 3 gezeigte Board ist für ein Bauteil im TO-220-Gehäuse vorgesehen. Handelt es sich bei dem Prüfling um ein SMD-Gehäuse, kann eine für

das SMD-Kaskoden-GaN-Bauelement ausgelegte Platine mit lötfreier Prüflingskontaktierungstechnologie hergestellt werden. Das Board wird auf den Testadapter des PD1500A aufgesteckt und über die Benutzeroberfläche der PD1500A-Software gesteuert.

ZUSAMMENFASSUNG

Die dynamische Charakterisierung von Kaskoden-GaN-FETs ist aufgrund des schwingungsanfälligen Aufbaus des Bausteins eine Herausforderung. Eine wichtige Aufgabe im Schaltungsdesign ist es, die Komponenten der Schaltung so aufeinander abzustimmen, dass stabile Betriebsbedingungen entstehen, unter denen die Vorteile der GaN-Leistungsbauweise ausgenutzt werden. Mit Testsystemen wie dem Dynamic Power Device Analyzer/Double Pulse Tester PD1500A lässt sich das Betriebsverhalten von Kaskoden-GaN-FETs schnell mit verschiedenen Snubber-Schaltungen und Gate-Widerständen charakterisieren. Dafür wird das Testsystem mit einem kundenspezifischen Testboard bestückt. MHA

Quellen

- [1] Huang, X. et. al: Avoiding Divergent Oscillation of a Cascode GaN Device Under High-Current Turn-Off Condition. IEEE Trans. Power Electronics, Vol.32, January 2017.

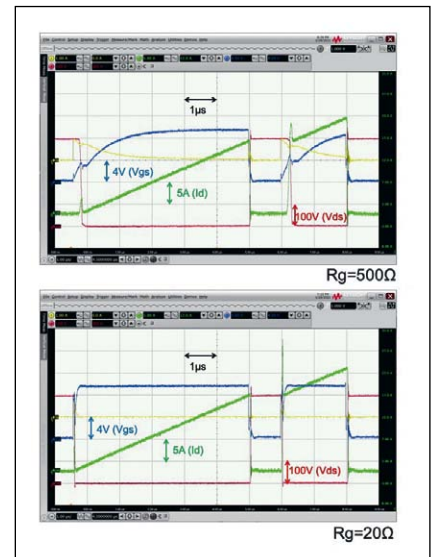


Bild 4. Testergebnisse mit austauschbaren Gate-Widerständen (500 Ω und 20 Ω).



RYO TAKEDA

ist Solution Architect für Automotive and Energy Solutions bei Keysight Technologies. Er kam 1989 zu Hewlett-Packard und arbeitete rund zehn Jahre als Anwendungsentwickler und Manager für parametrische Halbleiter-Testgeräte. Danach wechselte er in die Produktplanung von Agilent's Leistungsanalysatoren. Aktuell arbeitet er an der Planung und Entwicklung eines dynamischen Testsystems für Leistungsbausteine. Er ist Mitglied der JEDEC WBG (Wide Band Gap)-Arbeitsgruppe. Er hat einen BSEE- und MSEE-Abschluss der Keio-Universität (Japan) auf dem Gebiet der Physik von Halbleiterbauelementen.



TAKAMASA ARAI

erhielt seinen B.S.- und M.S.-Abschluss in Physik am Tokyo Institute of Technology. Im Anschluss kam er zu Keysight Technologies Japan (ehemals Agilent Technologies Japan) und arbeitete als Technischer Support-Ingenieur für Komponenten-Testgeräte. Seit 2011 ist er als Applikationsingenieur tätig und unterstützt Halbleiterhersteller und -forscher. Derzeit arbeitet er an der Entwicklung kundenspezifischer dynamischer Testsysteme für Wide-Band-gap-Leistungsbaulemente.

(Bild: Keysight Technologies)

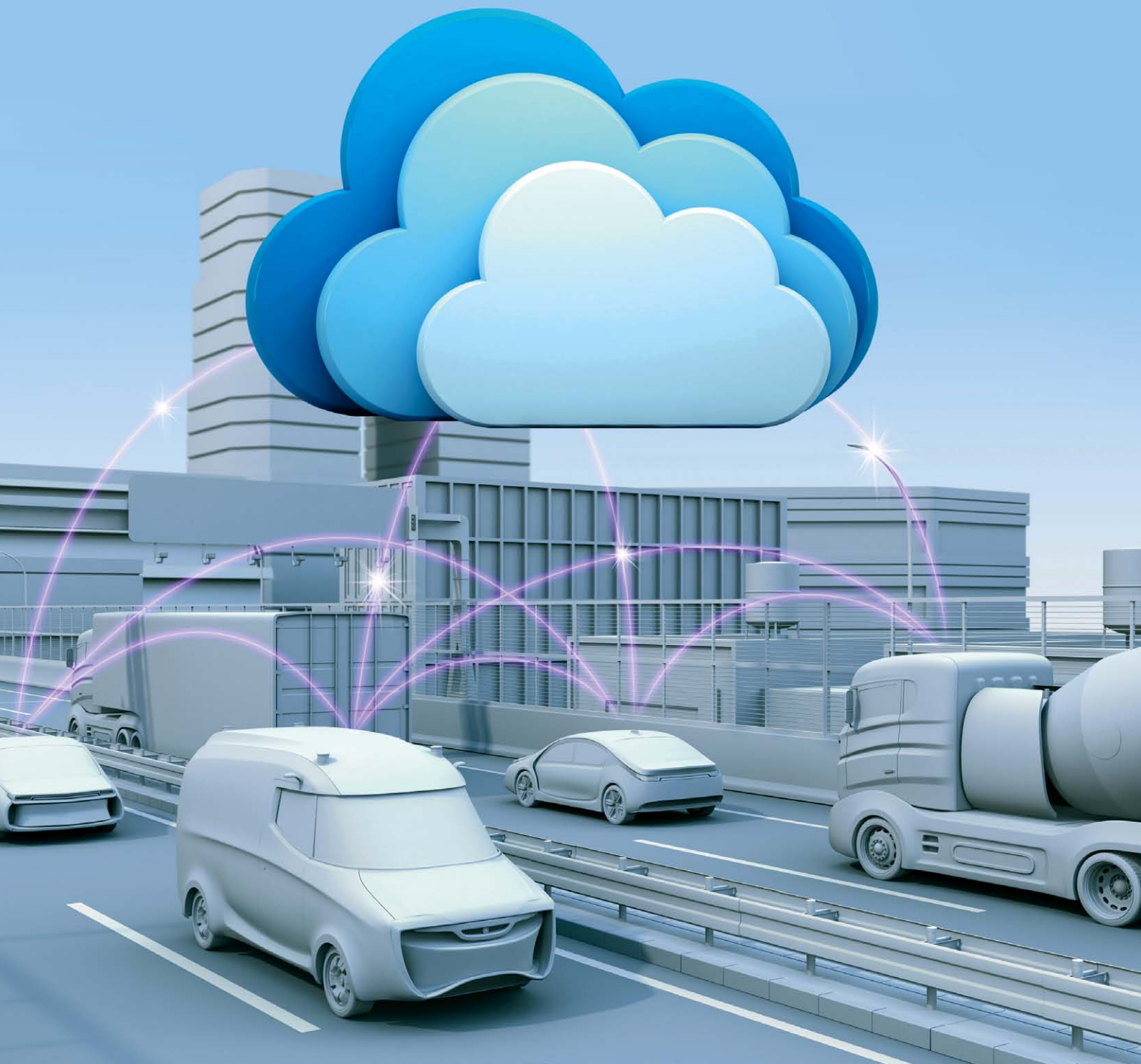
Elektronik automotive

E-VEHICLES & CONNECTED CARS

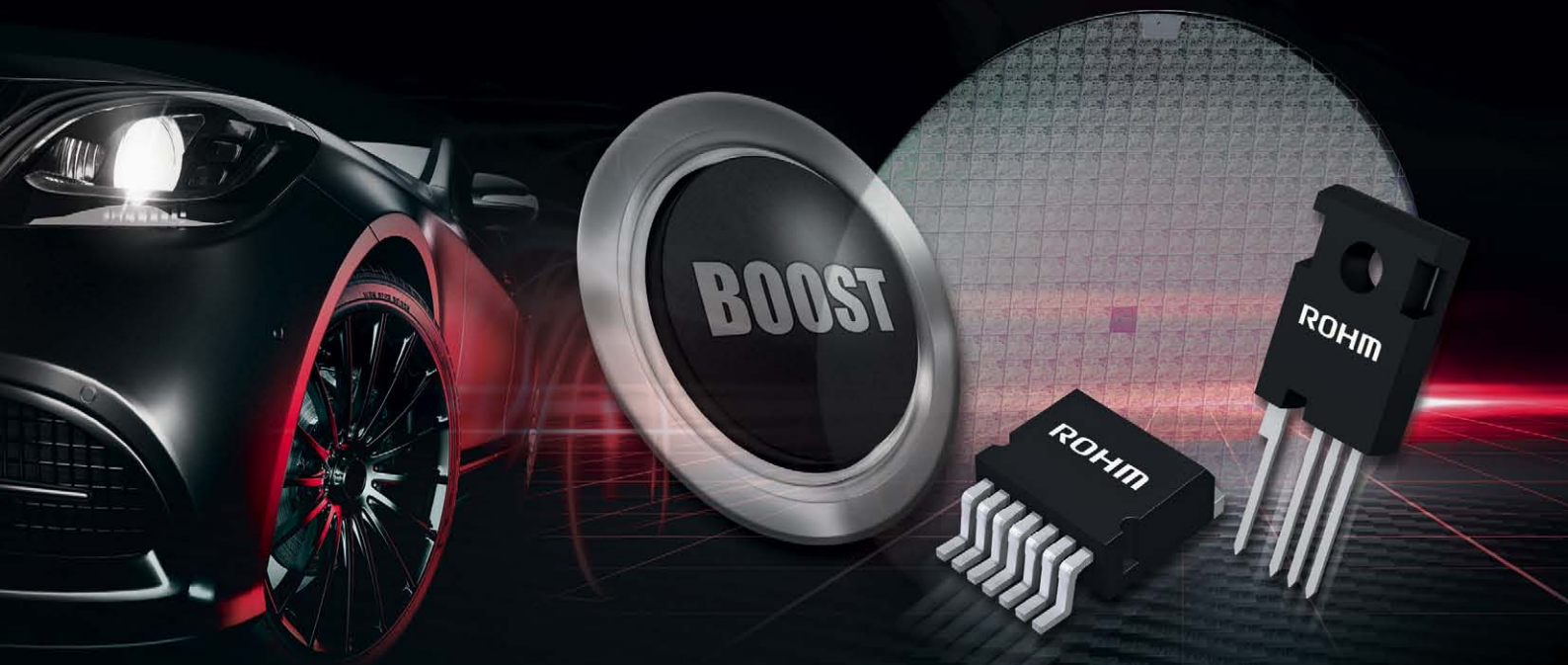
**Chancen und Risiken des
Technologietransfers von
der Formel E auf die Straße**

**Mit energiesparendem
DC-DC-Umsetzer den
Fahrzeugakku schonen**

**Was Digital Twins in der
E-Fahrzeugentwicklung
wirklich leisten**



**SMALLER
STRONGER
FASTER**



BOOST YOUR SYSTEM
EXTRA POWER DANK DER ROHM-SiC-TECHNOLOGIE

Etabliert, erprobt, erfolgreich: Als Technologieführer gestaltet ROHM die Energielösungen der Zukunft. Unsere hochentwickelte Siliziumcarbid (SiC)-Technologie steigert die Leistung von Kfz-Stromversorgungssystemen. Wir produzieren SiC-Komponenten in einem vertikal integrierten Fertigungssystem und garantieren höchste Qualität und eine konstante Versorgung des Marktes. Erzielen auch Sie Höchstleistungen mit unseren neuesten SiC-Lösungen.

SMALLER
Kleineres Volumen und
reduziertes Gewicht

STRONGER
Stärkeres Potential durch
höhere Leistungsdichten

FASTER
Schnelles Laden und
effiziente Leistungswandlung



AUTOMOTIVE



INDUSTRIAL

www.rohm.com/pcim

pcim
EUROPE

TIME TO SAY GOODBYE

Mittlerweile zwölf Jahre hat mein nachtblauer Volkswagen Golf auf dem Buckel oder vielmehr der Kühlerhaube. Er fährt zwar nach wie vor einwandfrei, dennoch werde ich mir in nicht allzu ferner Zukunft Gedanken über eine Fahrzeugneuananschaffung machen müssen. Das heißt aber auch, dass ich ernsthaft überlegen sollte, ob ich mir nochmal ein Fahrzeug mit Verbrennungsmotor zulege. Denn die Zeichen stehen auf Strom – sowohl seitens der Politik als auch der Fahrzeughersteller.

So forderten mehrere Länder die EU-Kommission in einem Schreiben auf, dass man zügig ein Ausstiegsdatum für den Verkauf neuer Benzin- und Dieselfahrzeuge benennen müsse. »Wenn man die Lebensdauer eines Autos einkalkuliert, muss man um das Jahr 2030 aufhören, neue Verbrennerfahrzeuge zuzulassen, wenn man bis 2050 CO₂-neutral sein möchte«, nannte zum Beispiel die niederländische Infrastrukturministerin Stientje van Veldhoven im Gespräch mit dem Informationsdienstleister Bloomberg den Hauptbeweggrund für diese Forderung. Denn ein nachhaltiger Verkehrssektor spiele nun einmal eine wichtige Rolle dabei, den European Green Deal der Europäischen Kommission umzusetzen. Obwohl die Hersteller immer mehr auf Stromer oder Fahrzeuge mit niedrigen CO₂-Emissionen setzen würden, vollziehe sich der Wandel aus Sicht der am Schreiben beteiligten Länder nicht schnell genug.

Dabei haben sich in jüngster Vergangenheit mehrere Automobilhersteller selbst verpflichtet, der Verbrennertechnologie Lebewohl zu sagen und klar definierte Ausstiegspläne benannt. So will beispielsweise Volvo ab 2030 nur noch Stromer bauen. Jaguar zieht die Grenze 2025. Ford und General Motors haben ebenfalls angekündigt, sich vom Verbrennungsmotor zu verabschieden – nämlich 2030 bzw. 2035. Die deutschen Hersteller jedoch halten sich mit konkreten Abschiedsbekundungen zurück, setzen aber ihre Ziele für den Absatz von Elektrofahrzeugen deutlich nach oben. Während Volkswagen und Tochter Audi den Endverbraucher entscheiden lassen wollen, wann er sich einen Stromer zulegt, blicken sie klar in eine elektrische Zukunft. Daimler hingegen hat keine Entscheidung getroffen, aus der Entwicklung von Verbrennungsmotoren auszusteigen, und auch BMW setzt kein Datum, sondern möchte flexibel auf Marktentwicklungen reagieren.

Für mich persönlich ist ebenfalls die Zeit gekommen, Ihnen als Leser der Elektronik automotive »Goodbye« zu sagen. Nach mehr als neun Jahren werde ich WEKA Fachmedien Ende April verlassen und mich neuen Herausforderungen stellen – wobei ich der Automobilbranche treu bleibe. Ich hoffe, ich konnte Ihnen nicht nur interessante und zuverlässige Fachinformationen vermitteln, sondern auch mit Meinungsäußerungen zum Nachdenken oder Diskutieren anregen. Alles Gute für die Zukunft und bleiben Sie in Zeiten der Pandemie vor allem gesund!



STEFANIE ECKARDT

Leitende Redakteurin
 Twitter: @seckardt2
 seckardt@weka-fachmedien.de

Messdaten überall live verfügbar mit der IPEmotion Mobile Edition!



Jetzt live testen!

IPETRONIK



EDITORIAL

3 Time to Say Goodbye

WIRTSCHAFT

- 5 **BMW und Daimler Mobility:**
EasyPark plant Akquisition von Park Now
- 5 **Sonderfahrzeugbauer Binz:**
Übernahme der Betriebsstätte von MAN in Plauen

IMPULSE

- 6 **Kürzere Ladezeiten:** ZF geht mit 800-V-Technik in Serie
- 6 **Mehr Reichweite für E-Autos:** Innovative Nano-Heiztechnik
- 7 **Einheitliche technische Grundlagen:**
Volkswagen entwickelt Plattformtechnologie weiter
- 8 **Technische Universität München:**
Supraleitende Spulen übertragen kontaktlos Energie

E-VEHICLES

- 9 **Von der Rennstrecke auf die Straße:**
Ein langer Weg
- 12 **Entwicklung eines energiesparenden DC/DC-Wandlers:** Die Entladung stoppen
- 16 **Vorteile in der E-Fahrzeugentwicklung durch Digital Twins:** Doppelt hält besser
- 20 **Dichtheitsprüfung befüllter Lithium-Ionen-Batteriezellen:**
Im Vakuum zur Lecksuche

IN-VEHICLE NETWORKS

- 24 **Automobilverkabelung:**
Nervensystem im Fahrzeug
- 19 **Impressum**
- 19 **Inserenten**

BMW UND DAIMLER MOBILITY

EASYPARK PLANT AKQUISITION VON PARK NOW

BMW und Daimler Mobility haben bekanntgegeben, ihr Joint Venture Park Now an EasyPark zu veräußern. EasyPark will mit der Akquise seine digitalen Park- und Mobilitätsdienstleistungen erweitern – u.a. um das Parken am Straßenrand und in Parkhäusern, die Parkplatzsuchfunktion »Find & Park«, Funktionen für elektrisches Laden und die nahtlose Integration der Angebote ins Fahrzeug.

Park Now ist derzeit in elf Ländern mit den Marken RingGo, Park Now, Park-line und Parkmobile präsent. Das Unternehmen bietet in über 1.100 Städten digitale Dienstleistungen rund ums Parken an – sowohl in Parkhäusern als auch am Straßenrand. Nutzer können Parkplätze online via App reservieren, buchen und bezahlen.

Die Parteien haben vereinbart, die Bedingungen der Transaktion nicht offenzulegen. Die Veräußerung steht unter dem Vorbehalt der vorherigen Genehmigung durch die zuständigen Kartellbehörden.

ECK

SONDERFAHRZEUGBAUER BINZ

ÜBERNAHME DER BETRIEBSSTÄTTE VON MAN IN PLAUE

Die Unternehmensführung von MAN Truck & Bus hat sich mit Binz Ambulance- und Umwelttechnik in Grundzügen über einen Verkauf des MAN-Standorts Plauen verständigt. Im September 2020 hatte MAN angekündigt, die Betriebsstätte im Rahmen der tiefgreifenden Neuausrichtung des Unternehmens zu schließen.

Für Binz als Hersteller von Sonderfahrzeugen mit Sitz im thüringischen Ilmenau spielt neben der räumlichen Nähe auch die Expertise im Bereich der Fahrzeugmodifikation eine wichtige Rolle für die Übernahme des Standorts. Das Unternehmen wird neben den Liegenschaften und Fertigungsanlagen alle Mitarbeiter des MAN-Standorts in Plauen übernehmen.

Beide Unternehmen streben einen Betriebsübergang zum 1.4.2021 an. MAN Truck & Bus führt in Plauen bisher Modifikationsarbeiten für Busse und Vans durch. Diese Aufgaben werden in Zukunft an den Produktionsstätten der Basisfahrzeuge durchgeführt.

ECK

AICC Minitek MicroSpace™ für Automotive Anwendungen!

C O D I C O ®

- Crimp-to-Wire-Steckverbinderplattform entsprechend der Prüfrichtlinie LV214-2
- Primäre und sekundäre Kontaktverriegelung sowie TPA und CPA
- Kodierung zur Vermeidung von Fehlsteckungen
- Hohe Vibrations- & Verriegelungsfestigkeit
- Rastermaße: 1,27mm, 1,50mm und 1,80mm

Amphenol
ICC

© AdobeStock/Open Studio

Kontakt: +43 1 86 305-0 | office@codico.com | www.codico.com/shop

KÜRZERE LADEZEITEN FÜR E-AUTOS

ZF GEHT MIT 800-V-TECHNIK IN SERIE

Immer mehr Automobilhersteller realisieren mit einer veränderten Bordnetzarchitektur kürzere Ladezeiten bei batterieelektrischen Fahrzeugen: Das Hochvolt-Bordnetz – insbesondere bei E-Autos im Premium- und Sportwagensegment – wird auf eine Spannung von 800 V ausgelegt anstatt wie bisher auf 400 V.

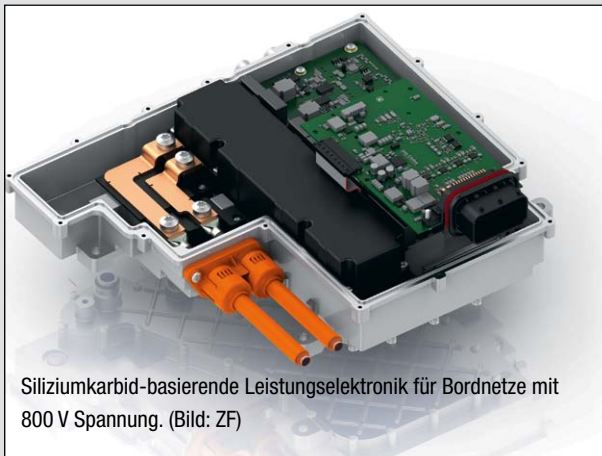
ZF entwickelt und produziert für das Upgrade entsprechende Komponenten für den elektrischen Antriebsstrang. Im Fokus steht dabei eine Siliziumkarbid-basierende Leistungselektronik. Diese Technik wird von ZF bereits in der Formel E genutzt und soll noch dieses Jahr in mehreren Fahrzeugen gehobener Segmente auf den Markt kommen. »Es zeichnet sich ab, dass sich bei künftigen Premiumfahrzeugen oder Sportstomern die 800-V-Architektur etabliert, wohingegen im Volumenmarkt weiterhin die 400-V-Architektur Standard bleibt«, sagt Bert Hellwig, bei

ZF verantwortlich für die Systementwicklung elektrischer Antriebe. »Für 400-V-Anwendungen liefern wir bereits seit Jahren Serientechnologie, für 800-V-Anwendungen bereiten wir nun den Serienstart vor.«

Bei der Anwenderfreundlichkeit von Elektrofahrzeugen spielt die Ladezeit eine wichtige Rolle. Sollen Elektroautos langstreckentauglich werden, muss die Batterie innerhalb einer Stunde wieder nahezu vollständig geladen sein. Das Grundsatzproblem beim Schnellladen: Fließen höhere Ströme, müssen dickere Kabel verwendet oder besser gekühlt werden, weil sich mehr Wärme entwickelt. Dadurch steigen Fahrzeuggewicht und Komplexität der Ladeinfrastruktur – es sei denn, die Bordnetzarchitektur ist bereits von vornherein auf höhere Leistung ausgelegt. Daher planen viele Automobilhersteller kommende Serienfahrzeuge mit der höheren Spannung von 800 V.

»Derzeit arbeiten wir am Serienstart für mehrere 800-V-Projekte«, erklärt Hellwig. »Für mehrere Modelle eines chinesischen Herstellers liefern wir den kompletten elektrischen Antriebsstrang inklusive Leistungselektronik. Darüber hinaus steuert ZF für einen europäischen Sportwagenhersteller die Leistungselektronik für eine Hochvoltanwendung bei. Bei der Auslegung der Leistungselektroniken auf 800 V können wir die Synergien zwischen Pkw und anderen Anwendungen ausbauen.«

IH



Siliziumkarbid-basierende Leistungselektronik für Bordnetze mit 800 V Spannung. (Bild: ZF)

MEHR REICHWEITE FÜR E-AUTOS

INNOVATIVE NANO-HEIZTECHNIK

Die Reichweite von Elektrofahrzeugen ist ein wichtiger Aspekt bei der Kaufentscheidung.

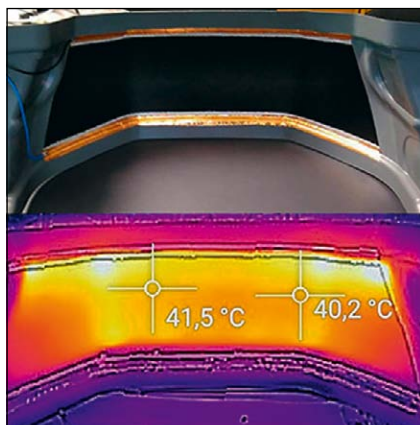
Die Firma Osnatech entwickelt deshalb eine Nano-Heiztechnik, mit der sich die Reichweite von E-Autos steigern lässt. Ein Osnabrücker Forscher hilft dabei.

»Die Beheizung des Innenraums ist ein wesentlicher Erfolgsfaktor für die E-Mobilität«, betont Prof. Dr. Christian Schäfers, der an der Hochschule Osnabrück das Labor für Karosserieentwicklung und Leichtbau leitet. »Alles, was die Reichweite einschränkt, wirkt sich negativ auf die Akzeptanz von Elektrofahrzeugen aus.«

Der Forscher verweist auf Ergebnisse von Testfahrten der Automobilclubs ADAC und ÖAMTC. Diese haben ergeben, dass sich die Reichweite halbieren kann, wenn draußen statt sommerlichen 20 °C Temperaturen um den Gefrierpunkt herrschen. »Das energieeffiziente Beheizen elektrischer Fahrzeuge ist deshalb eine der wichtigsten Fragestellungen

für die Fahrzeugindustrie«, so Schäfers Überzeugung.

In einem neuen Forschungsprojekt unterstützt der Wissenschaftler den regionalen Entwickler und Lieferanten von Energietechnik Osnatech. Die beiden Kooperationspartner planen, ein energieeffizientes Flächenheizsystem für Elektrofahrzeuge zu entwickeln. Zum Einsatz



Nano-Wärmetechnologie im Test: Ein handgefertigter Prototyp einer CNT-Heizschicht, appliziert auf einem Armaturenräger. (Bild: Osnatech)

kommt dabei die Kerntechnologie von Osnatech: Die Erwärmung von Materie mittels Carbon-Nano-Tube-Technologie

(CNT). Bereits seit Jahren entwickelt und fertigt das Bissendorfer Unternehmen elektrische Heizsysteme auf Basis dieser CNT-Technologie. Schon bei niedrigeren Temperaturen erzeugt sie einen nennenswerten infraroten Strahlungsanteil mit geringerem Energiebedarf, als das mit klassischen Werkstoffen möglich ist. In der Gebäudetechnik wird dieses Verfahren bereits angewendet. Für die Serienfertigung in Elektrofahrzeugen bedarf es jedoch einer komplexen Weiterentwicklung.

Heute übliche Fahrzeugheizungen nutzen die Abwärme des Verbrennungsmotors, die per Lüfter im Wagen verteilt wird. Das funktioniert bei E-Fahrzeugen nicht. Also werden in der Regel ein klassisches Heizgewebe oder eine Wärmepumpe zur Wärmegewinnung einge-

setzt. Das kostet allerdings Strom. Im Extremfall kann das sogar dazu führen, dass man bei langen Strecken lieber die Heizung ausstellt und friert, um die Reichweite des E-Fahrzeugs nicht einzuschränken. Das neue Heizverfahren mit CNT-Technologie wäre bei E-Autos deutlich energieeffizienter.

Wie lässt sich also die CNT-Technologie auf komplexe Fahrzeugteile aufbringen? Bei diesem Aspekt kommt das Labor für Karosserieentwicklung und Leichtbau der Hochschule Osnabrück ins Spiel. Bis zur Serienreife der Nanoheizung soll nun ein Verfahren entwickelt werden, das Nanopartikel in einem Schichtaufbau auf das Trägermaterial aufbringt, etwa auf die Karosserieteile. Ein entsprechendes Verfahrenspatent dazu hat Osnatech vor Kurzem angemeldet. IH

EINHEITLICHE TECHNISCHE GRUNDLAGEN

VOLKSWAGEN ENTWICKELT PLATTFORMTECHNOLOGIE WEITER



(Bild: Volkswagen)

Hardware, Software, Batterie & Laden sowie Mobilitätsdienste aller Marken des Volkswagen Konzerns sollen künftig auf weitgehend einheitlichen technischen Grundlagen basieren. Dazu will das Unternehmen seine Plattformstrategie weiterentwickeln.

Mit dem »Modularen E-Antriebs-Baukasten« (MEB) verfügt Volkswagen bereits über eine reine Elektroplattform. Diese wird mit der Produktion in Europa, China und USA weltweit skaliert. Bis 2022 sollen konzernweit 27 Modelle auf Basis des MEB angeboten werden. Bereits im nächsten Jahr bringt der Konzern zudem erste Fahrzeuge auf Basis der Premium Plattform Electric (PPE) mit mehr Beschleunigung, höheren Reichweiten und kürzeren Ladezeiten. Bis Mitte des Jahrzehnts will der Konzern mit der Scalable Systems Platform (SSP) die

nächste Generation einer rein elektrischen, voll digitalen und hoch skalierbaren Fahrzeugplattform entwickeln, auf der dann Modelle aller Marken und Segmente gebaut werden können. Auch beim Thema Vernetzung und Software im Fahrzeug strebt Volkswagen in den kommenden Jahren Synergieeffekte über alle Marken an. Die Grundlagen dafür liefert die 2020 gegründete Car.Software-Org. mit dem Betriebssystem VW.OS. Version 1.2 folgt mit der PPE. Mit der SSP soll dann Version 2.0 konzernweit ausgerollt werden. Bis dahin soll der An-

teil selbst entwickelter Software im Fahrzeug von heute zehn Prozent auf 60 Prozent steigen. Die Car.Software-Org. entwickelt auch die technischen Grundlagen für das autonome Fahren sowie für datenbasierte Geschäftsmodelle und neue Mobilitätsdienste.

Darüber hinaus verfolgt das Unternehmen ebenso für Batterie und Laden eine Plattformstrategie. So wird der Konzern beginnend ab 2023 eine Einheitszelle einführen und weltweit skalieren. Bis 2030 soll die Einheitszelle markenübergreifend in rund 80 Prozent aller E-Fahrzeuge des Konzerns verbaut

werden. Die Kosten für Batteriezellen wollen die Wolfsburger im Einstiegssegment so um bis zu 50 Prozent reduzieren, im Volumensegment um bis zu 30 Prozent.

Das vierte Element der neuen Plattform-Roadmap besteht aus Mobilitäts- und anderen Dienstleistungen. Hierunter fallen unter anderem der Ridepooling-Service MOIA, das Carsharing-Angebot WeShare oder flexible Aboangebote der Volkswagen Bank. Mit der Entwicklung der Dienstleistungsangebote eignet sich Volkswagen Systemkompetenzen an, um sie gegebenenfalls mit Partnern weiterzuentwickeln. **ECK**

TECHNISCHE UNIVERSITÄT MÜNCHEN

SUPRALEITENDE SPULEN ÜBERTRAGEN KONTAKTLOS ENERGIE

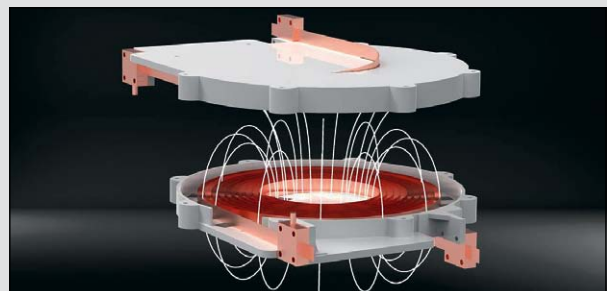
Der Technischen Universität München (TUM) ist es gelungen, eine Spule aus supraleitenden Drähten herzustellen, die Leistungen von mehr als fünf Kilowatt kontaktlos und ohne große Verluste übertragen kann. Anwendungen beispielsweise in Elektrofahrzeugen sind damit denkbar.

Bei kleinen Geräten wie Mobiltelefonen oder elektrischen Zahnbürsten hat sich die kontaktlose Energieübertragung bereits zur Schlüsseltechnologie für das Laden der Akkus entwickelt. Auch für große elektrische Maschinen wie Elektrofahrzeuge wünschen sich Anwender Möglichkeiten zur kontaktlosen Aufladung. Man könnte diese immer dann auf einer Ladestation platzieren, wenn sie gerade nicht im Einsatz sind. Auch kurze Stillstandzeiten ließen sich so effektiv zum Nachladen der Akkus nutzen. Allerdings sind derzeit verfügbare Übertragungssysteme bei hohen Leistungen ab dem Kilowatt-Bereich bislang groß und schwer, denn sie basieren auf Kupferspulen.

Im Rahmen einer Forschungskoope-ration mit Würth Elektronik eiSos und Theva Dünnschichttechnik ist es nun der Technischen Universität München gelungen, eine Spule mit supraleitenden Drähten herzustellen, die Leistungen von mehr als 5 kW kontaktlos und ohne große Verluste übertragen kann. Dazu musste allerdings ein Problem überwunden werden: Auch in supraleitenden Übertragungsspulen gibt es geringe Wechselstromverluste. Sie steigen mit zunehmender Übertragungsleistung und haben eine fatale

Folge: Die Oberflächentemperatur in den supraleitenden Drähten nimmt zu, und die Supraleitung bricht zusammen. Daher entwarfen die Partner ein besonderes Spulendesign, bei dem die einzelnen Windungen der Spule durch Abstandshalter voneinander getrennt sind. Dadurch ließen sich die Wechselstromverluste in der Spule erheblich reduzieren. Den Spulendurchmesser des Prototyps wählte man dabei so, dass eine höhere Leistungsdichte als bei kommerziell erhältlichen Systemen erzielt wurde. Grundidee dabei: Auf möglichst kleinem Wickelraum einen möglichst niedrigen Wechselstromwiderstand erzielen und somit die reduzierte geometrische Kopplung kompensieren. Hier mussten die Forscher einen prinzipiellen Konflikt überwinden: Machten sie den Abstand zwischen den Windungen der supraleitenden Spule klein, wurde die Spule zwar kompakt, es wurde aber ein Zusammenbruch der Supraleitung im Betrieb riskiert. Größere Abstände wiederum führen zu einer geringeren Leistungsdichte. »Den Abstand

zwischen den einzelnen Windungen haben wir mithilfe analytischer und numerischer Simulationen optimiert«, erklärt Christoph Utschick von der TUM. »Er entspricht in etwa der halben Breite des Bandleiters.« Man will nun daran arbeiten, die übertragbare Leistung weiter zu erhöhen. Sollte das gelingen, sind diverse Einsatzgebiete denkbar, wie autonome Transportfahrzeuge oder auch elektrische Rennfahrzeuge, die dynamisch auf der Strecke geladen werden. Ein Problem für eine breitere Anwendbarkeit des Systems muss allerdings noch gelöst werden: Die Spulen müssen dauerhaft mit flüssigem Stickstoff gekühlt werden. Die verwendeten Kühlgefäße dürfen dabei nicht aus Metall sein. Ansonsten würden sich die Wände der Gefäße im Magnetfeld der Spulen wie bei einem Induktionsherd stark erwärmen. **ECK**



(Bild: C. Utschick | Würth Elektronik eiSos)

VON DER RENNSTRECKE AUF DIE STRASSE

EIN LANGER WEG



(Bild: On Semiconductor)

Im Laufe der Jahre haben sich Technologien aus der Formel 1 auf die Serienfertigung von Straßenfahrzeugen übertragen. Dieser Wissenstransfer unterstützt die Entwicklung sicherer und effizienter Autos. Das gleiche Potenzial bietet nun die Formel E als Erprobungsfeld für Elektrofahrzeuge. Neuerungen in den Bereichen Batterietechnik, Energiemanagement, Laden und regeneratives Bremsen könnten so Einzug in kommende E-Fahrzeuge finden. Von Dave Priscak

Die ABB FIA Formula E World Championship ist eine internationale Rennserie, die ihre Läufe ausschließlich mit elektrisch angetriebenen Formelfahrzeugen austrägt. Im Markenkern der Rennserie stehen Werte wie Nachhaltigkeit, Energieeffizienz und technologischer Fortschritt. Sie soll als Inkubator für die Automobilindustrie dienen, um die Entwicklung von Elektroautos voranzutreiben. Mit Mercedes, Porsche, Audi, BMW, Jaguar, Nissan engagieren sich namhafte Automobilhersteller in der Meisterschaft. Aber auch immer mehr Automobilzulieferer und Halbleiterhersteller wählen die Formel E, um ihre Systeme und Bausteine im herausfordernden Umfeld des Motorsports zu testen und zu optimieren. Dazu zählt beispielsweise auch On Semiconductor. Der Hersteller von Bauelementen und Systemlösungen u.a. für Elektro-

fahrzeuge nutzt die Formel E für den Wissenstransfer vom Rennfahrzeug zum serienmäßigen Stromer. Neben Chancen und möglichen Vorteilen gibt es dabei auch Einschränkungen und Risiken.

INNOVATION BEIM BATTERIEDESIGN

Ein Haupthindernis bei der groß angelegten Einführung von Elektrofahrzeugen ist die Sorge der Verbraucher, wie weit sie mit einer Batterieladung fahren können. Diese »Reichweitenangst« spiegelt die Sorge wider, mit einer Ladung nicht ans Ziel zu kommen. Man sollte jedoch bedenken, wie lang die meisten Fahrten in der Regel dauern. Durch moderne Batterietechnik und fortschrittliche, effiziente Antriebsstränge stehen zahlreiche Serienfahr-

zeuge mit mehr als 300 km Reichweite pro Vollladung zur Verfügung. Diese Entfernung deckt die meisten täglichen Fahrten ab, zum Beispiel zur Schule, zur Arbeit und zum Einkaufen. Dennoch gibt es viel Spielraum nach oben und den Wunsch, die Batterieleistung weiter zu verbessern.

Die Batterieentwicklung ist eine elektrochemische Wissenschaft und äußerst unbeständig. Die Formel E arbeitet mit Unternehmen zusammen, die sich auf Batterien mit hoher Leistungsdichte konzentrieren und gleichzeitig einen sicheren Einsatz in der rauen Rennumgebung garantieren. Ein standardisiertes Batteriesystem minimiert die Gefahren unter extremen Beschleunigungs-/Regenerationsbedingungen und gewährleistet eine sichere Trennung im Falle eines Unfalls. Die Rennteams müssen auch

die Wettbewerbsbedingungen mit einer bestimmten Batterieimpedanz und charakterisierten Lade-/Entladeprofilen erfüllen.

OPTIMIERUNG DES ANTRIEBSSTRANGS

Der Antriebsstrang unterliegt dabei keinerlei Regularien. Jedes Team fügt seine »geheime Zutat« hinzu, um die Beschleunigung zu maximieren, die Effizienz der Energierückgewinnung beim Bremsen zu verbessern und das Leistungsbudget zu verwalten – um sicherzustellen, dass das Fahrzeug nicht nur das Rennen beendet, sondern auch den Sieger stellt. Außerdem kann sich jedes Team auf den Antriebsstrang konzentrieren, der sich am mechanischen Aufbau der Formel 1 und den dort verwendeten kinetischen Energierückgewinnungssystemen orientiert.

Aufgrund der extremen Natur der Formel E verwenden Rennteams viel mehr Embedded-Systeme als aktuelle Serienfahrzeuge, um den Stromer im laufenden Betrieb zu überwachen, zu steuern und zu optimieren. Während eines Rennens übertragen die Systeme Echtzeitdaten zur Verarbeitung und Analyse an den Kontrollraum. Aufgezeichnete Daten wie Energieübertragungseffizienz, Temperaturanstieg oder der Prozentsatz der zurückgewonnenen Energie ermöglichen es, die Software zu verbessern, die den Antriebsstrang von

der Batterie bis zu den Rädern steuert. Nach dem Rennen tauschen die Teams diese Daten mit ihren Industriepartnern aus, um die Funktion des Antriebsstrangs weiter zu optimieren und die Leistungsfähigkeit weiter zu verbessern. Die Daten helfen auch bei der Entwicklung neuer Produkte, was wiederum die Leistungsfähigkeit der Komponenten für das nächste Antriebsstrangdesign verbessert. Dieser kontinuierliche Verbesserungsprozess hält nicht nur die Partner des Rennteams wettbewerbsfähig – auch die Fahrzeugdesigns profitieren von einem immer höheren Maß an Know-how und praktischer Anwendungserfahrung. Halbleiterhersteller wie On Semiconductor können dann leistungsfähigere, effizientere und zuverlässigere Bauelemente für den gesamten Antriebsstrang entwickeln.

PER SOFTWARE DEFINIERTE FAHRZEUGE

Elektronik in Form von Hardware und Software dominiert die Innovation in neuen Fahrzeugen, und Software ist heute ein wesentlicher Bestandteil des Antriebsstrangs. In modernen Elektrofahrzeugen finden sich bereits zahlreiche Softwarekonfigurationen. Algorithmen zur Traktionskontrolle passen zum Beispiel den Antrieb an den Rädern an und balancieren ihn aus, um bei vereisten Straßen ein sicheres Voran-

kommen zu ermöglichen, oder um regeneratives Bremsen auszulösen, sobald der Fuß vom Gaspedal genommen wird. Moderne Stromer werden immer komplexer – mit zusätzlichen Antriebsmotoren und höheren Stufen für automatisiertes Fahren. Nutzer können ihre bevorzugten Fahrmodi auswählen, beispielsweise Leistung vor Reichweite für den täglichen Weg

zur Arbeit oder Allradantrieb für das Gelände bzw. winterliche Bedingungen. Zu den aus der Formel E übertragenen Leistungswahltechniken zählt der Schlupf bei Kurvenfahrten, der durch Beschleunigungsprofile gesteuert wird. Durch die Übertragung dieser Softwarealgorithmen werden die Eigenschaften zukünftiger Elektrofahrzeuge weiter angepasst, differenziert und verbessert.

ÄHNLICHKEITEN IM ANTRIEBSSTRANG

Formel-E-Autos erreichen Geschwindigkeiten bis zu 280 km/h, und das Rennen selbst dauert 45 Minuten. Die Rennwagen sind auf Geschwindigkeit getrimmt – nicht auf Reichweite. Auf der anderen Seite sind Stromer für Endverbraucher auf maximale Reichweite und eine viel niedrigere Geschwindigkeit ausgelegt. Beide Antriebsstränge sind sich jedoch weitgehend ähnlich. Sie streben nach bestmöglicher Effizienz bei der Energieübertragung und beim regenerativen Bremsen, um Energie zurück in die Batterie zu speisen und so die Reichweite zu erhöhen. Auch fortschrittliche Motoralgorithmen kommen zum Einsatz, die für verschiedene Betriebsmodi unerlässlich sind.

Die Formel E verschiebt die Grenzen in Bezug auf Leistungsumwandlung, thermische Dynamik und fortschrittliche Steuerungssoftware. Elektrisch angetriebene Serienfahrzeuge werden zweifellos davon profitieren, was auf der Rennstrecke gelernt und getestet wurde (**Bild 1**). Durch den Einsatz von Siliziumkarbid-Bauelementen (SiC) im Antriebsstrang lassen sich die Anforderungen an Effizienz, Sicherheit und Zuverlässigkeit in der rauen Formel-E-Umgebung erfüllen. Mit SiC-Komponenten erzielen zukünftige Stromer größere Reichweiten, fahren sicherer und sind zuverlässiger.

BUSSPANNUNGEN IM WANDEL

Der heutige EV-Hauptstrombus weist meist eine Spannung von 400 V auf. In der Entwicklung befinden sich 800-V-Antriebsstränge, die sich schnell



Bild 1. Elektrisch angetriebene Serienfahrzeuge werden zweifellos davon profitieren, was auf der Rennstrecke gelernt und getestet wurde. (Bild: On Semiconductor)



Bild 2. Damit sich Endverbraucher für ein Elektrofahrzeug entscheiden, spielt auch der Ladeprozess eine wichtige Rolle. Hier möchte man in einer ähnlichen Zeitspanne laden können, wie man es vom Tanken eines Fahrzeugs mit Verbrennungsmotor gewohnt ist. (Bild: On Semiconductor)

dem 900-V-Bus der Formel E nähern. High-Voltage-Bauelemente mit großer Bandlücke (Wide Band-Gap, WBG) wie SiC erhöhen die Leistungsdichte und ermöglichen den Einsatz kleinerer Motoren, was die Umsetzung und Einführung von Bussen mit höherer Spannung beschleunigt.

Höhere Batteriespannungen helfen auch beim Volt/Ampere-Problem des Schnellladens. Für die bereits installierten EV-Ladegeräte kann eine Änderung der Batteriespannungen jedoch problematisch sein. Zukünftige Ladegeräte werden wahrscheinlich digital gesteuert, um mehrere Spannungen bereitzustellen. Außerdem müssen Elektrofahrzeuge in Bezug auf die Laderate flexibel sein, weil diese auf der Ausgangsleistung des Ladegeräts basiert.

Das 12-V-Bussystem wird auf absehbare Zeit für die Formel E als auch für Serienfahrzeuge bestehen bleiben. Das liegt daran, dass 12 V alles mit Strom versorgt: von den Sensoren über die Infotainment- bis hin zu den Komfortsystemen. Das bedeutet jedoch nicht unbedingt, dass 12-V-Akkus erforderlich sind. High-Voltage-DC/DC-Wandler wie 400/800 V auf 12 V oder 48 V auf 12 V können dieses Problem lösen. 48-V-Bussysteme werden immer häufiger zur Anforderung. Viele Motoren

benötigen eine höhere Spannung, um das geforderte höhere Drehmoment bereitzustellen.

Eine Lösung, um auf 48 V zu kommen, besteht darin, zwei 12-V-Batterien zu verwenden und dann eine auf 48 V zu erhöhen. In Zukunft ist es wahrscheinlicher, dass eine Hochvoltbatterie mit mehreren Spannungsschienen zum Einsatz kommt, um die unterschiedlichen Anforderungen der einzelnen elektronischen Lasten im Fahrzeug zu unterstützen.

SCHNELLADEN BLEIBT HERAUSFORDERUNG

Endverbraucher erwarten, dass sie kommerzielle EVs in einer ähnlichen Zeitspanne laden können (Bild 2), wie sie es vom Tanken eines Fahrzeugs mit Verbrennungsmotor gewohnt sind. Obwohl die Formel-E-Ladeleistung für Fahrzeuge der dritten Generation nun 600 kW beträgt und 4 kWh in 30 s bereitstellt, ist es unwahrscheinlich, dass solche Geschwindigkeiten in absehbarer Zeit zur Verfügung stehen werden.

Die meisten Stromnetze sind nicht für eine derart hohe Leistungsübertragung ausgelegt. Weitere begrenzende Faktoren für die Ladegeschwindigkeit sind die Stromkapazität des Ladegeräts oder Kabels, die Impedanz des Akkus und das Balancing der Batterie.

Weil höhere Spannungen die Ladeströme und Übertragungsverluste verringern, werden in Zukunft wahrscheinlich höhere Batteriespannungen genutzt. Es wird Ladestationen geben, die Tankstellen ähneln oder mit Tankstellen zusammengeschlossen und an ein 1.200-V-Netz angeschlossen sind, das in der Lage ist, innerhalb von Minuten eine vollständige Ladung zu ermöglichen und somit das bekannte Auftanken von Kraftstoff nachzubilden.

UNTERSCHIEDE BEIM REGENERATIVEN BREMSSEN

Der Fahrstil in der Formel E erfordert schnelles Beschleunigen und außergewöhnlich starkes Bremsen, weil die Fahrzeuge auf kurvenreichen Strecken unterwegs sind. Diese Umgebung

ist ideal für regeneratives Bremsen, da das Verhältnis von Bremsen zu Fahren hoch ist. Allerdings reicht die Zeit, die benötigt wird, um Energie aus hartem Bremsen zu erzeugen, nicht aus, um diese wieder vollständig in der Batterie zu speichern, was ein Problem darstellt. Mithilfe von Li-Ionen- oder Superkondensatoren kann die zurückgewonnene Energie vorübergehend gespeichert und auf die Batterie übertragen oder bei der nächsten Beschleunigung verbraucht werden. Die Umsetzung dieser Methode ist jedoch teuer, und der Return on Investment rechtfertigt möglicherweise die Kosten nicht, wenn das Verhältnis zwischen Bremsen und Fahren gering ist. Das regenerative Bremsen ist daher ein kritisches Unterscheidungsmerkmal zwischen Formel-E-Rennwagen und herkömmlichen Stromern. Das Rennumfeld ist also nach wie vor ein wertvolles Versuchsfeld für die Entwicklung von Elektrofahrzeugen für den Endverbraucher. Die gewonnenen Vorteile und Kenntnisse helfen Fahrzeug-, Tier-1- und Bauteilherstellern. Es gibt keinen besseren Weg, um zu verstehen, wie Komponenten und Systeme funktionieren, als in der realen Welt – und nicht in der Laborumgebung. Und wenn dieses Umfeld so herausfordernd und extrem ist wie die Formel E, kann die Lernkurve nur steil und schnell sein. ECK



DAVE PRISCAK

ist derzeit Vice President of Worldwide Solutions Engineering bei ON Semiconductor. Er ist verantwortlich für die Definition und Überwachung der Erstellung von Entwicklungswerkzeugen, Referenzdesign-Kits, Modulen und Software. Vor seinem Eintritt in das Unternehmen war er sieben Jahre lang bei Texas Instruments tätig. Prisca hat einen Abschluss als Elektroingenieur vom Electronic Technology Institute Technical College.

ENTWICKLUNG EINES ENERGIESPARENDEN DC/DC-WANDLERS

DIE ENTLADUNG STOPPEN



(Bild: Texas Instruments)

Wird ein Auto für längere Zeit stehengelassen, besteht das Risiko, dass die Fahrzeugbatterie durch elektrische Verbraucher entladen wird. Es gilt also, den Strombedarf der Schaltungsdesigns zu senken. Beim Einsatz von Schaltreglern gibt es einige grundsätzliche Methoden zum Energiesparen.

Von Martin Moss

Moderne Kraftfahrzeuge werden immer ausgefeilter und enthalten zunehmend mehr fortschrittliche Elektroniksysteme, um neue Komfortmerkmale zu ermöglichen und die Sicherheit der Fahrzeuginsassen zu verbessern. Je mehr Funktionen und je mehr Elektronik die Automobilhersteller allerdings in ihre Fahrzeuge integrieren, umso

mehr elektrische Energie benötigen die Bordsysteme.

Zwar könnte man Autos mit Solarpanels bestücken, aber die damit erzeugte elektrische Energie reicht für den Antrieb bei Weitem nicht aus und kann auch den Bedarf der neuen elektrischen Funktionen keinesfalls decken. Entwickler sind folglich gefordert, Bau-

elemente einzusetzen, die den Energiebedarf ihrer Designs reduzieren.

DIE BEDEUTUNG EINES GERINGEN ENERGIEBEDARFS

In den meisten Fahrzeugen, die aktuell auf den Straßen unterwegs sind, wird elektrischer Strom mithilfe eines

Generators erzeugt, der vom Verbrennungsmotor angetrieben wird. Diese elektrische Energie wird in einer Batterie gespeichert, und zwar häufig noch in einer traditionellen Blei-Säure-Batterie, in modernen Autos immer öfter in einer Lithium-Ionen-Batterie. Die Verwendung einer Batterie als Energiespeicher hat freilich einen Nachteil: Wird ein Fahrzeug längere Zeit unbenutzt stehengelassen, zum Beispiel auf einem Flughafenparkplatz, kann sie sich vollständig entladen, sodass anschließend Starthilfe benötigt wird.

Viele Mikrocontroller nehmen so viel Strom auf, dass sie eine Fahrzeugbatterie durchaus entladen können, zumal in einem abgestellten Fahrzeug immer mehr MCUs aktiv sind, um diverse Funktionen und Features zu steuern und zu überwachen. Bei diesen Funktionen kann es sich beispielsweise um eine aus Sicherheitsgründen eingebaute Präsenzerkennung mithilfe von Sensoren wie etwa Radar oder Kameras handeln, oder auch um eine Funktion zur Detektierung des vom Fahrer mitgeführten Funkschlüssels bei Annäherung an das Auto, damit die Türen entriegelt werden und der Motor von außen gestartet werden kann.

Auch Umweltschutzaspekte müssen in die Überlegungen einfließen, denn schließlich erzeugt der Verbrennungsmotor beim Laden der Batterie Kohlendioxid sowie andere Gase und Schadstoffe, die aus dem Verbrennungsvorgang resultieren. Energieeffizienzaspekte werden Einfluss auf künftige Fahrzeugarchitekturen haben,

wenn die Automobilhersteller Batterien nicht nur für den Antrieb, sondern für verschiedenste andere Aufgaben nutzen. Die Fahrzeuge werden nicht nur im geparkten Zustand Energie benötigen, sondern wegen des Wegfalls des Generators wird diese Energie während der Fahrt nicht wieder ersetzt werden. Vielmehr entnehmen Anwendungen wie das Heizungs-, Klimatisierungs- und Lüftungssystem, die Scheibenwischer, die elektrischen Fensterheber usw. während der Fahrt laufend Energie aus der Batterie.

ENERGIEBEDARF MUSS NIEDRIGER WERDEN

Elektronische Steuergeräte sind für den Betrieb der Elektronik im Fahrzeug zuständig und steuern die Funktionen eines Automobils – ob es nun fährt oder steht (auf einem Parkplatz abgestellt oder vor einer Ampel wartend). Die Zahl der im Stand-by- oder Always-on-Modus befindlichen ECUs wird in Zukunft weiter ansteigen, sodass die Senkung des Energiebedarfs mit immer größeren Herausforderungen verbunden sein wird.

Die meisten ECUs basieren auf einem zentralen Mikrocontroller, einer Kommunikationsschnittstelle und Bauelementen zur Stromversorgung. In einigen Fällen kann der Kommunikationsbus die ECUs nicht einzeln, sondern nur alle gemeinsam abschalten. Das kann dazu führen, dass sich diese nicht vollständig im Sleep-Modus befinden, sondern weiter Energie

verbrauchen. Im Sleep-Modus müssen Automobilsysteme strikte Verbrauchsvorgaben einhalten, um die Batterielebensdauer zu maximieren. Die in Automotive-Designs verwendeten Stromversorgungsbaulemente müssen folglich im Stand-by-Betrieb mit möglichst wenig Energie auskommen. Die Kennzahl hierfür ist die Ruhestromaufnahme I_0 .

DC/DC-ABWÄRTSWANDLER OPTIMIEREN DAS DESIGN

Moderne Schaltregler sind häufig so konzipiert, dass sie dem System möglichst wenig Energie entnehmen, während gleichzeitig die korrekte Regelung und Funktion aufrechterhalten wird – insbesondere dann, wenn das System hochfährt und der Betrieb schnell wieder aufgenommen wird. Dies zeigt das Beispiel des synchronen Abwärtswandlers LMR36506-Q1 von Texas Instruments (**Bild**).

Einige wichtige Funktionsabschnitte des LMR36506-Q1, wie etwa die internen Bias-Schaltungen, der Low-Dropout-Regler (LDO), der Transkonduktanzverstärker und die Spannungsreferenzblöcke müssen eingeschaltet bleiben. Der zum Regelkreis gehörende Transkonduktanzverstärker etwa dient zum Regeln des Ausgangs. Kritische Bauteile des Regelkreises müssen ebenfalls aktiv sein, um eine schnelle Reaktion auf einen Lastsprung zu gewährleisten und die am Verbraucher anstehende Spannung zu regeln. Sie können nicht abgeschaltet werden,

ASAP

DIE AUTOMOBILINDUSTRIE IST IM WANDEL - WIR GESTALTEN IHN MIT.

Als Engineering Partner bieten wir umfassende Entwicklungsleistungen mit Fokus auf die Mobilitätskonzepte von morgen: E-Mobilität, Autonomes Fahren und Connectivity.

Erfahren Sie mehr auf asap.de



JETZT UMSTEIGEN.

denn sonst wäre die korrekte Regelung nicht gewährleistet. Der Energiebedarf der LDOs und der Transkonduktanzverstärker konnte im Sleep-Modus deutlich reduziert werden. Außerdem sind diese Funktionsblöcke für einen schnellen, präzisen und effizienten Wechsel aus dem Low-Power- in den normalen Betrieb konzipiert. Der Softstartblock und die Bandlückenreferenz wurden im Hinblick auf einen niedrigen Energiebedarf und einen geringen I_0 -Wert entwickelt. Denn andernfalls müssten diese Funk-

tionsblöcke über komplexere Ein- und Ausschaltfunktionen verfügen, um auf Änderungen des Lastprofils reagieren zu können. Der von Natur aus effiziente LDO liefert eine saubere Ausgangsspannung. Er fungiert als Hauptstromversorgung für die internen Schaltungen des Schaltwandlers und stellt die DC-Kollektorspannung (V_{CC}) für zahlreiche interne Schaltungen zur Verfügung. Ein Beispiel sind die Treiber für die ausgangsseitigen MOSFETs. Ein MOSFET-Treiber muss als Quelle und Senke für Strom

aus V_{CC} fungieren. V_{CC} dient überdies zum Laden des Boot-Kondensators für den high-seitigen MOSFET. Der LDO muss ferner hohe Stabilität, ein gutes Netzstörungsunterdrückungsverhältnis und eine hohe Genauigkeit aufweisen, um korrekt zu funktionieren. Dies gestaltet sich umso schwieriger, je weiter sein Energiebedarf reduziert wird. Die Energiebedarfsanforderungen des LDOs können sich mit der Ausgangsleistung des Schaltwandlers ändern. Denn die Ausgangs-MOSFETs werden mit zunehmender Leistung

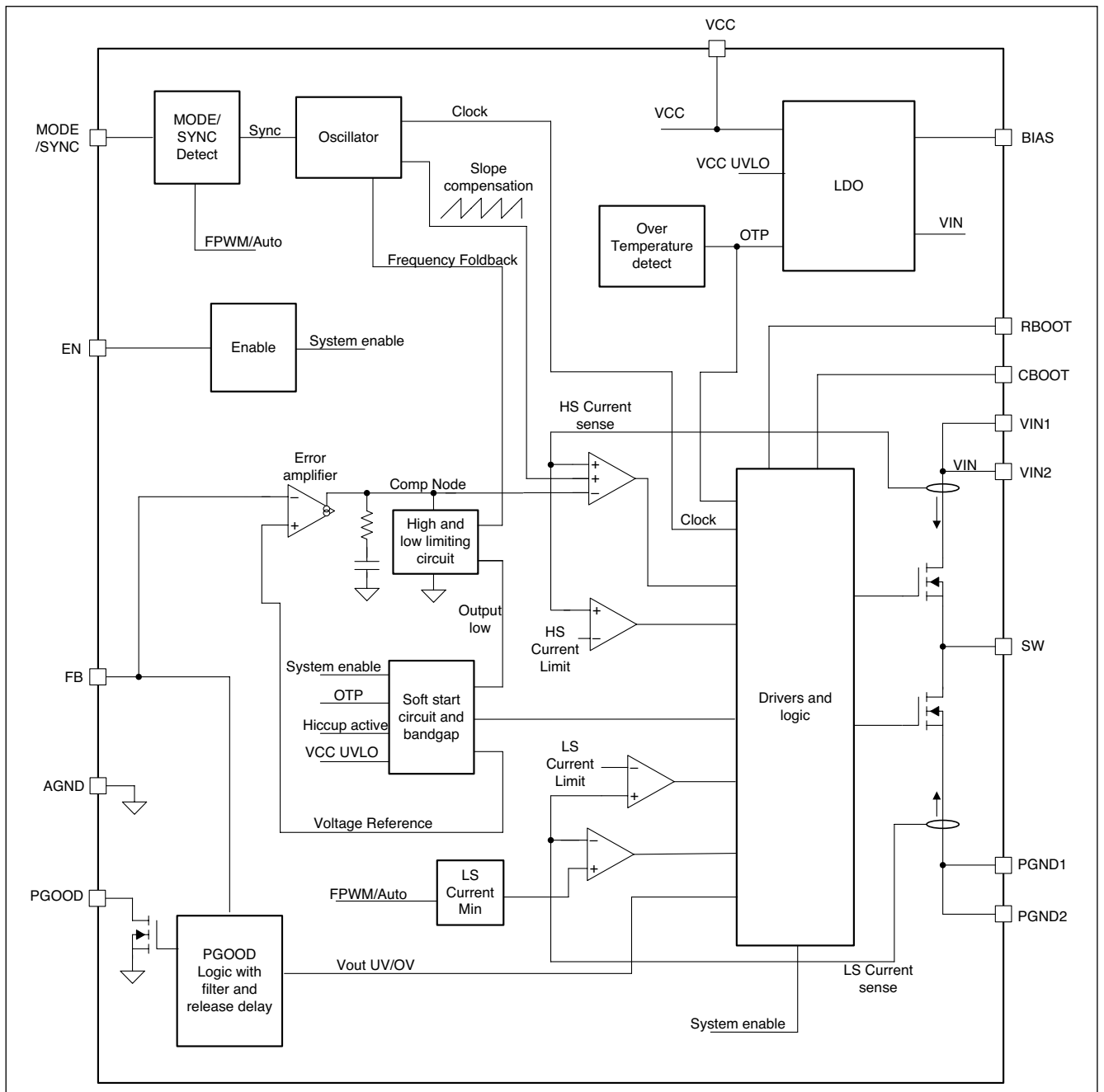


Bild. Der Abwärtswandler LMR36506-Q1 von Texas Instruments ist hinsichtlich Abmessungen und Lasteffizienz optimiert. (Bild: Texas Instruments)

größer. Bei kleineren Wandlern ist es in der Regel einfacher, die Forderung nach einem geringen Stand-by-Energiebedarf zu erfüllen.

Im LMR36506-Q1 lässt sich der eingebaute LDO ein- und ausschalten, um Energie zu sparen. Nach dem Hochfahren des Schaltreglers könnte man außerdem die Ausgangsspannung an einen Bias-Pin führen, der mit dem LDO verbunden ist. Da die Differenz zwischen der Ausgangsspannung (V_{OUT}) und V_{CC} geringer ist, lässt sich viel Energie sparen, indem man die Energie nicht aus der Eingangsspannung (V_{IN}) bezieht.

VORAUSSETZUNGEN FÜR EINEN GERINGEN I_Q -WERT

Selbstverständlich wird der Energiebedarf eines Designs davon beeinflusst, für welchen Baustein man sich entscheidet. Davon abgesehen gibt es jedoch einige allgemein anwendbare Verfahren, um beim Einsatz von DC/DC-Abwärtswandlern Energie einzusparen:

→ Ändern der Betriebsart: Eine der einfacheren Energiesparmöglichkeiten hängt mit der Betriebsart des Stromversorgungsbausteins zusammen. Die beiden wichtigsten Modi sind die Pulsweitenmodulation (PWM) und die Pulsfrequenzmodulation (PFM). Im PFM-Betrieb werden mehrere Funktionsabschnitte des ICs, die im PWM-Betrieb benötigt werden, abgeschaltet, wobei nach wie vor die nötige Ausgangsspannung aufrechterhalten wird.

Das Absenken der Schaltfrequenz hilft zudem beim Verringern der bei niedrigen Lastströmen dominierenden Schaltverluste.

→ Verlangsamung der Schaltvorgänge: Eine weitere Technik zur Senkung des Energiebedarfs ist es, die Zahl der vom Wandler ausgeführten Schaltvorgänge zu reduzieren. Werden die high- und low-seitigen MOSFETs seltener ein- und ausgeschaltet, trägt dies zur Verringerung des Energiebedarfs bei. Weniger Schaltvorgänge lassen sich erreichen, indem zunächst die Schaltfrequenz des Bausteins reduziert wird. Nach dem Wechsel in den Sleep-Modus wird der Baustein dann nur bei Bedarf zum Aufladen des Ausgangskondensators aktiviert, damit die Soll-Ausgangsspannung aufrechterhalten wird.

→ Verwendung einer festgelegten Ausgangsspannung: Eine weitere Möglichkeit, Energie zu sparen, ist die Verwendung einer Schaltwandlerversion mit fest eingestellter Ausgangsspannung. Aus Zuverlässigkeitsgründen sind externe Widerstände oftmals auf weniger als 100 k Ω limitiert, um toleranz- und driftbedingte Schwankungen der Ausgangsspannung zu unterbinden. Die Folge sind Leckströme in der Regelschleife mitsamt den daraus resultierenden Verlusten. Wird dagegen ein Regler mit nicht einstellbarer Ausgangsspannung benutzt, lassen sich die internen Widerstände auf Werte über 1 M Ω skalieren, sodass zum Regeln der Spannung erheblich weniger Verluste entstehen. Höhere Widerstandswerte sind attraktiv, weil die Leckströme und

die entstehenden Verluste wesentlich geringer sind.

Es stellt eine große Herausforderung dar, die einwandfreie Funktion und Leistungsfähigkeit der Elektronik unter den rauen Einsatzbedingungen in einem Kraftfahrzeug zu gewährleisten. Entwickler müssen die funktionalen Anforderungen des Systems kennen und wissen, wie lange es aktiv bleiben und nicht in den Sleep-Modus wechseln soll. Auch die möglichen Abstriche in Sachen Platzbedarf, Kosten und Leistungsfähigkeit sollten bekannt sein. Denn erst dann lassen sich sämtliche Anforderungen unter Einhaltung der Energiesparvorgaben miteinander vereinbaren. IH



MARTIN MOSS

ist bei Texas Instruments

als Marketing-Manager für Buck-Schaltregler zuständig. Nach seinem Studienabschluss in Ingenieurwissenschaften an der britischen Reading University im Jahr 1992 arbeitete er für Harris Semiconductor, NEC, Agilent und ON Semiconductor. Vor der Akquisition durch TI war er außerdem für National Semiconductor tätig. In seiner beruflichen Tätigkeit beschäftigte sich Moss bereits mit der Definition und Vermarktung von Technologien wie DSPs, Hochfrequenz, Mixed Signal und vor allem in jüngster Zeit mit dem Thema Stromversorgung.



Flüssigkeitskühlung für das Batteriemanagementsystem

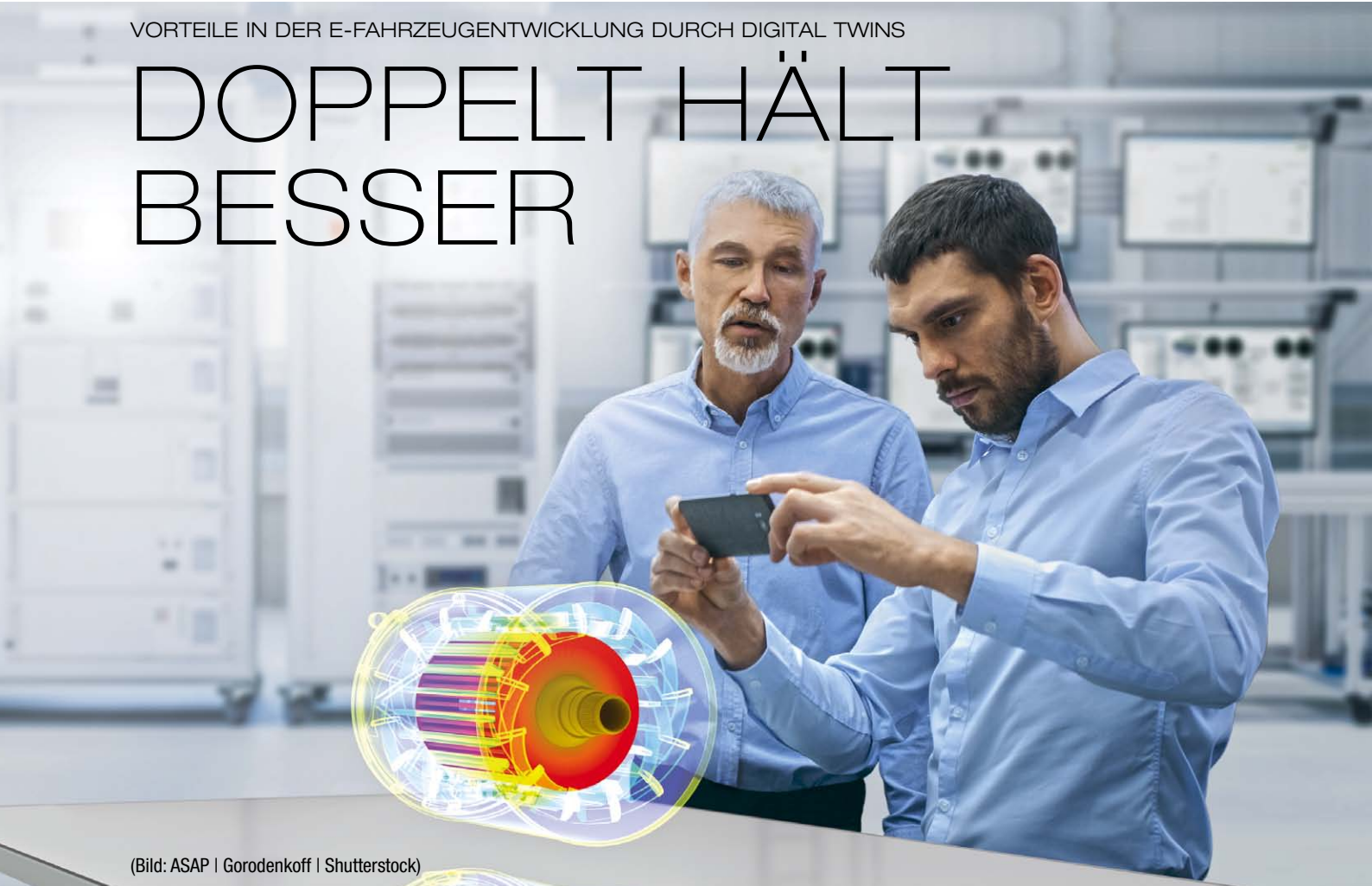
- Kühlung des On-Board-Chargers
- Optimale Temperierung des Batteriemoduls
- Schutz vor Überhitzung des Batteriesystems
- Projektspezifische Dimensionierung
- Einbindung in bestehende Kühlkreisläufe möglich

CTX THERMAL SOLUTIONS



VORTEILE IN DER E-FAHRZEUGENTWICKLUNG DURCH DIGITAL TWINS

DOPPELT HÄLT BESSER



(Bild: ASAP | Gorodenkoff | Shutterstock)

Bei E-Fahrzeugen spielt neben der Leistung vor allem die Reichweite eine wichtige Rolle. In einem aktuellen Projekt arbeitet die ASAP-Gruppe deshalb an der Reichweiten- und Betriebszustandsvorhersage für E-Fahrzeuge mittels Digital Twins: Mit ihnen lassen sich Reichweite und Betriebszustand frühzeitig in der Entwicklung virtuell bestimmen.

Von René Honcak

Für den flächendeckenden Erfolg der Elektromobilität sind schnelle Fortschritte auf dem Gebiet der Reichweite von E-Fahrzeugen essenziell. Lösungen hierfür stellen unter anderem Fahr-funktionen wie der »Prädiktive Effizienzassistent« dar. Er sorgt bei Hybrid-fahrzeugen für einen verminderten Verbrauch – und damit für mehr Reichweite –, indem er konkrete Empfehlun-

gen zur effizientesten Fahrweise liefert. ASAP - Automotive Systems And Projects begegnet der komplexen Entwicklung solcher Funktionen, die einer umfangreichen Absicherung bedürfen, mit der Methode der Digital Twins: Bei der Entwicklung und Erprobung lassen sich mit virtuellen Abbildern von Funktionen und Komponenten maßgeblich Zeit und Kosten sparen.

VIRTUELLE ABSICHERUNG MIT DIGITAL TWINS

Stand heute werden Vorhersagen und Analysen zum Verhalten des elektrischen Verbrauchs zumeist über lang definierte Messverfahren zur Generierung von Kennfeldern oder Lookup-Tabellen durchgeführt. Hierfür werden vorab definierte Testfahrten an Prüf-

ständen oder Fahrversuche real umgesetzt. Bei Entwicklungen und Erprobungen im Bereich Elektromobilität stoßen diese Verfahren jedoch an ihre Grenzen: bei realen Testläufen wird die Reichweitenvorhersage auf Basis statischer Modelle ohne Einbeziehen von Umwelt, Umfeld oder gekoppelter dynamischer Effekte im elektrifizierten Antriebsstrang durchgeführt. Änderungen an den Testspezifikationen können während der Erprobung am realen Prüfstand nicht vorgenommen werden. Auch Analysen hinsichtlich Störtermen wie Sensorungenauigkeiten, Messrauschen oder Fertigungs- und Montagetoleranzen sind nur durch Erhöhung des Messaufwands möglich und nicht reproduzierbar. Gerade bei der Reichweitenvorhersage für E-Fahrzeuge, bei der zahlreiche unterschiedliche Einflussfaktoren berücksichtigt werden müssen, lassen diese Maßnahmen deshalb eine vollumfängliche Absicherung in zeitlich angemessenem Rahmen nicht zu [1].

ASAP nutzt aus diesem Grund die virtuelle Absicherung mit Digital Twins, bei der sich Testspezifikationen jederzeit beliebig anpassen lassen. Der Nutzen von Digital Twins ist vielfältig: Zum einen sorgen die virtuellen Abbilder für eine optimale Verzahnung der einzelnen Entwicklungsphasen, da sie für eine konstante Verfügbarkeit von Daten sorgen. Diese Daten ermöglichen wiederum die kontinuierliche Optimierung der abgebildeten Komponenten und Funktionen über alle Prozessschritte hinweg. Zum anderen gestatten Digital Twins den sprichwörtlichen Blick in die Glaskugel. Bevor erste Hardware oder Prototypen real existieren, können neue Komponenten oder Funktionen virtuell mit ihnen erprobt werden. Auf diese Weise erhält ASAP Erkenntnisse über die Reaktion der Komponenten oder Funktionen in bestimmten Situationen, bevor diese eintreten. Mögliche Fehler und ihre Ursachen können dadurch frühzeitig in der Entwicklung behoben werden. Kosten und Aufwand in der Erprobung, dem Prototyping sowie der Produktoptimierung werden durch den Aufbau von Digital Twins demnach deutlich gesenkt.

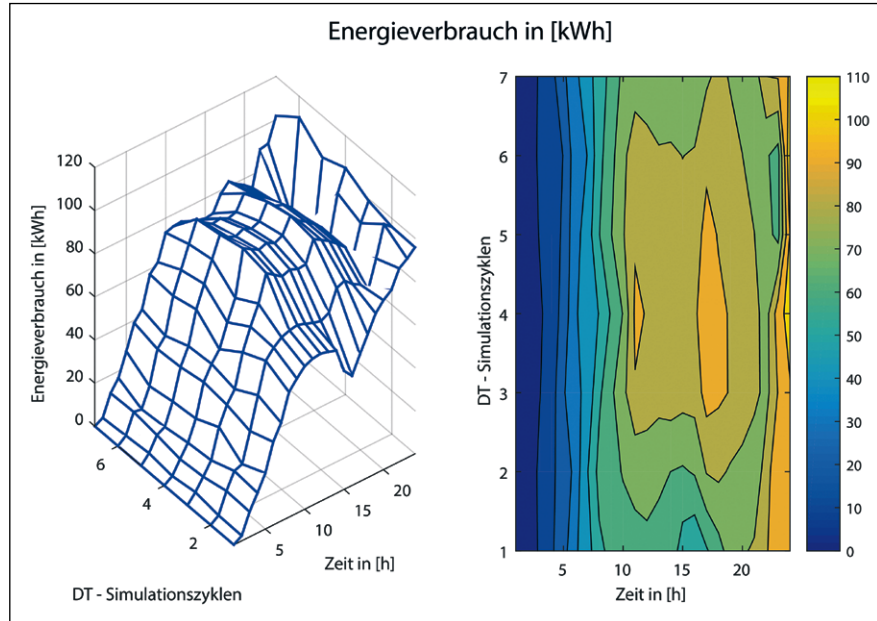


Bild 1. Simulation mehrerer Zyklen einer Energieverbrauchsvorhersage durch Digital Twins für verschiedene Antriebsstrangkonfigurationen. (Bild: ASAP)

VIRTUELLES ABBILD DES ELEKTRISCHEN ANTRIEBSSTRANGS

Für ein aktuelles Projekt hat ASAP Digital Twins für alle Komponenten eines elektrischen Antriebsstrangs aufgebaut. Für Erprobungen stehen somit die virtuellen Abbilder des HV-Leitungssatzes, der HV-Leistungselektronik und -Batterie sowie der E-Maschine zur Verfügung. Um sie hinsichtlich verschiedenster Kriterien erproben zu können, erfüllen die Digital Twins unterschiedlichste Anforderungen. Sie können sowohl Mechanik und Elektrik, als auch Thermik und Lebensdauer der Testobjekte abbilden (**Bild 1**).

Beim Aufbau der virtuellen Abbilder profitiert ASAP von seinem Know-how über den gesamten Entwicklungsprozess von E-Fahrzeugen – angefangen bei Systemdesign und -simulation sowie der anschließenden System- und Komponentenentwicklung, der Verifikation und Validierung, über die Fahrzeugintegration bis hin zu Fahrversuch und Applikation. Durch die Nutzung von Synergien aus der Modellbildung und Simulation lässt sich der gesamte Entwicklungsprozess eines elektrischen Antriebsstrangs in jeder Phase durch virtuelle Komponentenmodelle, Messtechnik sowie Berechnungsverfahren

erweitern. Mit jedem Test und jedem Entwicklungsschritt werden die virtuellen Abbilder dabei immer genauer. Denn durch maschinelle Lernverfahren nutzen sie einmal gewonnene Erfahrungen, um sich selbst stetig zu optimieren.

VON DIGITAL TWINS PROFITIEREN

In dem aktuellen Projekt geht es darum, mit den Digital Twins Fragen zur Reichweiten- und Betriebszustandsvorhersage ohne reale Testläufe zu beantworten. Hierzu wurde ein virtuelles Prüfumfeld aufgebaut, in dem unter anderem verschiedene Umwelteinflüsse, Straßenbedingungen und Straßenzeichen berücksichtigt werden. In diesem Prüfumfeld wird auf virtuellen Erprobungsfahrten eine Vielzahl von Szenarien abgefahren beziehungsweise simuliert. Dabei kommt der Digital Twin ins Spiel: Durch die simulative Betrachtung von Last- beziehungsweise Fahrprofilen werden mit dem virtuellen Abbild virtuelle Erprobungen zur Identifikation mechanischer und thermischer Hotspots im Fahrzeug durchgeführt. Dabei werden für das Gesamtsystem die Reichweite, beziehungsweise der ideale, verlustfreie Betriebszustand und so wiederum der

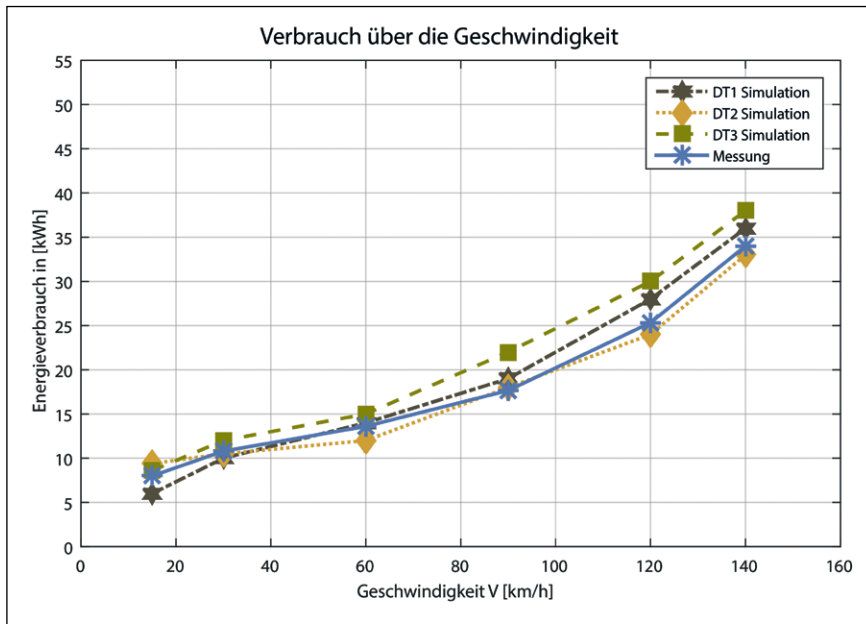


Bild 2. Darstellung des Energieverbrauchs gegenüber der Geschwindigkeit. Messdaten einer Erprobungsfahrt versus Simulationsdaten aus digitalen Zwillingen für verschiedene Antriebsstrangkonfigurationen.

günstigste Zeitpunkt zum Laden der HV-Batterie ermittelt (**Bild 2**).

Auf diese Weise lassen sich auch Antworten auf die Fragen liefern, ob die HV-Batterie sich in einem thermischen Betriebszustand befindet, der das Laden begünstigt, oder ob der Streckenverlauf hin zu einer definierten Destination verändert werden kann, um durch Rekuperation Energie zurückzugewinnen. Auf diese Weise identifiziert ASAP das bestmögliche Antriebsstrangkonzept sowie die optimale Lade- und Betriebsstrategie eines E-Fahrzeugs – ohne dass in der Realität auch nur ein Kilometer zurückgelegt wurde. Im Vergleich zu realen Erprobungen am Prüfstand, die in diesem Fall einige Tage in Anspruch nehmen würden, werden für die virtuelle Erprobung lediglich wenige Minuten benötigt [2].

Die Digital Twins des elektrischen Antriebsstrangs nutzt ASAP darüber hinaus für alle weiteren Phasen der Entwicklung von E-Fahrzeugen – von Auslegungsuntersuchungen über die Prototypenentwicklung bis hin zur Erprobung. Zu Entwicklungsbeginn werden etwa Berechnungstools eingesetzt, um E-Maschinen passend ihrer Vorgaben hinsichtlich Gewicht und Leistung auszulegen.

Auch in der Softwareentwicklung werden die digitalen Komponenten

eingesetzt – etwa für Berechnungen bei komplexen Fahrfunktionen. Die Vorteile der modellbasierten Softwareentwicklung liegen im Vergleich zu herkömmlichen Entwicklungsmethoden in der höheren Genauigkeit der Berechnungsverfahren. Den Verfahren liegen – aufgrund kontinuierlicher Verbesserung der digitalen Zwillinge im Laufe des Entwicklungsprozesses – fundierte Modelle zugrunde. In der Prototypenphase dienen die digitalen Zwillinge unter anderem dazu, die optimale Position für HV-Leitungsansätze zu ermitteln. Dafür werden mit ihnen mechanische Belastungen oder thermische Kontaktstellen zu Steuer-

geräten im Fahrzeug identifiziert, also Positionen, die für den HV-Leitungsansatz ungeeignet sind. Dadurch werden weniger Prototypen benötigt, was die Kosten und Dauer der Prototypenphase erheblich reduziert.

In der Komponentenerprobung für E-Fahrzeuge werden die Digital Twins intensiv validiert und später im Fahrbetrieb zur Validierung von Sensordaten genutzt. Mit ihnen lassen sich Erprobungen umsetzen, die unter realen Bedingungen nicht durchführbar wären – beispielsweise die Erprobung virtueller Sensoren, die in E-Fahrzeugen anhand von Strom und Spannung die Temperatur im Motor berechnen. Ein weiteres Beispiel ist die Absicherung von Funktionen wie der Personenerkennung. Mit realen Validierungsmethoden lassen sich diese nicht fehlerfrei absichern, da es unendlich viele Situationen und Parameter gibt, die berücksichtigt werden müssen. Dieser Herausforderung begegnet ASAP ebenso mit dem Einsatz von Digital Twins in virtuellen Prüfumgebungen (**Bild 3**). Bei Temperaturläufen von E-Maschinen für Lebensdauertests erleichtern und beschleunigen die virtuellen Abbilder die Erprobung ebenfalls: Während man an realen Prüfständen diverse Fahrprofile über mehrere Wochen abfahren lassen und die E-Maschinen anschließend auf mögliche Schäden hin untersuchen muss, sind bei der Simulation der Fahrprofile mit Digital Twins die Ergebnisse bereits nach wenigen Minuten verfügbar [3].

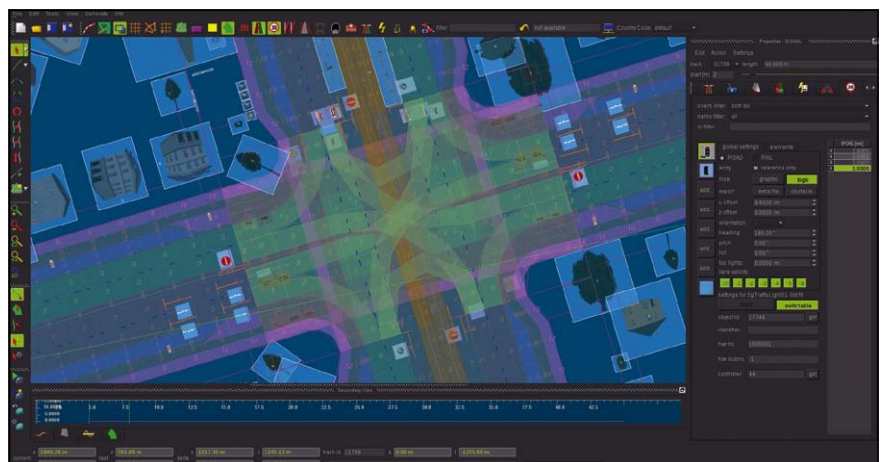


Bild 3. Mit dem Einsatz von Digital Twins in virtuellen Prüfumgebungen lassen sich Test umsetzen, die unter realen Bedingungen nicht möglich wären. (Bild: ASAP)

Mit ihren Vorteilen für die Funktions- und Komponentenentwicklung sind Digital Twins gerade für Entwicklungen im Bereich Elektromobilität in den kommenden Jahren unerlässlich für schnelle Fortschritte. Künftig wird ihr Nutzen weiter zunehmen.

ZUKUNFT DER DIGITAL TWINS

Datenbanken mit spezifischen Modell- und Materialdaten sowie die Nutzbarmachung dieser Daten zur virtuellen Absicherung werden einen entscheidenden Entwicklungsvorsprung ermöglichen. ASAP baut entsprechende Datenbanken bereits sukzessive auf, sodass beispielsweise für virtuelle Abbilder benötigte Daten zu Elektrik, Mechanik oder Thermik künftig schneller verfügbar sind. Dabei profitiert das Unternehmen von seinem Know-how zu realen und virtuellen Erprobungen: Durch das umfangreiche Leistungsportfolio auf dem Gebiet der Robustness Validation stehen viele Daten bereits von vornherein für den Einsatz beim Aufbau von Digital Twins zur Verfügung und müssen nicht erst in aufwendigen Testreihen gewonnen werden. Soll beispielsweise ein Digital Twin mit einem virtuellen Shaker-Versuch validiert werden, kann ASAP auf die benötigten Randdaten in Form von Messdaten aus vorangegangenen, realen Lebensdauertests zurückgreifen. Mit Blick auf die enormen Herausforderungen in der Komponenten- und Funktionsentwicklung – kurze Entwicklungszeiten, permanenter Kostendruck und immer komplexere Produkte – steht dem Einsatz von Digital Twins eine aussichtsreiche Zukunft bevor. IH

Literatur

- [1] Kaufmann T., Pühringer A., Rauscher B. (2016) Der digitale Zwilling. computer-automation.de, <http://www.computer-automation.de/unternehmensebene/produktionssoftware/artikel/132264/>, letzter Zugriff: 17.12.2020
- [2] Glaessgen E., Stargel D. (2012) The Digital Twin Paradigm for Future NASA and U.S. Air Force Vehicles. In: 53rd AIAA/ASME/ASCE/AHS/ASC Structures, Structural Dynamics and Materials Conference Honolulu, Hawaii
- [3] Franz-Josef Kahlen, Shannon Flumerfelt, Anabela Alves (2017). Transdisciplinary Perspectives on Complex Systems: New Findings and Approaches.



RENÉ HONCAK

hat einen Bachelor-Abschluss in Scientific Computing und einen Master-Abschluss in Stochastic Engineering. 2015 ist er bei der ASAP-Gruppe als Entwicklungsingenieur eingestiegen. Heute ist er als Senior Expert im Bereich Modellbildung/Simulation tätig.

Anschrift für Verlag, Redaktion, Vertrieb, Anzeigenverwaltung und alle Verantwortlichen: WEKA Fachmedien GmbH, Richard-Reitzner-Allee 2, 85540 Haar
Tel.: 089 25556-1000, Fax 089 25556-1399, www.weka-fachmedien.de
Telefondurchwahl im Verlag: Sie wählen 089 25556 und dann die Nummer, die in Klammern zum jeweiligen Namen angegeben ist.
Geschäftsführer: Kurt Skupin, Matthäus Hose

Director Content Electronics: Dr. Ingo Kuss
Markenteam Elektronik automotive: Joachim Kroll (jk/1335), Chefredakteur (verantwortlich für den Inhalt), Markus Kien, Chef vom Dienst (mk/1333)
Redaktionsteam: Stefanie Eckardt, Ltd. Red. (eck/1342), Melanie Erhardt (me/1346), Markus Haller (mha/1371), Ralf Higgleke (rh/1341), Engelbert Hopf, Chefreporter (eg/1320), Ute Häußler (uh/1369), Irina Hübner (ih/1339), Andreas Knoll, Ltd. Red. (ak/1319), Corinna Puhlmann-Hespen (cp/1316), Corinne Schindlbeck, Ltd. Red. (sc/1311), Tobias Schlichtmeier (ts/1368), Harry Schubert (hs/1338), Iris Stroh, Ltd. Red. (st/1326), Kathrin Veigel (kv/1746), Nicole Wörner (nw/1325), Karin Zühlke, Ltd. Red. (zü/1329)
Ressortverteilung siehe <https://www.elektroniknet.de/electronics-redaktion>
Layoutteam: Wolfgang Bachmaier, Andreas Geyh, Norbert Preiss, Bernhard Süßbauer, Alexander Zach
Bilderdienst: Shutterstock
Redaktionsassistent: Andrea Seidel (sej), Tel.: 089 25556-1332; Fax: 089 25556-1670
redaktion@elektronik.de
www.elektronik-automotive.de

Director New Business: Marc Adelberg (1572)
Sales Director: Christian Stadler (1375)
Mediaberatung: Petra Beck (1378), Burkhard Bock (1305), Tanja Lewin (1386), Konrad Nadler (1382), Martina Niekrawietz (1309),
International Account Managers: Konrad Nadler (1382), Martina Niekrawietz (1309)
Auslandsrepräsentanz (Foreign Representation):
USA West: Huson International Media, Lanibel Collado, 16615 Lark Avenue, Suite 100, Los Gatos, CA 95032, Tel.: 001 408 879 6666, Fax: 001 408 879 6669, lanibel.collado@husonmedia.com
Anzeigenverwaltung und Disposition: Astrid Brück (1471), Teresa Manuri (1482),
Anzeigenpreise: Es gilt die Preisliste Nr. 21 vom 1. Januar 2021
Teamassistent: Rosi Böhm, Tel.: 089 25556-1307, Michaela Stolka, Tel.: 089 25556-1376, Fax: 089 25556-1651
media@elektronik.de
www.weka-fachmedien.de/de/medien/elektronik/

Vertriebsleitung: Marc Schneider (1509, mschneider@weka-fachmedien.de)
Leitung Herstellung: Marion Stephan (1442)
Sonderdrucke: Alle in dieser Ausgabe erschienenen Beiträge können für Werbezwecke als Sonderdrucke hergestellt werden. Anfragen an Andreas Hofner, Tel. 089 25556-1450, E-Mail: AHofner@wekanet.de
Technik: JournalMedia GmbH, Richard-Reitzner-Allee 4, 85540 Haar
Druck: L.N. Schaffrath GmbH & Co. KG DruckMedien, Marktweg 42–50, 47608 Geldern

Urheberrecht: Alle in »Elektronik automotive« 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 Verlags. Aus der Veröffentlichung kann nicht geschlossen werden, dass die beschriebene Lösung oder verwendete Bezeichnung frei von gewerblichen Schutzrechten sind.
Haftung: Für den Fall, dass in »Elektronik automotive« unzutreffende Informationen oder in veröffentlichten Programmen oder Schaltungen Fehler enthalten sein sollten, kommt eine Haftung nur bei grober Fahrlässigkeit des Verlags oder seiner Mitarbeiter in Betracht. Für unverlangt eingesandte Manuskripte, Fotos, Grafiken und Datenträger wird keine Haftung übernommen, Rücksendung erfolgt nicht.

20. Jahrgang
© 2021 WEKA Fachmedien GmbH

INSERENTEN

ASAP Holding GmbH	www.asap-com.eu	13
CODICO GmbH	www.codico.com	5
CTX Thermal Solutions GmbH	www.ctx.eu	15
emlix GmbH	www.emlix.com	21
IPETRONIK GmbH & Co. KG	www.ipetronik.com	3
ROHM Semiconductor GmbH	www.rohm.com/eu	2
WEKA FACHMEDIEN GmbH	www.weka-fachmedien.de ...27,	28

DICHTHEITSPRÜFUNG BEFÜLLTER LITHIUM-IONEN-BATTERIEZELLEN

IM VAKUUM ZUR LECKSUCHE



(Bild: Shutterstock)

Das Herzstück von Elektrofahrzeugen ist die Batterie. Die Dichtheit der Lithium-Ionen-Zellen trägt in Traktionsbatterien wesentlich zu hoher Sicherheit und langer Lebensdauer bei. Die Qualitätsprüfung ist nicht trivial, bisherige Integritätstests erweisen sich als wenig präzise. Ein neues Verfahren setzt auf eine Vakuumkammer. Von Sandra Seitz

An der Wertschöpfung eines Elektrofahrzeugs ist der Batteriepack zu wenigstens einem Viertel beteiligt. Die Traktionsbatterien vollelektrischer Fahrzeuge bestehen derzeit aus Tausenden Lithium-Ionen-Zellen. Deren Dichtheit ist eine wichtige Qualitätsanforderung. Weder darf aus einer Zelle die flüssige Elektrolytlösung austreten noch darf Luftfeuchtigkeit in sie ein-

dringen. Befüllte Lithium-Ionen-Zellen auf Dichtheit zu prüfen, ist allerdings keine triviale Aufgabe. Bislang gab es für solche Integritätstests nur indirekte Verfahren, die entweder zu unempfindlich oder zu unzuverlässig waren. Eine neue Methode in der industriellen Herstellung von Batteriezellen erkennt auch kleine Lecks sicher. In einer Vakuumkammer weist das neue Prüfgerät

austretendes Elektrolyt-Lösungsmittel direkt nach **(Bild 1)**.

VERSAGENSMODI FÜR BATTERIEZELLEN

Lithium-Ionen-Zellen für Traktionsbatterien lassen sich nach ihren Gehäuseformen unterscheiden. Zum einen gibt es Zellen mit starren, stabilen Gehäusen.

Dazu zählen die sogenannten prismatischen Zellen und die Rundzellen. Die andere Kategorie bilden Zellen mit einem weichen, taschenartigen Äußeren: die sogenannten Pouch-Zellen. Zwei Schadensmechanismen sind all diesen Zelltypen gemeinsam. Tritt Elektrolyt aus der Zelle aus, reduziert sich ihre Kapazität – die Lebensdauer der Batterie verkürzt sich. Und wenn Luftfeuchtigkeit in die Zelle eindringt, kann der Elektrolyt mit Wasser zu Flusssäure reagieren – was zu weiteren Lecks im Gehäuse der Zelle führt und ihre Lebensdauer noch stärker reduziert. Bei den weichen Pouch-Zellen gibt es noch einen weiteren Schadensmechanismus. Denn alle Zelltypen – ob prismatische, Rund- oder Pouch-Zellen – werden in der Regel mit einem Druck von weniger als einer Atmosphäre mit Elektrolyt befüllt, in der Zelle herrscht Unterdruck, besonders niedrig ist er in Pouch-Zellen. Hat nun eine weiche Pouch-Zelle ein Leck, bläht sie sich

durch die eindringende Luft auf, büßt mechanische Stabilität ein und verliert schon dadurch an Kapazität.

PROBLEMATISCHES DRUCKVERFAHREN

Bisher wurden Dichtheitsprüfungen an betriebsbereit befüllten Zellen entweder durch die Unempfindlichkeit des Verfahrens beeinträchtigt – wie bei der Druckabfallprüfung – oder durch dessen Unzuverlässigkeit – wie beim Helium-Bombing. Bei der vermeintlich kostengünstigen Druckabfallprüfung füllt man eine Prüfkammer bis zu einem definierten Überdruck von einigen Bar mit Luft und misst über ein definiertes Zeitintervall, welche etwaigen Druckveränderungen sich ergeben, weil Luft durch ein Leck in die Zelle eindringt. So lassen sich in der Praxis Grenzleckraten von bis zu 10^{-3} mbar·l/s ermitteln. Ein großes Problem dieses Verfahrens ist seine Anfälligkeit für

Temperaturschwankungen. Steigt die Temperatur während der Prüfung nur um Bruchteile eines Grads, bleiben Lecks oft unerkannt, fällt dagegen die Temperatur, ermittelt die Druckabfallprüfung Phantomlecks.

UNGEEIGNETES HELIUM-BOMBING

Das Helium-Bombing ist eine Methode, die zwar prinzipiell eine hohe Empfindlichkeit mitbringt, sich aber im Anwendungsszenario der Zellprüfung als unzuverlässig erweist. Beim Bombing wird die Batteriezelle in eine Vakuumkammer gelegt und einer Helium-Atmosphäre mit rund 5 bar Druck ausgesetzt. So kann das Helium-Prüfgas durch etwaige Lecks in die Zelle eindringen. Nachgewiesen wird das Prüfgas in einem anschließenden Schritt, wenn das eingedrungene Helium wieder in die inzwischen evakuierte Vakuumkammer austritt. Für den Erfolg der

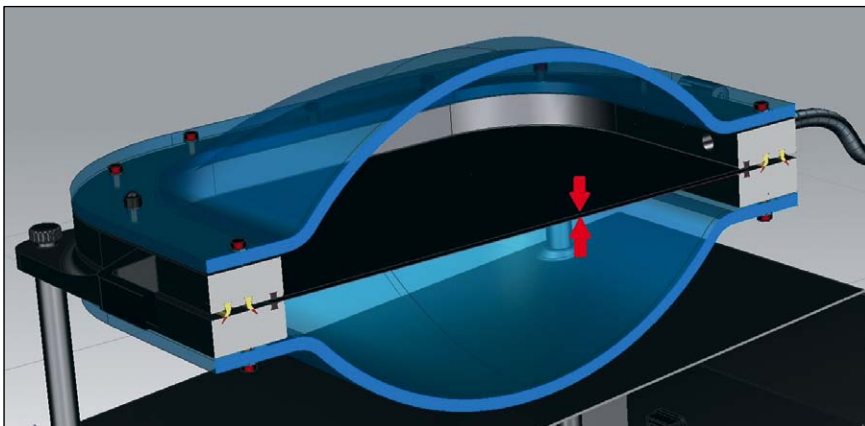


Bild 1. Funktionsweise der neuen Messmethode mit flexibler Kammer: Pouch-Zellen werden zwischen den Membranen eingelegt, die beim Abpumpen eine maßgeschneiderte Kammer formen. (Quelle: Inficon)



Bild 2. Vakuumpüchkammer für manuelle Tests an starren Batteriezellen. (Quelle: Inficon)



Embedded Linux Security

- Security Review
- gehärtete Systeme
- Container-Konzepte
- Security Monitoring
- Patch Management



www.emlix.com



Bild 3. Batteriezellenprüfung mit flexibler Prüfkammer für Pouch-Zellen. (Quelle: Inficon)

Bombing-Methode sind allerdings die genaue Leckstelle und die Position der Batterie zelle entscheidend. Liegt die Helium-Gasblase im Innern der Zelle nicht mehr unmittelbar vor der Leckstelle, wird bei der abschließenden Helium-Prüfung anstelle des Prüfgases vor allem Elektrolytlösung in das Vakuum der Prüfkammer austreten: Das Leck bleibt unerkannt.

SCHNÜFFELLECKSUCHE SCHEITERT

Da die Elektrolytlösung nie bis zu einem atmosphärischen Druck in die Zellen gefüllt wird, versagt in diesem Anwendungsszenario der Zellfertigung auch die Schnüffellecksuche. Das Prinzip der Schnüffellecksuche besteht darin, ein an einer Leckstelle austretendes Gas durch eine Schnüffelspitze anzusaugen, sodass es detektiert werden kann. Nur ist in diesem Fall – unter atmosphärischem Außendruck und bei einer Raumtemperatur von 20 Grad Celsius – der Dampfdruck des Elektrolyt-Lösungsmittels, das aus einem Leck in der Zellenwand austritt, einfach zu gering. Für Lösungsmittel wie Ethylmethylcarbonat (EMC) oder Dimethylcarbonat (DMC) liegt der Dampfdruck unter den beschriebenen Bedingungen bei lediglich 43 bzw. 53 mbar. Bei Diethylcarbonat (DEC) beträgt er sogar nur 13 mbar. Ein direkter Nachweis austretenden Elektrolyt-Lösungsmittels ist mit der herkömmlichen Schnüffellecksuche darum nicht möglich.

Anders verhält es sich erst, wenn die befüllte Zelle in einer Vakuumkammer geprüft wird.

LÖSUNGSMITTELLECK DIREKT NACHWEISEN

Diesen Effekt macht sich die neuen Prüfmethode für fertig befüllte Batterie zellen zunutze. Befinden sich die Zellen in einem Vakuum, kann im Falle eines Lecks genügend Lösungsmittel in die Vakuumkammer austreten, wo es schnell verdampft und leicht detektierbar ist. Das neue Prüfgerät setzt auf genau diesen Umstand und weist alle gängigen Elektrolyt-Lösungsmittel direkt nach, wenn sie aus der Zelle austreten: ob DMC, DEC, EMC oder PP – wobei für Batterie zellen sehr häufig auch Gemische aus diesen Lösungsmitteln verwendet werden. Die neue Methode ermittelt ebenso Lecks an Lithium-Ionen-Zellen mit starren Gehäusen (Bild 2), also an prismatischen und Rundzellen, wie auch an den weichen Pouch-Zellen.

LECKRATE UND LECKDURCHMESSER

Die flüssige Lösung in der Zelle kann einen Leckkanal selbst verschließen – vorausgesetzt, er ist klein genug. An der Leckstelle kommt es dann allenfalls zu einer minimalen Verdunstung, die die Lebensdauer der Zelle nicht nennenswert verkürzt. Darum ist für Batterie zellen auch keine absolute Dichtheit

erforderlich. Entscheidend ist vielmehr, dass die Zelle bei der Prüfung die erforderliche Grenzleckrate einhält. Die neue Inficon-Methode weist Lecks bis zu einer Helium-Äquivalenzleckrate von $1 \cdot 10^{-6}$ mbar-l/s nach. Bei weichen Pouch-Zellen mit 400 mbar Innendruck und einer Foliendicke von ungefähr 150 μm ergibt sich so ein minimal nachweisbarer Leckdurchmesser von 1,9 μm . Bei stabilen prismatischen Zellen mit einer Wandstärke von 2 mm und einem Innendruck von 800 mbar identifiziert das neue Verfahren Lecks bis zu einem Durchmesser von 2,6 μm . Solche Lecks von wenigen μm Durchmesser werden in der Regel durch die flüssige Elektrolytlösung verschlossen. Im Betrieb und unter atmosphärischem Druck gibt es also nur einen vernachlässigbaren Verdunstungseffekt. Weder können aus Lecks dieser Größe ganze Tropfen der Elektrolytlösung austreten noch kann Luftfeuchtigkeit in die Zelle eindringen. Damit stellt eine Dichtheitsprüfung gegen die Grenzleckrate von $1 \cdot 10^{-6}$ mbar-l/s die Lebensdauer von zehn Jahren sicher, welche die Industrie für ihre Batterie zellen anstrebt.

VAKUUMPRÜFUNG FÜR ALLE ZELLTYPEN

Der direkte Nachweis von austretendem Lösungsmittel baut auf mehreren Komponenten auf: einem Gasnachweis-system für Elektrolyt-Lösungsmittel (Gas Detection Unit, GDU) und einer Steuereinheit für die Gasflüsse (Gas Control Unit, GCU). Hinzu kommt noch die Vakuumkammer, in der die Zellen dem Prüfprozess unterzogen werden. Das Prüfpaket (Bild 3) enthält verschiedene Prüfkammern für vorwiegend manuelle Tests an prismatischen und Rundzellen, aber ebenso eine Kammer für Prüfungen an den weichen, empfindlicheren Pouch-Zellen. Befinden sich die Batterie zellen in der jeweiligen Kammer, lässt sich die Prüfung auf Knopfdruck starten. Die Steuereinheit erzeugt in der Kammer dann ein Vakuum von 5 mbar absolut. Die Druckdifferenz zum Zellinneren, das mit Elektrolyt unter einem Druck von einigen Hundert mbar befüllt ist, sorgt

dafür, dass die Elektrolytlösung durch etwaige Lecks aus der Zelle austritt und der Lösungsmittelanteil im Vakuum der Prüfkammer verdampft. Das Massenspektrometer des Gasnachweissystems weist dann dieses Lösungsmittel und damit das Leck in der Zelle nach.

ERSTMALS TEST VON WEICHEN POUCH-ZELLEN

Bislang waren Vakuumprüfungen an den weichen Pouch-Zellen unmöglich, denn die Druckdifferenz zwischen dem Inneren der Zelle und dem Vakuum der Prüfkammer hätte die Zellen verformt und beschädigt. Mit der flexiblen Prüfkammer ist dieses Problem erstmals gelöst. Denn eine Folienmembran schmiegt sich während der Evakuierung eng an die Zelloberfläche und stabilisiert so die empfindlichen Zellen. Eine Verformung oder gar ein Platzen der Pouch-Zelle werden so verhindert, die schnelle und zuverlässige Vakuumprüfung wird möglich. Durch die flexible Membran reduziert sich zudem das Totvolumen der Prüfkammer, was wiederum die Evakuierung beschleunigt. Auch für Entwicklungsabteilungen, die mitunter Zellprototypen unterschiedlichster Form auf ihre Dichtheit testen müssen, kann die flexible Prüfkammer ein sehr hilfreiches Werkzeug sein.

RÜCKFÜHRBARE ERGEBNISSE

Gleichgültig ob mit starrer oder flexibler Kammer: Die Prüfmethode kann menschliche Fehlerquellen minimieren und punktet mit einem einfachen Prüfablauf über ein leicht bedienbares Touchdisplay sowie einer möglichen Kalibrierung für verschiedene Lösungsmittel. Ein Nachweissystem vergleicht das Ergebnis jeder Prüfung mit einem zuvor definierten Triggerwert und zeigt Lecks sofort an. Auch Testergebnisse dem konkreten Prüfling zuzuweisen, ist denkbar einfach. Dazu wird die genormte Schnittstelle an einen Barcode-Scanner angeschlossen, mit dem sich jede Zelle individuell erfassen lässt. Das System verknüpft die exakten Testergebnisse dann mit

der jeweiligen Teil-ID und einem Zeitstempel. Zudem speichert es alle Prüfdaten für einen Export – auch dies garantiert rückführbare Ergebnisse.

BATCH-TESTING UND KURZE PRÜFZYKLEN

Das Prüfgerät eignet sich für manuelle Arbeitsplätze in der Entwicklung ebenso wie für die gleichzeitige Prüfung mehrerer Zellen in automatisierten Fertigungslinien. Für einen industriellen Einsatz kann die Prüfkammer individuell angepasst werden. Die Dauer eines Prüfzyklus hängt letztlich von der Größe der Prüfkammer ab und davon, ob ein Anwender diverse Schutzmechanismen wie etwa eine Spülphase zwischen zwei Zyklen nutzen möchte. Typischerweise bewegt sich die Taktzeit der Prüfung bei den kleineren Kammern im Bereich von 30 bis 60 Sekunden. Zehn bis 30 Sekunden davon sind Abpumpzeit, und zehn Sekunden benötigt der eigentliche Messvorgang. Für Prüfungen in großen Kammern empfiehlt es sich,

zusätzliche externe Pumpen für die Grobevakuierung einzusetzen, um die Zykluszeiten zu reduzieren. Gerade bei der industriellen Zellfertigung ist es sinnvoll, eine größere, individuell ausgelegte Kammer automatisiert zum Beispiel per Roboterarm zu beschicken und mehrere Dutzend Zellen in einem Batch zu testen (**Bild 4**).

QUALITÄTSGESICHERTE ZELLFERTIGUNG

Dank ihrer Massenspektrometer- und Vakuumtechnologie kann die neue Prüfmethode innerhalb der Dichtheitsprüfung befüllter Lithium-Ionen-Zellen tausendfach kleinere Lecks detektieren als herkömmliche Druckverfahren. Gleichzeitig liefert die neue Methode hochzuverlässige Ergebnisse, anders als das Helium-Bombing. Der direkte Nachweis austretenden Elektrolytlösungsmittels eröffnet der Qualitätssicherung bei der Zellfertigung ganz neue Möglichkeiten – unabdingbar für eine lange Lebensdauer der Traktionsbatterie. UH



Bild 4. Batch-Testing prismatischer Batteriezellen in einer größeren Vakuumkammer. (Quelle: Inficon)



SANDRA SEITZ

hat ihr Maschinenbaustudium 1995 an der Universität Hannover abgeschlossen. Nach Stationen als Produktmanager bei 3D Systems und Leiterin des Produktmanagements bei DTM ist Seitz seit 2011 Market Manager Automotive Leak Detection Tools bei Inficon in Köln.

AUTOMOBILVERKABELUNG

NERVENSYSTEM IM FAHRZEUG



Die Architektur des vernetzten Fahrzeugs hat viele Komponenten, die nur im Zusammenspiel die Vision des autonomen Fahrens wahr werden lassen. Zwei Komponenten, deren Bedeutung häufig übersehen wird, sind Kabel und Steckverbindungen. Zusammen mit dem Ethernet bilden sie einen zentralen Teil des »Nervensystems« der Fahrzeugarchitektur.

Von Harsh Patel

Die Verkabelung hat einen wichtigen Einfluss auf die Gesamtarchitektur des Fahrzeugs. Für jedes funktionale Signal, das eine neue ADAS/AD-Anwendung (Advanced Driver Assistance Systems/Autonomous Driving) erfordert, ist es zwingend nötig, die Verkabelung und die Anschlüsse des Kabelsystems zu untersuchen. Nur so lässt sich sicherzustellen, dass sie die nötigen Anforderungen an Latenz, Frequenz und Bandbreite zwischen Sender/Quelle und Empfänger(n)/Ziel auch erfüllen. Dazu gehören zum Beispiel physisch unterschiedlich positionierte Hochgeschwindigkeits- und hochauflösende Bildschirme und Kameras sowie die höherfrequenten Radar- und Lidar-Systeme. Die Anforderungen an den

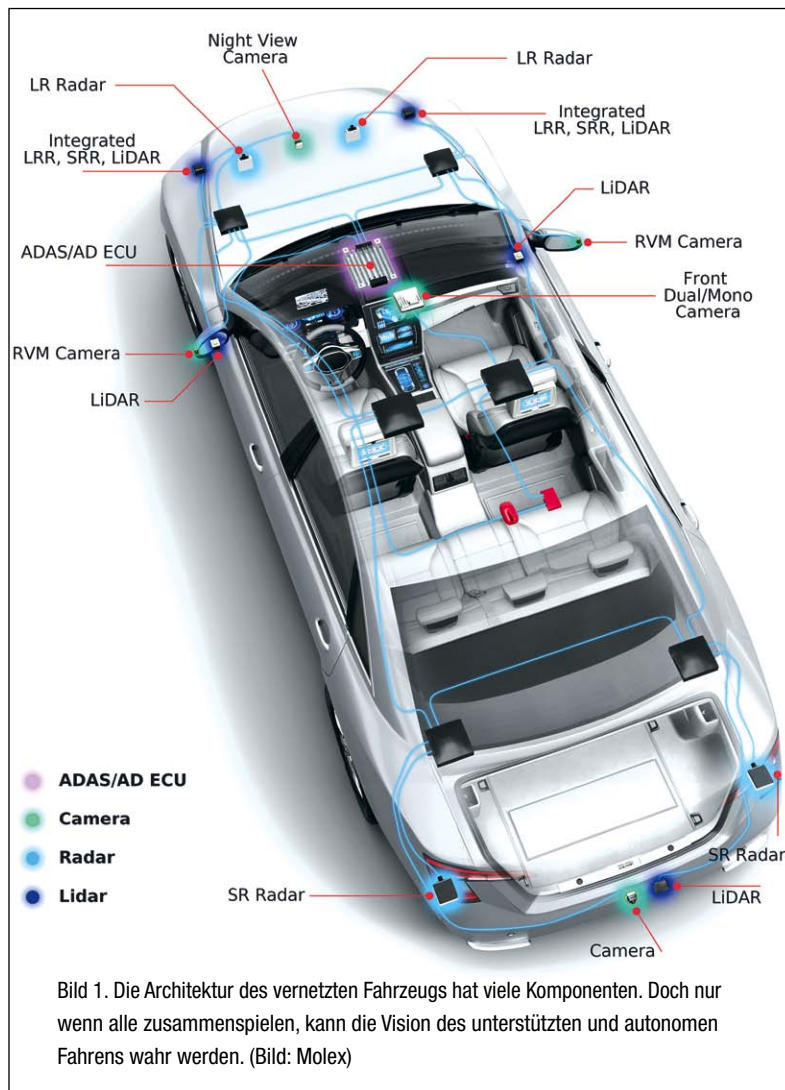
physischen Standort und die funktionelle Signalgebung dieser Endgeräte wirken sich nicht nur auf das Bordnetz-Kommunikationssystem des In-Vehicle Networks (IVN) aus, sondern auch auf das Gesamtgewicht und die physisch anspruchsvolle ergonomische Leistung des Fahrzeugs. In einem modernen Mittelklassewagen werden rund 75 kg Kabel verlegt. OEMs sehen das hohe Gewicht kritisch, denn je schwerer ein Fahrzeug ist, desto weniger dynamisch ist es. Viele Fahrzeuge stehen inzwischen an der Grenze zur maximal vertretbaren Kabelmenge (**Bild 1**). Darüber hinaus gilt es, drei weitere technische Überlegungen zum IVN-Kommunikationsdrahtsystem anzustellen:

Die erste betrifft die Immunität des Verkabelungssystems über bestimmte Längen gegenüber EMI/EMV und anderen Umweltfaktoren, um letztlich die Integrität der Funktionssignale aufrechtzuerhalten. Zweitens sind die geforderten und korrekten Verkabelungsprotokoll- und Serviceerweiterungen einzuhalten, um die Anwendungs- und Systemanforderungen (das heißt Ethernet, CAN, ASA/SerDes, Sicherheit) zu unterstützen. Und drittens müssen sich Funktionen möglichst einfach testen lassen, einschließlich ISO- und OEM-spezifischer Validierungsdiagnosen. All diese Anforderungen zusammengenommen, wird die Architektur des Fahrzeugs zunehmend komplex, Änderungen und Fehlerkorrekturen werden langwierig und kompliziert. Wie kommen OEMs aus dieser Zwickmühle heraus?

Eine Möglichkeit, diese Probleme zu lösen, besteht in der Standardisierung. Die Automotive SerDes Alliance, eine Industrievereinigung von Automobiltechnologie-Anbietern, sieht es als ihre Aufgabe an, die Standardisierung der asymmetrischen SerDes-Technik zu fördern. Ihre Befürworter und Mitglieder verpflichten sich, diese Entwicklung voranzutreiben und zu unterstützen.

DIFFERENTIAL VERSUS SINGLE-END

OEMs sind gut beraten, der Frage nach dem richtigen Kabel und den richtigen Konnektoren eine hohe Aufmerksamkeit zu widmen. Denn von dieser Entscheidung hängt ab, wie gut sie sich implementieren lassen und wie sie die Architektur und Leistung des Systems möglichst wenig beeinträchtigen. Schließlich sollen sie dazu beitragen, die Leistung für die gewünschten Anwendungen so effektiv wie möglich zu erreichen. Grundsätzlich besteht die Wahl zwischen Differential- und Single-Ended-Kabeln (**Bild 2**). Während das Differential-Kabel ein Signal über zwei Kabelstränge sendet, nutzt das Single-Ended-Kabel nur einen. Um Störsignale aus der Umgebung aufzuheben, arbeiten die beiden Kabelstränge des Differential-Kabels mit entgegengesetzter Polarität. Darüber hinaus gibt es verschiedene Typen an Differential-Kabeln: während beim Typ SPP (Shielded Parallel Pair) beide Kabelstränge nebeneinander laufen, sind sie bei der STP-Variante (Shielded Twisted Pair) verdreht, um beispielsweise die Rauschunterdrückung zu verbessern. Auch bei der Kabelabschirmung gibt es verschiedene Ausführungen. Relevant für die Entscheidung ist ferner das Material, aus dem die Kabel gefertigt sind. Wesentliches Kriterium hierfür ist der spätere Einsatzort. Sitzt ein Kabel etwa in einer Tür, die häufig geöffnet und geschlossen wird, muss es biegsam sein. Das heißt, bei der Materialauswahl muss bereits berücksichtigt werden, wie oft das Kabel in seinem Lebenszyklus



gebogen wird und darf daher nicht zu porös oder starr sein. Sitzt es in der Nähe des Motors, ist seine Temperaturempfindlichkeit zu berücksichtigen. Allgemein gilt, dass die Leistung von jedem noch so kleinen Detail abhängt, beispielsweise auch von der Isolierung im Kabel. Bei jeder Änderung, die an den Kabeln oder deren Platz im Fahrzeug vorgenommen wird, müssen die Entwickler folglich zurück zum Zeichenbrett und überprüfen, wie sie sich auf die Leistung im Zusammenspiel mit den Steckverbindern auswirkt.

Mit ihren beiden Strängen sind Differential-Kabel allgemein besser in der Lage, Störgeräusche aus der Umgebung zu unterdrücken als Single-Ended-Kabel. Infolge steigt auch die Übertragungsqualität des Signals, was insbesondere Highspeed-Datenverbindungen begünstigt. Allerdings ist das Differential-Kabel aufgrund der doppelten Anzahl an Kabelsträngen auch teurer und schwerer als das Single-Ended-Kabel. Aus diesem Grund setzen OEMs derzeit noch beide Kabeltypen ein. Häufig auch aus Gewohnheit, jedoch nur so lange, bis sich ein Problem ergibt und nach neuen Typen verlangt. Internationale Standards dafür gibt es aktuell noch nicht, abgesehen von einigen regionalen Übereinkünften und Protokollstandards wie beispielsweise USB2. Obgleich beide



Zu den größten Herausforderungen bei der Verkabelung zählt die Lösung der EMC/EMI-Problematik. Hierbei handelt es sich um die Störsignale, die von außerhalb des Kabels kommen und die Signalübertragung beeinträchtigen. Gerade mit zunehmenden Datenraten wird auch dieses Thema bedeutender. Denn Signale sollen möglichst komplett und ungestört vom Sender an den Empfänger gelangen. Eine Folie, die das Kabel umgibt und hohe Frequenzen abhält, sowie eine gitterartige Struktur um das Kabel, die niedrigere Frequenzen von außerhalb blockiert, sollen Störgeräusche abhalten. Wie gut das funktioniert, ist noch umfassend zu untersuchen. Dabei werden die Kabel sowohl auf ihre Abschirmung gegenüber Störquellen von außen getestet als auch die Abschirmung des Signals innerhalb des Kabels, damit dieses nicht nach außen dringen kann. Wichtig ist dabei, von vornherein explizit

die Abschirmung jedes einzelnen Kabels und jeder einzelnen Komponente zu prüfen, um mögliche Fehler rechtzeitig zu erkennen. Auch müssen einzelne Baugruppen nach dem Zusammensetzen einzelner Komponenten so lange wiederholt getestet werden, bis sich ein stimmiges Gesamtbild ergibt. Denn sind die verschiedenen Elemente erst einmal verbaut, ist es fast unmöglich zu erkennen, an welcher Stelle die EMC/EMI-Abschirmung nicht ausreichend funktioniert. Werden die einzelnen Komponenten hingegen iterativ getestet, lässt sich die Ursache im Falle einer Störung relativ schnell finden. Diese wichtigen Untersuchungen erfolgen in einer sogenannten ECD/EMI-Testkammer, von denen es weltweit nur wenige gibt. In diesen können die Komponenten eines Fahrzeugs schrittweise auf ihre Abschirmungsleistung getestet werden, was das Debugging erleichtert.

Kabeltypen momentan ungefähr gleich häufig verwendet werden, bescheinigen Experten dem Differential-Kabel eine höhere Zukunftsfähigkeit, weil es die zunehmend drängende Problematik der Störgeräusche besser löst.

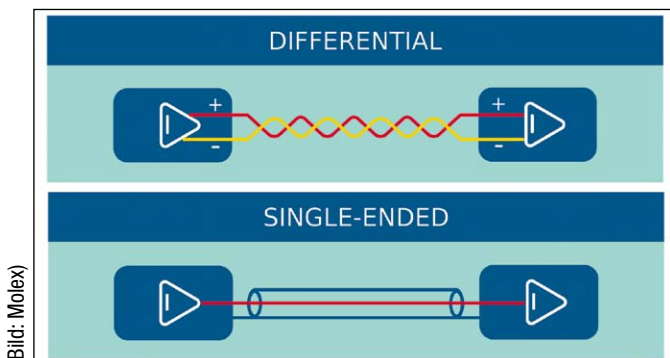
ANFORDERUNGEN IM VERNETZTEN FAHRZEUG

In den letzten Jahren haben sich die Anforderungen an Kabel enorm gewandelt: Immer mehr Assistenzsysteme erfordern ein höheres Maß an Konnektivität zwischen den einzelnen Fahrzeugteilen. Gleichzeitig sind zunehmend mehr Signale zu übertragen. Damit im Falle eines Fehlers nicht das gesamte System ausfällt, erfahren Back-up-Möglichkeiten eine immer größere Relevanz. Eine weitere Herausforderung an die Verkabelung stellen die immer höheren Datenraten dar. Während früher meist eine einfache Übermittlung genügte, sind die Anforderungen bis heute kontinuierlich gestiegen. Die Kabel mussten signifikant verbessert werden, damit ein Transkript in der geforderten Qualität empfangen werden kann. Diese stetige Verbesserung der Signalübertragung ist aktuell eine der wichtigsten Herausforderung bei der Verkabelung vernetzter Fahrzeuge.

Eine weitere Herausforderung betrifft die effektive Abschirmung der Kabel vor Umgebungsgeräuschen. Wichtig ist hierbei ein gewisses Leistungsniveau der Kabel bei der EMI-Rate

(Elektromagnetische Interferenz). Je besser das Kabel gegen störende Signale aus der Umgebung abgeschirmt ist, desto sicherer kann es das eigene Signal störungsfrei und eindeutig übermitteln. Schon beim Design der Kabel und der Verkabelung im Auto ist es daher wichtig, frühzeitig die Abschirmung der Kabel zu testen (siehe Kasten).

Ebenfalls relevant ist die Zusammenarbeit mit Chipentwicklern, bei der es gilt, zwischen den neusten Chip- und Kabelgenerationen abzuwägen. Denn je komplexer und effizienter die Kabel werden, desto geringere Anforderungen bestehen an die Chips, die dadurch kostengünstiger werden können. Dasselbe gilt allerdings auch umgekehrt: Je höher die Chips entwickelt sind (und damit auch teurer), desto weniger hochentwickelt müssen die Kabel sein. Bei dieser Fragestellung geht es also neben den technischen Möglichkeiten auch um das Budget. Kabel spielen also eine wichtige Rolle im vernetzten Fahrzeug – sie müssen eine schnelle, ungestörte Signalübertragung innerhalb des Fahrzeugs garantieren. Die steigende Anzahl an Applikationen mit verschiedensten Protokollen führt auch zu einer steigenden Menge an Kabeln und erhöht somit Komplexität und Gewicht. OEMs versuchen dies zu vermeiden, denn gerade die Zunahme des Gewichts verringert die Dynamik des Fahrzeugs. Eine Standardisierung, wie sie die Automotive SerDes Alliance fordert, kann dieses Problem lösen. IH



(Bild: Molex)

Bild 2: Differential versus Single-End: Jeder Kabeltyp hat Stärken und Schwächen. Welcher besser ist, hängt von der jeweiligen Anwendung ab.



HARSH PATEL

ist Signal Integrity Engineering Supervisor für den Bereich Connected Mobility Solutions bei Molex in Rochester Hills, Michigan, und seit mehr als fünf Jahren für das Unternehmen tätig. Zuvor arbeitete Patel bei Semtech. Er ist aktiv im Technischen Komitee TCA der Automotive SerDes Alliance, in der IEEE802.3ch Multi-Gig Automotive Task Force sowie in der Arbeitsgruppe TC9 der Open wAlliance. Er hat einen Bachelor-Abschluss in Elektrotechnik von der McMaster University in Hamilton, Ontario.

ALLE AUSGABEN JETZT AUCH ALS **E-PAPER** LESEN!



FOLLOW US

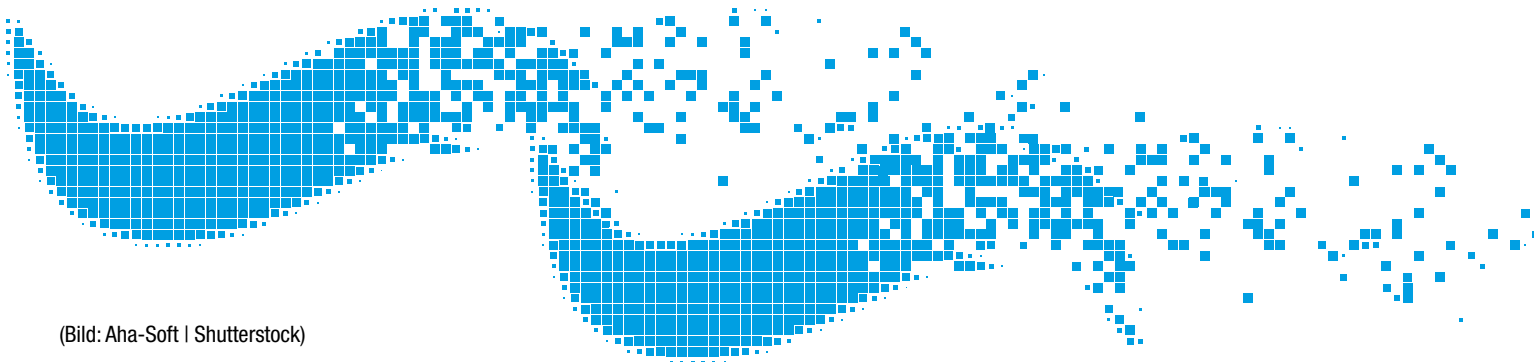


www.elektronik.de

ZWISCHENKREISKONDENSATOREN

WELLENBRECHER

Sehr leistungsstarke IGBT-Module schalten Ströme im Kiloampere-Bereich, sodass Streuinduktivitäten im Zwischenkreis unerwünschte und teils schädliche Spannungsüberhöhungen bewirken können. Doch die lassen sich wirksam begrenzen. Von Wolfgang Rambow und Marco Honsberg



(Bild: Aha-Soft | Shutterstock)

Bei seinem neuesten IGBT-Modul SkiiP 4 mit bodenplattenlosem DBC-Konzept (Direct Bond Copper) auf einem Hochleistungskühler hat der Hersteller Semikron sowohl das Design als auch die Performance weiter optimiert. Dadurch kann das SKiiP2414GB17E4-4DUHP, das aus vier IGBT-Halbbrücken besteht, nun um 25 Prozent höhere Ströme von deutlich mehr als 2400 A bei einer Spannung von bis zu 1700 V schalten kann.

Bei solch hohen Strömen stoßen die meisten herkömmlichen DC-Link-Designs aufgrund ihrer Streuinduktivitäten schnell an ihre Grenzen. Das SkiiP-4-Modul kann die Ausschaltgeschwindigkeit bei sehr hohen Zwischenkreisspannungen zwar intelligent anpassen, um die Halbleiter beim Ausschalten vor zu hoher transienter Überspannung zu schützen. Aber diese Schutzfunktion kann zusätzliche Verluste erzeugen und ist bei kontinuierlichem Betrieb eigentlich ein Indiz für eine zu hohe Zwischenkreisinduktivität. Daher ist es sinnvoll, diese Induktivität zu verringern, um sowohl den Spannungsstress beim Abschalten der IGBTs als auch die Ausschaltverluste der IGBTs zu reduzieren.

Speziell für neue Generationen von IGBT-Modulen hat TDK besonders niederinduktive DC-Link-Kondensatoren der Serien B256* entwickelt. **Tabelle 1** zeigt Eckdaten und **Bild 1** Beispiele dieser Typen. Neben den sehr geringen

Eigeninduktivitäten besitzen diese Kondensatoren selbst im Frequenzbereich bis 100 kHz sehr geringe ESR-Werte, was die Verlustleistung niedrig hält.

DC-Link-Kondensatoren werden entweder einzeln oder als Kondensatorbank an die SkiiP-4-Module über Busbars angeschlossen und befinden sich im Regelfall direkt neben den Modulen. Durch diese kurzen Leitungslängen ist sichergestellt, dass die Induktivitäten niedrig sind. In vielen Fällen ist eine solche Montage bedingt durch den vorhandenen Bauraum jedoch nicht möglich.

PASSGENAUE SNUBBER-KONDENSATOREN

Um trotz einer vom Modul abgesetzten Kondensatorbank ein niederinduktives Design ohne extreme Überspannungen realisieren zu können, hat TDK jetzt zwei zusätzliche Snubber-Spezialkondensatoren vorgestellt, die von ihren mechanischen wie elektrischen Parametern auf alle SkiiP-4-Module abgestimmt sind. **Tabelle 2** zeigt deren Kenndaten. Eine Besonderheit ist der Höhenversatz der Anschlusslaschen, der exakt an die entsprechende Geometrie der SkiiP-4-Module angepasst wurde (**Bild 2**).

Durch die Neuentwicklung dieser Snubber-Kondensatoren war es auch möglich, ihren inneren Aufbau zu optimieren.

Serie	Nominalspannung / V	Kapazität / μF	ESL / nH	ESR bis 100 kHz / m Ω	Zahl der Anschlüsse
B25632* / ULSI series	700 – 2000	20 – 270	<13	<1,5	2
B25690* / Resin Top	700 – 3000	110 – 5500	<20	<2	2
B25689* / 4T Metal Top	700 – 3000	50 – 3000	<10	<2	4

Tabelle 1. Übersicht der niederinduktiven DC-Link-Kondensatoren aus der Epcos-Familie von TDK Electronics.



Bild 1. Verschiedene DC-Link-Kondensatoren aus der Epcos-Familie von TDK Electronics für die neuesten IGBT-Generationen. (Bild: TDK)

Somit liegt die maximale Induktivität bei unter 6 nH. Derzeit gibt es zwei Kapazitätswerte, die sich für die SkiiP-4-Module als optimal herausgestellt haben: 330 nF und 470 nF mit einer Nennspannung von 1600 V. Diese beiden Spezialkondensatoren ergänzen das Spektrum der B32656S/58S-Serie mit dem Anschlussbild T12, für das TDK eine Reihe von Folienkondensatoren bereithält, sodass sich diese auch in Verbindung mit anderen Busbar-Konstellationen einsetzen lassen. Montage und Einsatz in Verbindung mit dem SkiiP-4-Modul gestalten sich recht einfach. Damit ist nun im Vergleich zu aufwendigeren DC-Link-Designs eine Lösung verfügbar, mit der sich auch die Kosten senken lassen.

Wie im **Bild 3** zu sehen ist, ließ sich die Geometrie der Snubber-Kondensatoren so anpassen, dass diese direkt auf die Busbar-Anschlüsse des Moduls aufgeschraubt werden können und damit auch die Streuinduktivität des Zwischenkreises entsprechend niedriger ausfällt. Die optimierte Form des Gehäuses sowie der Anschlüsse der Snubber-Kondensatoren und deren unterschiedlichen Höhen führen dazu, dass die Einfügeinduktivität möglichst gering ausfällt und die Snubber-Kondensatoren möglichst effektiv arbeiten. Die somit erreichten deutlich niedrigeren Überspannungen in Doppelpuls-Tests (Mankel-engineering.de) erlauben es, das SkiiP-4-Modul auch mit weniger optimierbaren Zwischenkreiskonstruktionen mit deutlich höherem Ausgangsstrom zu betreiben.

Durch diese Optimierung verringern sich die Luft- und Kriechstrecken der Konstruktion nicht. Gleichzeitig lässt sich der vorhandene Bauraum optimal nutzen. Weniger optimierte Snubber-Kondensatoren büßen an Kapazität ein. Besonders in kritischen Situationen ist es entscheidend, dass die Snubber-Kapazität aufrechterhalten und stabil bleibt, um mögliche Schäden an den IGBT-Modulen zu verhindern. **Bild 4** veranschaulicht deutlich die Wirkung der Snubber-Kondensatoren an den SkiiP-4-Modulen beim schnellen Abschalten eines Stroms von 2500 A.

Die neuen Snubber-Spezialkondensatoren sind nicht nur für neue Designs einsetzbar, sondern eignen sich auch für ein Retrofit-Upgrade bestehender Konverter – selbst mit nicht völlig optimierbaren DC-Link-Designs – um eine deutlich erhöhte Performance mit den neuen SkiiP-4-Modulen auf High-Performance-Kühlern zu realisieren. Die beschriebenen Snubber-Spezialkondensatoren sind keine Standardserienbauteile und daher nicht online zu finden. RH

Parameter	B32656S1474K412	B32656S1334K412
Breite / mm	19,0	19,0
Höhe / mm	37,5	37,5
Länge / mm	42,0	42,0
Kapazität / nF	470	330
Spannung / V	1600	1600
ESL / nH	6	6
ESR / mΩ	4	4

Tabelle 2. Kenndaten der für die SkiiP-4-Module von Semikron optimierten Snubber-Kondensatoren von TDK.



Bild 2. Die Snubber-Kondensatoren aus der Epcos-Serie von TDK sind mechanisch und elektrisch auf die SkiiP-4-Module von Semikron abgestimmt. (Bild: TDK)



Bild 3. Durch die spezielle Geometrie der Snubber-Kondensatoren lassen sie sich direkt auf die Busbar-Anschlüsse des Moduls aufschrauben, sodass die Streuinduktivität des Zwischenkreises entsprechend niedrig ausfällt. (Bild: TDK)

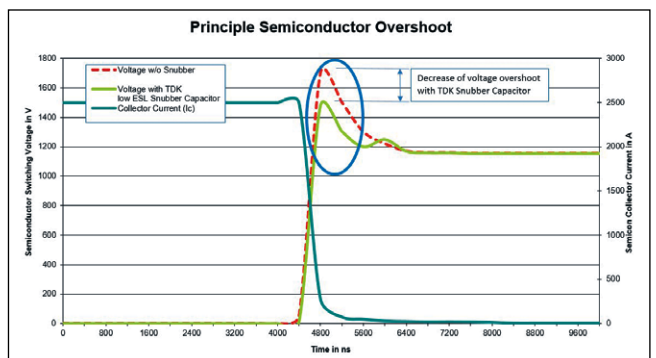


Bild 4. Dank der Snubber-Spezialkondensatoren wird die Spannungsüberschöpfung (Voltage Overshoot) beim schnellen Abschalten eines Stroms von 2500 A um mehr als 200 V reduziert. (Bild: TDK)

WOLFGANG RAMBOW

ist Senior Director Sales Technical Support bei TDK Electronics.

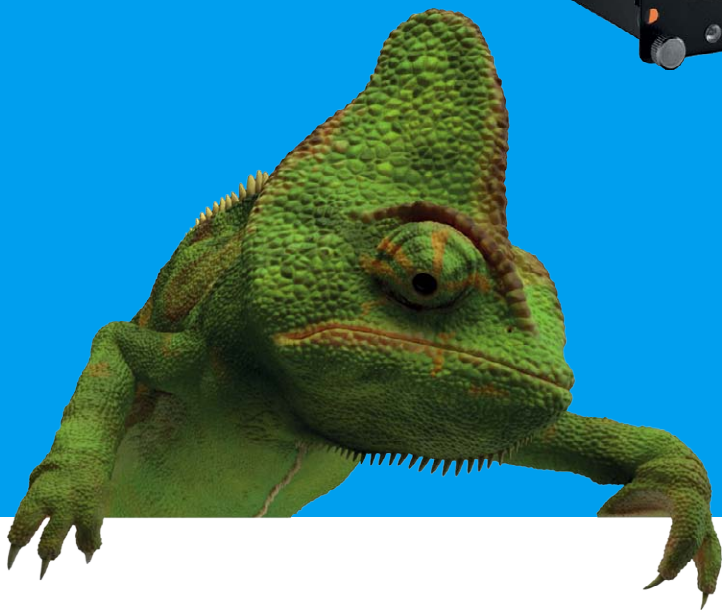


MARCO HONSBERG

ist Senior Manager Product Management Intelligent Power Modules and Electronics bei Semikron.



Elektronik Studie
**Entwicklung von Embedded-
Systemen**



Exklusive Befragung von Elektronik-Entwicklern und -Entscheidern zu:

- den Trends im Embedded-Markt
- führenden Herstellern und Entwicklern
- Computer-Modulen
- Industrie-PCs
- kundenspezifische Designs
- Qualität und Lieferservice von Herstellern

ADVANTECH

Erste Einblicke und die komplette Studie zum Kauf
finden Sie im Shop der WEKA FACHMEDIEN

shop.weka-fachmedien.de



BITTE NICHT STÖREN



(Bild: Kemet und Shutterstock)

Immer mehr elektronische Bauelemente werden auf immer weniger Raum zusammengepackt. Zudem steigen die Schaltfrequenzen in Stromversorgungssystemen. Entstörkondensatoren aus verbesserter Polypropylenfolie sorgen für einen reibungslosen Betrieb. Von Alexander Nebel

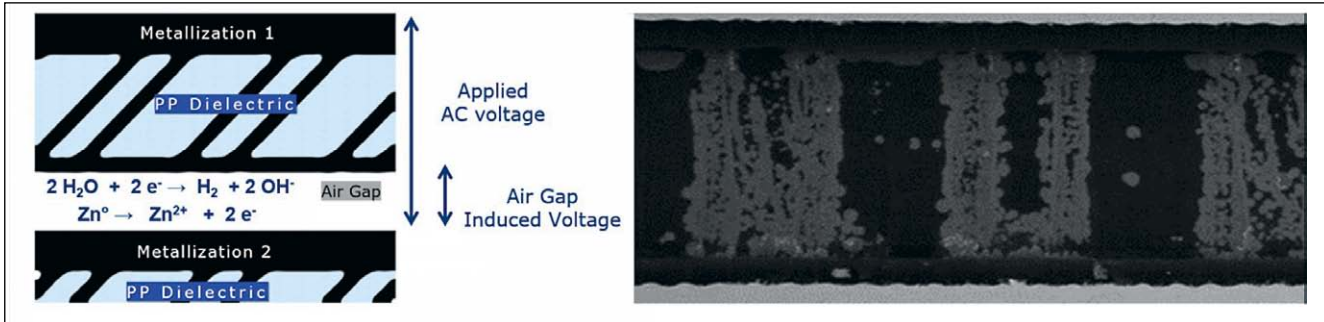


Bild 1. Die angelegte Spannung treibt Reaktionen in der elektrochemischen Zelle voran. Die Korrosionsrate ist direkt proportional zu Temperatur, Luftfeuchtigkeit und Bias-Spannung. (Bild: Kemet)

Miniaturisierung ist ein ständiger Trend. Auch Fortschritte in der Halbleitertechnologie – etwa der Einsatz von MOSFETs und Dioden aus einem Wide-Bandgap-Material (Siliziumkarbid, Galliumnitrid) – verringern die Baugröße elektronischer Komponenten und erhöhen gleichzeitig deren Leistungsfähigkeit. Und durch höhere Schaltfrequenzen lassen sich kleinere passive Bauelemente verwenden, was den Platzbedarf auf der Leiterplatte weiter verringert.

Da immer mehr und immer kleinere elektronische Bauelemente auf engstem Raum montiert werden, reagieren sie immer empfindlicher auf elektrische Störungen oder Interferenzen. Zudem verursachen die höheren Schaltfrequenzen in WBG-Halbleitern mehr HF-Emissionen und erfordern komplexere Designs, um die Emissionsanforderungen der Regulierungsbehörden zu erfüllen. EMI-Unterdrückungs- bzw. Entstörkondensatoren spielen daher eine entscheidende Rolle, denn kritische elektrische und umgebungsabhängige Anwendungen werden immer häufiger mit miniaturisierten Lösungen ausgestattet.

HERAUSFORDERUNGEN AN DIE ZUVERLÄSSIGKEIT

Zwei wesentliche Bedenken ergeben sich aus der Miniaturisierung von leistungselektronischen Bauelementen mit hohen Spannungen und höheren Frequenzen: mehr induktives Rauschen und höhere Temperaturen bzw. Verlustleistungsdichten. Diese Einflüsse können die Zuverlässigkeit und die Leistungsfähigkeit elektronischer Geräte erheblich beeinflussen.

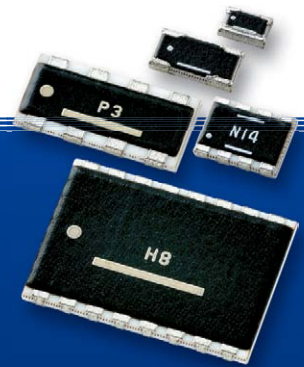
Neben dieser Miniaturisierung stehen viele dieser Bauelemente vor der Herausforderung, während ihrer gesamten Lebensdauer unter schwierigen Umgebungsbedingungen ihren Dienst verrichten zu müssen. Beispiele sind:

- Elektro- und Hybridfahrzeuge, die höheren Temperaturen und extremen Temperaturzyklen standhalten sollen.
 - Immer kleinere Solar-Mikro-Wechselrichter und intelligente Energiezähler mit einer erwarteten Lebensdauer von bis zu 25 Jahren ohne Wartung in verschiedensten Umgebungen.
 - Daten- und Kommunikationssysteme mit immer weniger Platzangebot (und daher höherer Leistungsdichte), um effizientere elektronische Infrastrukturen zu schaffen.
- Aufgrund ihrer hervorragenden Stabilität bei hohen elektrischen Feldstärken und ihres extrem niedrigen, stabilen

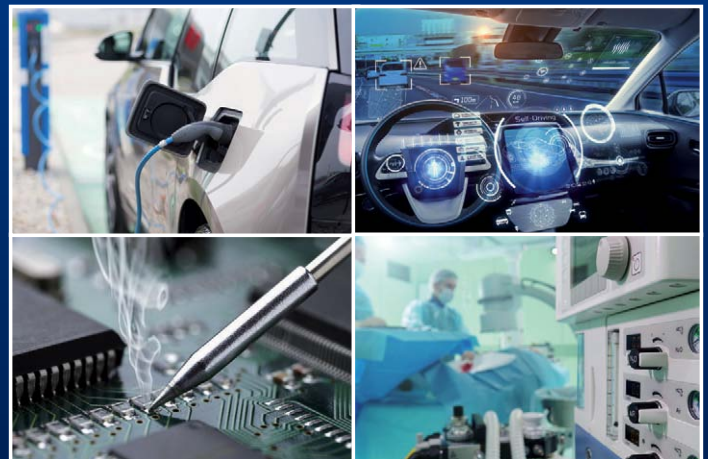
Verlustfaktors bleibt metallisiertes Polypropylen (MKP) das bevorzugte Material für Entstörkondensatoren. Noch wichtiger ist, dass diese Folien im Vergleich zu anderen dielektrischen Folien auch die besten Selbstheilungseigenschaften besitzen. Doch die Kombination aus hohen Temperaturen und hoher Feuchtigkeit wirkt sich erheblich auf das MKP-Material aus, wenn eine Wechsel- oder Gleichspannung angelegt wird. Dadurch altert das Material schneller und es kann vorkommen, dass Kondensatoren komplett ausfallen. Der Grund dafür ist das Phänomen der elektrochemischen Korrosion bei der Zinkmetallisierung (**Bild 1**).

Durch neue Materialien und verbesserte Fertigungsprozesse sind die Folienelemente in Polypropylen-Kondensatoren

SSM SUSUMU
Thin Film Specialist and Innovator
since 1964



Ultra-High Precision
Thin Film Chip Resistor Networks
Down to 1ppm/K in relative TCR



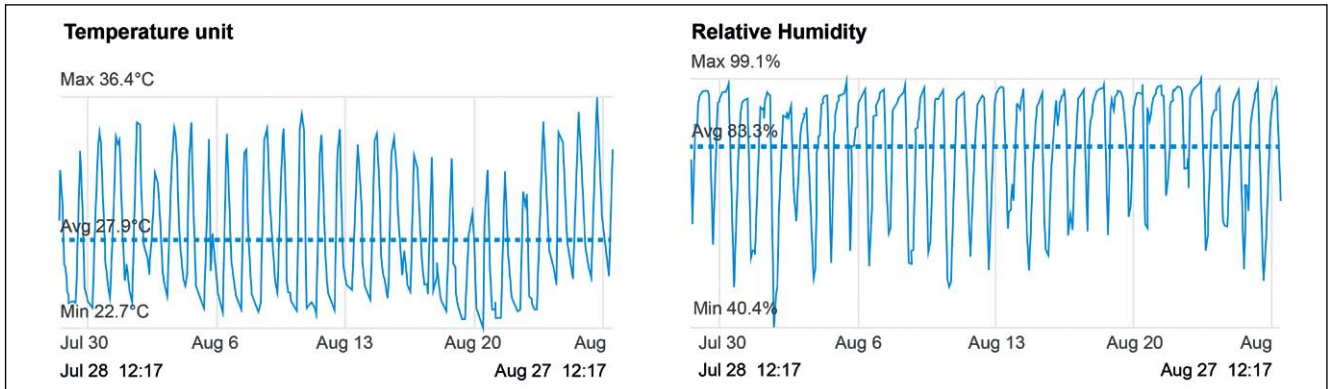


Bild 2. Beispiel für einen Einsatz bei hohen Temperaturen und hoher relativer Luftfeuchtigkeit (rF) in Zentralflorida, USA, mit einer Luftfeuchtigkeit von 100 Prozent und einem Monatsdurchschnitt von 83 Prozent. (Bild: Kemet)

nun besser geschützt. Damit halten sie Betriebsbedingungen stand, die sonst ihre Zuverlässigkeit und Leistungsfähigkeit beeinträchtigen würden (**Bild 2**). Bei kleineren Kondensatoren bleibt die Zuverlässigkeit bei hohen Temperaturen, hoher Luftfeuchtigkeit und hoher Vorspannung (Bias) jedoch eine Herausforderung.

ZUVERLÄSSIGKEIT ERMITTELN

Ein anerkannter Standard für beschleunigte Lebensdauertests aktiver und passiver Bauelemente in der Elektronikindustrie ist der THB-Test (Temperature, Humidity, Bias) mit Werten von +85 °C und 85 Prozent relativer Luftfeuchtigkeit (rF) unter AC- oder DC-Bias-Bedingungen. Seit vielen Jahren nutzen Entwickler verschiedener Branchen (einschließlich Automotive, Energie, Consumer und Industrie) diesen Test, um die Zuverlässigkeit ihrer Endprodukte für einen Betrieb von bis zu 25 Jahren unter schwierigen klimatischen Bedingungen zu ermitteln. In jüngerer Zeit wurde der THB-Test als IEC-Norm für Folienkondensatoren zur EMI-Unterdrückung anerkannt. Die **Tabellen 1 und 2** führen die verschiedenen Testbedingungen für THB-Tests gemäß IEC 60384-14 auf: Entwickler, die sicherstellen müssen, dass ihre Produkte die THB-Tests und EMI-Emissionszertifizierung bestehen, stoßen auf zahlreiche Herausforderungen. So kann es schwierig sein, die erforderliche Technologie zu bekommen und mehrere Entstörkondensatoren in Schaltungen mit bereits hoher Bauteildichte zu integrieren. Auch höhere Leistungsanforderungen

auf begrenztem Raum sind zu berücksichtigen. Nachfolgend finden sich Beispiele für Schaltungsdesigns mit begrenzter Grundfläche für X2- und Y2-Entstörkondensatoren (**Bild 3**). Einige Einschränkungen von Entstörkondensatoren korrelieren mit der Qualität der Folie und dem sie umgebenden Schutz. Die Menge und Art des verwendeten Epoxidharzes, mit dem das Kondensatorelement vergossen ist, sowie das Material und die Dicke des Gehäuses spielen eine entscheidende Rolle für die Zuverlässigkeit. Darüber hinaus gibt es eine mechanische Herausforderung bei der Fertigung von Kondensatoren mit kleineren Kapazitätswerten, denn geringere Werte erfordern weniger Folien- und Metallisierungsmaterial, wodurch das Produkt anfälliger für Schäden durch Feuchtigkeit wird.

MINIATURISIERTE X2-ENTSTÖRKONDENSATOREN

Das Forschungs- und Entwicklungsteam von Kemet hat untersucht, wie sich die Herausforderungen bei der Entwicklung von Entstörkondensatoren bewältigen ließen, die die THB-Testanforderungen erfüllen müssen, ohne die Anforderungen an Miniaturisierung und Zuverlässigkeit herunterzuschrauben. Die erste Lösung des Unternehmens für raue Umgebungen war die X2-Serie F862, die auf einer verbesserten MKP-Technologie basiert und die AEC-Q200-Qualifikation für Automotive-Anwendungen erfüllt. Einige Jahre später folgte die X2-Serie F863, die eine kompaktere und kosten-



(Bild: Kemet)

Bild 3. Extreme Designs für X2-Kondensatoren mit begrenzter Leiterplattenfläche für Stromversorgungen mit hoher Energiedichte und Wide-Bandgap-Halbleitern.

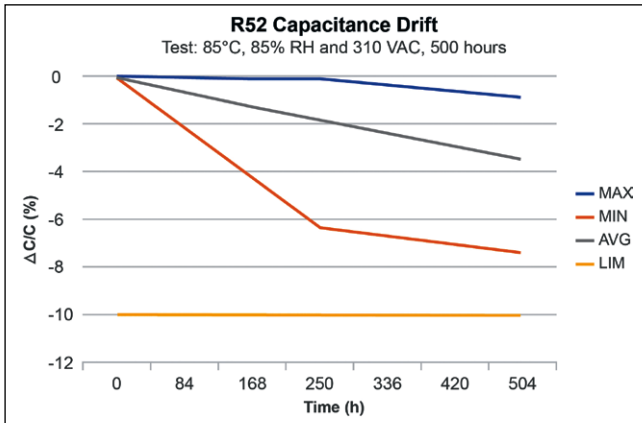


Bild 4. Kapazitätsdrift der X2-Kondensatoren der R52-Familie von Kemet.

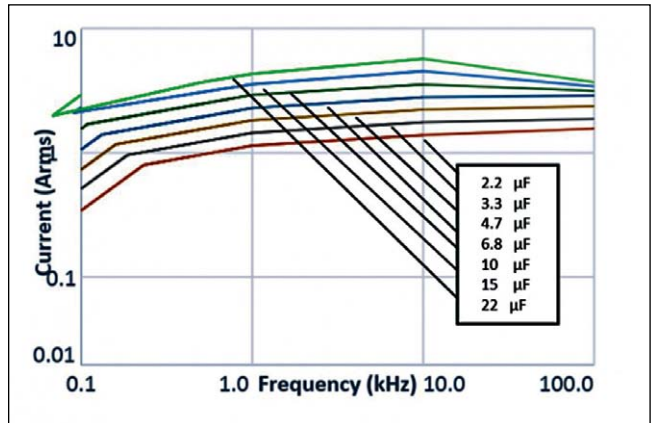


Bild 5. Strombelastbarkeit der R52-Familie bei verschiedenen Frequenzen.

(beide Bilder: Kemet)

orientiertere Lösung für den Markt der Unterhaltungselektronik bietet. Der neueste Entstörkondensator von Kemet ist der R52, ein X2-Kondensator für raue Betriebsumgebungen, der den neuesten Feuchtigkeits-Robustheitstests nach IEC 60384-14 mit einer Klassifizierung der Klasse IIB entspricht. Er erzielte 500 Stunden in einem beschleunigten Lebensdauererprobungstest bei +85 °C und 85 Prozent relativer Luftfeuchtigkeit bei Nennspannung. **Bild 4** beschreibt, wie die Kapazität des R52 maximal, durchschnittlich und minimal driftet. **Tabelle 3** vergleicht einen Vertreter der R52-Serie mit vergleichbaren EMI-Lösungen von drei Wettbewerbern bei einer Kapazität von 0,47 μF und eines Anschlussabstands von 15 mm. Im Durchschnitt ist das physische Volumen des R52 um 60 Prozent kleiner als bei jedem anderen X2-Kondensator im glei-

chen Kapazitätsbereich. Die R52-Technologie erreicht Kapazitätswerte von 10 μF, 15 μF und 22 μF. **Bild 5** beschreibt die Strombelastbarkeit für verschiedene Kapazitätswerte über die Frequenz. Durch diese Kennwerte eignet sich der R52 für Designs mit hoher Energiedichte, die umfangreiche Filterung über ein breites Frequenzspektrum erfordern – sowohl parallel als auch in Serie zum Stromnetz. Beispiele dafür sind Frequenzumrichter und Schnellladensysteme für Elektroautos, bei denen Entwickler bevorzugt hochkapazitive, zertifizierte Entstörkondensatoren zusammen mit AC- und DC-Filterlösungen einsetzen, um den Oberwellengehalt am Ausgang von Frequenzumrichtern und Wandlern zu verringern. Der R52 eignet sich auch für kapazitive Stromversorgungen und Powerline-Kommunikationssysteme. RH

ALEXANDER NEBEL

ist Absolvent der Fachhochschule Wiesbaden. Zu Beginn seiner Karriere arbeitete er als Forschungs- und Entwicklungsingenieur im Bereich Hard- und Softwaredesign. Danach wechselte er in den Vertrieb. 2017 kam Nebel zu Kemet, um die europäischen Automobilkunden zu unterstützen. Mit seiner Erfahrung sowohl im Engineering als auch im Vertrieb ist er seit über zehn Jahren als Field Application Engineer tätig. Zusätzlich unterstützt Nebel auch das technische Marketing-Team und organisiert Online-Webinare.

Grad	Testbedingung A	Testbedingung B
I	+40 °C bei 93 % rF für 21 Tage	+85 °C bei 85 % rF für 168 Stunden
II	+40 °C bei 93 % rF für 56 Tage	+85 °C bei 85 % rF für 500 Stunden
III	+60 °C bei 93 % rF für 56 Tage	+85 °C bei 85 % rF für 1000 Stunden

Tabelle 1. Die Prüfbedingungen nach der Norm IEC 60384-14 (rF, relative Feuchte).

Parameter	Anforderung
Kapazität	ΔC ≤ 10 %
Verlustfaktor	0,024 für C _N ≤ 1 μF 0,015 für C _N > 1 μF
Isolationswiderstand	>50 % der geltenden Grenzwerte

Tabelle 2. Anforderungen der IEC 60384-14 an Kapazität, Dissipationsfaktor und Isolationswiderstand.

Kondensator (0,47 μF, X2 310 V)	Baugröße (B x H x L in mm)	Volumendifferenz zum R52 in %
R52	9 x 12,5 x 18	–
Wettbewerber A	11 x 19 x 17,5	+81
Wettbewerber B	11 x 18,5 x 18	+81
Wettbewerber C	13,5 x 22,5 x 18	+170

Tabelle 3. Der R52 im Vergleich zu führenden Wettbewerbern. (Quelle: Kemet)

über 30 Jahre

HKR

Induktivitäten

www.HKR.de
+49 (7122) 82598-0

WIR VERSTEHEN UNS

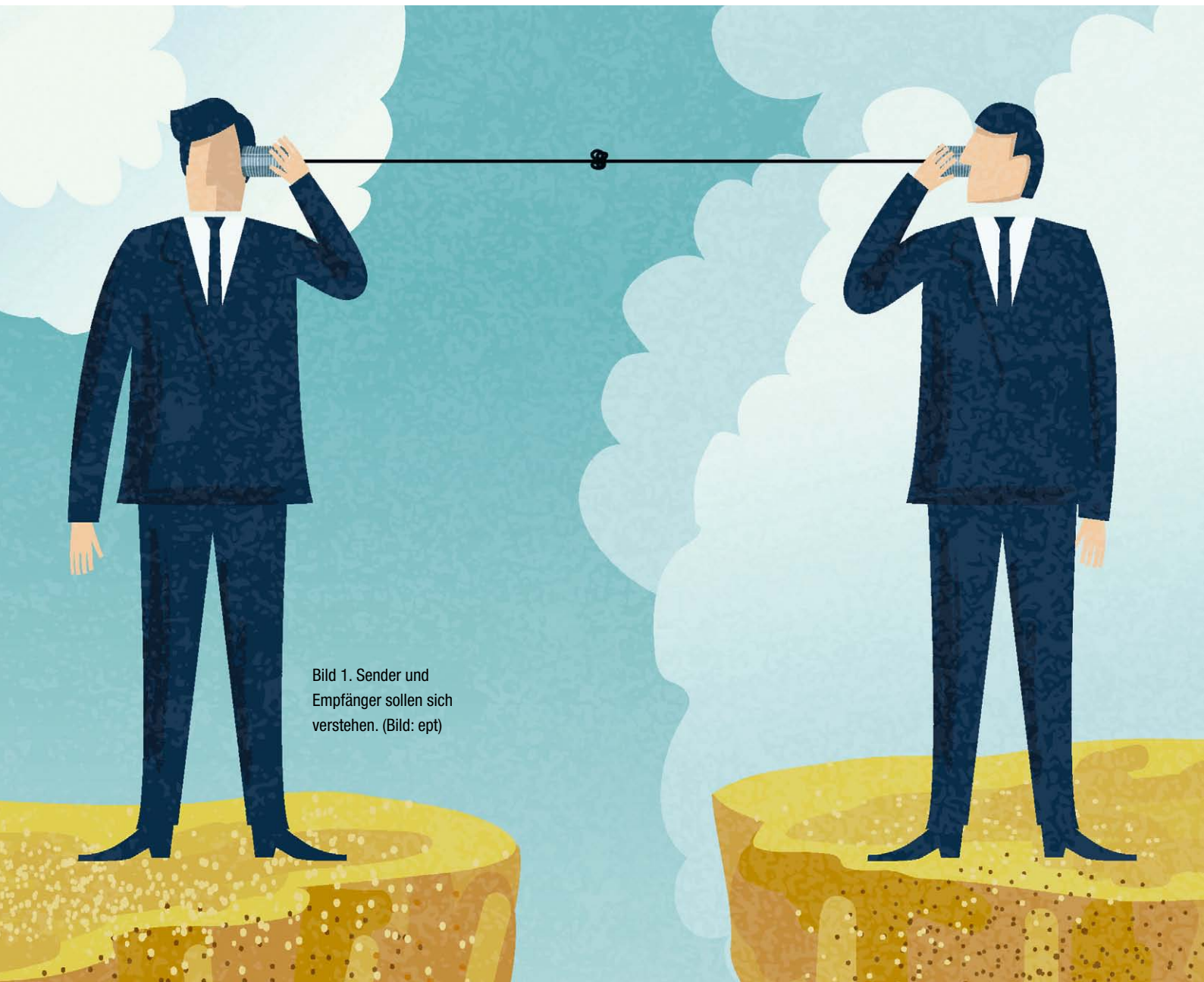


Bild 1. Sender und Empfänger sollen sich verstehen. (Bild: ept)

Übertragungsrate und EMV werden bei Steckverbindern in der Praxis zumeist separat betrachtet und simuliert, obwohl diese beiden Aspekte miteinander verknüpft sind. Daher ist es wichtig, Störungen zu minimieren und das Kontaktdesign von Steckverbindern entsprechend abzustimmen.

Von Martin Adamczyk

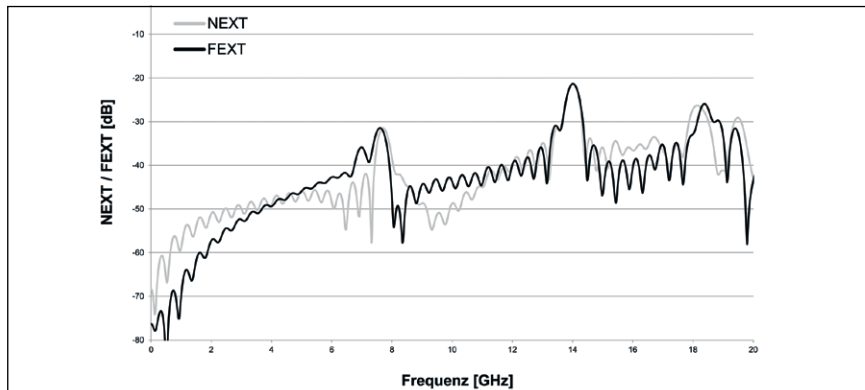


Bild 2. Nach- und Fernübersprechen beim Highspeed-Steckverbinder Zero8. (Bild: ept)

Die fortschreitende Digitalisierung in allen Branchen, wie dem Industrial Internet of Things, Industrie 4.0, Smart Grid sowie Smart Home, erfordert eine schnelle Datenübertragung vom Sensor bis zur Cloud. Signale mit bis zu 20 Gbit/s und mehr sind zuverlässig zu übertragen und die Anwendung muss eine hohe elektromagnetische Verträglichkeit aufweisen. Denn natürlich dürfen diese Datenübertragungen nicht gestört, verfälscht oder gar verhindert werden, weshalb der EMV-Schutz immer mehr an Relevanz gewinnt. Die fortschreitende Miniaturisierung bei den elektrischen Geräten erschwert auch das Bestehen der verpflichtenden EMV-Prüfungen der europäischen Richtlinie, da sensible Bauteile (Störquellen) und Störquellen immer näher im Gerät aneinander platziert werden müssen.

Ziel der Datenübertragung ist, dass der Empfänger den Sender problemlos verstehen kann (**Bild 1**). Dies wird

umso schwieriger, je hochfrequenter das Signal ist. Ein Steckverbinder ist in der Übertragung immer als Störung anzusehen. Ziel bei der Entwicklung von neuen Highspeed-Steckverbindern ist es, diese Störungen innerhalb der Übertragungstrecke zu minimieren.

Die Qualität der Datenübertragung hängt von folgenden drei Kriterien ab:

→ Impedanzverlauf

Der Impedanzverlauf eines Steckverbinders ist von besonderer Bedeutung. Sobald sich im Übertragungsweg die Impedanz verändert, wird das Signal reflektiert, was die Qualität der Datenübertragung verschlechtert. Schon eine Material- oder Geometrieänderung kann bewirken, dass die Impedanz schwankt. Aufgrund seiner Geometrie ist ein Steckverbinder ein ungleichmäßiger Abschnitt der Signalleitung.

→ Einfügedämpfung (Insertion Loss)

Die Einfügedämpfung ist ein Maß dafür, wie stark ein Steckverbinder ein Signal abschwächt, und ist das Verhältnis

STÖRSENKEN UND -QUELLEN

- mögliche Senken und Quellen auf der Leiterplatte: ICs, Prozessoren, Antennen, Steckverbinder
- mögliche Quellen auf der Leiterplatte: Frequenzumrichter, Netzteile sowie Transformatoren, Antriebe, Lüfter und Pumpen, Relais, Kondensatoren

zwischen (am Bauteil) einfallender und durchgelassener Signalleistung. Dieser Parameter hilft bei der Bewertung, ob der Empfänger ein Signal über den gesamten Übertragungsweg hinweg eindeutig identifizieren kann. Zieht man als Kriterium für die Datenrate für den Steckverbinder Zero8 von ept einen typischen Wert der Einfügedämpfung von -3 dB heran, ergibt sich bei 8 GHz eine Übertragungsgeschwindigkeit von 16 Gbit/s. Eine Einfügedämpfung von -3 dB entspricht einem Signalverlust von 30 Prozent bzw. einem Leistungsverlust von 50 Prozent.

→ Übersprechen

Übersprechen ist die unerwünschte Beeinflussung eines Signals durch ein Signal auf einer anderen Leitung, wobei je nach Art der Beeinflussung in Nah- und Fernübersprechen unterschieden wird. Die Stärke des Übersprechens hängt maßgeblich von der Signal- und Massebelegung ab. Massekanäle zwischen Signalkanälen



Bild 3. Externe Störquellen beeinträchtigen die Verständigung. (Bild: ept)

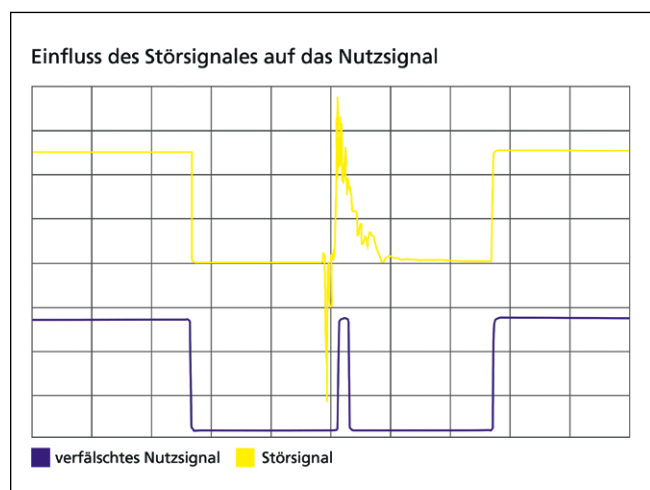


Bild 4. Einfluss des Störsignales auf das Nutzsignal. (Bild: ept)

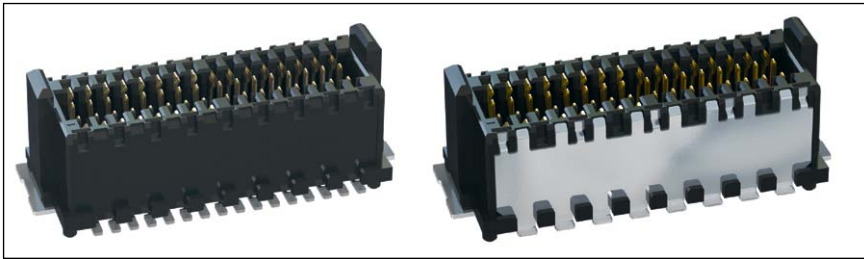


Bild 5. Steckverbinder Zero8 in ungeschirmter und geschirmter Ausführung. (Bild: ept)

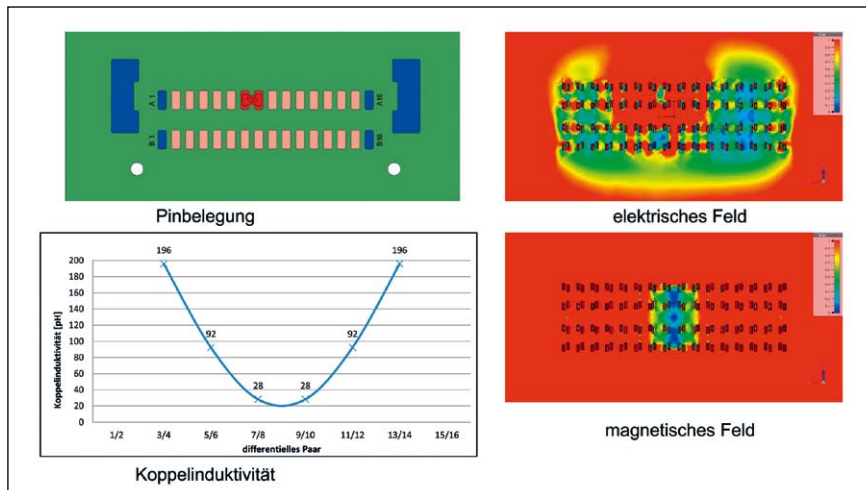


Bild 6. EMV-Simulation eines ungeschirmten Steckverbinders. (Bild: ept)

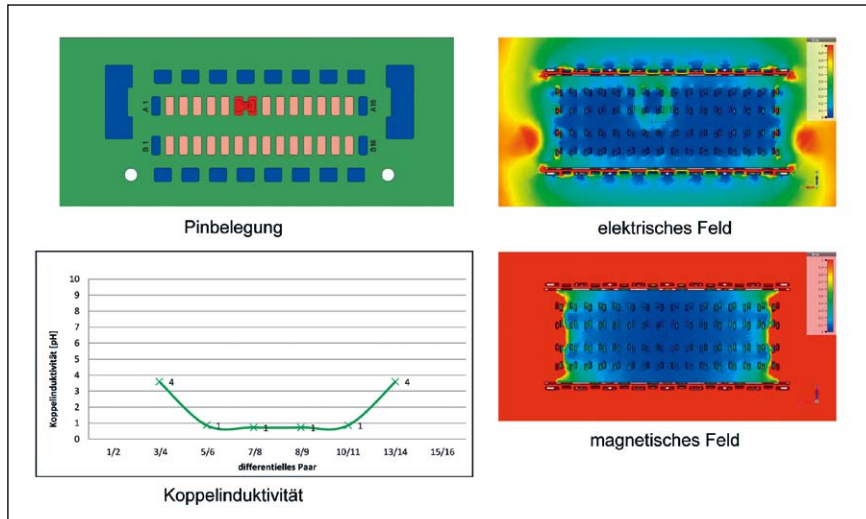


Bild 7. EMV-Simulation eines geschirmten Steckverbinders. (Bild: ept)

ANSCHLUSSTECHNOLOGIE SCALEX

Die doppelseitige Anschluss-technologie ScaleX kann den rauen Bedingungen von industriellen Anwendungen trotzen und eine sichere Kontaktierung bei mechanischer Belastung wie Schock und Vibration gewährleisten. Außerdem kompensiert sie geräteseitige Toleranzen im gesteckten Zustand in alle Richtungen. Durch die EMV-Schirmung werden die Signale im industriellen Umfeld vor äußeren Einflüssen geschützt und die materielle Beschaffenheit garantiert eine Datenübertragungsrate von bis zu 16 Gbit/s. Zudem hat ept einen Schritt weitergedacht, denn durch die Stecker-geometrie werden die Kontakte auch bei fehlerhafter Bedienung nicht zerstört.

verringern deren Einfluss aufeinander. Beim Nahübersprechen (NEXT) wird das Signal gemessen, das von einem auf das andere Paar eingekoppelt wird (**Bild 2**). Höhere Frequenzen stören das beeinflusste Paar stärker. Ein betragsmäßig hoher Wert in Dezibel steht für eine hohe Dämpfung des Übersprechens. Bei einem Wert von -20 dB spricht noch zehn Prozent des Signals über, bei -40 dB ist es nur noch ein Prozent. Beim Fernübersprechen (FEXT) wird der Einfluss eines benachbarten Paares am Ende der Übertragungsstrecke betrachtet. Der Einfluss ist geringer als beim NEXT, weil das Signal durch die Dämpfung entlang der Leitung geringer wird.

EMV ALS ZENTRALE HERAUSFORDERUNG

Elektromagnetische Verträglichkeit bedeutet die Fähigkeit eines technischen Gerätes, durch gewollte und ungewollte elektrische oder elektromagnetische Effekte nicht gestört zu werden oder andere zu stören. EMV ist wie das Übersprechen zu betrachten, jedoch nicht innerhalb der einzelnen Signalpfade im Stecker, sondern als externe Störquelle (**Bild 3**). Hochfrequente Signale sind sehr empfindlich gegenüber elektromagnetischen Störungen. Bereits ein kleiner Impuls kann das Nutzsignal verfälschen (**Bild 4**). Elektromagnetische Störungen lassen sich bei Steckverbindern durch ein Schirmkonzept reduzieren.

Ein Steckverbinder kann eine Störquelle, aber auch eine Störquelle darstellen und andere Komponenten elektromagnetisch beeinflussen. Aus diesem Grund eignet sich das Übersprechen als elektrischer Kennwert für Steckverbinder nur bedingt. Besser eignet sich hier die Koppelinduktivität L_K , um den Steckverbinder sowohl als Störquelle oder als Störsenke zu simulieren. Bei der Simulation wurden sowohl bei der ungeschirmten als auch der geschirmten Ausführung die Boardlocks und die äußeren Signalkontakte auf Massepotenzial gelegt (**Bild 5**). Anhand der farblichen Verläufe und den Werten der Koppelinduktivität lässt sich

PRODUKTFAMILIE ZERO8 VON EPT FÜR ANSPRUCHSVOLLE INDUSTRIEANWENDUNGEN

Die Produktfamilie Zero8 von ept ist speziell für anspruchsvolle Industrieanwendungen entwickelt worden und bietet dabei hohe Skalierbarkeit: Die Entwickler können Bauformen, Stapelhöhe und Polzahlen individuell auf ihre Anforderungen anpassen. Sockel und Steckverbinder gibt es aktuell in der Bauform Mid-Profile sowie Low-Profile und wird es zukünftig auch als High-Profile und gewinkelte Version geben. Durch die verschiedenen Bauhöhen lassen sich mit Zero8-Steckverbindern Leiterplattenabstände von 6,00 mm bis 21,00 mm realisiert werden, wobei die Polzahlen zwischen zwölf bis 80 variabel angefordert werden können.

Doch das ist noch nicht alles. Auch bei der Schirmung haben Hardwareentwickler die Wahl. Beide Seiten des Steckerpaares mit oder ohne Schirmung? Oder sogar nur eine Seite mit Schirmung? Die Entscheidung liegt beim Entwickler. Alle Zero8-Stecker sind auf jeden Fall untereinander steckkompatibel und frei kombinierbar, egal ob mit oder ohne Schirmung.

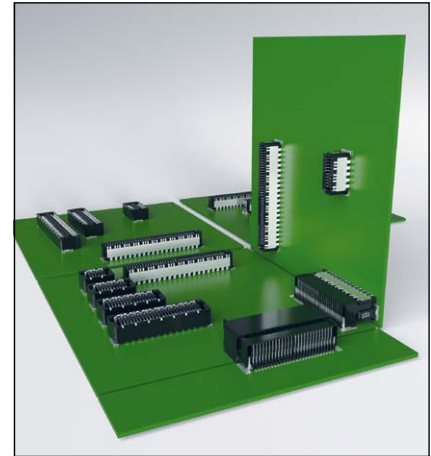


Bild 9. Für den Steckverbinder Zero8 existieren viele verschiedene Optionen. (Bild: ept)

die Wirkung des Schirmkonzepts deutlich erkennen (**Bilder 6 und 7**). Durch den Einsatz von geschirmten Steckverbindern können Störquellen und Störsenken auf der Leiterplatte näher zueinander positioniert werden (**Bild 8**). Auch lassen sich dadurch höhere Leistungsklassen bei der EMV-Prüfung des elektrischen Gerätes bei den vorgeschriebenen Burst- und Surge-Prüfungen erreichen.

EINFLUSS AUF DIE STECKVERBINDER-ENTWICKLUNG

Den größten Einfluss auf die Übertragungsrates hat das Kontaktdesign. Dabei gilt es, Veränderungen im Querschnitt des Kontaktmaterials zu vermeiden und ein Material mit hoher Leitfähigkeit zu verwenden. Auch die Dielektrizitätskonstante des Kunststoffmaterials beeinflusst die Signalübertragung. Voraussetzung für eine gute EMV ist

es, hoch leitfähiges Material zu verwenden. Auch die Anzahl der Kontaktpunkte ist für die elektromagnetische Verträglichkeit eines Steckverbinders entscheidend. Der induzierte Störstrom im Schirm des Steckverbinders, der sicher abgeleitet werden soll, erzeugt wiederum ein Magnetfeld, welches in die Signalkontakte einkoppeln kann. Je höher der Strom, desto stärker das Magnetfeld. Durch eine multiple Kontaktierung des Schirmblechs teilt sich der Stromfluss auf, was das Magnetfeld reduziert. Die Signalkontakte des Steckverbinders Zero8 weisen ein Raster von 0,8 mm auf, während die Schirmkontakte in einem Raster von 1,6 mm zueinander angeordnet sind (**Bild 9**).

SIMULATION SICHERT TOP VERBINDUNGEN

Für eine sichere Datenübertragung müssen die Parameter der HF-Übertra-

gung und EMV gemeinsam betrachtet werden. Das Unternehmen ept bietet für Simulationszwecke die S-Parameter für die HF-Simulation sowie die Kopplinduktivität innerhalb des Steckverbinders für die EMV-Simulation.

Martin Adamczyk, Produktmanager bei ept / RH

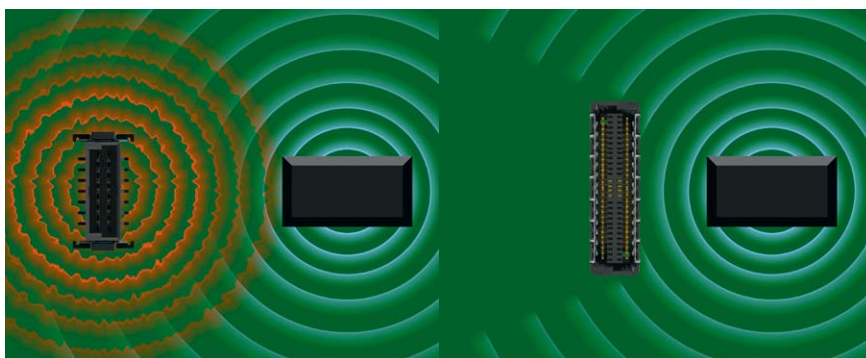


Bild 8. Platzersparnis auf der Leiterplatte durch den Einsatz von geschirmten Steckverbindern. (Bild: ept)

SMD-Quarze

QC und QCS



schukat.com

SCHUKAT
electronic

VORSICHT BEI DATENBLÄTTERN

GENAU HINSEHEN

Ein Fehler, den Anwender bei der Auswahl von Bauteilen immer wieder machen, ist der, sich vom »Steckbrief« auf der ersten Seite des Datenblatts blenden zu lassen. An zwei typischen Beispielen soll exerziert werden, wie man ein Datenblatt wirklich lesen sollte. Von Tejaswini Anand



(Bild: Andrey Popov | stock.adobe.com)

(Bild: Analog Devices)

Aus Marketinggründen finden sich auf der ersten Seite eines Datenblatts die herausragenden Spezifikationen eines Bausteins. Von diesen schillernden Werten lassen sich leider viele Anwender blenden. Dazu ein konkretes Beispiel aus der Praxis, das wir im Folgenden erörtern wollen.

Vor Kurzem suchte ein Kunde einen Analog-Digital-Wandler (ADC) für eine seismische Anwendung, der sich auch dafür eignete, Vibrationen zu erfassen. Der Kunde wusste, dass er für die Anwendung einen ADC mit hohem Signal-Rausch-Abstand (SNR) und niedriger Gesamtverzerrung der Harmonischen (THD) brauchte. Da Vibrationssensoren ein sich kontinuierlich

änderndes Wechselspannungssignal ausgeben, dem ein Gleichspannungssignal überlagert ist, ist ein leistungsfähiger, hochauflösender ADC mit hohem SNR nötig, damit systembedingte Störungen die digitalen Daten nicht beeinträchtigen. So kam der Kunde zu dem Schluss, dass ein SNR von über 110 dB für seine Zwecke ausreichte.

Bei der Vorauswahl nutzen viele Kunden zunächst eine parametrische Suche entsprechend ihrer Anforderungen auf den Webseiten der Hersteller. Dadurch ziehen sie verschiedene Bausteine verschiedener Hersteller in die engere Wahl. Allerdings prüfen sie danach oft nur noch die erste Seite der Produktbeschreibung oder des Datenblatts mit

ihren einprägsam formulierten, herausragenden Merkmalen und schließen an dieser Stelle ihre Untersuchung bereits ab.

Datenblätter sind jedoch häufig viel komplexer und erfordern tiefere Einblicke, die über die Highlights auf der ersten Seite hinausgehen. Der erwähnte Kunde sah ebenfalls nur auf die Frontseite des Datenblatts des AD7768, eines Präzisions-ADCs von Analog Devices, und stellte fest, dass dessen SNR nur 108 dB beträgt (**Bild 1**). Seine natürliche Reaktion: »Oh! Dieser ADC eignet sich definitiv nicht für meine Anwendung. Er hat ein SNR von nur 108 dB!« Weiter unten fand der Kunde dann eine Tabelle (**Bild 2**), die den SNR für zwei

AVDD1A = AVDD1B = 4.5 V to 5.5 V, AVDD2A = AVDD2B = 2.0 V to 5.5 V, IOVDD = 2.25 V to 3.6 V, AVSS = DGND = 0 V, REFx+ = 4.096 V and REFx- = 0 V, MCLK = 32.768 MHz, analog input precharge buffers on, reference precharge buffers off, wideband filter, $f_{\text{STOP}} = f_{\text{MCLK}}/32$, $T_A = -40^\circ\text{C}$ to $+105^\circ\text{C}$, unless otherwise noted. See Table 2 for specifications at 1.8 V IOVDD.

Table 1.

Parameter	Test Conditions/Comments	Min	Typ	Max	Unit
ADC SPEED AND PERFORMANCE					
Output Data Rate (ODR), per Channel ¹	Fast mode	8		256	kSPS
	Median mode	4		128	kSPS
	Low power mode	1		32	kSPS
-3 dB Bandwidth (BW)	Fast mode, wideband filter			110.8	kHz
	Median mode, wideband filter			55.4	kHz
	Low power mode, wideband filter			13.8	kHz
Data Output Coding No Missing Codes ²			Twos complement, MSB first		Bits
DYNAMIC PERFORMANCE					
Fast Mode Dynamic Range	Decimation by 32, 256 kSPS ODR Shorted input, wideband filter	106.2	108		dB
Signal-to-Noise Ratio (SNR)	1 kHz, -0.5 dBFS, sine wave input				dB
	Sinc5 filter	109	111		dB
Signal-to-Noise-and-Distortion Ratio (SINAD)	Wideband filter	106	107.8		dB
	1 kHz, -0.5 dBFS, sine wave input	104.7	107.5		dB
Total Harmonic Distortion (THD)	1 kHz, -0.5 dBFS, sine wave input		-120	-107	dB
Spurious-Free Dynamic Range (SFDR)			128		dBc

Bild 2. Spezifikationstabelle für die Bauteile AD7768/AD778-4. (Bild: Analog Devices)

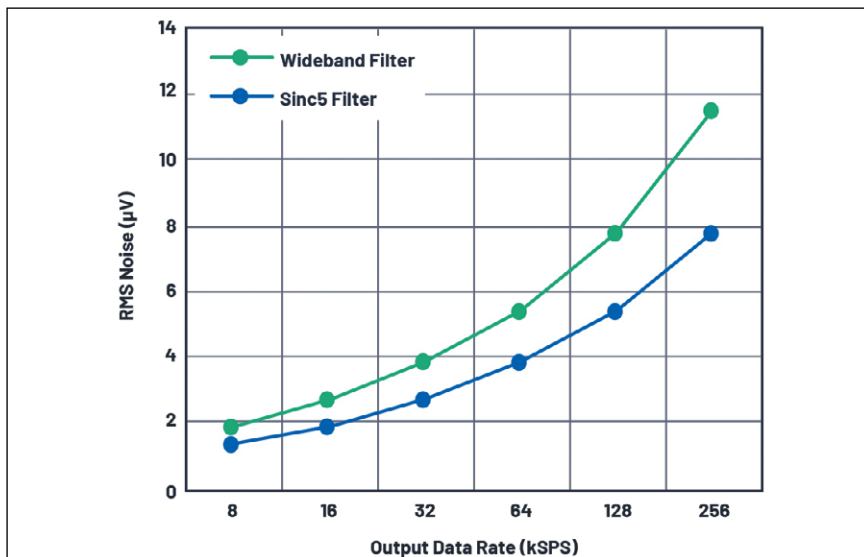


Bild 3. Effektivwert der Rauschspannung gegenüber der Ausgangsdatenrate (ODR). (Bild: Analog Devices)

verschiedene Filter angibt. Er folgerte: »Okay... Ich könnte 111 dB herausholen, wenn ich einen Sinc5-Filter verwende. Aber ich habe vor Kurzem ein anderes Produkt eines weiteren Anbieters entdeckt, das ein SNR von mehr als 115 dB hat. Somit sollte ich mich für Letzteres entscheiden.«

Aber Achtung! Bei diesem Vergleich stimmt etwas nicht. Man muss stets einen Kompromiss schließen zwischen der Ausgabedatenrate (Output Data Rate, ODR), die die Geschwindigkeit des ADC bestimmt, und dem Signal-Rausch-Abstand, der die Auflösung und die Rauschfreiheit der Ausgabe bestimmt [1]. Je höher die ODR, desto geringer ist der SNR und umgekehrt.

Daher ergibt sich für jede ODR ein bestimmter SNR-Wert. Es ist wichtig, zunächst die benötigte Ausgaberate zu ermitteln und dann ADCs entsprechend der zugehörigen SNR-Werte zu vergleichen.

Der Kunde im Beispiel hatte ein Bauteil mit einem SNR von 108 dB bei 256 kSample/s mit einem Bauteil verglichen, das ein SNR von mehr als 115 dB bei einer ODR von nur 1 kSample/s hatte. Auf Basis der Daten auf der Frontseite des Datenblattes zeigte sich also, dass ein Produkt ein niedrigeres SNR als das andere hatte und sich Letzteres für die Anwendung besser eignen sollte. Dies war jedoch keine genaue Methode zum Vergleichen der Daten.

Bild 3 zeigt, dass mit steigender Ausgabedatenrate auch der Effektivwert der Rauschspannung zunimmt und den digitalen Wert verfälscht, was wiederum den SNR verringert. **Bild 4** zeigt einen Ausschnitt aus dem Datenblatt des AD7768, wo man Signal-Rausch-Abstände von 123,88 dB und 126,89 dB bei einer ODR von 1 kSample/s für Breitband- bzw. Sinc5-Filter sehen kann, was viel höher ist als bei dem Baustein des Wettbewerbs bei dieser ODR.

KORREKTE BAUTEILAUSSWAHL

Die folgenden Punkte sind vor der Auswahl eines Bauteils zu beachten:

→ Relevante Spezifikationen passend zu den jeweiligen Betriebsbedingungen wählen

Bevor man schlussfolgert, welches Bauteil sich eignet, ist es wichtig, V_{REF} , V_{DD} , Leistungsaufnahme, Betriebsart, Betriebstemperaturbereich und andere Spezifikationen zu vergleichen. Denn der Signal-Rausch-Abstand selbst hängt von allen diesen Parametern ab, die entsprechend der Anforderungen einer Anwendung zu entscheiden sind. Der SNR muss also anhand mehrerer Einzelinformationen als nur den Spezifikationen auf der ersten Seite des Datenblattes gewählt werden.

Bild 5 zeigt, wie sich die Effektivwerte der Rauschspannung – und damit der SNR – für den AD7768 für verschiedene Referenzspannungen und bei unterschiedlichen Temperaturen unterscheiden. Der Effektivwert der Rauschspannung ist umgekehrt proportional zum SNR. Ähnliche Variationen zeigen sich auch für die anderen Parameter.

→ Arbeitspunkt beachten

Wenn die entsprechenden Werte bei allen Werten für V_{REF} und ODR etc. im Datenblatt nicht angegeben sind, muss man die Daten aus den gegebenen Informationen extrapolieren, um die erforderlichen Werte zu erhalten.

→ Vorsicht bei den »typischen« Werten.

Die typischen Werte unterscheiden sich von den Minimal- und Maximalwerten. Während in den meisten Fällen typische Werte zu erwarten sind, ist der gesamte Wertebereich zu berücksichtigen,

Table 12. Wideband Filter Noise: Performance vs. Output Data Rate ($V_{REF} = 4.096\text{ V}$)			
Output Data Rate (kSPS)	-3 dB Bandwidth (kHz)	Shorted Input Dynamic Range (dB)	RMS Noise (μV)
Fast Mode			
256	110.8	107.96	11.58
128	55.4	111.43	7.77
64	27.7	114.55	5.42
32	13.9	117.58	3.82
16	6.9	120.56	2.72
8	3.5	123.5	1.94
Median Mode			
128	55.4	108.13	11.36
64	27.7	111.62	7.6
32	13.9	114.75	5.3
16	6.9	117.79	3.74
8	3.5	120.8	2.64
4	1.7	123.81	1.87
Low Power Mode			
32	13.9	108.19	11.28
16	6.9	111.69	7.54
8	3.5	114.83	5.25
4	1.7	117.26	3.71
2	0.87	120.88	2.62
1	0.43	123.88	1.85

Table 13. Sinc5 Filter Noise: Performance vs. Output Data Rate ($V_{REF} = 4.096\text{ V}$)			
Output Data Rate (kSPS)	-3 dB Bandwidth (kHz)	Shorted Input Dynamic Range (dB)	RMS Noise (μV)
Fast Mode			
256	52.224	111.36	7.83
128	26.112	114.55	5.43
64	13.056	117.61	3.82
32	6.528	120.61	2.71
16	3.264	123.52	1.93
8	1.632	126.39	1.39
Median Mode			
128	26.112	111.53	7.68
64	13.056	114.75	5.3
32	6.528	117.81	3.72
16	3.264	120.82	2.64
8	1.632	123.82	1.87
4	0.816	126.79	1.33
Low Power Mode			
32	6.528	111.57	7.65
16	3.264	114.82	5.26
8	1.632	117.88	3.7
4	0.816	120.9	2.61
2	0.408	123.91	1.85
1	0.204	126.89	1.31

Bild 4. Rauschverhalten gegenüber der ODR der Bauteile AD7768/AD7768-4. (Bild: Analog Devices)

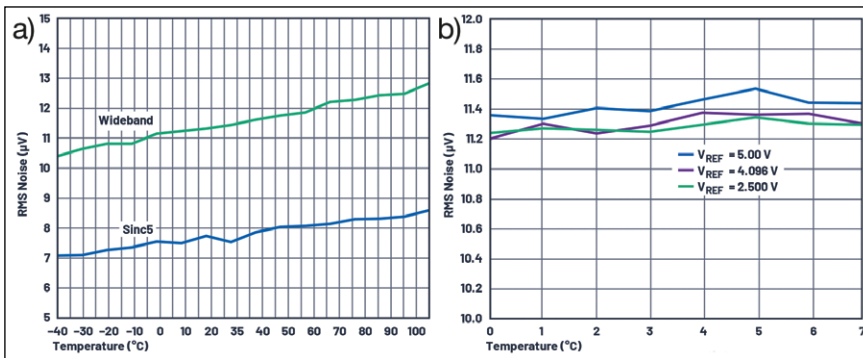


Bild 5. (a) Effektivwert der Rauschspannung gegenüber der Temperatur; (b) Effektivwert der Rauschspannung pro Kanal für verschiedene Werte von V_{REF} (Bild: Analog Devices)

a) FEATURES

- Gain Bandwidth Product: 500MHz
- 3dB Bandwidth (A = 1): 350MHz
- Low Input Bias Current: $\pm 3\text{fA Typ. Room Temperature}$
- 4pA Max at 125°C
- Current Noise (100kHz): $5.5\text{fA}/\sqrt{\text{Hz}}$
- Voltage Noise (1MHz): $4.3\text{nV}/\sqrt{\text{Hz}}$
- Extremely Low C_{IN} 450FF
- Rail-to-Rail Output

b) FEATURES

Low input bias current

- $\pm 20\text{ fA maximum at } T_A = 25^\circ\text{C}$ (guaranteed at production test)
- $\pm 20\text{ fA maximum at } -40^\circ\text{C} < T_A < +85^\circ\text{C}$
- $\pm 250\text{ fA maximum at } -40^\circ\text{C} < T_A < +125^\circ\text{C}$ (guaranteed at production test)

Low offset voltage: $50\text{ }\mu\text{V}$ maximum over specified CMRR range

Offset voltage drift: $\pm 0.13\text{ }\mu\text{V}/^\circ\text{C}$ typical, $\pm 0.5\text{ }\mu\text{V}/^\circ\text{C}$ maximum

Integrated guard buffer with $100\text{ }\mu\text{V}$ maximum offset

Low voltage noise density: $14\text{ nV}/\sqrt{\text{Hz}}$ at 10 kHz

Wide bandwidth: 2 MHz unity-gain crossover

Supply voltage: 4.5 V to 16 V ($\pm 2.25\text{ V}$ to $\pm 8\text{ V}$)

Operating temperature: -40°C to $+125^\circ\text{C}$

Long-term offset voltage drift (10,000 hours): $0.5\text{ }\mu\text{V}$ typical

Temperature hysteresis: $1.5\text{ }\mu\text{V}$ typical

Bild 6. (a) Frontseite des Datenblattes für den LTC6268; (b) Frontseite des Datenblattes für den ADA4530-1.

(Bild: Analog Devices)

wenn eine Anwendung empfindlich auf die minimalen und maximalen Werte eines bestimmten Parameters reagiert.

BEISPIEL OPERATIONSVERSTÄRKER

Hier ist ein weiteres Beispiel für eine häufige, aber vermeidbare Fehlinterpretation. Brauchen Kunden einen Verstärker, der einer Signalquelle mit sehr hoher Impedanz nachgeschaltet ist, suchen sie in erster Linie ein Bauteil mit sehr niedrigem Ruhestrom (Bias) am Eingang. Im Idealfall fließt gar kein Strom in den Eingang eines Operationsverstärkers (OPV). Dadurch lässt sich ein Spannungsabfall an der Eingangsstufe vermeiden. In der Praxis fließen jedoch immer zwei Ströme, I_{B+} und I_{B-} , in die Eingänge des OPVs. Diese werden Eingangsruhestrome genannt. Sowohl der LTC6268 als auch der ADA4530-1 werden als »OPV mit FET-Eingang und ultraniedrigem Eingangsruhestrom« sowie »Bauteile mit Femtoampere-Eingangsruhestrom« vermarktet. Ein flüchtiger Blick auf die ersten Seiten der Datenblätter (Bild 6) ergibt für den LTC6268 einen Eingangsruhestrom von 3 fA und für den ADA4530-1 einen Wert von 20 fA, jeweils bei Raumtemperatur. Dies könnte Kunden zu der Annahme verleiten, dass sich Ersterer für eine Anforderung nach niedrigem Eingangsruhestrom besser eignen sollte.

Da die Datenblätter variieren, ist der typische Ruhestrom nicht wie beim LTC6260 auf der ersten Seite des Datenblatts ADA4530-1 aufgeführt. Stattdessen ist der maximale Ruhestrom auf der ersten Seite aufgeführt. Um es noch einmal zu betonen: Typische Werte unterscheiden sich von den Minimal- und Maximalwerten! Wenn es bei der Anwendung auf diese Werte ankommt, sollten Entwickler eher die ungünstigsten Minimal- oder Maximalwerte als die typischen Werte in Betracht ziehen. Bild 7 zeigt die Spezifikationen für die Bauteile LTC6268 und ADA4530-1. Daraus ist ersichtlich, dass der maximale Eingangsruhestrom für beide Bauteile zwar gleich ist ($\pm 20\text{ fA}$), der typische Wert für den ADA4530-1



WERDEN SIE MIT
IHRER LÖSUNG
TEIL DER
ELEKTRONIK
AUTOMOTIVE

a) 5.0V ELECTRICAL CHARACTERISTICS The ● denotes specifications that apply over the full operating temperature range, otherwise specifications are at $T_A = 25^\circ\text{C}$, $V_{\text{SUPPLY}} = 5.0\text{V}$ ($V^+ = 5\text{V}$, $V^- = 0\text{V}$, $V_{\text{CM}} = \text{mid-supply}$), $R_L = 1\text{k}\Omega$, $C_L = 10\text{pF}$, V_{SHDN} is unconnected.

SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS
V _{OS}	Input Offset Voltage	V _{CM} = 2.75V	● -0.7	0.2	0.7	mV
		V _{CM} = 4.0V	● -2.5	0.2	2.5	mV
TC V _{OS}	Input Offset Voltage Drift	V _{CM} = 2.75V	● -1.0	0.2	1.0	mV
		V _{CM} = 4.0V	● -4.5	0.2	4.5	mV
I _b	Input Bias Current (Notes 6, 8)	V _{CM} = 2.75V	-20	±3	20	fA
		LTC6268/LTC6269I	● -900		900	fA
		LTC6268H/LTC6269H	● -4		4	pA
		V _{CM} = 4.0V	-20	±3	20	fA
		LTC6268/LTC6269I	● -900		900	fA
		LTC6268H/LTC6269H	● -4		4	pA

b) ADA4530-1

Data Sheet

SPECIFICATIONS

5 V NOMINAL ELECTRICAL CHARACTERISTICS

Supply voltage (V_{SR}) = 4.5 V, common-mode voltage (V_{CM}) = $V_{\text{SR}}/2$, $T_A = 25^\circ\text{C}$, unless otherwise specified. Typical specifications are equal to the average of the distribution from characterization, unless otherwise noted. Minimum and maximum specifications are tested in production, unless otherwise noted.

Table 1.

Parameter ¹	Symbol	Test Conditions/Comments	Min	Typ	Max	Unit
INPUT CHARACTERISTICS						
Input Bias Current ^{2,3}	I _b	RH < 50%		<1	±20	fA
		-40°C < T _A < +85°C, RH < 50%			±20	fA
		-40°C < T _A < +125°C, RH < 50%			±250	fA
Input Offset Current ³	I _{OS}	RH < 50%		<1	±20	fA
		-40°C < T _A < +125°C, RH < 50%			±150	fA

(Bild: Analog Devices)

Bild 7. (a) Spezifikationen für den LTC6268; (b) Spezifikationen für den ADA4530-1.

jedoch weniger als 1 fA beträgt. Dies ist deutlich niedriger als der Ruhestrom des LTC6268 von 3 fA. Dieser Wert wird jedoch auf der ersten Seite des Datenblatts für den ADA4530-1 nicht hervorgehoben.

Daher ist eine gründliche Lektüre der Datenblätter erforderlich. Obwohl der ADA4530-1 beim typischen Eingangsruhestrom besser ist, können andere Merkmale der Bauteile variieren, und dieses eine Merkmal allein reicht nicht aus, um festzustellen, welches Bauteil besser für eine bestimmte Anwendung geeignet ist.

FAZIT

Es empfiehlt sich also dringend, zunächst die Betriebsbedingungen einer Anwendung festzulegen und dann nach Bauteilen mit Spezifikationen für die jeweiligen Gegebenheiten zu suchen. Manchmal können auf der Frontseite des Datenblatts oder in dessen Titel Merkmale für eine andere Spezifikation bzw. andere Betriebsbedingungen als gewünscht hervorgehoben sein. In jedem Fall sollten Entwickler für die Auswahl des richtigen Bauteils dessen Datenblatt sorgfältig durchgehen. Auch sollten sie die Leistungsaufnahme für das Endprodukt

festlegen, bevor die Entscheidung für ein Bauteil fällt. Denn es ist immer möglich, Bauteile mit den besten Leistungsmerkmalen zu erhalten, jedoch sollten auch Preis und Stromaufnahme passen.

RH

Referenzen

[1] Analog to Digital Conversion, Analog Devices Wiki, January 2021, wiki.analog.com/university/courses/electronics/text/chapter-20



TEJASWINI ANAND

ist Product Applications Engineer im Centralized Applications Center (CAC) von Analog Devices. Sie konzentriert sich auf das Systemdesign und untersucht das Spektrum der Produktportfolios des Unternehmens sowie deren Anwendungen und Funktionen. Tejaswini schloss 2019 ihr Studium am R.V. College of Engineering, Bangalore, Indien, als Elektronik- und Kommunikationsingenieurin ab. Während ihrer Studienzzeit nahm sie an diversen Robotikwettbewerben und Hackathons auf nationaler Ebene teil und gewann auch einige davon.

Elektronik automotive
AUTONOMES FAHREN & CONNECTED CARS

Virtueller Prüfstand beweist Vorteile im Praxisinsatz bei VW
Umwelterkennung für das autonome Fahren neu gedacht
Tipps und Tools für das Prototyping eines Lidar-Systems

Bildhinweis: fotolia: #190897096 | ra2 studio

AUF ALLEN RELEVANTEN KANÄLEN

DIGITAL	PRINT
EVENTS	SOCIAL MEDIA

JETZT BUCHEN!

Mediaberatung Elektronik
media@elektronik.de
+49 (89) 255 56-1376

elektronik.de | elektronik-automotive.de

LEISTUNGSMANAGEMENT FÜR MIKROCONTROLLER

ZEIT STEHLEN – VERLÄNGERN DER BATTERIELEBENSDAUER

Die neuen RE-Mikrocontroller von Renesas bieten mehrere Betriebs- und Stromversorgungsmodi, mit denen ein Entwickler die Leistungsaufnahme an die Funktion optimal anpassen kann. So lässt sich Energie sparen – und »Zeit gewinnen« bis die Batterie getauscht werden muss.

Von Graeme Clark



(Bild: Lightspring | Shutterstock)

Das rasante Wachstum des Internets der Dinge (Internet of Things, IoT) treibt die Notwendigkeit voran, eine Reihe neuer, batteriebetriebener Geräte mit Mikrocontrollern zu entwickeln, die kommunizieren können und mit Sensorik ausgestattet sind. Der Markt verlangt nach

der Erfassung von mehr Daten an mehr Orten mit Geräten, die leistungsfähiger und schneller sind und mit kleineren und billigeren Batterien viel länger durchhalten. Um die Nachfrage nach höherer Rechenleistung bei niedrigeren Strömen zu erfüllen, müssen Ent-

wickler effektiv Zeit von vielen peripheren Systemkomponenten »stehlen«, indem sie die Zeit – und die Energie, die für die Stromversorgung des Systems benötigt wird – auf die wichtigsten Systemkomponenten umverteilen und den Rest vernachlässigen.

Um den Anforderungen dieser neuen Generation von Sensoren gerecht zu werden, hat Renesas eine neue, effiziente Power-Management-Architektur für Mikrocontroller entwickelt, die auf der von Renesas entwickelten Silicon-on-Thin-Buried-Oxid-Prozesstechnik (SOTB) basiert und deren Herzstück ein CPU-Kern der Cortex-M-Serie ist. Diese neue Generation von energiesparenden Mikrocontrollern, die Renesas RE-Mikrocontrollerfamilie, ermöglicht es tatsächlich, Zeit zu gewinnen. Damit lässt sich die Betriebsdauer von Geräten erhöhen, die auf diesem Mikrocontroller aufgebaut sind, obwohl gleichzeitig kleinere Batterien zum Einsatz kommen.

ZWEI FAKTOREN BEEINFLUSSEN DIE LEISTUNGS-AUFNAHME

Die Leistungsaufnahme von Mikrocontrollern setzt sich aus zwei Teilen zusammen. Der erste Teil ist die dynamische Leistungsaufnahme, die proportional mit der Betriebsfrequenz ansteigt. Der zweite Teil ist die statische Leistungsaufnahme, die nicht mit der Betriebsfrequenz, sondern mit der Betriebsspannung und der Temperatur des ICs zusammenhängt:

Dynamische Leistungsaufnahme

→ Schaltleistung wird während des Ladens und Entladens von Lastkapazitäten benötigt.

→ Interne Leistungsaufnahme durch den Strom, der im Falle eines CMOS-Kurzschlusses durch den IC fließt.

Statische Leistungsaufnahme

→ Leistungsaufnahme durch den Betrieb der analogen Schaltungssteile wie interner Oszillator und Spannungsregler.

→ Leistungsaufnahme verursacht durch Leckstrom.

Beim Entwurf von Embedded-Systemen ist die Reduzierung der dynamischen Leistungsaufnahme der Schlüssel, um eine niedrige Stromaufnahme zu erzielen. Deshalb muss, wo immer es möglich ist, die Taktfrequenz des Mikrocontrollers reduziert und die Stromaufnahme gegen eine höhere

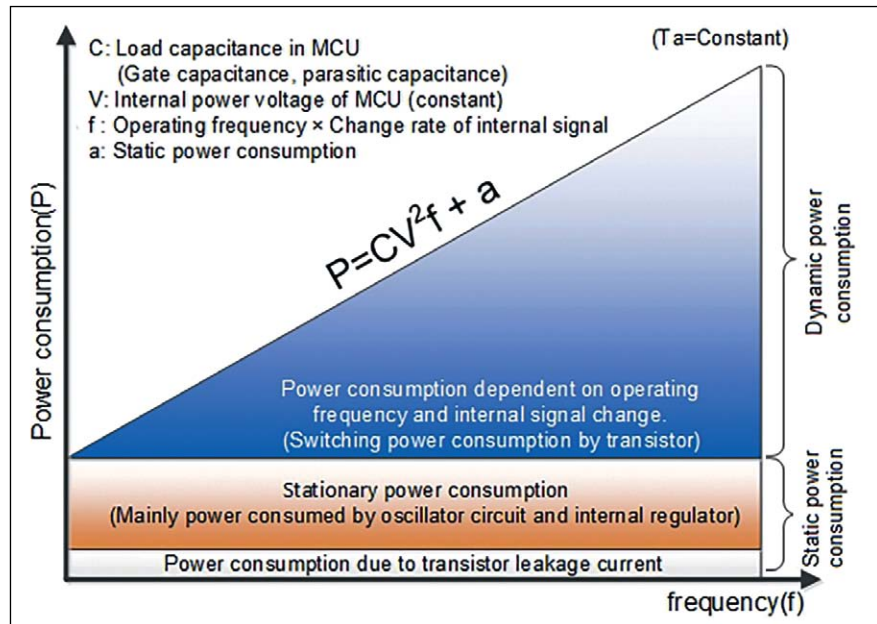


Bild 1. Die Leistungsaufnahme eines Mikrocontrollers wird durch seine statischen Eigenschaften (Leckstrom, analoge Funktionen) und seine dynamischen Eigenschaften (Schalten von Kapazitäten) beeinflusst. Mit steigender Taktfrequenz nimmt die dynamische Verlustleistung zu. (Bild: Renesas Electronics)

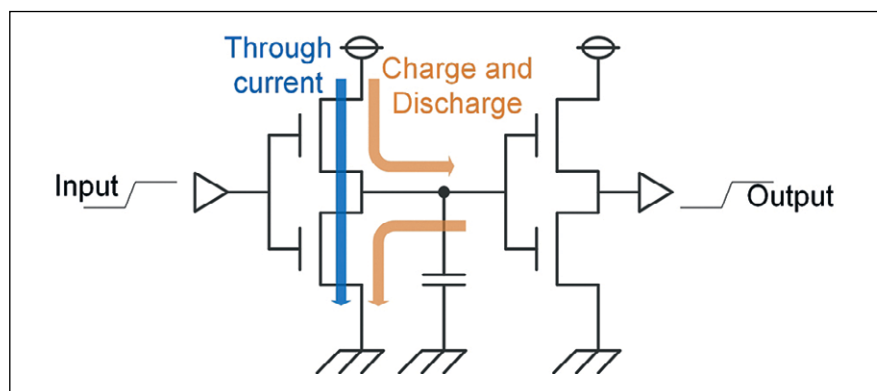


Bild 2. Strompfad der dynamischen Leistungsaufnahme in einer CMOS-Logikstufe. (Bild: Renesas Electronics)

Rechenleistung abgewogen werden. Die statische Stromaufnahme ist spezifisch für den IC und die Umgebungsbedingungen. Er kann nicht durch die Anwendung reduziert werden. **Bild 1** verdeutlicht die Leistungsaufnahme eines Mikrocontrollers.

EINFLUSS DER TAKTFREQUENZ AUF DIE LEISTUNGS-AUFNAHME

Die dynamische Leistungsaufnahme hängt von der Frequenz ab, mit der interne Signale im Mikrocontroller geschaltet werden. Strom fließt, wenn im Zuge dieses Schaltvorgangs sowohl PMOS- als auch NMOS-Transistoren gleichzeitig »Ein« sind (**Bild 2**). Der

Strom fließt, um die parasitäre Kapazität der Verdrahtung und die Gate-Kapazität der nachfolgenden Stufe zu laden oder zu entladen. Die parasitäre Kapazität der Verdrahtung und die Gate-Kapazität sowie die Versorgungsspannung sind konstant, sodass die dynamische Leistungsaufnahme proportional zur Frequenz ist. Eine Verringerung der Betriebsfrequenz kann daher die Leistungsaufnahme reduzieren.

Die dynamische Leistungsaufnahme $P_{\text{dyn}} \sim C \times U^2 \times f$

mit:

C = Gate-Kapazität, parasitäre Kapazität der Verdrahtung (konstant),
 U = Spannung (konstant),
 f = Frequenz

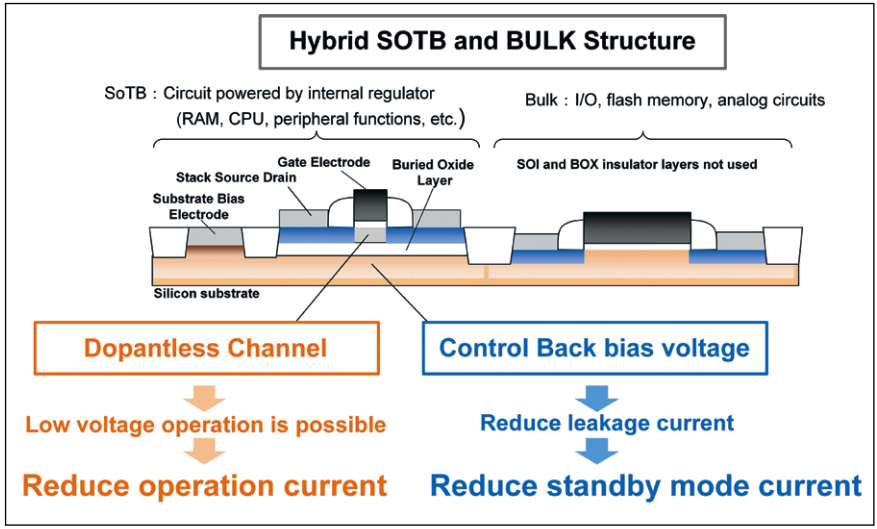


Bild 3. Aufbau der CMOS-Transistoren für die Logik und für analoge und periphere Funktionen beim SOTB-Prozess. (Bild: Renesas Electronics)

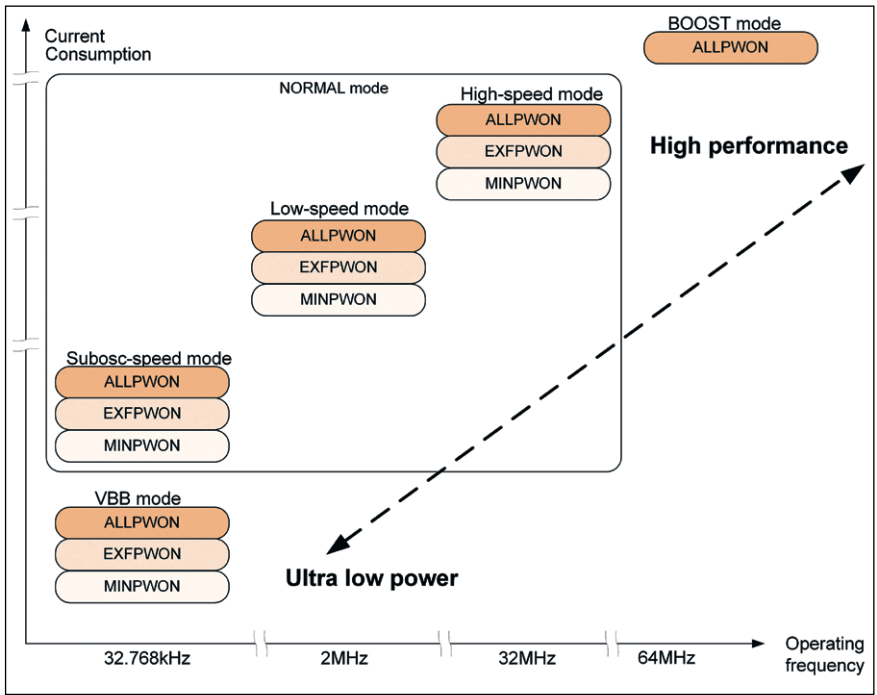


Bild 4. Entwickler können die verschiedenen Stromversorgungs- und Betriebsmodi des Mikrocontrollers kombinieren, um je nach benötigter Rechenleistung die Stromaufnahme zu reduzieren. (Hinweis: Die vertikale Achse mit der Stromaufnahme ist nicht skalierbar.) (Bild: Renesas Electronics)

WEITERE EINFLUSSFAKTOREN AUF DIE LEISTUNGS-AUFNAHME

Die statische Leistungsaufnahme wird durch Analogfunktionen des Mikrocontrollers, wie den Unterspannungsdetektor, den Komparator oder den internen Spannungsregler bedingt, die alle unabhängig von der Betriebsfrequenz Leistung aufnehmen. Das Anhalten des Betriebs der Analogschaltungen

oder das Ändern der Betriebsart kann diese Leistungsaufnahme reduzieren. Auch der Leckstrom, der durch den Herstellungsprozess selbst verursacht wird, hat einen Anteil an der statischen Stromaufnahme. Um diesen Strom zu minimieren, muss die richtige Spannung und Betriebstemperatur eingehalten werden, damit der Leckstrom nicht ansteigt. Die SOTB-Prozesstechnik ermöglicht es, sowohl die dynamische als auch die

statische Leistungsaufnahme zu reduzieren (Bild 3). Die digitalen Funktionen des Mikrocontroller-ICs, wie SRAM, CPU und Peripheriefunktionen, werden durch eine geregelte interne Spannungsversorgung gespeist und durch Transistoren realisiert, die auf der SOTB-Technik basieren. SOTB-basierte Transistoren haben eine dotierungsfreie Kanalstruktur, die die Varianz der Schwellenspannung des Transistors im Vergleich zu herkömmlichen Si-Transistoren signifikant reduzieren kann. Der Mikrocontroller kann daher mit einer viel niedrigeren Betriebsspannung arbeiten, was die dynamische Stromaufnahme reduziert. Eine planare Doppel-Gate-Struktur ermöglicht die Steuerung der Vorspannung des rückseitigen Gates und kann somit den Leckstrom im niederfrequenten Betrieb und im Bereitschaftsmodus durch Steuerung der Substratvorspannung (Back Bias) reduzieren.

LEISTUNGS-AUFNAHME ANPASSEN PER STROMVERSORUNGSMODUS

Die neue RE-Mikrocontrollerfamilie verfügt über eine Reihe zusätzlicher Stromversorgungsmodi, die es ermöglichen, die Leistungsaufnahme für jede spezifische Betriebsbedingung zu optimieren. Mit diesen Modi ist es möglich, die dynamische Stromaufnahme im Betrieb mit bis zu 64 MHz zu minimieren und den Leckstrom im 32,768-kHz-Betrieb und in den Bereitschaftsmodi zu reduzieren.

Intern ist der Mikrocontroller in vier Versorgungsbereiche unterteilt, von denen jeder mit Strom versorgt oder von der Stromversorgung isoliert werden kann. Die Stromversorgung für diese Bereiche kann aus den folgenden drei Stromversorgungsmodi ausgewählt werden:

- ALLPWON-Modus. In diesem Modus sind alle Funktionen im Mikrocontroller verfügbar.
- EXFPWON-Modus. Die Stromversorgung der Flash-Speicherdomäne wird abgeschaltet, sodass die Stromaufnahme reduziert wird.
- MINPWON-Modus. Es werden nur

die minimal benötigten Funktionen mit Strom versorgt, was die Stromaufnahme weiter reduziert.

LEISTUNGS-AUFNAHME PER BETRIEBSMODUS STEuern

Die Leistungsaufnahme lässt sich im Betriebsmodus (OPE), im Schlafmodus (SLEEP), im Software-Stand-by-Modus (SSTBY) und im Schlummermodus (SNOOZE) verringern, indem die Stromversorgung frequenzabhängig optimiert wird.

→ BOOST-Modus, maximale Taktfrequenz 64 MHz, hohe Rechenleistung mit geringer Leistungsaufnahme.

→ NORMAL-Betrieb, maximale Taktfrequenz 32 MHz. Die Leistungsaufnahme wird dadurch reduziert, dass die Transistoren eine niedrigere interne geregelte Spannung verwenden.

Die Auswahl der folgenden Untermodi mit entsprechender Taktfrequenz ermöglicht es den internen Spannungsregler optimal anzupassen:

→ Highspeed-Modus, mit max. 32 MHz

→ Lowspeed-Modus, mit max. 2 MHz

→ Subosc-Speed-Modus, mit max. 32,768 kHz

→ Leckstromarmer Modus (VBB-Modus), maximale Taktfrequenz 32,768 kHz. Der Leckstrom wird reduziert, da an jeden Transistor eine Substratvorspannung angelegt wird.

Durch Anhalten des CPU-Taktgenerators oder Peripheriefunktionen kann die Stromaufnahme weiter reduziert werden:

→ Schlafmodus (SLEEP): Stoppt den CPU-Betrieb

→ Schlummermodus (SNOOZE): Einige Peripheriefunktionen können arbeiten, während die CPU angehalten ist.

→ Software-Stand-by-Modus (SSTBY): Nur der 32-kHz-Taktgenerator oder Peripheriefunktionen, die diesen Takt verwenden, können arbeiten. In diesem Modus arbeitet der Mikrocontroller mit minimaler Leistung und der Leckstrom kann durch Verwendung des VBB-Modus weiter gesenkt werden.

→ Deep-Software-Stand-by-Modus (DSTBY): Nur einige sehr begrenzte

Funktionen wie z.B. der Taktgenerator und die Unterspannungserkennung (LVD, Low Voltage Detection) können arbeiten, für alle anderen Funktionen wird die Stromversorgung unterbrochen, um die Gesamtstromaufnahme so weit wie möglich zu reduzieren.

Bild 4 zeigt die Modi, die der Mikrocontroller nutzen kann, um seine Rechenleistung und Stromaufnahme zu steuern. Die relative Stromaufnahme in den verschiedenen Low-Power-Modi ist in **Bild 5** dargestellt.

Nach einer Reset-Freigabe wacht die MCU im NORMAL-Modus auf und kann softwaregesteuert in den BOOST-Modus oder VBB-Modus wechseln. Die Einstellung des Stromversorgungsmodus entsprechend den Anforderungen der Anwendung kann die Stromaufnahme weiter senken.

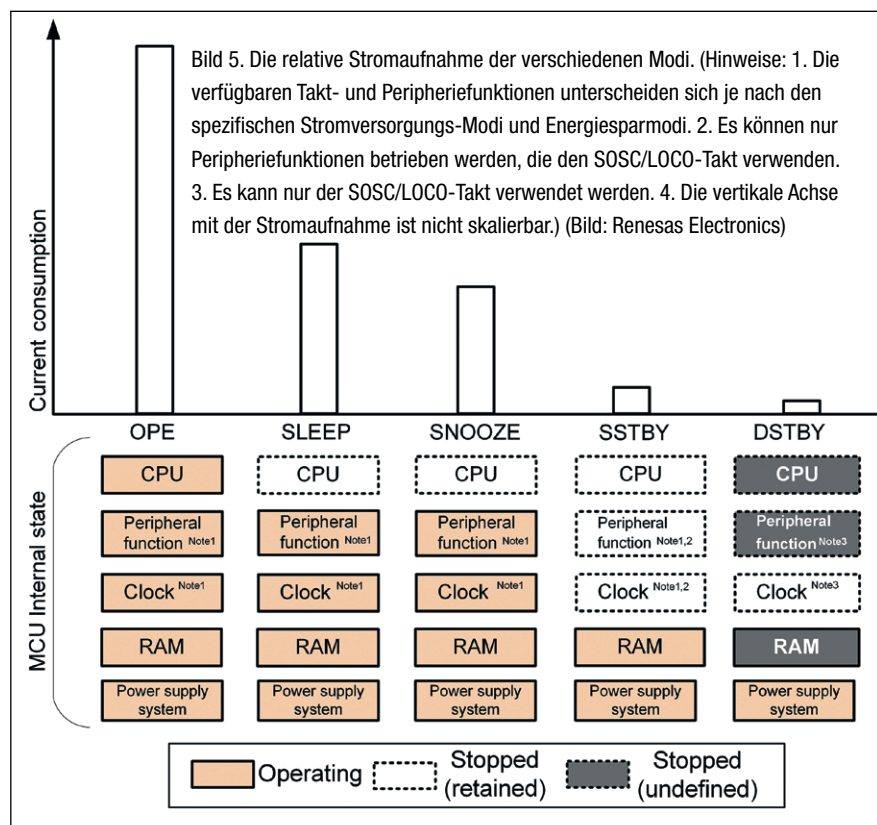
UNABHÄNGIG STEUERBARE VERSORGUNGSBEREICHE

Es gibt vier Versorgungsbereiche im RE-Mikrocontroller. Der Anwender kann zwischen verschiedenen Versorgungsmodi wechseln und Versorgungs-

bereiche abschalten, wenn sie nicht benötigt werden. Wenn die Stromversorgung in einem Bereich unterbrochen wird, verursacht dieser keine dynamische Stromaufnahme und auch die statische Stromaufnahme verringert sich. In **Bild 6** sind die vier Versorgungsbereiche des RE-Mikrocontrollers mit den in jedem Bereich verfügbaren Funktionen dargestellt.

Im ALLPWON-Modus werden alle Bereiche des Mikrocontrollers mit Strom versorgt und alle Funktionen sind nutzbar. Der Mikrocontroller kann mit einer maximalen Frequenz von 32 MHz arbeiten. Durch den Wechsel von NORMAL auf BOOST kann der Mikrocontroller seine Taktfrequenz auf eine maximale Frequenz von 64 MHz erhöhen.

Im EXFPWON-Modus ist der Flash-Speicher (ISO3) ausgeschaltet, daher muss der gesamte erforderliche Code in den SRAM verschoben werden, bevor dieser Modus aktiviert wird. Durch die Kombination der Modi zur Steuerung der Stromversorgung und der Modi zur Frequenzsteuerung kann der Mikrocontroller sowohl mit hoher Rechenleistung als auch mit geringer Stromaufnahme arbeiten.



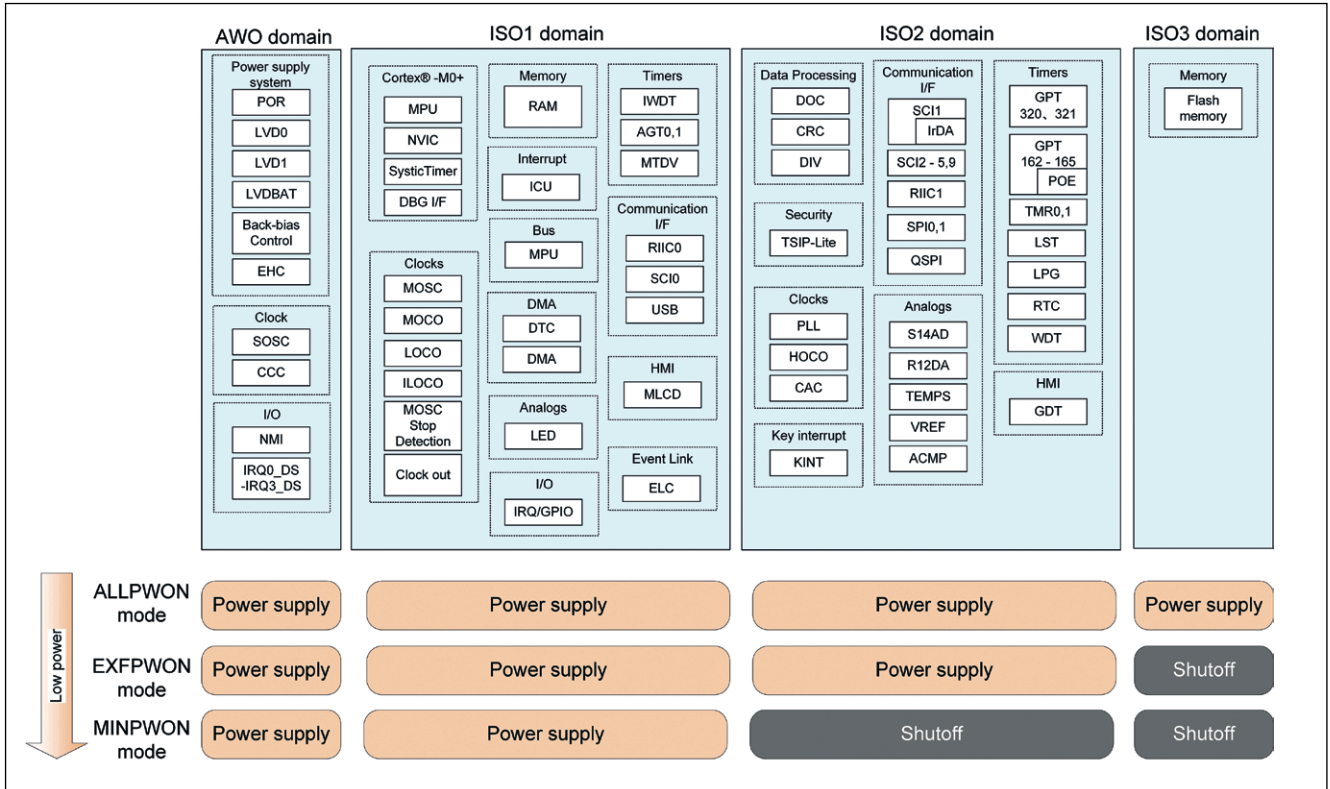


Bild 6. Für die vier Versorgungsbereiche des RE-Mikrocontrollers stehen dem Entwickler unterschiedliche Funktionen zum Steuern der Stromversorgung zur Verfügung. (Bild: Renesas Electronics)

Im MINIPWON-Modus werden nur einige wichtige Funktionen des RE-Mikrocontrollers, die eine geringe Stromaufnahme haben, mit Spannung versorgt. Der Flash-Speicher und die Peripherie-Stromversorgungs-Domäne (ISO2) werden abgeschaltet; ISO2 umfasst viele Peripheriekomponenten mit hoher Stromaufnahme. Wie im EXFPWON-Modus muss der notwendige Code in den SRAM-Bereich kopiert werden, bevor der MINPWON-Modus aktiviert wird.

MODUS PASSEND ZUR TAKTFREQUENZ WÄHLEN

Die Steuerungsmodi der Stromversorgung werden entsprechend der Betriebsfrequenz ausgewählt. Durch die Auswahl des optimalen Modus für die erforderliche Betriebsfrequenz lässt sich die Stromaufnahme reduzieren (Bild 7).

Im Normalmodus kann der Mikrocontroller mit bis zu 32 MHz arbeiten. Genügen niedrigere Taktfrequenzen, kann weiter optimiert werden, indem der Modus entsprechend der gewünsch-

- ten Betriebsfrequenz ausgewählt wird.
- Highspeed-Modus: Maximale Betriebsfrequenz von 32 MHz
- Lowspeed-Modus: Maximale Betriebsfrequenz von 2 MHz
- Subosc-Speed-Modus: Maximale Betriebsfrequenz von 32,768 kHz

Die Auswahl des richtigen Modus für die jeweilige Betriebsfrequenz minimiert die Leistungsaufnahme des Mikrocontrollers. Im Boost-Modus unterstützt der Mikrocontroller eine maximale Betriebsfrequenz von 64 MHz. Dadurch

lässt sich die maximale Rechenleistung erreichen und der Betrieb von »High-Speed«-Peripheriekomponenten wie USB-Schnittstellen ist möglich. Der VBB-Modus ist der stromsparendste Modus des RE-Mikrocontrollers, er ermöglicht den Betrieb mit 32,768 kHz. In diesem Modus wird das Anlegen der Substratvorspannung gesteuert, eine Eigenschaft des SOTB-Prozesses, die es ermöglicht, den Leckstrom auf ein Minimum zu reduzieren. Dieser Modus ist nützlich für Anwendungen, bei denen der Mikrocontroller

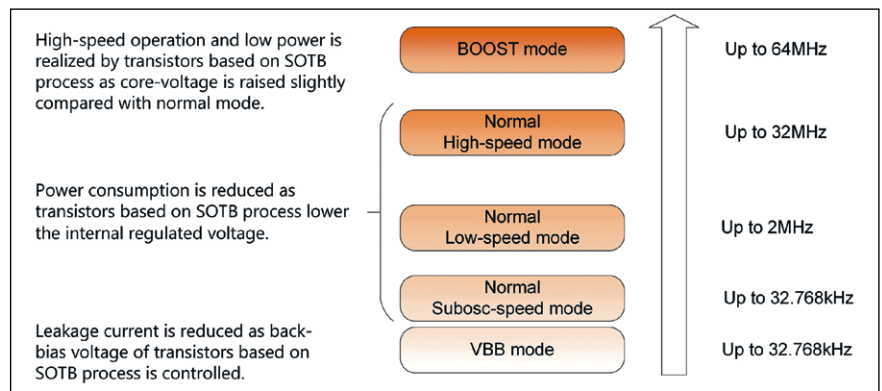


Bild 7. Der Modus mit dem die Rechenleistung des RE-Mikrocontrollers eingestellt wird, beeinflusst auch die maximal mögliche Taktfrequenz. (Bild: Renesas Electronics)

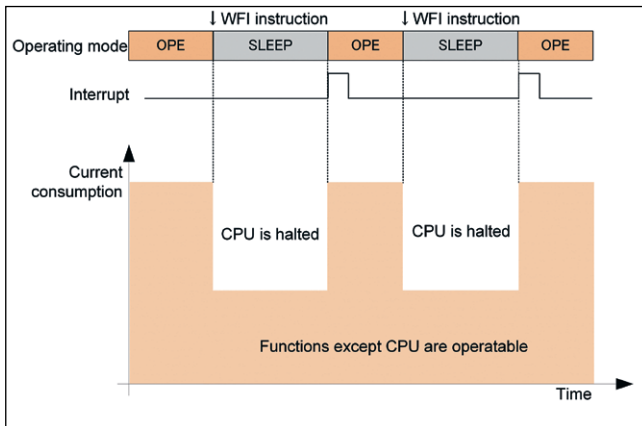


Bild 8. Im Schlafmodus wird nur die CPU angehalten, um die Stromaufnahme zu reduzieren. Die anderen Funktionen des Mikrocontrollers können weiterhin arbeiten. (Bild: Renesas Electronics)

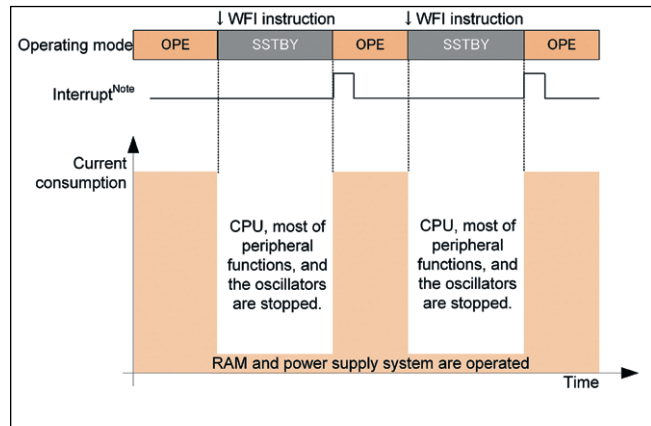


Bild 9. Im Software-Stand-by-Modus werden die CPU angehalten und die Taktgeber. Die Stromversorgung arbeitet allerdings weiter und der RAM wird mit Spannung versorgt. (Bild: Renesas Electronics)

lange Zeit im Bereitschaftsmodus bleibt und bei denen die CPU nur gelegentlich aktiv sein muss. In diesem Modus sind Peripheriekomponenten wie z.B. der A/D-Umsetzer weiterhin verfügbar. Damit lassen sich analoge Signale erfassen und die Stromaufnahme bleibt sehr gering.

FUNKTIONSUMFANG ENTSCHEIDET ÜBER LEISTUNGS-AUFNAHME

Die Low-Power-Modi sind beim RE-Mikrocontroller je nach den erforderlichen CPU- und Peripheriefunktionen wählbar. Durch die Auswahl des

optimalen Modus entsprechend der genutzten Funktionen wird die Stromaufnahme minimiert. Zu den Low-Power-Modi des RE-Mikrocontrollers gehören die Modi: Schlafmodus, Schlummermodus, Software-Stand-by-Modus und Deep-Software-Stand-by-Modus. Jeder dieser Modi bietet

Künstliche Intelligenz ist mittlerweile integraler Teil vieler technischer Systeme. In zahlreichen Anwendungsgebieten eröffnen Künstliche Intelligenz (KI), Maschinelles Lernen, Deep Learning und Neuronale Netze vielversprechende Pfade der Weiterentwicklung – sei es zur Einsparung von Kosten, zur Effizienzsteigerung, zur Anreicherung bestehender Anwendungen mit neuen Funktionen oder zur Entwicklung neuer Einsatzbereiche von Hard- und Software. KI, Machine Learning, Deep Learning und Neuronale Netze sind Schlüsseltechnologien, damit Systeme autonom reagieren und selbständig aufgrund äußerer Einflüsse Entscheidungen treffen können.

Das Forum Künstliche Intelligenz, das die Fachmedien Elektronik, Elektronik automotive und Computer&AUTOMATION am 21. April 2021 erneut virtuell veranstalten, beleuchtet dazu die rasanten Entwicklungen in Hard- und Software.

www.forum-ki.eu

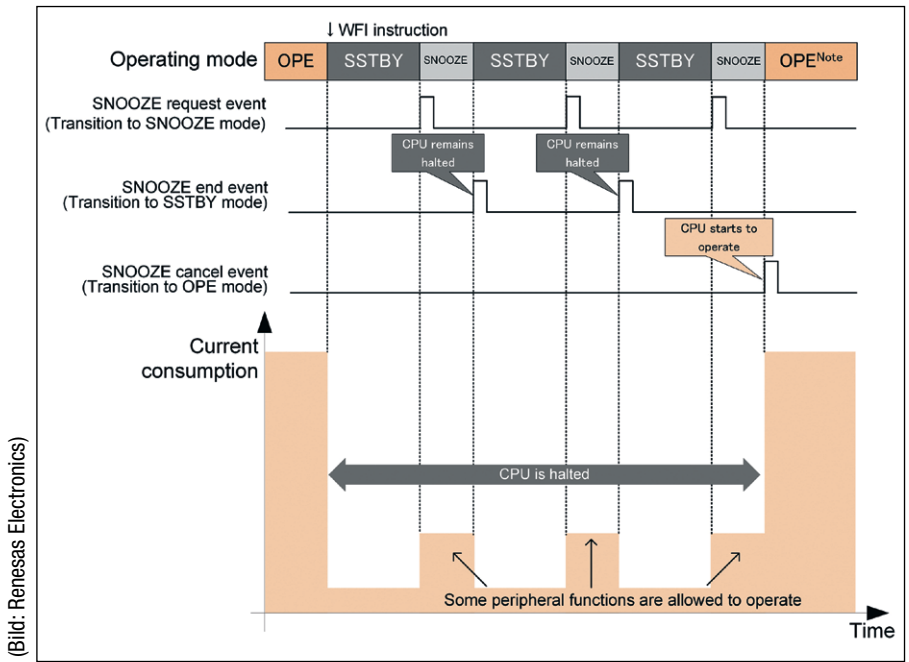
FORUM KÜNSTLICHE INTELLIGENZ

21
APR
2021
VIRTUELLES
EVENT

JETZT
ANMELDEN

THEMENBEREICHE

- **KI in Embedded-Systemen:** Hardware- und Software-Komponenten für die Entwicklung von KI-Systemen
- **KI im Auto:** Autonomes Fahren, Spracherkennung, Fahrerüberwachung, Verkehrssteuerung, Safety und Security
- **KI in der Fabrik:** Machine Learning, Predictive Maintenance, Optimierung von Produktionsprozessen, Qualitätssicherung



(Bild: Renesas Electronics)

Bild 10. Im Schlummermodus arbeiten nur einige wenige Funktionen des RE-Mikrocontrollers.

spezifische Vorteile im Hinblick auf einen stromsparenden Betrieb. Der Schlafmodus hält den CPU-Betrieb an, indem der CPU-Takt vorübergehend angehalten wird. Er wird verwendet, wenn Reaktionszeit und Verarbeitungsgeschwindigkeit Priorität haben, da die CPU schnell aus dem Schlafmodus aufwacht. Die Stromersparnis ist jedoch geringer als in den anderen Modi, da Oszillatoren und Peripheriekomponenten weiterhin in Betrieb sind (Bild 8). Die Leistungsaufnahme im Software-stand-by-Modus ist geringer als im Schlafmodus, da die Taktgeber der CPU, des Flash-Speichers und einiger Peripheriefunktionen deaktiviert sind (Bild 9). Ihre jeweiligen Zustände werden beibehalten, da sie weiterhin mit Spannung versorgt werden, ebenso wie die Daten im SRAM. Wenn der

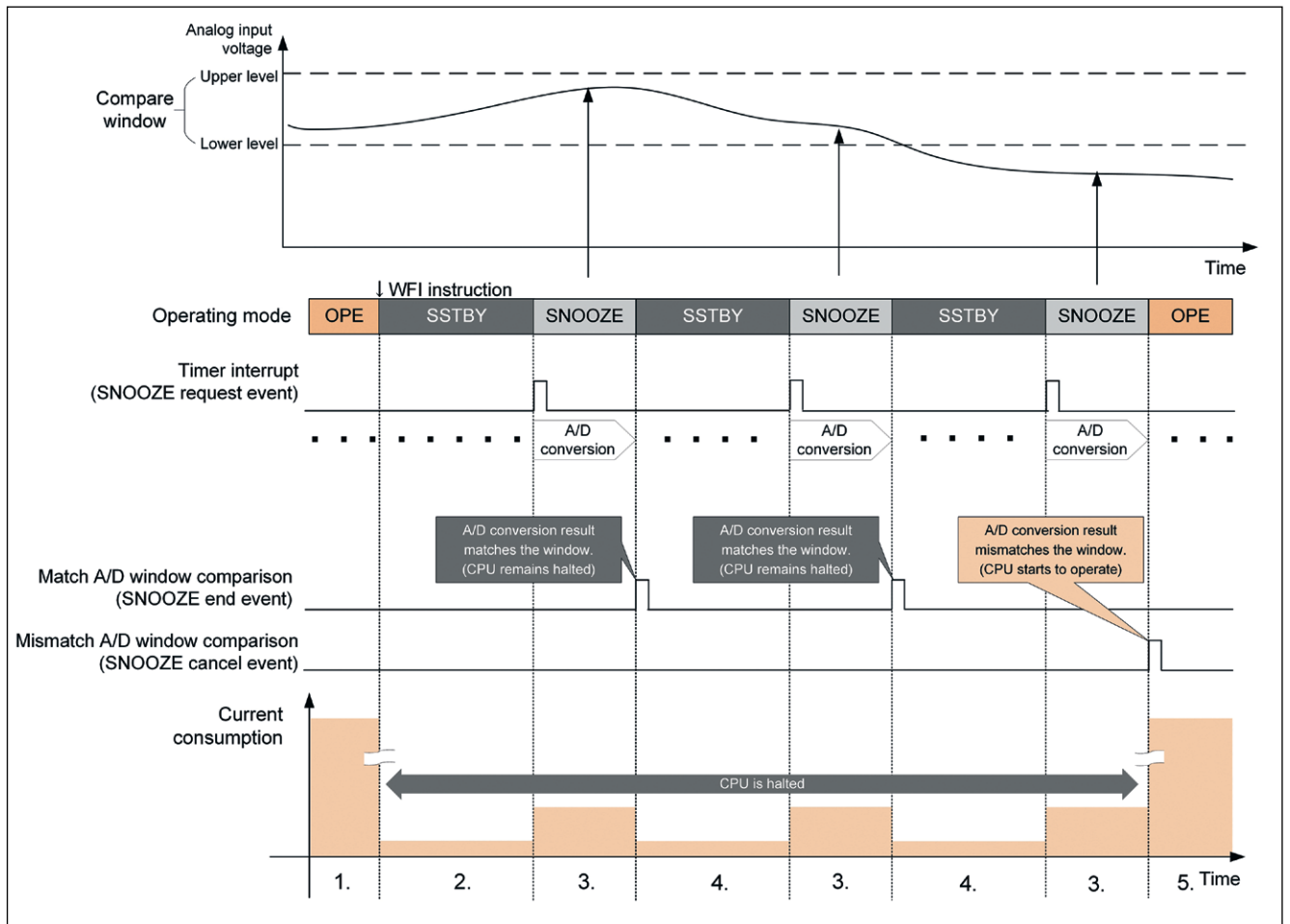


Bild 11. Einsatz des Schlummermodus um eine analoge Spannung zu messen. 1. Aktivieren des Software-stand-by-Modus, indem ein WFI-Befehl ausgeführt wird, nachdem der Schlummermodus eingestellt wurde. 2. Verbleiben im Software-stand-by bis zum Timer-Interrupt. 3. Nach dem Timer-Interrupt schaltet der Mikrocontroller in den Schlummermodus und die A/D-Umsetzung beginnt. 4. Wenn das Ergebnis der A/D-Umsetzung mit der Fenstereinstellung übereinstimmt, geht der Mikrocontroller wieder in den Software-stand-by-Modus und wartet auf den nächsten Timer-Interrupt. 5. Wenn das Ergebnis der A/D-Umsetzung nicht mit der Fenstereinstellung übereinstimmt, beginnt der Mikrocontroller mit der Interrupt-Bearbeitung. (Bild: Renesas Electronics)

IMPRESSUM

Anschrift für Verlag, Redaktion, Vertrieb, Anzeigenverwaltung und alle Verantwortlichen:
WEKA Fachmedien GmbH, Richard-Reitzner-Allee 2, 85540 Haar
Tel.: 089 25556-1000, Fax 089 25556-1399, www.weka-fachmedien.de
Telondurchwahl im Verlag: Sie wählen 089 25556 und dann die Nummer, die in Klammern zum jeweiligen Namen angegeben ist.
Geschäftsführer: Kurt Skupin, Mathäus Hose

Director Content Electronics: Dr. Ingo Kuss
Markenteam Elektronik: Joachim Kroll (jk/1335), Chefredakteur (verantwortlich für den Inhalt), Markus Kien, Chef vom Dienst (mk/1333)
Redaktionsteam: Stefanie Eckardt, Ltd. Red. (eck/1342), Melanie Erhardt (me/1346), Markus Haller (mha/1371), Ralf Higgelke (rh/1341), Engelbert Hopf, Chefredakteur (eg/1320), Ute Häußler (uh/1369), Irina Hübner (ih/1339), Andreas Knoll, Ltd. Red. (ak/1319), Corinna Puhmann-Hespen (cp/1316), Corinne Schindlbeck, Ltd. Red. (sc/1311), Tobias Schlichtmeier (ts/1368), Harry Schubert (hs/1338), Iris Stroth, Ltd. Red. (st/1326), Kathrin Veigel (kv/1746), Nicole Wörner (nw/1325), Karin Zühlke, Ltd. Red. (zÜ/1329)
Ressortverteilung siehe <https://www.elektroniknet.de/electronics-redaktion>
Layoutteam: Wolfgang Bachmaier, Andreas Geyh, Norbert Preiss, Bernhard Süßbauer, Alexander Zach
Bilderdienst: Shutterstock
Redaktionsassistentz: Andrea Seidel (sei), Tel.: 089 25556-1332; Fax: 089 25556-1670
redaktion@elektronik.de
www.elektronik.de

Director New Business: Marc Adelberg (1572)
Sales Director: Christian Stadler (1375)
Mediaberatung: Petra Beck (1378), Burkhard Bock (1305), Tanja Lewin (1386), Konrad Nadler (1382), Martina Niekrawietz (1309),
International Account Managers: Konrad Nadler (1382), Martina Niekrawietz (1309)
Auslandsrepräsentanz (Foreign Representation):
USA West: Huson International Media, Lanibel Collado, 16615 Lark Avenue, Suite 100, Los Gatos, CA 95032, Tel.: 001 408 879 6666, Fax: 001 408 879 6669, lanibel.collado@husonmedia.com
Anzeigenverwaltung und Disposition: Astrid Brück (1471), Teresa Manuri (1482)
Anzeigenpreise: Es gilt die Preisliste Nr. 56 vom 1. Januar 2021
Teamassistentz: Rosi Böhm, Tel.: 089 25556-1307, Michaela Stolka, Tel.: 089 25556-1376, Fax: 089 25556-1651
media@elektronik.de
www.weka-fachmedien.de/de/medien/elektronik/

Vertriebsleitung: Marc Schneider (1509, mschneider@weka-fachmedien.de)
Bestell- und Abonnement-Service: WEKA FACHMEDIEN GmbH, c/o Zenit Pressevertrieb GmbH, Postfach 810640, 70523 Stuttgart, Tel.: 0711 7252-210, Fax: 0711 7252-333, E-Mail: abo@weka-fachmedien.de
Bestellungen Schweiz: Thali AG, Industriest. 14, CH-6285 Hitzkirch, Tel.: 041 9196611, Fax: 041 9196677, abo@thali.ch, www.thali.ch
Organschaft: Die Elektronik ist Organ der VDE/VDI-Gesellschaft Mikroelektronik, Mikrosystem- und Feinwerktechnik (GMM). Die Mitglieder der GMM erhalten die Elektronik im Rahmen ihrer Mitgliedschaft.
Erscheinungsweise: 26 Ausgaben
Jahresabonnement Print Inland: 179,00 €, davon 115,30 € Heft, 63,70 € Versand, inkl. MwSt.
Jahresabonnement Print Ausland: 201,10 €, davon 115,30 € Heft, 85,80 € Versand, inkl. MwSt.
Einzelausgabe Print: 8,00 € inkl. MwSt., zzgl. 3,00 Euro Versandkosten
Jahresbezug digitales E-Paper (Inland/Ausland): 69,99 € inkl. MwSt., ohne Versandkosten
Einzelausgabe digitales E-Paper (Inland/Ausland): 2,99 € inkl. MwSt., ohne Versandkosten
Heftbestellung online: shop.weka-fachmedien.de

Bankverbindung: HypoVereinsbank
IBAN: DE37 7002 0270 0035 7049 81
BIC: HYVEDEMMXXX

Leitung Herstellung: Marion Stephan (1442)
Sonderdrucke: Alle in dieser Ausgabe erschienenen Beiträge können für Werbezwecke als Sonderdrucke hergestellt werden. Anfragen an Andreas Hofner, Tel. 089 25556-1450, E-Mail: AHofner@wekanet.de
Technik: JournalMedia GmbH, Richard-Reitzner-Allee 4, 85540 Haar
Druck: L.N. Schaffrath GmbH & Co. KG DruckMedien, Marktweg 42-50, 47608 Geldern

Urheberrecht: Alle in »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 Verlags. Aus der Veröffentlichung kann nicht geschlossen werden, dass die beschriebene Lösung oder verwendete Bezeichnung frei von gewerblichen Schutzrechten sind.
Haftung: Für den Fall, dass in »Elektronik« unzutreffende Informationen oder in veröffentlichten Programmen oder Schaltungen Fehler enthalten sein sollten, kommt eine Haftung nur bei grober Fahrlässigkeit des Verlags oder seiner Mitarbeiter in Betracht. Für unverlangt eingesandte Manuskripte, Fotos, Grafiken und Datenträger wird keine Haftung übernommen, Rücksendung erfolgt nicht.



70. Jahrgang, ISSN 0013-5658, Vertriebskennzeichen ZKZ 2594
© 2021 WEKA Fachmedien GmbH

LA ELFA
LESERANALYSE ELEKTRONIK-FACHMEDIEN

INSERENTENVERZEICHNIS

Coilcraft Inc. www.coilcraft.com	9
dataTec AG www.datatec.de	13
Digi-Key Electronics www.digkey.de	1, 2
EA Elektro-Automatik GmbH & Co. KG www.elektroautomatik.com	23
ept GmbH www.ept.de	3
GUDECO-Elektronik Handelsgesellschaft mbH www.gudeco.de	15
HKR Elektrotechnischer Gerätebau GmbH www.HKR.de	61
MOUSER Electronics Inc. www.mouser.de	21
Rutronik Elektronische Bauelemente GmbH www.rutronik.com	5
Schukat electronic Vertriebs GmbH www.schukat.com	65
Susumu Deutschland GmbH www.susumu.de	59
VEW Vereinigte Elektronikwerkstätten GmbH www.vew-gmbh.de	79
WAGO Kontakttechnik GmbH & Co. KG www.wago.com	11
WEKA FACHMEDIEN GmbH www.weka-fachmedien.de	25, 57, 69, 75, 77
Würth Elektronik eiSos GmbH & Co. KG www.we-online.de	80
YOKOGAWA Deutschland GmbH Test & Messtechnik www.tmi.yokogawa.com/de	19



**DIGITALE AUSGABEN AB
SOFORT ERHÄLTlich.**
shop.weka-fachmedien.de



Software-Stand-by-Modus verlassen wird, kehrt der Mikrocontroller in den Zustand zurück, in dem er sich kurz vor dem Wechsel in den Bereitschaftsmodus befand. Wenn der Schlafmodus verlassen wird und als Modus für die Stromversorgung EXFPWON oder MINPWON gewählt wurde, beginnt die CPU mit dem Abrufen von Befehlen aus dem SRAM.

Der Mikrocontroller geht in den Schlummermodus über, nachdem im Software-Stand-by-Modus ein SNOOZE-Event generiert wurde. Einige Peripheriekomponenten, wie z.B. der ADU oder USART, können in diesem Modus ohne Aktivieren der CPU arbeiten (**Bild 10**). Der Mikrocontroller verlässt den Schlummermodus und geht in den Software-Stand-by-Modus über, wenn ein SNOOZE-END-Event erzeugt wird. Wird ein SNOOZE-CANCEL-Event generiert, geht der Mikrocontroller in den Betriebsmodus. Der ADU kann z.B. für eine vorbestimmte Zeit im Schlummermodus arbeiten, wodurch die für die Messung einer analogen Spannung erforderliche Leistungsaufnahme weiter reduziert wird.

Bild 11 zeigt eine analoge Eingangsmessung unter Verwendung eines Timers und des A/D-Umsetzers im Schlummermodus. In diesem Beispiel startet der ADU eine Digitalisierung, ausgelöst durch einen periodischen Timer-Interrupt. Der Mikrocontroller verlässt den Schlummermodus, wenn das Ergebnis der A/D-Umsetzung nicht mit einem vorprogrammierten Fensterwert übereinstimmt.

Der Deep-Software-Stand-by-Modus ist der Zustand mit geringster Stromaufnahme. Die Stromversorgung für alle Bereiche außer der AWO-Domain wird abgeschaltet, wie **Bild 12** verdeutlicht. Eine minimale Anzahl von Funktionen, einschließlich SOSC (Secondary Oscillator), CCC (Sub-Clock Correction Circuit) und LVD (Low Voltage Detection), sind in diesem Modus verfügbar. Es wird ein energiesparendes Spannungsüberwachungssystem erzielt, da nicht nur ein externer Pin-Interrupt, sondern auch ein Interrupt von der Unterspannungserkennung den Deep-Software-Stand-by-Modus aufheben

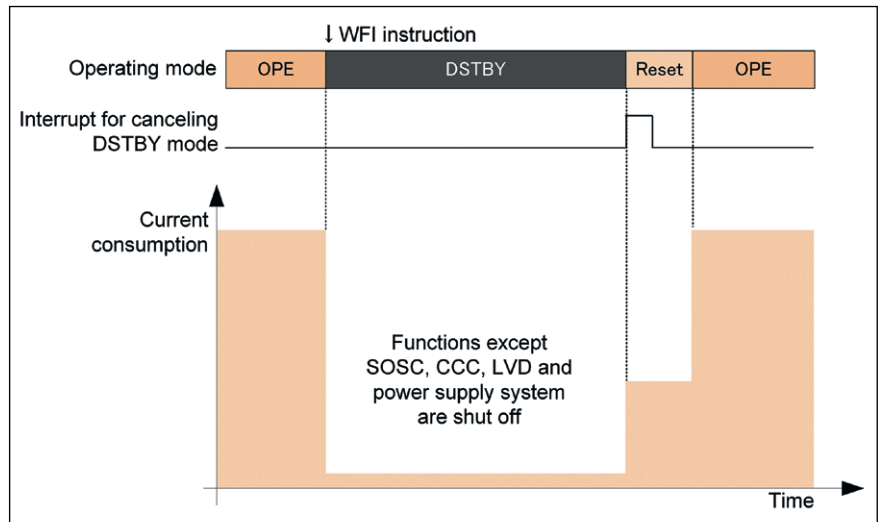


Bild 12. Im Deep-Software-Stand-by-Modus sind nahezu alle Funktionen des RE-Mikrocontroller abgeschaltet. Nur die Stromversorgung und SOSC (Secondary Oscillator), CCC (Sub-Clock Correction Circuit) und LVD (Low Voltage Detection) arbeiten noch. (Bild: Renesas Electronics)

kann. Ein Übergang in diesen Modus aus dem Boost-Modus ist nicht möglich. Wenn der Deep-Software-Stand-by-Modus abgebrochen wird, beginnt die Verarbeitung der Reset-Prozedur und der Mikrocontroller wacht im OPE-Betriebsmodus auf. Der Zustand des SRAM ist undefiniert und der Zustand der ausgeschalteten Peripheriefunktionen wird im Deep-Software-Stand-by-Modus nicht beibehalten. Daher ist nach dem Aufheben des Deep-Software-Stand-by-Modus eine Wiederherstellung des Ausgangszustands erforderlich.

NIEDRIGE LEISTUNGS-AUFNAHME SCHONT DIE BATTERIE

Die einzigartige Low-Power-Architektur des RE-Mikrocontrollers ermöglicht es den Anwendungen, »Zeit zu gewinnen« und die Einsatzdauer batteriebetriebener Geräte zu erhöhen. Die Bausteine der RE-Mikrocontrollerfamilie erreichen im Betrieb eine Stromaufnahme von nur 12 $\mu\text{A}/\text{MHz}$ und im Bereitschaftsbetrieb eine Stromaufnahme von nur 100 μA . Diese Werte für die Stromaufnahme in Kombination mit der Rechenleistung ermöglichen es, im ULPMark-CP-Benchmark des EEMBC (Embedded Microprocessor Benchmark Consortium) mit einem Wert von 705 einen Spitzenwert für Mikrocontroller

zu erreichen [1]. Erzielt wird dies durch die Fähigkeit des RE-Mikrocontrollers, für jede spezifische Anwendung und Funktion optimiert werden zu können, wodurch die Stromaufnahme reduziert und gleichzeitig die Rechenleistung für jeden Teil der Anwendung maximiert wird. HS

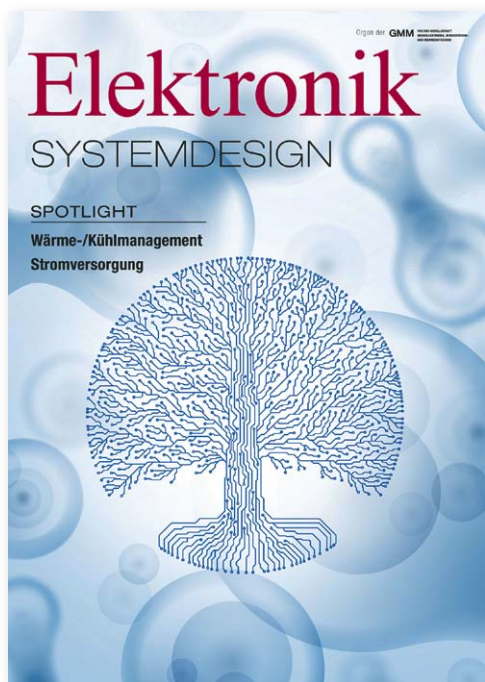
Literatur:

[1] Scores for ULPMark-CP and ULPMark-PP. Embedded Microprocessor Benchmark Consortium, Internetseite, www.eembc.org/ulpmark/scores.php



GRAEME CLARK

arbeitet seit mehr als 20 Jahren bei Renesas Electronics Europe und war zuvor bei Hitachi Electronics in verschiedenen Funktionen im Bereich Low-Power-Mikrocontroller tätig. In seiner aktuellen Position ist er für die Einführung der neuen SOTB-basierten Embedded-Mikrocontroller im europäischen Markt verantwortlich.



ELEKTRONIK 9/2021 ERSCHEINT AM 4. MAI

Die Zeiten, in denen einfache Systeme praktisch aus einem Komponentenbaukasten zusammengesetzt werden konnten, sind vorbei. Elektronische Systemdesigns werden immer komplexer und ihre Entwicklung immer herausfordernder. Die kommende *Elektronik*-Ausgabe beschäftigt sich deshalb mit der Frage eines modernen und zielführenden Software-Engineerings und Systemdesigns für heutige und zukünftige Embedded-Systeme. Passend zu diesem Kontext widmet die Redaktion zusätzlich zwei Schwerpunkte den Themen Wärme-/Kühlmanagement sowie Stromversorgung.

WERDEN SIE TEIL
UNSERER COMMUNITY!



DIE ELEKTRONIK-MEDIEN
AUCH ALS E-PAPER

<https://shop.weka-fachmedien.de>



AKTUELL INFORMIERT
IM NEWSLETTER

<https://newsletter.elektroniknet.de>

MESSEN UND VERANSTALTUNGEN

<https://www.weka-fachmedien.de/de/events/aktuelle-events/>



22. – 23. Juni 2021
ONLINE



29. – 30. Juni 2021
ONLINE



29. Juni 2021
ONLINE

Änderungen aus aktuellem Anlass möglich.

Jede ist zu ersetzen!

**Nicht mehr lieferbar?
Neuentwicklung und
Redesign von
Elektronikbaugruppen**

Vereinigte Elektronikwerkstätten GmbH
VEW
DIE ENTWICKLER

VEW-GmbH Edisonstr. 19 28357 Bremen
Fon.: 0421-271530 www.vew-gmbh.de

BE COOLER. STAY **MAPI!**



© 61505

WE meet @ digital days!

Nehmen Sie vom 26. bis 29. April 2021 teil:
www.we-online.de/digital-days

Die WE-MAPI ist eine der kleinsten gewickelten Metal-Alloy-Speicherdrosseln der Welt. Ihre Effizienz ist herausragend. In der 4020HT-Produktreihe ist sie jetzt verfügbar mit AEC-Q200 Klasse 0 Qualifikation für Betriebstemperaturen von -55°C bis $+150^{\circ}\text{C}$. Ab Lager verfügbar. Kostenlose Muster erhältlich.

Erfahren Sie mehr unter: www.we-online.de/WE-MAPI

Designen Sie Ihren Schaltregler in **REDEXPERT**, der weltweit genauesten Online Design Plattform zur Berechnung von Spulenverlusten.

- Hohe Strombelastbarkeit bis zu 10 A
- Geringe Spulenverluste
- Geringer RDC bis zu 6,5 m Ω
- Exzellente Temperaturstabilität von -55°C bis $+150^{\circ}\text{C}$
- Innovatives Design
- Exzellentes EMV-Verhalten

Die WE-MAPI
Produktpalette:

