

elektronik industrie

WAS ENTWICKLER WISSEN MÜSSEN

all-electronics.de 

05/2026

www.all-electronics.de
Mai 2026
D 19067

Energiearchitektur im Orbit

Wie Stromversorgungsarchitekturen
New-Space-KI-Missionen begrenzen

Seite 12

Power

Wie sich mit TEG-Modulen
ein Temperaturunter-
schied direkt in elektri-
schen Strom umwandeln
lässt. Seite 18

Aktuelle Trendthemen

Welche Chancen bringen
Materialien für Quanten-
computing, Quantensen-
sorik und Quantenkom-
munikation? Seite 34

Mess- und Sensortechnik

Wie verändert Bewe-
gungserfassung den In-
dustriemarkt durch IIoT,
Edge-KI, Sicherheit und
präzise Sensorik? Seite 54

Auf Tempo **ausgelegt**



Das Ziel unserer hochmodernen Einrichtung ist die schnellstmögliche Lieferung der von Ihnen benötigten Komponenten.

Entdecken Sie Millionen von Komponenten unter [digikey.de](https://www.digikey.de) oder rufen Sie uns an unter (+49) 30 915 884 91

DigiKey

we get technical

DigiKey ist ein autorisierter Distributor für alle Lieferpartner. Neue Produkte werden täglich hinzugefügt. DigiKey und DigiKey Electronics sind eingetragene Marken von DigiKey Electronics in den USA und anderen Ländern. © 2026 DigiKey Electronics, 701 Brooks Ave. South, Thief River Falls, MN 56701, USA

ECIA MEMBER
Supporting The Authorized Channel

EDITORIAL

Die neue Ära der „Lunar Electronics“

Als diese Ausgabe der elektronik industrie in unserer Redaktion in Arbeit war, schickte die Artemis-II-Mission gerade vier Astronauten um den Mond. Dabei stand weit mehr auf dem Prüfstand als nur die Antriebstechnik. Für Elektronik-Entwickler markiert diese Mission den endgültigen Übergang von der Ära spezialisierter, aber langsamer Rad-Hard-Prozessoren hin zu hochintegrierten, fehlertoleranten Systemarchitekturen, die „Deep Space“ und High-Performance Computing (HPC) vereinen.



Dr.-Ing. Nicole Ahner
Redaktionelle Leitung

Die Herausforderung im translunaren Raum ist gnadenlos: Außerhalb des Van-Allen-Gürtels ist die Elektronik des Raumschiffs hochenergetischen solaren Teilchen (SEP) und der galaktischen kosmischen Strahlung (GCR) ausgesetzt. Während wir auf der Erde über FIT-Raten (Failures in Time) im einstelligen Bereich diskutieren, kämpfen wir dort mit massiven Single-Event Effects (SEE). Ein Single-Event Upset (SEU) in einem SRAM-Zellen-Cluster oder ein Single-Event Latch-up (SEL) in einem Leistungsmosfet kann hier den Missionsverlust bedeuten.

Doch Artemis II zeigt einen Paradigmenwechsel: Anstatt nur auf beinahe schon antike, extrem teure Rad-Hard-Bausteine auf SOI-Basis (Silicon-on-Insulator) zu setzen, rückt Radiation-Hardening-by-Design (RHBD) auf Systemebene in den Fokus. Wir sehen den verstärkten Einsatz aktueller FPGAs und MPSoCs, die durch Triple Modular Redundancy (TMR) und Scrubbing-Mechanismen gegen Bit-Flips geschützt werden. Die Rechenlast für die autonome Navigation und die Lebenserhaltungssysteme ist so hoch, dass die sonst standardmäßig eingesetzten klassischen strahlungsfesten CPUs schlichtweg zu langsam sind.

Besonders spannend für die Leistungselektronik: Der Einsatz von Galliumnitrid (GaN). GaN-Transistoren weisen aufgrund ihrer Kristallstruktur eine intrinsische Re-

Willkommen in der neuen Ära der Weltraum-Elektronik. Der Mond ist erst der Anfang.

sistenz gegen Verschiebungs-Schäden (Displacement Damage) auf und zeigen keine Gate-Rupturen bei Schwerionenbeschuss, wie wir sie von Silizium-MOSFETs kennen. Das ermöglicht hocheffiziente, kompakte Point-of-Load-Wandler direkt am Verbraucher – ein kritischer Faktor bei der begrenzten Energiebilanz einer Mondkapsel. Ar-

temis II ist somit ein Technologietreiber für uns alle. Die Erkenntnisse über thermisches Management im Vakuum, die Alterung von Wide-Bandgap-Halbleitern unter Strahlung und die Zuverlässigkeit von High-Density-Interconnects (HDI)

unter extremen Vibrationslasten werden die Standards für High-Reliability-Elektronik auf der Erde neu definieren.

Auch in unserer Coverstory begeben wir uns ins Weltall, zwar nicht bis zum Mond, aber immerhin in den Low-Earth-Orbit. Und auch hier geht es um High-Tech, nämlich um Energiearchitekturen, die für KI-Anwendungen wesentlich sind. Willkommen in der neuen Ära der Weltraum-Elektronik. Der Mond ist erst der Anfang. Viel Spaß bei der Lektüre der elektronik industrie. ■

IHR KONTAKT ZUR REDAKTION
nicole.ahner@huethig-medien.de



Leistungsmodulare

entwärmen

Wir bieten Ihnen ausgereifte Lösungen für die Wärmeableitung Ihrer Leistungsmodulare. Unsere innovativen Kühlkonzepte leiten hohe Verlustleistungen effizient ab und sorgen für eine gleichbleibende thermische Effizienz.

Unser umfangreichen Standardsortiment ermöglicht uns Ihnen alle Artikel auch als kundenspezifische Ausführung nach Ihren Vorgaben anzubieten – und das bereits ab einem Stück.

Mehr erfahren Sie unter:
www.fischerelektronik.de/pow

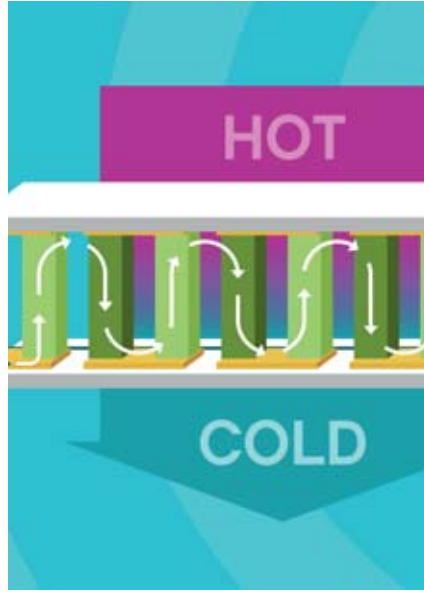
fischer
elektronik 
kühlen schützen verbinden



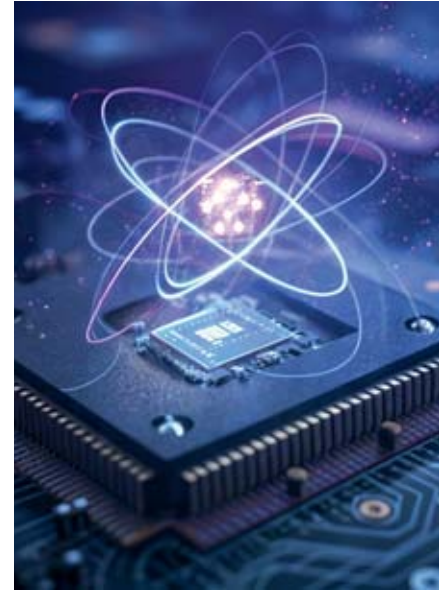
INHALT 05/2026



Energiearchitektur im Orbit: Wie Stromversorgungsarchitekturen New-Space-KI-Missionen einschränken. Seite 12



Wie sich mit TEG-Modulen ein Temperaturunterschied direkt in elektrischen Strom umwandeln lässt. Seite 18



Welche Chancen bringen Materialien für Quantencomputing, Quantensensorik und Quantenkommunikation? Seite 34

Märkte + Technologien

Kolumne Silicon Saxony

Fugen jikkō – Japan macht, statt zu reden 06

News und Meldungen 08

Veranstaltung: 20. Silicon Saxony Days 10

Coverstory

Energiearchitektur im Orbit

Wie Stromversorgungsarchitekturen New-Space-KI-Missionen einschränken 12

Power

Thermoelektrische Generatoren verstehen

Wie TEG-Module Wärme in Strom umwandeln 18

Industrielle Energieversorgung

Power Reliability für hohe Anlagenverfügbarkeit 22

SiC verbessert Effizienz von Leistungselektronik

EU-Projekt FastLane stärkt SiC-Wertschöpfung 24

Laserdioden-Versorgung in aktuellen Laseranlagen

Wenn Stromversorgung zur Systemarchitektur wird 28

Thermomanagement in der Elektronik

Effiziente Entwärmungskonzepte für mehr Sicherheit und Lebensdauer 30

Aktuelle Trendthemen

Grundlagen, Plattformen, Perspektiven

Materialien für Quantentechnologien 34

Zuverlässige Chip-Qualifizierung

Fehler in der IC-Qualifizierung vermeiden 38

Strategische Elektronik

Der Einfluss von Halbleitertechnik auf Verteidigungssysteme 42

Vom Prototyp zur Produktionsreife

Herausforderungen und Chancen humanoider Robotik 46

Mess- und Sensortechnik

Komponenten für die E-Mobilität

Stromsensoren für die Motorsteuerung in E-Fahrzeugen 48

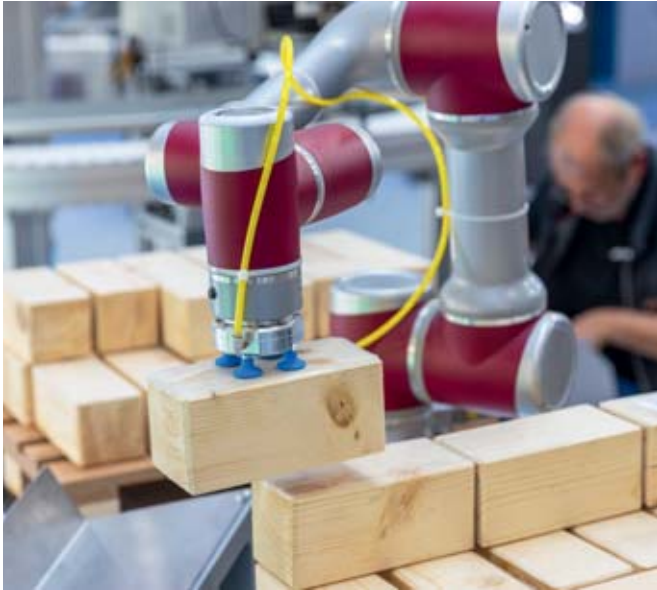
Modulare Testarchitekturen gewinnen an Bedeutung

Radartests in einem sich verschärfenden Umfeld 50

Titelseite gesponsert von Vicor.

Bild: Vicor





Wie verändert fortschrittliche Bewegungserfassung den Industriemarkt durch IIoT, Edge-KI, Sicherheit und präzise Sensorik? Ein detaillierter Überblick. Seite 54

Sensorik in der Industrie

Die Auswirkungen fortschrittlicher Bewegungserfassung im Industriemarkt

54

SPECIAL: Blickpunkt Schweiz

Elektronikentwicklung in der Schweiz 2026

Zwischen Stabilität, Anpassungsdruck und Innovation

56

Rubriken

Editorial	03
Hidden Champion	16
Neue Produkte	62
Impressum	65
Forschung + Entwicklung	66



Treffen Sie uns auf den 20. Silicon Saxony Days vom 15. bis 17. Juni 2026 am Flughafen Dresden! Die elektronik industrie und productronic organisieren das Sustainability Gate, bei dem sich alles um nachhaltige Elektronik von der Idee bis zum Recycling dreht. Seite 10

WÜRTH ELEKTRONIK
MORE THAN YOU EXPECT

ULTRA LOW LOSSES WE-MXGI



© e1505



Die WE-MXGI ist eine gemoldete Speicherinduktivität. Ihr innovatives Kernmaterial aus Eisenpulvergemisch, kombiniert mit einem optimierten Wicklungsaufbau, ermöglichen hohe Permeabilität und geringste R_{DC} -Verluste.

Bereit für das Design-In?
Unser technisches Vertriebsteam unterstützt Sie dabei. Muster erhalten Sie kostenlos.

www.we-online.com/WE-MXGI

Highlights

- Hoher Wirkungsgrad und Leistungsdichte
- Extrem niedrige R_{DC} - und AC-Verluste
- Magnetisch geschirmte Konstruktion
- Optimiert für hohe Schaltfrequenzen über 1 MHz

WE meet @ PCIM Europe
Halle 6 - 306

#UltraLowLosses



Fugen jikkō – Japan macht, statt zu reden

In Japan beginnt der Frühling mit dem Hanami, dem gemeinsamen Betrachten der Kirschblüten – ein Ritual, das Vergehen und Erneuerung zugleich feiert. Wer auf die japanische Halbleiterindustrie blickt, begegnet einem ähnlichen Gefühl: Bewusstsein für vergangene Größe und Wille zum Neuanfang. Anders als in Europa ist dies keine Ankündigung, sondern gelebte Praxis.

Die Japaner haben dafür einen Begriff: fugen jikkō (不言実行), sinngemäß „Handeln ohne große Worte“. In Deutschland haben wir eine Mikroelektronikstrategie und einen Aufruf im Rahmen des EU Chips Act, dessen Einreicher seit fast anderthalb Jahren auf Entscheidungen warten. In Japan sieht man Kräne und Pilotlinien: JASM produziert seit Ende 2024 in Kumamoto, in Chitose fährt Rapidus seine 2-nm-Pilotlinie hoch.

Rapidus: Ein nationaler Kraftakt wird real

Vor vier Jahren klang es noch fast absurd: Japan wolle bis 2027 2-nm-Chips in Serie fertigen, obwohl seine modernsten Kapazitäten bei 40 nm lagen – mehrere Generationen zurück. Heute klingt es anders.

Rapidus, das 2022 gegründete Foundry-Startup, demonstrierte im Juli 2025 erstmals funktionsfähige 2-nm-GAA-Transistoren in Chitose. Die EUV-Belichtung läuft, erste Kunden erhalten Process Design Kits. Anfang 2026 sicherte sich das Unternehmen 267,6 Milliarden Yen – rund 1,7 Milliarden US-Dollar – von Regierung und 32 Privat-

unternehmen, darunter Sony, Toyota und SoftBank. Die Massenproduktion ist weiter für 2027 geplant. Risiken bleiben: Rapidus produziert erst rund 7.000 Wafer pro Monat, TSMC ein Vielfaches. Der Weg zur wirtschaftlichen Produktion ist teuer und bisher nur von drei Unternehmen weltweit beschritten worden. Und doch: Japan redet nicht mehr nur über Technologiesouveränität. Es baut sie.

Stärken stärken, Lücken schließen

Parallel dazu läuft die Konsolidierung der Leistungshalbleiter-Industrie: Ende März 2026 unterzeichneten Rohm, Toshiba und Mitsubishi Electric ein Memorandum of Understanding, um ihre Power-Semiconductor-Sparten zusammenzuführen. Zusammen halten die drei rund 7,5 Prozent des globalen Marktes – als gemeinsame Einheit wären sie der zweitgrößte Anbieter weltweit, hinter Infineon. Denso's Interesse an Rohm verkompliziert die Lage, aber die Richtung ist klar: Japan bündelt fragmentierte Kapazitäten, um gegen chinesischen Volumendruck und westliche Technologieführer zu bestehen.

Das Bemerkenswerte: Japan versucht beides gleichzeitig – seine Stärken bei Automotive-Chips, SiC-Leistungselektronik und Spezialkomponenten ausbauen und zugleich die Lücke bei Hochleistungslogik schließen. In Europa werden beide Wege oft als sich ausschließende Alternativen diskutiert. Japan zeigt, dass das falsch ist.

„Japan stärkt seine Stärken und schließt gleichzeitig seine Lücken – eine Unterscheidung, die Europa noch lernen muss zu überwinden.“



Frank Bösenberg, Geschäftsführer bei Silicon Saxony

Bild: Silicon Saxony

Zwei Industrienationen, ein Spiegel

Die Parallelen zwischen Deutschland und Japan werden zu selten erwähnt. Beide sind exportorientierte Industrienationen mit starker Automobilindustrie und mittelständischer Zulieferstruktur. Beide verloren in den 1990er-Jahren den Anschluss an die führenden Logik-Chipknoten, bewahrten aber Stärken in Materialien, Anlagentechnik und Spezialchips. Beide ringen mit der Frage: Wie viel Souveränität können wir uns leisten – und wie viel nicht leisten zu verpassen?

Der Unterschied liegt weniger in der Analyse als in der Konsequenz. Zwischen 2021 und 2023 mobilisierte Japan rund 25,7 Milliarden US-Dollar an Subventionen – 0,71 Prozent des BIP. Deutschland lag bei 0,41 Prozent. Entscheidend ist, was damit geschieht: Japan lenkt Mittel direkt in operative Strukturen und fördert Konsolidierung aktiv, deutsche Unternehmen warten teils seit über einem Jahr auf Förderbescheide.

Das ist kein Aufruf zur blinden Nachahmung – Japan hat eigene Baustellen: Energiekosten, Backend-Lücken, Fachkräftemangel. Aber die Grundhaltung – Strategie formulieren, konsequent umsetzen und anpassen – lohnt studiert zu werden.

Analysten sehen Japan in der Lage, bis Anfang der 2030er-Jahre einen bedeutenden Anteil am Markt für Leading-Edge-Logik zu halten. Das sollte auch Deutschland nicht gleichgültig sein – nicht als Konkurrent, sondern als möglicher Partner. In Materialien, Anlagentechnik und Spezialprozessen gibt es mehr Gemeinsamkeiten als Reibungsflächen. Japan zeigt: Erneuerung ist möglich, wenn Strategie und Umsetzung zusammenfinden. (bs) ■

Electronics with Your Name

INCAP



incapcorp.com



Kennen Sie Otto?

Otto Pukk steht mit Incap für Ihre individuelle Elektronik nach höchsten Qualitätsstandards. Wir entwickeln und produzieren komplexe Elektronik in Deutschland, Europa und der Welt – für Sie.



Design & Engineering

von der ersten Idee, Prototyping über Hard- und Softwareentwicklung zu Industrial Engineering



EMS-Produktion

Kabelkonfektionierung, Leiterplattenbestückung, Geräte- und Systembau mit Qualitätssiegel



Globale Services

intl. Beschaffung, Life-Cycle und umfassendes Projektmanagement an elf Standorten in Europa, den USA, Indien und China

Lernen wir uns kennen

+49 8131 591-0 • salesgermany@incapcorp.com

ZVEI-Umfrage zeigt technologische Aufbruchstimmung Elektro- und Digitalindustrie setzt auf industrielle KI

Wie eine aktuelle ZVEI-Mitgliederbefragung zeigt, verändern industrielle KI-Anwendungen die Unternehmen in hohem Maße. Denn nahezu alle Unternehmen befassen sich mit industrieller KI und wollen Wachstumschancen nutzen. Folglich planen sie hohe Investitionen. Mehr als die Hälfte der Befragten kann dies bereits konkret quantifizieren und will zwischen 10 und 25 Prozent der Gesamtinvestitionen für industrielle KI aufwenden. Dabei gehen 60 Prozent der Unternehmen davon aus, dass sich diese Investitionen nach spätestens ein bis zwei Jahren wirtschaftlich auszahlen.

Bevor sich das Potenzial von industrieller KI aber vollends entfalte, müssten die Unternehmen noch Hausaufgaben erledigen, mahnt ZVEI-Präsident Dr. Gunther Kegel an. Weiterhin sei die Bereitschaft zum Datenteilen entlang der Wertschöpfungskette unzureichend. Die Umfrage lässt erkennen, dass kleine Unternehmen hier besonders zurückhaltend sind. Knapp 80 Prozent teilen ihre Daten bisher nicht; bei den Großen sind es nur 10 Prozent.

Ohne mehr gezieltes Datenteilen, das den Schutz von Know-how im Unternehmen wahrt und zugleich entstehende Wertschöpfung fair verteilt, würde das Potenzial industrieller KI unausgeschöpft bleiben und der deutsche und europäische Industriestandort gegenüber China an Stärke verlieren, dem größten Wettbewerber bei in-

dustrieller KI laut Umfrage. Passen müsse aber auch der rechtliche Rahmen. KI-Regulatorik im EU AI Act müsse industrietauglicher werden, damit die hiesige Industrie ihre Stärken im globalen Wettbewerb ausspielen kann.

Aber auch in vielen anderen Bereichen drückt die Last überbordender Regularien. Hier sei Bundesregierung im Obligo und müsse den Reformstau endlich auflösen, um die überfällige Effizienzwende beherzt umzusetzen. Deutschland brauche mehr Freiheit für Unternehmergeist: niedrigere Steuern, kein unnötiges „Gold Plating“ wie beim Lieferkettensorgfaltsgesetz und konsequentes Weiterverfolgen der Elektrifizierung, um resilienter zu werden.

Das ergebe sich aus der geopolitischen Weltlage und sei insbesondere deshalb wichtiger denn je, weil Deutschland die dafür erforderlichen Hebel selbst in der Hand halte. Unter der Voraussetzung, dass sich die Lage im Iran im zweiten Quartal normalisiert, hält der ZVEI an der Jahresprognose für 2026 fest. Der Verband erwartet demnach ein reales Produktionsplus von 2 Prozent. Bislang lägen die Auftragsgänge der Branche über den Vorjahreswerten. Abzuwarten blieben aber die Effekte des Irankrieges, die in den ausgewerteten Daten noch keinen Niederschlag finden. „In diesen weltpolitisch herausfordernden Zeiten erkennen wir den hohen Wert des EU-Binnenmarkts. Hier



spiegelt sich ein auffällig starker Anstieg, während das Geschäft mit dem Rest der Welt schwieriger wird“, betont Dr. Kegel. Europa müsse alles daransetzen, die eigene Wettbewerbsfähigkeit und Resilienz zu stärken.

Europa und Deutschland stehen vor der Aufgabe, ihre Verteidigungsfähigkeit eigenständig zu gewährleisten. Dabei wird deutlich: Diese entsteht nicht mehr nur bei den klassischen Systemhäusern der Sicherheits- und Verteidigungsindustrie (SVI), sondern entlang der gesamten industriellen Wertschöpfungskette. Der notwendige Hochlauf zur Verteidigungsfähigkeit erfordert eine breite industrielle Basis. Der Elektronikanteil an Verteidigungsgütern steigt kontinuierlich – von rund 10 Prozent im Jahr 2000 auf perspektivisch rund 25 Prozent im Jahr 2035.

Spin-Qubits vom Labor in die Produktion Imec koordiniert Quanten-Pilotlinie

Die Anwendungen der Quanteninformatik reichen von der Arzneimittelforschung und der Materialwissenschaft bis hin zu extrem sicherer Kommunikation und Navigationssystemen der nächsten Generation. Zwischen der aktuellen Quantenforschung und der Herstellung von Quantenprozessoren klafft jedoch noch eine Lücke. Die Skalierung der Anzahl stabiler Qubits (auf bis zu einer Milliarde) ist der Schlüssel zum Bau zuverlässiger und fehlertoleranter Quantencomputer.

Anbetrachts der technologischen Komplexität, die unter anderem einen kryogenen Betrieb, hochpräzise Steuerelektronik und hochspezialisierte Herstellungsprozesse umfasst, und der strategischen Bedeutung von Quantenchips entstand im Rahmen des EU-Chip Acts sechs komplementäre Quanten-Pilotlinien, die sich jeweils auf eine bestimmte Hardware-Plattform konzen-



trieren. Innerhalb dieses Portfolios befasst sich die Pilotlinie SPINS mit halbleiterbasierenden Spin-Qubits und fokussiert auf die Entwicklung von Quantenchips für Quantencomputeranwendungen. Das Forschungszentrum imec koordiniert diese Pilotlinie und leitet das europäische Konsortium von 25 Partnern aus Forschungseinrichtungen wie Fraunhofer, VTT und

CEA-Leti, aus der Industrie (sowohl Großunternehmen wie Infineon und Siltronic als auch KMU und Start-ups) und aus akademischen Gruppen (wie der TU Delft und der Universität Jyväskylä).

Zu den ersten Projekten des Konsortiums gehören Prozess- und Designoptimierung, um eine robuste Grundlage für skalierbare, stabile und leistungsstarke Spin-Qubits auf drei verschiedenen Technologieplattformen zu schaffen: Si/SiGe, Ge/GeSi und SOI. SPINS zielt darauf ab, diese Technologie über Multi-Project-Wafer (MPW) und standardisierte Quanten-Prozessdesign-Kits (PDKs) vom Labor in die Produktion zu überführen, um die Eintrittsbarrieren für Start-ups und KMUs in der halbleitenden Quantentechnologie zu senken und die Grundlage für europäische Unternehmen zu schaffen, frühzeitig Quanten-Know-how aufzubauen.

Halbleiter für die Elektromobilität Bosch führt dritte SiC-Chip-Generation ein

Bosch hat mit der Einführung seiner dritten Generation von SiC-Chips begonnen und beliefert international tätige Automobilhersteller bereits mit Mustern. Die Halbleiter aus Siliziumkarbid sind für den Einsatz in Elektrofahrzeugen vorgesehen und sollen dort den Energiefluss in der Leistungselektronik steuern.

Nach Unternehmensangaben erreicht die neue Generation eine um 20 Prozent höhere Performance als die Vorgängerversion. Gleichzeitig fallen die Chips kleiner aus.

Dadurch lassen sich mehr Bauteile pro Wafer herstellen, was sich auf die Wirtschaftlichkeit der Produktion auswirken kann.

Bosch positioniert sich mit der neuen SiC-Chip-Generation in einem Markt, der in den kommenden Jahren deutlich wachsen dürfte. Als einer der wesentlichen Treiber gilt dabei die Elektromobilität. Entwicklung und Produktion der dritten SiC-Chip-Generation erfolgen im Werk Reutlingen auf 200-Millimeter-Wafern.



Bild: Bosch / MARTIN STOLLBERG

AMA-Branchenumfrage 2025 Sensorik und Messtechnik stabilisiert sich

Die Sensorik- und Messtechnikbranche hat sich 2025 leicht stabilisiert, bleibt aber in einem weiterhin anspruchsvollen Marktumfeld. Nach Angaben des AMA Verbands für Sensorik und Messtechnik stiegen die Umsätze im vierten Quartal 2025 gegenüber dem Vorquartal um 1 Prozent. Im Vergleich zu Q4 2024 ergibt sich ein Plus von 11 Prozent. Der Auftragseingang legte um 2 Prozent zu. Mit einem Book-to-Bill-Ratio von 0,96 zeigt sich jedoch weiterhin nur eine verhaltene Nachfrageentwicklung. Bereits im dritten Quartal 2025 hatte sich eine Verbesserung abgezeichnet. Damals erhöhten sich Umsatz und Auftragseingang jeweils um 7 Prozent gegenüber dem Vorquartal. Gleichzeitig blieb die Entwicklung innerhalb der Branche uneinheitlich. Der Exportanteil der Branche lag 2025 bei 50 Prozent, davon entfielen 31 Prozent auf europäische Märkte. Europa bleibt damit eine zentrale Absatzregion für die Unternehmen der Sensorik und Messtechnik. Zugleich richtet sich der Blick verstärkt auf Indien. 48 Prozent der befragten AMA-Mitglieder planen, ihre Aktivitäten dort auszubauen. Neben der Nachfrageentwicklung in den Anwenderindustrien dürften 2026 vor allem regulatorische Vorgaben, IT-Sicherheit und die Erschließung neuer Märkte die weitere Entwicklung prägen. An Bedeutung gewinnt außerdem die Vorbereitung auf den EU Cyber Resilience Act.

Ihr **B2B** Partner

Ja! Wartung beschleunigt. Mit Conrad.

Passende Ersatzteile schnell geliefert 

conrad.de/ja-momente

Silicon Saxony Days 2026

Sustainability Gate für mehr Nachhaltigkeit

Mit dem Sustainability Gate erhält Nachhaltigkeit bei den Silicon Saxony Days vom 15. bis 17. Juni 2026 einen eigenen Rahmen. Der Schwerpunkt verbindet Regulierung, Entwicklung, Fertigung sowie Recycling und zeigt, wie stark das Thema die Elektronikindustrie inzwischen prägt.

Die Silicon Saxony Days in Dresden stehen seit Jahren für den Austausch über technologische Entwicklungen in der Mikroelektronik. Unternehmen, Forschungseinrichtungen, Verbände und Dienstleister nutzen die Veranstaltung, um über Fertigung, Design, Software und strategische Perspektiven der Branche zu sprechen. 2026 rückt dabei ein Thema stärker in den Vordergrund, das viele Unternehmen inzwischen auf mehreren Ebenen beschäftigt: Die Nachhaltigkeit, die mit dem Sustainability Gate innerhalb der Veranstaltung einen eigenen, klar erkennbaren Schwerpunkt erhält.

Das ist vor allem deshalb bemerkenswert, weil Nachhaltigkeit in der Elektronik längst über allgemeine Umweltfragen hinausgeht. Sie betrifft regulatorische Anforderungen ebenso wie Entwicklungsentscheidungen, Fertigungsprozesse und den Umgang mit Materialien am Ende des Produktlebens. Fragen nach Energieeinsatz, Ressourceneffizienz, Reparierbarkeit, Kreislauffähigkeit und Dokumentationspflichten greifen heute unmittelbar in die technische und organisatorische Praxis ein. Dass die Silicon Saxony Days diesem Themenfeld einen eigenen Rahmen geben, verweist auf diese Entwicklung.

Ausgerichtet von den Fachzeitschriften *productronic* und *elektronik industrie*, ist das Sustainability Gate vom 15.-17.06.2026 als eigenständiger Schwerpunkt über die drei Veranstaltungstage der Silicon Saxony Days 2026 hinweg angelegt. Es reicht von gesetzlichen Vorgaben und Nachhaltigkeitsmanagement über Entwicklung und Prototyping bis hin zu Fertigung und Recycling elektronischer Baugruppen. Damit wird Nachhaltigkeit nicht auf Einzelmaßnahmen verengt, sondern als Aufgabe entlang der gesamten Wertschöpfung betrachtet.

Gerade dieser Ansatz macht das Format interessant. In der Elektronik entscheidet sich Nachhaltigkeit nicht an einer einzelnen Stelle, sondern in vielen Phasen gleichzeitig. Bereits in der Entwicklung werden wichtige Grundlagen gelegt, etwa durch Materialwahl, Konstruktionsprinzipien oder die Frage, wie langlebig und reparierbar ein Produkt später sein kann. In der Fertigung kommen Themen wie Energieverbrauch, Prozessstabilität, Chemikalieneinsatz und Materialeffizienz hinzu. Am Ende rücken Rückgewinnung, Wiederverwertung und Kreislaufwirtschaft in den Blick. Das Sustainability Gate greift diese Zusammenhänge auf und ordnet sie in einen gemeinsamen Kontext ein.

Für viele Unternehmen dürfte genau das relevant sein. Das grundsätzliche Problembewusstsein ist in der Regel vorhanden, schwieriger ist oft die praktische Umsetzung. Regulatorische Vorgaben nehmen zu, Nachweispflichten wachsen, zugleich müssen Prozesse wirtschaftlich bleiben und technische Anforderungen erfüllt werden. Nachhaltigkeit muss in bestehende Abläufe integriert werden, ohne Themen wie Qualität, Zuverlässigkeit und Wettbewerbsfähigkeit aus dem Blick zu verlieren. Dafür sind Praxisbeispiele und der Austausch zwischen unterschiedlichen Akteuren wichtiger als abstrakte Zielbeschreibungen. Damit verleiht das Sustainability Gate einem Thema Sichtbarkeit, das für die Elektronikindustrie zum festen Bestandteil technischer und betrieblicher Entscheidungen wird. (prm) ■

Das Sustainability Gate der Silicon Saxony Days beleuchtet umweltbewusste Elektronik entlang der gesamten Wertschöpfungskette.

Bild: the james - stock.adobe.com



Update des Smart-Home-Standards Matter 1.5.1 erweitert Kamera- und Türklingelfunktionen

Die Connectivity Standards Alliance hat mit Matter 1.5.1 ein inkrementelles Update des Smart-Home-Standards vorgelegt, das vor allem auf Kameras, Videotürklingeln und angrenzende Gerätetypen zielt. Die Grundlage dafür wurde mit Matter 1.5 geschaffen. Seit November 2025 sind Kameras offiziell Teil der Spezifikation, inklusive WebRTC basierter Audio und Videoübertragung, lokalem und entfernten Zugriff über STUN und TURN sowie zugehörigen Kamera- und Türklingel-Bausteinen im offenen Matter-Umfeld.

Technisch relevant ist vor allem die Weiterentwicklung des Streamings. Matter 1.5.1 soll mehreren Empfängern oder Diensten parallel angepasste Video- und Audioströme bereitstellen, ohne für jede Nutzung einen vollständig separaten Stream aufzubauen. Damit lassen sich etwa ein hochauflö-



Bild: Sergey - stock.adobe.com

sender Stream für Aufzeichnung, ein kleinerer Stream für mobile Clients sowie ein weiterer Stream für Analysefunktionen parallel aus einer geordneten Sitzung ableiten. Für Kamerahersteller ist das wichtig, weil Bandbreite, Session Management und Interoperabilität zwischen Kamera, Controller und Cloud-Diensten damit beherrschbarer werden. Die Camera-AV-Stream-Management-Architektur ist im Matter Umfeld bereits angelegt und wird im offenen SDK aktiv weitergeführt.

Messe EFX 2026

Neues Branchenevent nimmt Gestalt an

Wenige Monate vor dem Start der EFX in Stuttgart gewinnt das neue Event für die Elektronikfertigung klarere Konturen. Bereits über 100 Aussteller haben ihre Teilnahme zugesagt und präsentieren Lösungen entlang der gesamten Prozesskette. Diese reicht von Leiterplatten, Material-

ien und Bestückungstechnik über Löt- und Prüftechnologien bis zu Software für digitale Produktion. Ergänzt wird das Spektrum durch EMS-Dienstleister sowie Themen wie Nachhaltigkeit und Kreislaufwirtschaft. Die EFX findet vom 6. bis 8. Oktober 2026 in Stuttgart statt.



Sie designen. Wir liefern.

Die neuesten Produkte für Ihre neuesten Designs.™



**MOUSER
ELECTRONICS**

mouser.de/new



Bild: Vicor

Energiearchitektur im Orbit

Wie Stromversorgungsarchitekturen New-Space-KI-Missionen einschränken

Die steigende Rechenleistung von KI-Nutzlasten im Orbit verschiebt die Anforderungen an die Energieversorgung. Stromversorgungsarchitekturen werden zunehmend zum entscheidenden Faktor für Effizienz, Stabilität und die technische Umsetzbarkeit aktueller Missionen.

Satellitenentwickler haben eine Schwelle überschritten. Es geht nicht mehr darum, mehr digitale Signalverarbeitung (DSP) in den Orbit zu bringen – es kommen Bordrechner zum Einsatz, die mit terrestrischen Edge-Servern konkurrieren und KI-Inferenz, adaptives Beamforming, dynamisches Spektrummanagement und Echtzeitanalysen mit Hunderten von TOPS

ausführen. An diesem Punkt ist die Grenze der Missionsfähigkeit nicht mehr das Datenblatt des Prozessors, sondern die Frage, ob die Stromversorgungsarchitektur in einem kleinen, thermisch begrenzten und strahlungsexponierten Gehäuse Subvolt-Spannungen mit Hunderten von Ampere und einem Einschwing-/Transientenverhalten im Mikrosekundenbereich bereitstellen kann.

Herkömmliche Stromversorgungstopologien für die Raumfahrt wurden nicht für diesen Bereich konzipiert. Sie gingen von einer moderaten Stromdichte, langsamen Lastschritten und statischen Betriebsprofilen aus. KI-Workloads verstoßen gegen alle drei Annahmen gleichzeitig. Das Ergebnis ist eindeutig: Bei herkömmlichen Bus- und Point-of-Load-/PoL-Konfigurationen wird oft die Stromversorgung – und nicht die Rechenleistung – zum limitierenden Faktor für New-Space-Missionen, die auf KI-Verarbeitung abzielen.

Rechenleistung im Orbit

Von aktuelleren LEO-Nutzlasten wird erwartet, dass sie an Bord Inferenz, Komprimierung, Routing und autonome Steuerung durchführen, was früher ausschließlich am Boden ausgeführt wurde. Um dies effizient zu bewerkstelligen, setzen Entwickler auf Ultra-Deep-Submicron-FPGAs, adaptive Rechenbeschleunigungsplattformen und kundenspezifische ASICs, deren Core-Spannungen auch bei steigendem Strombedarf weiter sinken.

Der Spacechips A11-Transponder bietet einen konkreten Stresstest für jede Stromversorgungsarchitektur. Die strahlungsresistente, KI-fähige Prozessorkarte stellt einen KI-Durchsatz von bis zu 133 TOPS im Orbit bereit. Signalverarbeitung und maschinelles Lernen (ML) finden direkt im Orbit statt und nicht am Boden. Die Haupt-KI-Schiene arbeitet bei etwa 0,8 V mit einem Strom im Zeitbereich von 130 bis 150 A – genau in dem Bereich, in dem herkömmliche Bus-plus-PoL-Infrastrukturen ineffizient und schwer zu kühlen sind.

Die Last ist nicht unproblematisch. KI-Beschleuniger wechseln zwischen Leerlauf-, Inferenz- und Burst-Modus und erzeugen dabei schnelle, diskontinuierliche Stromstöße. Spannungsabfall, Überspringen oder Rauschen in dieser Umgebung führen direkt zu gedrosselten Taktraten, reduzierten Sicherheitsmargen und ungenutzter Rechenleistung. Da die lokale Entkopplung durch Volumen, Masse und die Zuverlässigkeit von MLCCs begrenzt ist, muss das vorgelagerte Stromversorgungsnetz die Hauptlast bei der transienten Reaktion tragen.

System- und Umgebungsbeschränkungen

Im New Space sind die üblichen Designparameter fest miteinander verknüpft. Um die Startkosten zu kontrollieren, werden die Plattformen kleiner. Kleinere Satelliten verbrauchen weniger Energie, obwohl der Energiebedarf durch die Arbeitslasten steigt. Jedes in der Stromversorgungskette verschwendete Watt ist ein Watt, das der Nutzlastfunktion verloren geht, und die Betreiber sind zunehmend weniger bereit, diese Marge zu opfern.

Thermisch gesehen belastet eine hohe Stromdichte das Stromversorgungsnetz (PDN). I^2R -Verluste in Leiterbahnen, Durchkontaktierungen und Kabelbäumen steigen mit dem Quadrat des Stroms. Kupfer, das bei einigen 10 A akzeptabel war, wird bei Hunderten Ampere zu einer erheblichen Wärmequelle. Eine Zwangslüftung kann hier nicht Abhilfe schaffen. Die gesamte Abwärme muss durch die Struktur geleitet und abgestrahlt werden, sodass sich PDN-Verluste in Form von mechanischen und massenbezogenen Nachteilen mit größeren Kühlkörpern, schwereren Leitungswegen und aufwendigeren Gehäusen bemerkbar machen.



Strahlung verschärft die Anforderungen. Die durch die Gesamtdosis ionisierender Strahlung verursachten Parameterverschiebungen werden die ohnehin schon knappen Spannungsreserven bei Schienen unter 1 V noch weiter verringert. Fallen Einzelereigniseffekte mit Lasttransienten zusammen, entstehen Worst-Case-Bedingungen, sobald das System am stärksten beansprucht wird. Leistungselektronik muss daher der für LEO- und MEO-Missionen typischen Strahlenbelastung standhalten, aber ohne die mit vollständig strahlungsfesten Sonderlösungen verbundenen Mehrkosten, zusätzliches Gewicht und Verzögerungen im Zeitplan mit sich zu bringen.

Herkömmliche Stromversorgungsarchitekturen

Die meisten herkömmlichen Designs folgen einem bekannten Muster: Ein isolierter DC/DC-Wandler regelt die Spannung auf den internen Bus im Raumfahrzeug herunter; eine Low-Voltage-/LV-Verteilerebene verzweigt die Spannung; lokale PWM-PoL-Regler erzeugen die endgültigen Core-Spannungen in der Nähe der Last. Bei moderaten Strom- und Spannungswerten ist dies praktikabel. Bei 0,8 V und >100 A wird es kontraproduktiv.

Verteilungsverluste skalieren mit dem Quadrat des Stroms. Das Durchleiten von Hunderten von Ampere selbst durch sorgfältig optimierte Ebenen erzeugt eine nicht unerhebliche I^2R -Erwärmung und einen Spannungsabfall von mehreren 10 mV, den sich Entwickler nicht leisten können.

- Hartgeschaltete PoLs erzeugen einen hohen Anteil an Oberwellen, der eine aggressive Filterung erfordert – mehr Induktivitäten, mehr Kapazitäten und mehr Kupfer – was wiederum die Impedanz erhöht und die Stromschleifen verlängert.
- Klassische Regelkreise stoßen bei tiefen, schnellen Lastsprüngen an ihre Grenzen. Entwickler sind gezwungen, das Problem mit großen Kondensatorbänken mit niedrigem ESL-Wert abzumildern. Dabei müssen sie Kompromisse bei Größe, Gewicht und Leistung eingehen, ohne dennoch ein ideales Transientenverhalten zu erzielen.
- Ab einem bestimmten Punkt ist der Versuch, diese Architektur zu reparieren, wirkungslos. Die Struktur selbst ist für die Last schlecht geeignet.

Bild 1: Stromvervielfachung trennt die Funktionen der DC/DC-Wandlung in unabhängige Leistungsmodulare. Die strahlungstolerante Topologie von Vicor unterteilt die Leistungswandlung in drei Bereiche: Spannungswandlung und -isolierung (BCM), Lastspannungsregelung (PRM) und Stromversorgung (VTM).

Bild: Vicor

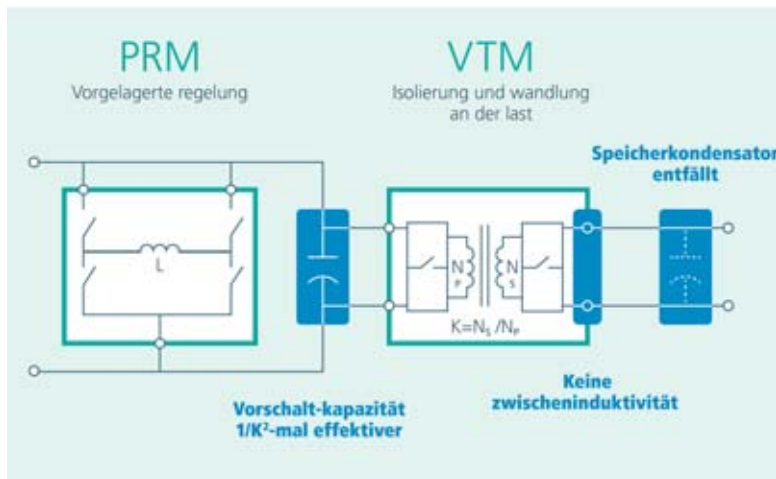


Bild 2: Energiespeicherung in einer faktorisierten Stromversorgungssystemarchitektur. Da die Spannungswandlung mit kompaktem Formfaktor nahe an der Last erfolgt, haben die Entwickler mehr Flexibilität bei der Platzierung und den Bauteilwerten gewonnen.

Bild: Vicor

Stromvervielfachung und faktorisierte Leistungsarchitektur

Spacechips entschied sich, die alte Topologie zu ersetzen, anstatt zu versuchen, sie zu optimieren. Das Unternehmen ging eine Partnerschaft mit Vicor ein, um einen Ansatz zur Stromvervielfachung mithilfe der Factorized Power Architecture (FPA) von Vicor und strahlungsresistenter Module zu implementieren, die speziell auf LEO- und MEO-Missionen ausgerichtet sind. Die Vicor FPA unterteilt die Leistungswandlung bewusst in zwei unterschiedliche Funktionen:

- Ein PRM-Regler erzeugt aus einem isolierten BCM-Buswandler eine präzise geregelte Zwischenspannung. Im A11 wandelt ein strahlungstoleranter BCM 100 V um ein Drittel auf 33 V ab und liefert mehrere 100 W bei hohem Wirkungsgrad. Ein weiterer PRM regelt die Schiene auf einen für die Last optimalen Zwischenbus.
- Ein VTM-Stromvervielfacher befindet sich in unmittelbarer Nähe des Prozessors und wandelt die Zwischenspannung direkt auf den 0,8-V-AI-Core um, während er den Strom um das 32-Fache vervielfacht. Bei gleicher Leistung verringert eine erhöhte Verteilungsspannung den Strom und damit die I^2R -Verluste um das Quadrat des Spannungsverhältnisses. Ein Beispiel: Die Bereitstellung derselben Leistung über einen 100-V-Bus anstelle eines 12-V-Busses reduziert den Strom um etwa das 8,3-Fache und die idealisierten Kupferverluste um etwa das 69-Fache (bei gleichem Leiterwiderstand). In der Praxis verwenden Stromversorgungssysteme in Raumfahrzeugen einen 28-V-Bus. New-Space-Designs mit höherer Leistung setzen zunehmend erhöhte Busspannungen wie 100 V ein, um die Verteilungsverluste weiter zu reduzieren. Schon der Wechsel von 12 V auf 28 V senkt den Verteilungsstrom um etwas mehr als die Hälfte und den I^2R -Verlust um etwa das 4- bis 5-Fache, während der Schritt von 28 V auf 100 V bei gleicher Leistung eine weitere Reduzierung des Stroms um etwa das 3,6-Fache und des ohmschen Verlusts um etwa das 13-Fache bewirkt. Dies ist der Unterschied zwischen einer überhitzten Backplane und einem effizienten thermischen Design.

Beispiel: 100 V auf 33 V auf 0,8 V

Um die Auswirkungen auf die Architektur greifbar zu machen, betrachten wir einen repräsentativen Fall, der

mit dem A11-Strompfad übereinstimmt: einen 100-V-Bus in einem Raumfahrzeug, der zwei AI-Schienen speist: eine mit 0,8 V, die andere mit 3,3 V, jeweils geliefert von einem 150-W-VTM für insgesamt 300 W AI-Rechenleistung im Orbit.

Der 150-W-VTM stellt bei 0,8 V etwa 187 A bereit. Zwei solcher Schienen ergeben zusammen 300 W Leistung für KI-Berechnungen nahe dem Chip, noch bevor Spielraum und Wandlungsverluste berücksichtigt werden. Dieser Strom wird nicht über eine Backplane geleitet. Der Sinn der Architektur besteht darin, diese Hunderte von Ampere auf einen sehr kurzen, speziell dafür ausgelegten Bereich in der Nähe der Prozessoren zu beschränken.

Bei einem konventionelleren Bus-plus-PoL-Ansatz mit einer 12-V-Zwischenspannung, die zwei lokale Mehrphasenregler speist, bedeuten dieselben 300 W KI-Leistung etwa 25 A auf der 12-V-Ebene. Bei realistischen Kupfer- und Via-Widerständen auf einer dicht bestückten HF- und Digitalkarte ist ein effektiver Verteilungswiderstand von 10 m Ω nicht zielführend. Bei 25 A verschwendet dieser Pfad etwa 6,25 W durch I^2R -Verluste und fällt um 0,25 V ab – mehr als 2 Prozent der 12-V-Schiene – noch bevor der Strom überhaupt die PoL-Wandler erreicht. Eine Skalierung auf 400 W oder mehr für zukünftige Varianten lässt die Verluste und den Spannungsabfall quadratisch ansteigen.

Die A11-Kette sieht dagegen anders aus. Ein strahlungstoleranter BCM nutzt den 100-V-Bus und liefert bis zu 400 W bei einer Zwischenspannung, die ein Drittel der Eingangsspannung (33 V) beträgt. Dies bietet dann genügend Spielraum, um zwei PRM:VTM-Schienen mit jeweils 150 W zu versorgen. Jeder PRM regelt seinen eigenen 33-V-Zwischenknoten. Jeder VTM wandelt dann die Spannung auf die entsprechende Lastspannung um.

Bei insgesamt 300 W führt der 33-V-Verteilerbus nur etwa 9 A statt 25 A. Bei demselben effektiven Leitungswiderstand von 10 m Ω sinkt der I^2R -Verlust auf etwa 0,8 W und der Gleichspannungsabfall auf etwa 0,09 V – weniger als 0,3 Prozent der Zwischenspannung. Dies reduziert die Verteilungsverluste um das 5- bis 8-Fache und verbessert die Spannungsreserve deutlich, was allein dadurch erzielt wird, dass die Hauptlast in einen Bereich mit höherer Spannung und niedrigerem Strom verlagert wird.

Nachgeschaltet wandelt jeder VTM diese 33 V wieder auf 0,8 V herunter und vervielfacht den Strom mit dem Faktor 32 oder 8, sodass die Hochstromschleifen (ca. 187 A in der 32-fach-Schiene) bis auf wenige Zentimeter Kupfer reduziert werden. Die Leiterbahnen, die Vias und die Entkopplungen sind dabei speziell für diese Dichte ausgelegt.

Das Nettoergebnis ist, dass dieselbe 300-W-KI-Arbeitslast entweder eine erhitzte, schlecht geregelte 12-V-Ebene in einer Legacy-Architektur belastet oder auf einem relativ kühlen 33-V-Zwischenbus läuft, der zwei lokalisierte Stromvervielfacher in der FPA-Implementierung speist.

Der A11-Transponder nimmt den letzteren Weg und gewinnt dadurch thermischen als auch spannungstechnischen Spielraum zurück, der andernfalls die Rechenleistung im Orbit einschränken würde.

Elektrische Vorteile für KI-Lasten

Durch die Platzierung des Stromvervielfachers nur wenige Zentimeter vom FPGA oder ACAP (Adaptive Compute Acceleration Platform) entfernt wird der Hochstrompfad verkürzt. Die dazwischenliegende Kupferleitung ist kurz und breit, und die effektive Ausgangsimpedanz am Chip ist deutlich niedriger als bei jedem vergleichbaren 12-V-Verteilungs- und PoL-Schema.

Die resonante, sanft schaltende Wandlung in den FPA-Modulen reduziert leitungsgebundene und abgestrahlte EMI im Vergleich zu hart schaltenden Alternativen. Ein geringerer Oberwellengehalt ermöglicht leichtere Filter, kürzere Regelkreise und bessere Auslegungsspielräume hinsichtlich der Anforderungen an leitungsgebundene Emissionen nach DO-160, sofern diese für New-Space-Plattformen gelten.

Entscheidend ist, dass der Wandler nicht auf eine langsame Rückkopplungsschleife angewiesen ist, um das Transientenverhalten zu steuern. Sein Betrieb mit festem Übersetzungsverhältnis und seine sehr niedrige Eigenimpedanz ermöglichen abrupte Stromsprünge innerhalb von Mikrosekunden statt im 10- oder 100-ms-Bereich. Eine 0,8-V-Schiene wird dadurch selbst bei KI-Spitzen im Worst-Case-Szenario innerhalb eines engen Toleranzfensters gehalten.

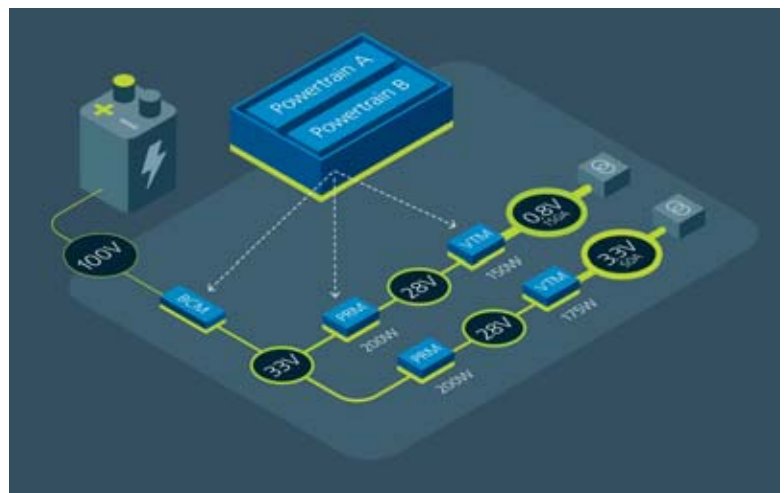
Ein weiterer Vorteil ist die Kapazitätsvervielfachung. Ein stromvervielfachender Wandler skaliert die von der Quelle gesehene scheinbare lastseitige Kapazität um das Quadrat des Windungsverhältnisses. In der Praxis bedeutet dies, dass eine kleine Anzahl sorgfältig platzierter MLCCs an der KI-Schiene sich aus Sicht des vorgelagerten PRM wie ein viel größeres Reservoir verhält. Entwickler können so die Transientenanforderungen erfüllen, ohne die Platine mit empfindlichen, mechanisch risikobehafteten Keramikbauteilen zu versehen.

Strahlungstoleranz auf Architekturebene

Die Stromvervielfachung verändert auch die Herangehensweise der Entwickler an Strahlung im PDN. Strahlungstolerante Vicor-FPA-Module für New Space sind für die bei LEO- und MEO-Missionen typischen Werte (Gesamtionsationsdosis von mehreren 10 krad) qualifiziert. Sie basieren auf redundanten Stromversorgungsnetzen sowie SEE-toleranter Steuerung, um den Betrieb unter Single-Event-Belastung aufrechtzuerhalten. Der interessantere Aspekt ist jedoch architektonischer Natur.

Durch die präzise Spannungsregelung bei einer höheren, toleranteren Zwischenspannung und Lastabtragung hoher Ströme über einen Wandler mit festem Übersetzungsverhältnis in der Nähe der Last reduziert das Design die Anzahl der Knotenpunkte, an denen eine strahlungsbedingte Parameterverschiebung die 0,8-V-Reserve unmittelbar gefährden kann. Die Regelstufe arbeitet bei mehreren 10 V mit reichlich Spielraum. Ihre Drift und ihr SEE-Verhalten lassen sich durch herkömmliche Leistungsreduzierung und Maßnahmen auf Systemebene bewältigen. Die Wandlungsstufe, die keine komplexe schnelle Rückkopplungsschleife aufweist, ist von Natur aus weniger anfällig für Störungen des Regelkreises.

Die AI1-Implementierung fügt noch eine weitere Ebene hinzu: Strahlungstolerante Vicor-Module verfügen über zwei Stromversorgungsstränge, sodass die Last



von beiden Seiten mit voller Leistung versorgt werden kann, inklusive autonomer Fehlererkennung und Umschaltung. Anstatt jede einzelne Komponente in einem weitläufigen PDN strahlungsfest zu machen, kann Spacechips die Strahlung als ein Problem auf Systemebene mit gut charakterisierten, modularen Bausteinen behandeln.

Für viele LEO- und MEO-Missionen vermeidet dieser strahlungsresistente, modulare Ansatz die Kosten, das Gewicht und die Beschaffungskomplexität von vollständig strahlungsfesten Bauteilen, während die Zuverlässigkeitsanforderungen der Mission dennoch erfüllt werden. Er stellt einen pragmatischen Mittelweg zwischen handelsüblichen Standard-/COTS-Bauteilen und kundenspezifischen strahlungsresistenten ASICs dar.

Grenzen der KI im Weltraum erweitern

Da Satelliten ein immer höheres Maß an Autonomie an Bord erreichen, wird die praktische Grenze für nutzbare KI zunehmend durch die Stromversorgungsarchitektur bestimmt, saubere, streng geregelte Hochstromschienen unter Worst-Case-Transienten in einer Strahlungsumgebung und innerhalb enger Größen-, Gewichts- und Leistungsbudgets bereitzustellen.

Durch den Übergang von der herkömmlichen Low-Voltage-Verteilung zur Stromvervielfachung mit der Factorized Power Architecture haben Spacechips und Vicor diese Obergrenze angehoben. Der AI1-Transponder ist nicht nur eine weitere HF-Platine. Er beweist, dass sich der Engpass im New-Space-Bereich von der Rechenleistung hin zur optimierten Stromversorgung verlagert hat.

Wird das Stromversorgungsnetz so konzipiert, als sei der Prozessor die knappe Ressource, bleibt Rechenleistung ungenutzt. Wird die Prozessorplatine so konzipiert, als seien Leistungsdichte, Stromverteilung und Strahlungsverhalten die knappen Ressourcen, lässt sich KI der Serverklasse in kleine LEO-Satelliten integrieren – und die Anforderungen an Wärmeableitung und Zuverlässigkeit werden erfüllt.

Das ist der architektonische Wandel, den diese Generation von Missionen erzwingt. Die Stromvervielfachung ist ein Weg, dieses Ziel zu erreichen. (bs) ■

Autor: Ken Coffman, Lead Applications Engineer, Vicor New Space Initiative

Bild 3: Intern redundante Stromversorgungsstränge überwachen und steuern die Stromschienen, um Single-Event-Effekte zu mindern. Entwickler werden so von der Implementierung dieser Logik in externen Schaltungen entlastet.

Bild: Vicor



Bild: Panasonic Industry

Transparente EMI-Schutzfolie

Panasonic Industry gibt die Markteinführung von FineX („FineCross“) bekannt, einer transparenten leitfähigen Folie der nächsten Generation, die für eine leistungsfähige Abschirmung elektromagnetischer Wellen in fortschrittlichen oder sensiblen Display-, Industrie- und Drahtloskommunikationsumgebungen entwickelt wurde. FineX vereint eine hohe optische Durchlässigkeit, einen sehr niedrigen elektrischen Widerstand und eine gute Designflexibilität und setzt damit neue Maßstäbe für transparente EMI(electromagnetic interference)-Abschirmmaterialien.

Die Folie basiert auf der von Panasonic entwickelten Technologie zur Mikrofabrikation von ultrafeinen Kupfermetallgittern und verfügt über präzise, gleichmäßige Verdrahtungsstrukturen, die sowohl einen geringen Widerstand als auch eine sehr gute Sichtbarkeit gewährleisten. Die Folie wird in Rollenform mit voraufgebrachtem OCA (Optical Clear Adhesive) geliefert, was eine glatte, blasenfreie Laminierung und eine einfache Handhabung ermöglicht. Zu den Haupteigenschaften zählen:

- **Hohe Durchlässigkeit:** FineX erzielt durch ultrafeine Metallgitterverdrahtung eine hervorragende Transparenz und ermöglicht so eine klare Sichtbarkeit für Anwendungen, bei denen die optische Leistung entscheidend ist.
- **Geringer Widerstand für hohe Leistung:** Ein hohes Verdrahtungsseitenverhältnis sorgt für einen bemerk-



FineX im Detail

- *Hohe Transparenz durch ultrafeine Metallgitterverdrahtung*
- *Geringer Widerstand*
- *Hohe Flexibilität für weniger Beugungseffekte*
- *Sehr gute Biegsamkeit*
- *Rollfolie mit voraufgebrachter OCA*
- *Anwendungen: Lärmabschirmung (EMI/EMV) und Kontrolle der Funkwellenumgebung*

kenswert geringen elektrischen Widerstand, der eine schnelle, gleichmäßige Erwärmung und einen stabilen Stromfluss unterstützt. Dadurch eignet sich die Folie sehr gut für Geräte, die reaktionsschnelle thermische Eigenschaften oder hochleitfähige Schichten erfordern, ohne die Transparenz zu beeinträchtigen.

- **Weniger Beugung für mehr Flexibilität und Leistungsfähigkeit:** Durch die Designflexibilität der Kupfergitterstruktur einerseits und die Nutzung der umfangreichen Erfahrung von Panasonic in der Massenproduktion andererseits kann Panasonic komplexe Gitterstrukturen integrieren, die auf verschiedene Designanforderungen für die Abschirmung elektromagnetischer Wellen zugeschnitten sind, und so Produkte ohne Beugung erzielen.
- **Biegsamkeit:** Durch die Verwendung von Dünnschichtmaterialien und der ultrafeinen Verdrahtung bietet das Produkt eine gute Biegsamkeit. Dadurch ist es für die Installation auf gekrümmten, geformten oder vielen anderen nicht ebenen Oberflächen geeignet und eignet sich für eine Vielzahl von industriellen Anwendungen, die fortschrittliche Formfaktoren erfordern.
- **Rollfolie mit voraufgebrachter OCA:** Die Folie wird laminierfertig mit einer sauberen und gleichmäßigen OCA-Schicht geliefert, wodurch Prozessschritte reduziert, Kontaminationsrisiken minimiert und die Gesamtproduktivität in Fertigungsabläufen verbessert werden. (11a) ■

Warum Hidden Champions

Die meisten elektronischen Baugruppen haben eine zentrale Komponente, die auf den ersten Blick ihre Leistungsfähigkeit definiert. Das kann zum Beispiel ein FPGA oder ein Embedded-Prozessor für die nächste Generation an Rechenzentren oder auch ein GaN-HEMT für Hochfrequenzanwendungen, ein Image-Sensor für hochauflösende Bildgebung oder ein SiC-MOSFET für noch kleinere, aber effizientere Stromversorgung sein. Aber keiner dieser Stars auf der Platine kann ohne die Hidden Champions an der Peripherie funktionieren. Passive Bauelemente, Kühlkörper, Kabel, Stecker, einfachere Logik-ICs etc. werden immer wieder gern übersehen oder gelten als „langweilig“, sind aber essenziell wichtig. Genau um solche Hidden Champions geht es hier, denn auch sie sind High-Tech.

NFC-kompatibel

Chipsatz zur drahtlosen Stromversorgung von Wearables

Der neue Chipsatz von Rohm baut auf dem bewährten Empfänger – ML7660 – und dem Sender – ML7661 – auf. Die maximale Leistungsübertragung ist auf 250 mW festgelegt, wobei Peripheriekomponenten wie die für die Stromversorgung des Lade-ICs erforderlichen Schalt-MOSFETs bereits integriert sind. Das Ergebnis ist eine Lösung, die sowohl hinsichtlich der Einbaufäche als auch der Effizienz der Leistungsübertragung für die Leistungsklasse optimiert ist, die bei kompakten tragbaren Geräten, insbesondere Smart-Ringen, gefordert wird.

Der Leistungsempfänger-IC ML7670 erreicht im niedrigen Leistungsbereich von 250 mW einen maximalen Wirkungsgrad von 45 Prozent. All das in einem branchenführenden

Formfaktor von nur $2,28 \times 2,56 \times 0,48 \text{ mm}^3$. Ein wesentliches Merkmal des neuen Chipsatzes ist seine hohe Leistung. Er ist effizienter als vergleichbare Produkte derselben Klasse, da Elemente wie die Spulenanpassung, die Gleichrichterschaltung und die Verlustreduzierung in den Schaltbauelementen optimiert wurden. Da die gesamte für die drahtlose Energieübertragung erforderliche Firmware direkt in den IC integriert ist, wird keine Host-MCU mehr benötigt. Dies reduziert den Platzbedarf auf der Leiterplatte sowie den Entwicklungsaufwand beim Gerätedesign erheblich.

Die Einhaltung der NFC Forum (WLC 2.0) ermöglicht die Energieübertragung unter Wahrung der Kompatibilität mit

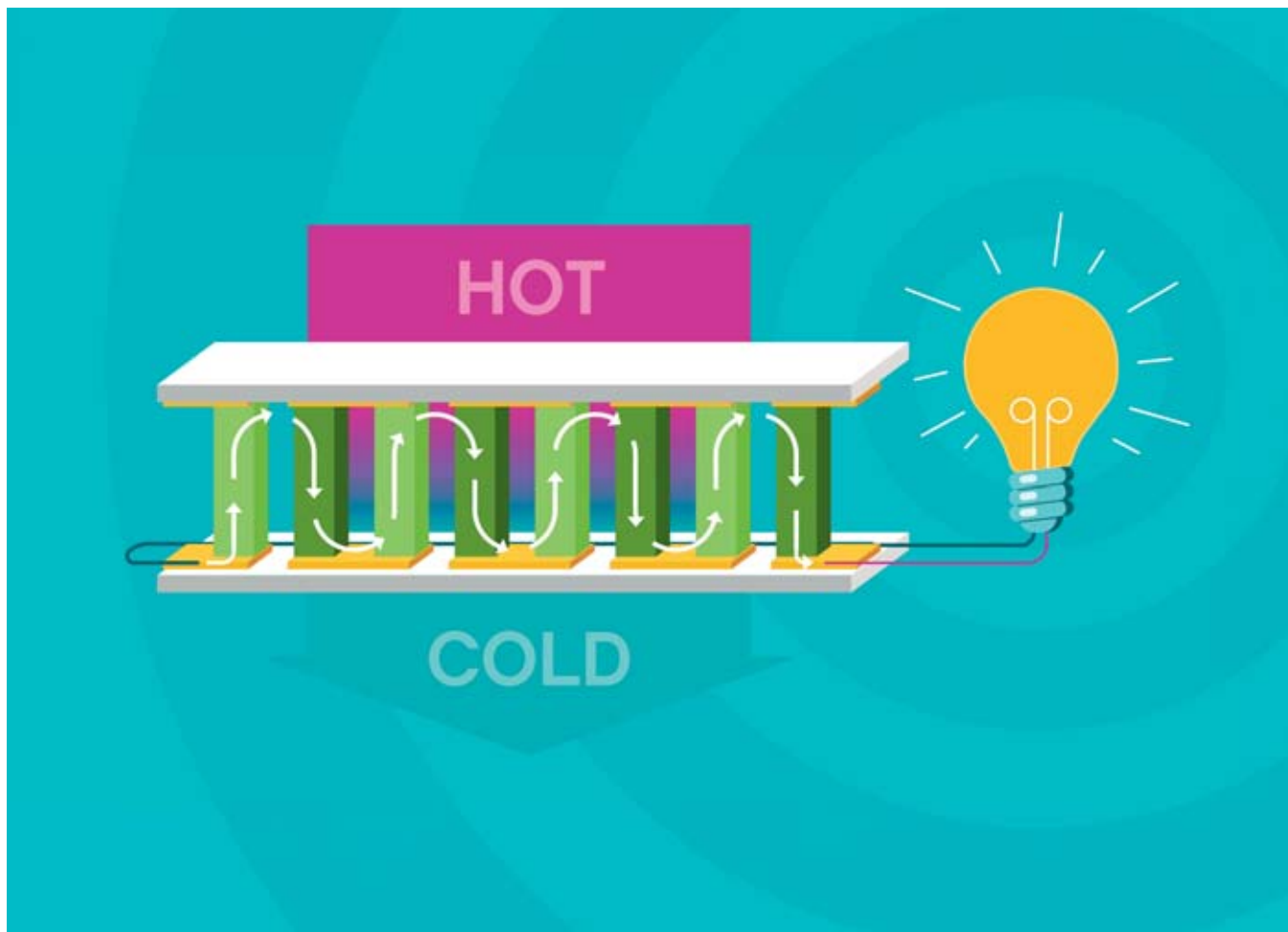


bestehenden Geräten und positioniert den Chipsatz als Kernelement im wachsenden Ökosystem der drahtlosen NFC-Energieübertragung. Der neue Chipsatz für Wearables befindet sich bereits in Serienproduktion. Der Markt für

Smart-Ringe hat in den letzten Jahren ein rasantes Wachstum verzeichnet, vor allem im Bereich der Gesundheits- und Fitnessanwendungen. Er kommt im Soxai Ring 2 des japanischen Herstellers Soxai zum Einsatz. (na)

Fahrzeug-Displays mit dem ersten SiP der Klasse 2 ansteuern Weniger komplexe PCB und BOM für digitale Kombiinstrumente

Der SAM9X75D5M ist der erste SiP (System-in-Package) der Klasse 2 für den Fahrzeugmarkt, der Neuerungen zuverlässig und kostengünstig etabliert. Er kombiniert eine leistungsstarke MPU und DDR2-SDRAM, vereinfacht das Leiterplatten-/PCB-Design und verringert die Stückliste (BOM). Er wurde speziell für Fahrzeuganwendungen entwickelt, darunter digitale Cockpit-Cluster, Smart-Cluster für Zwei- und Dreiräder, Klimaanlage-Steuerungen, EV-Ladestationen und mehr. Für Fahrzeughersteller und Tier-1-Zulieferer ist er somit eine vielseitige Lösung. Mit seiner Zertifizierung gemäß AEC-Q100 Grade 2 gewährleistet der SiP zuverlässige Leistung für digitale Kombiinstrumente, HMIs, EV-Ladegeräte, Diagnose und Bestandsverfolgung. Dieser SiP optimiert Ihr Design und senkt die Kosten.



Was ist thermoelektrische Energieerzeugung mit TEG und wie wird Abwärme in elektrischen Strom umgewandelt?

Bild: Same Sky

Thermoelektrische Generatoren verstehen

Wie TEG-Module Wärme in Strom umwandeln

Thermoelektrische Energieerzeugung macht nutzbar, was oft verpufft: Wärme. Mit TEG-Modulen lässt sich ein Temperaturunterschied direkt in elektrischen Strom umwandeln: kompakt, geräuschlos und hochinteressant für effiziente Energiesysteme.

Im Physikunterricht lernt man, dass Energie weder erzeugt noch zerstört werden kann, aber sie kann in verschiedene Formen umgewandelt werden. Seit der Formulierung des Gesetzes der Energieerhaltung, auch bekannt als erster Hauptsatz der Thermodynamik, versuchen Ingenieure Wege zu finden, um Energie in Formen umzuwandeln, die wir leichter nutzen können.

Eine dieser Möglichkeiten ist die thermoelektrische Energieerzeugung, also die Umwandlung von Wärmeenergie in elektrische Energie. Erstmals von Thomas Seebeck entdeckt, findet die direkte Umwandlung von Wärme in Elektrizität, der so genannte Seebeck-Effekt, eine moderne praktische Anwendung in einem Festkörpergerät, dem so genannten thermoelektrischen Generator (TEG). Allerdings begannen die ersten wirklichen

Fortschritte in der Technologie der TEG-Geräte erst im 20. Jahrhundert mit der Einführung der ersten kommerziellen Anwendungen um 1960. Heute werden TEGs in einer Vielzahl von Anwendungen eingesetzt.

Was sind thermoelektrische Generatormodule (TEG)?

Thermoelektrische Generatormodule, TEG-Module oder kurz TEGs, beruhen auf dem thermoelektrischen Effekt, d.h. auf der Umwandlung von Temperaturunterschieden in einem Material in elektrische Spannung oder umgekehrt. Der thermoelektrische Effekt umfasst drei verwandte Aspekte: den bereits erwähnten Seebeck-Effekt, bei dem Elektrizität aus dem Temperaturgradienten zwischen zwei ungleichen Materialien erzeugt wird;

Technische Daten

Paramete	Parameter/Beschreibung	Min	Typ	Max	Einheiten
Leerlaufspannung	Bei Th = 300 °C, Tc = 30 °C		17.7		V
angepasster Lastwiderstand	Bei Th = 300 °C, Tc = 30 °C		4.4		Ω
angepasste Lastausgangsspannung	Bei Th = 300 °C, Tc = 30 °C		8.8		V
angepasster Lastausgangsstrom	Bei Th = 300 °C, Tc = 30 °C		2.0		A
angepasste Lastausgangsleistung			17.6		W
Wärmefluss durch Modul			301		W
Wärmestromdichte	Bei Th = 300 °C, Tc = 30 °C		9.6		W/cm ²
Wechselstromwiderstand	Bei 27 °C, 1000 Hz	2.2		3.0	Ω

Beispiel für die Tabelle der TEG-Spezifikationen von Same Sky.
Bild: Same Sky

den Peltier-Effekt, bei dem Wärme an der Verbindungsstelle zweier ungleicher Metalle entsteht oder absorbiert wird, wenn ein Strom angelegt wird; und den Thomson-Effekt, bei dem Wärme in Abhängigkeit von der Stromrichtung absorbiert oder erzeugt wird.

Thermoelektrische Generatoren und thermoelektrischen Kühler

Ein häufiger Punkt der Verwirrung in der thermoelektrischen Technologie ist der Unterschied zwischen einem thermoelektrischen Generator (TEG), der den Seebeck-Effekt nutzt, und einem thermoelektrischen Kühler (TEC), der den Peltier-Effekt nutzt. Diese thermoelektrischen Effekte werden in verschiedenen Geräten auf unterschiedliche Weise zur Stromerzeugung und Festkörperkühlung genutzt. Die verschiedenen thermoelektrischen Geräte sind unterschiedlich konstruiert, verwenden aber ähnliche Materialien (dotierte Halbleiter) in ihrer Konstruktion. Die Materialien sind zwar ähnlich, aber die TEGs sind für hohe Temperaturunterschiede und Energieeffizienz ausgelegt und konzentrieren sich auf die Maximierung der Ausgangsleistung. TECs hingegen sind so konzipiert, dass sie die Wärmeaufnahme und -ableitung optimieren, wobei häufig Hochleistungskeramiken und Kupfer verwendet werden, um die Kühlung effizienter zu gestalten.

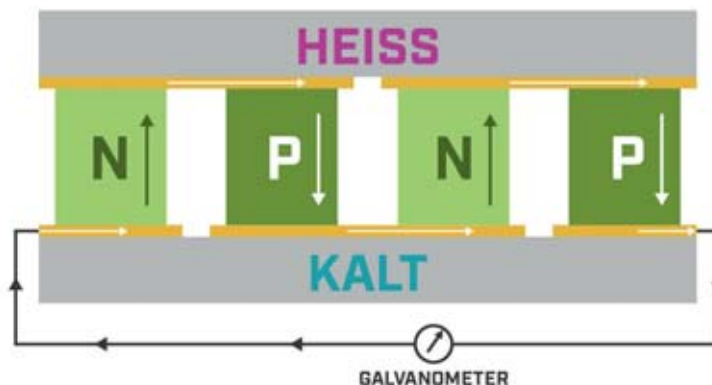
Obwohl die Prozesse ähnlich sind, ist ein TEG-Modul die beste Wahl, wenn Ihr Ziel darin besteht, Strom aus Wärme zu erzeugen. Wenn Sie nach aktiver Kühlung oder Temperaturstabilisierung suchen, ist ein TEC-Modul oder Peltier-Modul genau das Richtige für Sie. Same Sky bietet sowohl TEG-Module als auch Peltier-Module an, je nach Designanforderungen.

Wie funktioniert ein thermoelektrischer Generator?

In einem aktuellen thermoelektrischen Generator bewirkt der Temperaturunterschied zwischen der heißen und der kalten Seite eines Halbleitermaterials, dass sich Ladungsträger (Elektronen) von der heißen Seite zur kalten Seite bewegen. Innerhalb des TEG-Moduls befinden sich mehrere Paare von n-Typ- und p-Typ-Halbleitermaterialien (typischerweise Bismuttellurid). Diese Paare von Halbleitermaterialien sind zwischen der heißen und der kalten Platte eingebettet. In einem n-Typ-Material bewegen sich die Elektronen von der heißen Seite zur kalten Seite. In einem p-Typ-Material wandern auch Löcher (oder das Fehlen von Elektronen) von der heißen Seite zur kalten Seite. Dieser Fluss führt zur Erzeugung eines elektrischen Potenzials (Spannung), das

Thermoelektrische Generatoren werden aus abwechselnden n-Typ- und p-Typ-Materialien aufgebaut.
Bild: Same Sky

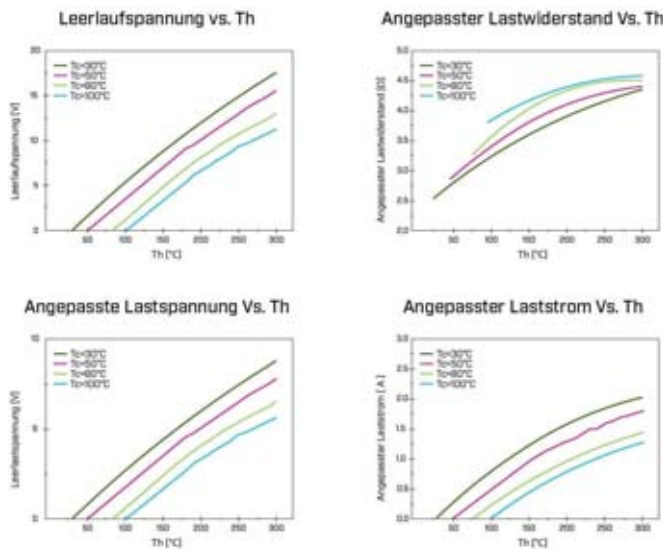
Thermoelektrischer Generator



25 Relaisbaureihen. Eine Kompetenz: funktionale Sicherheit.

Zwangsgeführte Kontakte nach IEC 61810-3 Typ A für Ihre Anwendung





Typische Leistungsdiagramme aus den TEG-Datenblättern von Same Sky.

Bild: Same Sky

als nützlicher elektrischer Strom nutzbar gemacht werden kann. Die Spannung ist proportional zu dem Temperaturunterschied zwischen den beiden Seiten des Materials.

TEGs werden typischerweise in Anwendungen eingesetzt, bei denen Abwärme vorhanden ist, wie z.B. bei industriellen Prozessen, um Energie zurückzugewinnen, die sonst verloren ginge. Sie werden auch in abgelegenen Anwendungen wie Raumsonden eingesetzt, um Strom aus der Wärme des radioaktiven Zerfalls zu erzeugen, wenn die Sonnenenergie zu schwach ist.

Vorteile der Verwendung von TEG-Modulen für die Stromerzeugung

Aus funktionaler Sicht besteht die nützlichste Eigenschaft der TEG-Module darin, dass sie überschüssige Wärmeenergie nutzen, um elektrischen Strom zu erzeugen. Dies kann in vielen Situationen von Vorteil sein, um Energie zurückzugewinnen oder wiederzuverwenden, was TEGs umweltfreundlich macht.

TEG-Module sind außerdem Festkörpergeräte ohne bewegliche Teile, so dass sie zuverlässig, leise und wartungsfrei sind. Dank ihrer kompakten Größe passen sie auch in enge Raumkonzepte. TEGs sind in einer breiten Palette von Spannungen und Strömen erhältlich und können zuverlässig Strom liefern, ohne an eine herkömmliche Stromquelle angeschlossen zu sein. Damit eignen sie sich perfekt für abgelegene Anwendungen oder als Ersatz für batteriebetriebene Systeme.

Herausforderungen bei der Verwendung von TEG-Modulen

Obwohl TEGs robuste Geräte sind, die nutzbaren elektrischen Strom liefern, sind sie in einem Projekt nicht ohne konstruktive Herausforderungen. Sie sind von den Temperaturunterschieden in der Umgebung abhängig, um mit der erforderlichen Leistung zu funktionieren, was sie nur für sehr spezielle Anwendungen nützlich macht. TEGs haben im Vergleich zu anderen

Stromerzeugungsmethoden einen relativ niedrigen Wirkungsgrad, der im Durchschnitt bei etwa zehn Prozent liegt.

Wichtige TEG-Spezifikationen und Leistungsdiagramme

Die Entwicklung von TEG-Modulen für ein System erfordert die Beachtung einiger wichtiger Gerätespezifikationen, die die Leistung beeinflussen. Obwohl der Temperaturunterschied zwischen der heißen und der kalten Seite, der oft als Delta T bezeichnet wird, von grundlegender Bedeutung dafür ist, wie TEGs Strom erzeugen, wird er in der Regel nicht in den Datenblättern angegeben. Stattdessen geben Hersteller häufig Tmax an, was die maximal zulässige Temperatur für einen sicheren Betrieb kennzeichnet, jedoch nicht unbedingt die optimalen Betriebsbedingungen.

Weitere nützliche Spezifikationen zur Bewertung der Leistung eines thermoelektrischen Generators sind Leerlaufspannung, angepasste Lastausgangsspannung, angepasster Laststrom, angepasste Lastleistung und angepasster Lastwiderstand. Diese Werte vermitteln ein klareres Bild davon, was zu erwarten ist, wenn TEGs in ein System mit entsprechenden elektrischen und thermischen Lasten integriert werden.

Die Leistungsdiagramme der TEG-Module stellen die Kennzahlen eines TEGs im Vergleich zu Variablen dar, die die Temperatur der heißen Seite, die Temperatur der kalten Seite und verschiedene elektrische Parameter vergleichen. Anhand dieser Diagramme kann ein Konstrukteur die optimalen Betriebspunkte oder Bereiche identifizieren, die bei der Konstruktion verbessert werden müssen. TEG-Leistungsdiagramme werden in der Regel zur Optimierung des Designs verwendet, wenn ein TEG-Gerät an eine Anwendung angepasst werden soll, wenn verschiedene TEG-Geräte verglichen werden sollen, oder wenn das endgültige Design des TEG-Systems überprüft werden soll. Einige der wichtigsten Leistungsdiagramme sind die folgenden, wobei „Th“ für die Temperatur der heißen Seite steht:

- **Leerlaufspannung vs. Th:** Diese Grafik stellt die lastlose Spannung dar, die Sie vom TEG-Modul bei einem bestimmten Temperaturdelta sehen würden. Grundsätzlich die maximale Spannung, die von einem TEG erzeugt wird. Wenn das TEG-Modul belastet wird, sinkt die Spannung.
- **Angepasster Lastwiderstand vs. Th:** Diese Grafik zeigt, wie hoch der Innenwiderstand des TEG-Moduls bei einem bestimmten Temperaturdelta ist.
- **Angepasste Lastspannung vs. Th:** Diese Grafik zeigt die belastete Ausgangsspannung eines TEG bei einem bestimmten Temperaturdelta.
- **Angepasster Laststrom vs. Th:** Ähnlich wie bei der angepassten Lastspannung wird hier der vom TEG gelieferte Laststrom bei einem bestimmten Temperatur-Delta angezeigt.

Der Punkt auf einem Leistungsdiagramm, an dem der TEG die höchste Ausgangsleistung oder Spitzenleistung erzeugt, entspricht normalerweise dem optimalen Lastwiderstand. Die Wirkungsgradkurve in einem Diagramm zeigt, wie sich der Umwandlungswirkungsgrad mit dem Temperaturunterschied und dem Lastwiderstand ändern kann. In jedem Leistungsdiagramm zeigt

die X-Achse die Temperatur der heißen Seite des TEGs mit mehreren Leistungskurven, die die Temperatur der kalten Seite des TEGs anzeigen. Die Y-Achse zeigt die jeweilige Kennzahl an, die analysiert wird.

Den richtigen thermoelektrischen Generator auswählen

Um den geeigneten thermoelektrischen Generator auszuwählen, sollte der Designer zunächst die Temperaturen der kalten und der heißen Seite bestimmen, denen der TEG ausgesetzt sein wird. Sobald diese Temperaturen bestimmt sind, kann der Designer die Diagramme für angepasste Lastspannung, angepassten Laststrom und angepasste Lastleistung aus dem Datenblatt verwenden, um die Leistung des TEGs in der Anwendung zu bestimmen.

Wo können thermoelektrische Generatoren eingesetzt werden?

Thermoelektrische Generatoren werden in vielen Bereichen eingesetzt, in denen Energie aus der Ferne benötigt wird, oder in denen die Energierückgewinnung die Effizienz eines Systems erhöhen kann. Sie sind in zwei Versionen erhältlich: Groß und Mikro. Große TEGs liefern eine Ausgangsleistung von mehreren bis zu mehreren Hundert Watt und werden für industrielle Zwecke eingesetzt. Mikro-TEGs liefern Leistungen von einigen Watt bis hinunter zu wenigen Milliwatt. Einige der aktuellen Anwendungen, die TEGs verwenden, sind:

- Verbrauchergeräte mit geringem Stromverbrauch (tragbare Technologien)
- Raumsonden und Luft- und Raumfahrt
- Industrielle Abwärmerückgewinnung
- Erzeugung von Solarenergie
- Sensoren (Internet-der-Dinge-Technologie)
- Automotormotoren
- Industrielle elektronische Geräte
- HLK-Systeme
- Medizinische Gesundheitsüberwachung
- Militärische Systeme
- Wissenschaftliche Geräte
- Telekommunikation

Zusammenfassung

Thermoelektrische Generatormodule machen sich den thermoelektrischen Effekt zunutze, um aus Temperaturgradienten innerhalb eines Geräts nutzbaren elektrischen Strom zu erzeugen. Wie thermoelektrische Kühler können sie effektiv und effizient sein, wenn sie genau auf eine bestimmte Anwendung abgestimmt sind. TEGs sind in einer Vielzahl von Leistungsstufen und Wirkungsgraden erhältlich und können den Wert eines Designs erhöhen, indem sie Tragbarkeit, Fernbetrieb oder Energierückgewinnung ermöglichen. Zur Auswahl der Teile kann der Entwickler sich die Produktlinie der thermoelektrischen Generatormodule von Same Sky anschauen, die eine Reihe von Größen und Ausgangsleistungen bietet. (na)

Autor: Jeff Smoot, Same Sky



MODULAR POWER SOLUTIONS FOR HIGH RELIABILITY APPLICATIONS



PROUDLY
EUROPEAN



ISOLATED DC/DC CONVERTER
NON ISOLATED DC/DC CONVERTER
DC/DC FRONT END MODULES

AC/DC FRONT-END PFC MODULES
POWER SYSTEMS
SEMI CUSTOM SOLUTIONS

Industrielle Energieversorgung

Power Reliability für hohe Anlagenverfügbarkeit

Power Reliability beschreibt ein integriertes Konzept für industrielle Energieversorgung. Durch abgestimmte Produktkombinationen lassen sich Verfügbarkeit erhöhen, Wartungsaufwand senken und Fehler frühzeitig erkennen.



Bild 1: Wie verbessert Power Reliability die Anlagenverfügbarkeit? Produktkombinationen für Schutz, Überwachung und Energieversorgung im Überblick.

Bild: Phoenix Contact

Phoenix Contact versteht unter dem Begriff Power Reliability ein umfassendes Konzept zur Sicherstellung der Anlagenverfügbarkeit in industriellen Anwendungen. Dabei geht es nicht nur um die Bereitstellung elektrischer Energie, sondern um ein intelligentes Zusammenspiel aus Stromversorgung, Schutz, Überwachung und Kommunikation. Ziel ist es, eine durchgängige Transparenz über das Energiesystem zu schaffen, Fehler frühzeitig zu erkennen und Ausfälle proaktiv zu vermeiden (Bild 1).

Power Reliability bedeutet also maximale Betriebssicherheit durch intelligente Systemintegration. Das Produktportfolio von Phoenix Contact bietet dazu optimal aufeinander abgestimmte Produktkombinationen, die spezifische Anforderungen in der industriellen Energieversorgung adressieren. Die einzelnen Kombinationen stellen neben technischen Vorteilen auch wirtschaftliche Mehrwerte durch reduzierte Stillstandzeiten, einen geringeren Wartungsaufwand sowie eine vereinfachte Einbindung in bestehende Systeme zur Verfügung. Fünf Beispiele verdeutlichen den Vorteil, der sich aus dem Zusammenspiel der Geräte ergibt.

Schutz vor transienten Überspannungen

Die Kombination aus der Stromversorgung Quint Power und dem Überspannungsschutz PLT-SEC schützt die Stromversorgung zuverlässig vor transienten Überspannungen, wie sie durch Blitzschläge oder Schaltvorgänge entstehen können. Die Stromversorgung ist mit einer hohen Störfestigkeit ausgestattet, während der Überspannungsschutz für eine schnelle Reaktionszeit

und eine lange Lebensdauer steht. Der Vorteil des Zusammenspiels liegt in der deutlichen Verlängerung des Nutzungszeitraums der Stromversorgung. Zudem bleibt die Anlage selbst bei externen Störungen betriebsbereit (Bild 2).

Senkung des Verdrahtungsaufwands

Die Stromversorgung Trio Power vereint die Stromversorgung und den elektronischen Geräteschutz in einem kompakten Gehäuse. Die Integration spart Platz im Schaltschrank, verringert den Verdrahtungsaufwand und erhöht ferner die Verfügbarkeit durch ein intelligentes Lastmanagement. Das intelligente Lastmanagement beschreibt den Lastabwurf bei Überlast zum Schutz parallel geschalteter Verbraucher. Aufgrund der IO-Link-Schnittstelle lassen sich Diagnose- und Konfigurationsdaten einfach auslesen. Darüber hinaus senkt die Produktkombination den Verdrahtungsaufwand um bis zu 70 Prozent und erleichtert die Inbetriebnahme durch vorkonfigurierte Parameter (Bild 3).

Unterbrechungsfreie Energieversorgung bei einem Netzausfall

Das Zusammenspiel der unterbrechungsfreien Stromversorgung Quint DC-USV und des Batteriemoduls sorgt dafür, dass die Energieversorgung bei einem Netzausfall unterbrechungsfrei weiterläuft. Die intelligente Quint DC-USV steigert die Anlagenverfügbarkeit durch das Batteriemanagementsystem mit IQ Technology und einen starken Batterielader.

Die IQ Technology überwacht kontinuierlich den Batterieladezustand und gleichzeitig die restliche Lebensdauer. Zusätzlich erfolgen eine automatische Batteriedetektion und Ladestromanpassung in Abhängigkeit von den Einsatzbedingungen und dem Batterietyp. Mithilfe eingebauter Ethernet-Schnittstellen lässt sich die Lösung problemlos in etablierte industrielle Netzwerke integrieren, wodurch eine vorausschauende Wartung erreicht wird.

Nachrüstung eines Energie-Monitoring

Mit dem Energiemessgerät EMpro und einer Rogowski-Spule lassen sich vorhandene Anlagen einfach zur Energieüberwachung nachrüsten. Die Rogowski-Spule ermöglicht eine berührungslose Strommessung, während das EMpro-Gerät die Daten aufbereitet und über verschiedene Schnittstellen bereitstellt. Das erlaubt eine schnelle Installation ohne Anlagenstillstand sowie eine mühelose Einbindung in die jeweiligen Energiemanagementsysteme.



Durchgängige Kommunikation und Überwachung

Die Kombination aus der Stromversorgung Quint Power und dem Geräteschutzschalter-System Caparoc erweist sich als gutes Beispiel für die Umsetzung des Power-Reliability-Konzepts. Sie bietet nicht nur eine zuverlässige Stromversorgung, sondern auch eine durchgängige Kommunikation und Überwachung von der Einspeisung bis zum einzelnen Verbraucher. Unterschiedliche Schnittstellen wie Profinet, Ethernet/IP, Ethercat, Modbus oder IO-Link sorgen für einen nahtlosen Datenaustausch zwischen Stromversorgung, Geräteschutz und Steuerungsebene. Alle relevanten Daten – wie Stromaufnahme, Spannung, Temperatur, Lastverteilung und Fehlerzustände – werden in Echtzeit erfasst und übermittelt. Das schafft eine neue Dimension der Transparenz im Schaltschrank.

Durch die permanente Überwachung lassen sich Fehler und Wartungsbedarfe frühzeitig erkennen und beheben, bevor sie den Fertigungsprozess beeinflussen. Lastprofile innerhalb der Anlage können analysiert und optimiert werden. Auf diese Weise wird stets lediglich so viel Energie verwendet, wie es der Prozess benötigt. Ein integrierter Webserver ermöglicht den Zugriff auf sämtliche Systemdaten über einen Standardbrowser. Das erleichtert die Inbetriebnahme, Wartung und Fehleranalyse erheblich. Konfigurationsänderungen lassen sich direkt über die Weboberfläche vornehmen.

Zudem können bis zu 20 Geräteschutzschalter-Module kombiniert sowie werkzeuglos ausgetauscht und

erweitert werden, was eine hohe Flexibilität bei der Projektierung und im laufenden Betrieb eröffnet. Die Selective-Fuse-Breaking-Technologie (SFB) von Quint Power löst die Leitungsschutzschalter bei einem Kurzschluss gezielt aus, ohne dass andere Lasten beeinträchtigt werden. Dies erhöht die Betriebssicherheit und verhindert Kaskadeneffekte im Fehlerfall.

Elektronische Schutzschalter profitieren im Fehlerfall ebenfalls von der Selective-Fuse-Breaking-Technologie. Denn nicht alle Geräte verfügen über eine aktive Strombegrenzung, die einen Spannungseinbruch im System im Kurzschlussmoment verhindert. Die kurzzeitige Leistungsreserve begünstigt auch hier ein stabiles System ohne längere Spannungseinbrüche im Fehlerfall.

Fazit

In Zeiten zunehmender Digitalisierung und Automatisierung wird die Energieversorgung zur strategischen Komponente industrieller Anlagen. Mit dem Konzept der Power Reliability bietet Phoenix Contact eine zukunftssichere Lösung, die weit über die klassische Stromversorgung hinausgeht. Die Kombination aus intelligenter Hardware, durchgängiger Kommunikation und modularer Erweiterbarkeit erlaubt ein hohes Maß an Transparenz, Sicherheit und Effizienz. (na) ■

Autoren: Timo Bessler, Application Specialist, Application & Technical Support, Business Unit System Protection Technologies, Phoenix Contact
Sunit Saran, Marketing Quint Power, Business Unit Power Supplies, Phoenix Contact

Bild 2: Überspannungsschutz PLT-SEC und Stromversorgung Quint Power

Bild: Phoenix Contact

Bild 3: Stromversorgung Trio Power mit integriertem Geräteschutz

Bild: Phoenix Contact

Bild 4: Unterbrechungsfreie Stromversorgung Quint DC-USV und Batteriemodul

Bild: Phoenix Contact



DC-DC-Optimierungstool

Coilcraft



- Findet die geeignetsten Standard-Induktivitäten für Ihre Abwärts-, Aufwärts- und Abwärts-Aufwärtswandler
- Basiert auf Mess- statt Simulationsdaten von Induktivitäten
- Bietet applikationsspezifische Signalkurven und vollständige DC- und AC-Verlustanalysen

Starten Sie jetzt @ coilcraft.com



Bild: Adobe Stocks, bearbeitet von Heraeus Electronics

SiC verbessert Effizienz von Leistungselektronik

EU-Projekt FastLane stärkt SiC-Wertschöpfung

Siliziumkarbid (SiC) entwickelt sich zum Grundpfeiler der Leistungselektronik der nächsten Generation. Das EU-Projekt FastLane bündelt industrielle und wissenschaftliche Kompetenzen, um Materialinnovationen voranzutreiben und Effizienz, Kostenstruktur sowie Versorgungssicherheit nachhaltig zu verbessern.

Die globale Elektronikindustrie befindet sich in einem tiefgreifenden Wandel, angetrieben durch die Nachfrage nach höherer Effizienz, ökologischer Nachhaltigkeit und strategischer Autonomie. In diesem sich wandelnden Umfeld hat sich Siliziumkarbid (SiC) als ein zentraler Wegbereiter für Leistungsanwendungen der nächsten Generation etabliert. Um dieses Potenzial ausschöpfen zu können, unterstützt das 2024 gestartete europäische Projekt FastLane die Unabhängigkeit der EU bei kritischen Rohstoffen, entwickelt eine eigenständige SiC-Rohstoff- und Bauelementelieferkette und erweitert die Funktionalitäten von SiC, um bestehende Einschränkungen zu überwinden.

Paneuropäische Initiative

FastLane ist eine dreijährige, von der Europäischen Union kofinanzierte Initiative, die 29 Partner aus sieben

Ländern zusammenbringt, darunter führende Forschungseinrichtungen, spezialisierte KMU und große Industrieunternehmen. Unter der Koordination von Valeo verfolgt das Konsortium das Ziel, die Energieeffizienz zu steigern und den CO₂-Fußabdruck der Leistungselektronik zu verringern, indem eine robuste, unabhängige SiC-Lieferkette entwickelt wird – vom Rohmaterial bis hin zu Systemdemonstratoren. Durch die Nutzung von Skaleneffekten treibt FastLane kosteneffiziente Anwendungen zur Energieumwandlung voran und stärkt damit Europas technologische und wirtschaftliche Resilienz in der Leistungselektronik.

Die umfassende Struktur des Projekts erstreckt sich über mehrere Arbeitspakete und kooperative Aktivitäten und deckt die gesamte Wertschöpfungskette der SiC-Leistungselektronik ab. Dazu gehören unter anderem Materialentwicklung, Bauelementefertigung, Packa-

Diskrete DC/DC Lösungen



RECOM

Recom Power-ICs und SMD-Transformatoren

Serie RVP - Transformator Treiber IC's

- Flyback, Push-Pull und Full-Bridge Topologien

Serie RMR - Standard-Subminiatur-SMD-Transformatoren

- 1,5 kVDC/min bis 5 kVAC/min Isolationsspannung

Serie RVS - sekundärseitige Synchrongleichrichter-ICs

- Steuer-, Schutz- und Timing-Funktionen
- Trafo und IC Design perfekt aufeinander abgestimmt
- breiter Anwendungsbereich bis 10 W
- kundenspezifische Varianten möglich

Distribution by Schukat electronic

- Über 250 Hersteller
- 97 % ab Lager lieferbar
- Top-Preise von Muster bis Serie
- Persönlicher Kundenservice

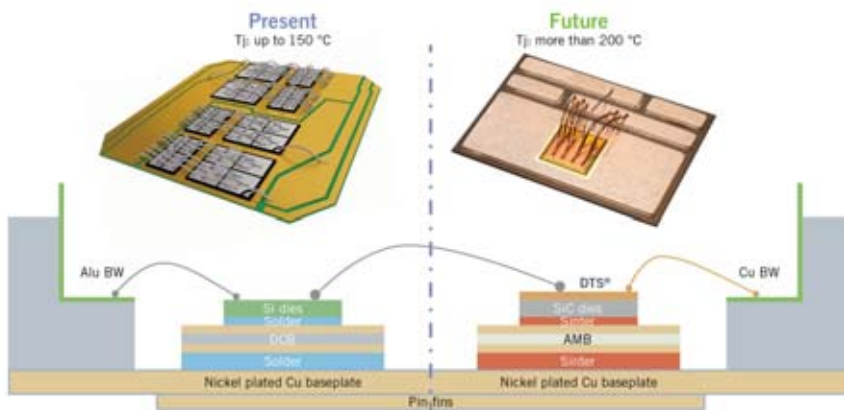
Onlineshop mit stündlich aktualisierten Preisen und Lagerbeständen

schukat.com



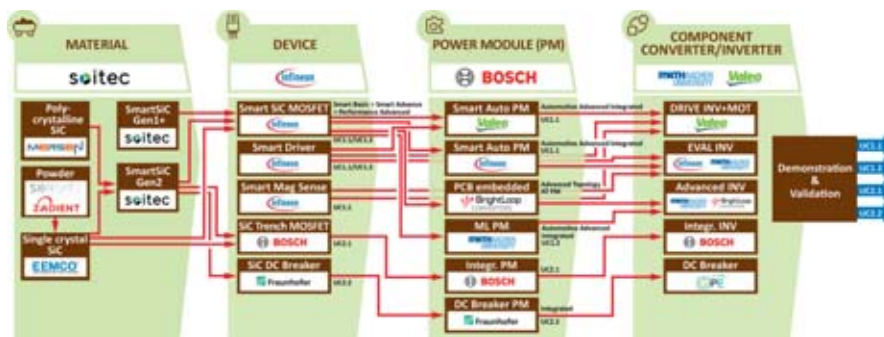
Hier mehr erfahren:

SCHUKAT
electronic



Materialinnovationen in leistungselektronischen Modulen zur Bewältigung zentraler Herausforderungen in Wärmemanagement, elektrischer Performance und Zuverlässigkeit.

Bild: Heraeus Electronics



Überblick über die Projektpartner im Konsortium

Bild: FastLane Project

ging-Innovationen und die abschließende Systemintegration.

Materialinnovationen

Innerhalb des FastLane-Konsortiums spielt die Materialentwicklung eine zentrale Rolle, um Aufbau und Leistung fortschrittlicher SiC-Leistungsmodulen zu ermöglichen. Zu den Mitwirkenden gehört Heraeus Electronics, das die Integration von sechs unterschiedlichen SiC-Moduldesigns durch drei spezialisierte Packaging-Technologien unterstützt. Diese Innovationen adressieren zentrale Herausforderungen im Wärmemanagement, in der elektrischen Performance und in der Zuverlässigkeit – allesamt entscheidende Faktoren für die Leistungselektronik der nächsten Generation.

Der Schwerpunkt des Unternehmens liegt auf der Entwicklung umweltverträglicher Materialien, die Miniaturisierung, Forward-Integration und hocheffiziente Energieumwandlung ermöglichen. Als Reaktion auf branchenweite Veränderungen – etwa den Aufstieg der E-Mobilität, von KI und Kommunikationstechnologien der nächsten Generation – ist kollaborative Innovation entlang der gesamten Wertschöpfungskette unerlässlich geworden. Heraeus Electronics

beteiligt sich an gemeinsamen Forschungsaktivitäten mit akademischen Einrichtungen, Start-ups, Ausrüstungsanbietern und Endanwendern und trägt über EU-geförderte Initiativen und Industrieverbände zur Entwicklung des gesamten Ökosystems bei.

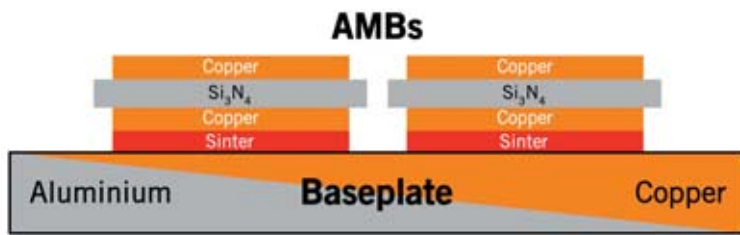
Technische Innovationen

Um das FastLane-Projektziel einer höheren Effizienz von Leistungsmodulen zu erreichen, ermöglichen SiC-Dies einen Betrieb bei >175 °C, mit höheren Schaltfrequenzen und gesteigerten Leistungsdichten. Für ihre effektive Nutzung werden jedoch fortschrittliche Packaging-Materialien benötigt. Heraeus bringt im Rahmen von FastLane folgende Schlüsselinnovationen ein:

- Ag-Sinterpasten zur Befestigung von Active-Metal-Brazed-(AMB)-Substraten ohne Edelmetalloberflächen
- Ag-freie AMB-Substrate mit Designs zur Verringerung parasitärer Induktivitäten
- Die Top System (DTS) für zuverlässiges Cu-Bonden auf SiC-Dies

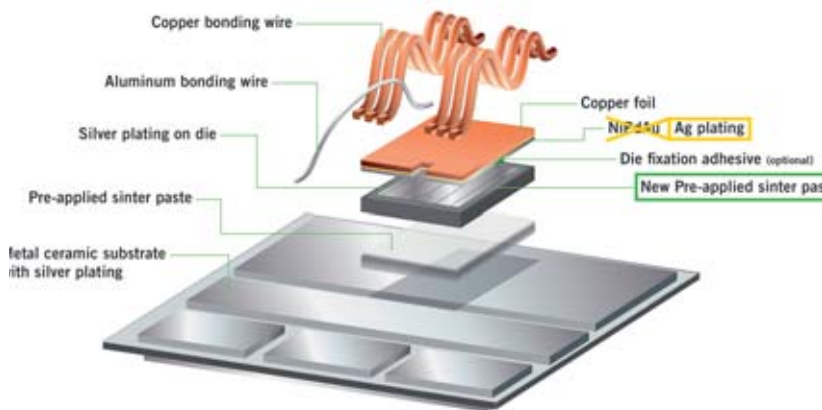
1. Silbersintern zur Befestigung von AMB-Substraten auf Aluminium-Grundplatten

Um sowohl Kosten als auch Gewicht beim Packaging von SiC-Leistungsmodulen zu reduzieren, hat Heraeus die Silbersinterpas-



Schematische Darstellung von auf Grundplatten gesinterten AMBs.

Bild: Heraeus Electronics



Schematische Darstellung des Die Top System DTS.

Bild: Heraeus Electronics

te PE 360P entwickelt. Sie ermöglicht die Befestigung von Active-Metal-Brazed-(AMB)-Substraten auf Aluminium-Grundplatten, ohne dass Edelmetalloberflächen erforderlich sind. Diese Innovation bietet erhebliche Vorteile:

- Bis zu 70 Prozent Gewichtsreduktion
- Kosteneinsparungen von bis zu 91 Prozent gegenüber Kupfer-Grundplatten

Erste Ergebnisse mit PE 360P zeigen bereits bei Cu-beschichteten Al-Grundplatten nach 1500 Temperaturzyklen (-55 °C/+150 °C) eine robuste Haftung der AMB-Substrate und minimale Delamination (<5 Prozent), vergleichbar mit ähnlichen Ag-beschichteten Grundplatten. Im Gegensatz dazu gewährleisten Ni-beschichtete Al-Grundplatten keine ausreichende Haftung. Die laufenden Arbeiten konzentrieren sich daher auf die weitere Optimierung des Ag-Sinterns direkt auf mit Nichtedelmetallen beschichteten Al-Oberflächen. Dieser Ansatz unterstützt ein skalierbares und kosteneffizientes Packaging für hochleistungsfähige SiC-Module.

2. Silberfreie, induktivitätsarme AMB-Substrate

Die zweite große Innovation konzentriert sich auf die Entwicklung silberfreier, induktivitätsarmer AMB-Substrate auf Basis von Si₃N₄-Keramik. Ziel ist es, parasitäre Induktivitäten zu senken und gleichzeitig die Kosteneffizienz zu verbessern.

Wesentliche Vorteile sind:

- Niedrigere Kosten durch Verzicht auf Silber (Ag-Gehalt >60 Gew.-Prozent in herkömmlichen AMB-Pasten)
- Geringere Ag-Migration für eine höhere Zuverlässigkeit
- Überlegene Performance im Vergleich zu traditionellen DCB-Substraten (Direct Copper Bonded)

Die Rasterakustikmikroskopie bestätigte die Zuverlässigkeit dieser AMB-2.0-Substrate nach Temperaturschocktests (-65 °C bis +150 °C). Ihre Performance ist mit Ag-haltigen AMB-Substraten vergleichbar, übertrifft DCB-Substrate und erfüllt sämtliche Kundenspezifikationen. Als nächster Schritt ist ihre Integration in Valeos induktivitätsarme Leistungsmodule vorgesehen.

Diese Innovation stärkt zudem die europäische AMB-Lieferkette, da sich alle wichtigen Fertigungspartner – einschließlich Metall- und Keramiklieferanten sowie des Technologie- und Produktionsstandorts von Heraeus Electronics – in Europa befinden. Das trägt zur Risikominimierung bei, verbessert die Stabilität der Lieferkette, reduziert CO₂-Emissionen und stärkt die Marktposition der EU. Um weltweit sichere Lieferfähigkeit zu gewährleisten, verfolgt Heraeus Electronics zusätzlich eine Dual-Source-Strategie in Asien.

3. Die Top System für Kupferdrahtbonden

Der dritte Baustein adressiert die Oberseitenkontaktierung, einen entscheidenden Faktor für hohe Zuverlässigkeit in SiC-Modulen. Heraeus hat das Die Top System (DTS) in Zusammenarbeit mit europäischen Partnern entwickelt. Dieses System basiert auf einer Kupferfolie mit bereits aufgebrachtem Sintermaterial und ermöglicht Kupferdrahtbonden mit einer mehr als zehnfach verbesserten Zuverlässigkeit im Vergleich zu Aluminium-Bondverbindungen.

Das industrialisierte DTS-Silver ersetzt die NiPdAu-Metallisierung durch eine Ag-Beschichtung und gewährleistet damit:

- Vereinfachtes Sintern
 - Zuverlässiges Kupferbonden auf SiC-Dies
- Zur künftigen Weiterentwicklung gehört laserstrukturiertes DTS-Silver für feinere Drahtbondgeometrien bis hinunter zu 0,5 × 0,5 mm². Diese fortschrittlichen Interconnects werden in FastLane-Leistungsmodulen auf Performance und Zuverlässigkeit bewertet.

Ergebnisse und laufende Integration

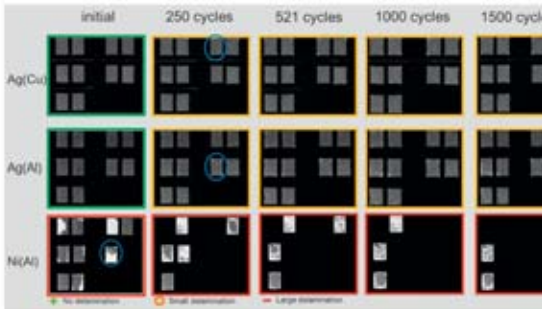
Im ersten Jahr von FastLane haben Heraeus Electronics und seine Partner erfolgreich drei zentrale Packaging-Innovationen geliefert:

- Entwicklung einer Ag-Sinterpaste zur Befestigung von AMB-Substraten auf Ag-metallisierten Aluminium-Grundplatten als Ersatz für konventionelles Kupfer
- Entwicklung silberfreier AMB-Substrate auf Basis von Si₃N₄-Keramik zur Senkung von Kosten und Induktivität
- Entwicklung von DTS-Systemen für zuverlässiges und kosteneffizientes Kupferdrahtbonden auf SiC-Dies

Diese Technologien befinden sich nun in der Integrations- und Zuverlässigkeitserprobung über mehrere Anwendungsfälle für Leistungsmodule hinweg. Diese Arbeiten laufen bis Juni 2027 weiter – mit dem Ziel, Performance, Effizienz und Resilienz von SiC entlang der europäischen Wertschöpfungskette für Leistungselektronik zu steigern.

Fazit und Ausblick

Durch die Integration fortschrittlicher SiC-Technologien in maßgeschneiderte Demonstratoren in den Bereichen Mobilität und Energie erfüllt FastLane fünf zentrale Zielsetzungen:

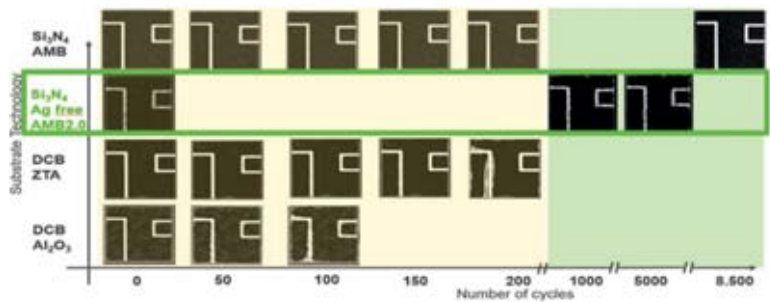


Ergebnisse der Rasterakustikmikroskopie nach thermischem Zyklieren von AMBs auf drei Grundplattentypen.

Bild: Heraeus Electronics

Das FastLane-Projekt will die Umweltauswirkungen der Leistungselektronik verringern, indem einerseits die Energieeffizienz verbessert und andererseits der CO₂-Fußabdruck von Materialien und Prozessen gesenkt wird. Gleichzeitig trägt es dazu bei, die europäische Souveränität bei kritischen Rohstoffen zu stärken, indem eine unabhängige und widerstandsfähigere SiC-Lieferkette aufgebaut wird.

Darüber hinaus konzentriert sich das FastLane-Projekt darauf, neue Funktionalitäten in Siliziumkarbid-Bauelementen und im Packaging zu erschließen, um einen Betrieb bei höheren Temperaturen, Schaltfrequenzen und Leistungsdichten zu ermöglichen. Die Kostenoptimierung wird durch Innovationen bei Materialien und skalierbaren Fertigungstechniken vorangetrieben. Schließlich unterstützt FastLane die beschleunigte Innovation in der Leistungselektronik der nächsten Generation, indem es die Zusammenarbeit zwischen Forschungseinrichtungen, Industriepartnern und Technologieentwicklern fördert – und letztlich die Nutzbarkeit und Bezahlbarkeit für Endanwender verbessert. Die Beiträge aller FastLane-Partner ermöglichen die Ent-



Ergebnisse der Rasterakustikmikroskopie nach thermischem Zyklieren von AMB- und DCB-Substraten.

Bild: Heraeus Electronics

wicklung von SiC-Leistungsmodul-Demonstratoren, die auf spezifische Endanwenderanwendungen zugeschnitten sind.

E-Mobilität:

- Leichte Nutzfahrzeuge (UCs 1.1 & 1.2a) für Anwendungen mit hohen Stückzahlen
- Ultra-Class-Haul-Trucks (UC 1.2b) für Hochleistungsanwendungen in anspruchsvollen Heavy-Duty-Umgebungen

Energiesysteme:

- Leistungsinverter für Elektrolyseure (UC 2.1) zur Unterstützung der grünen Wasserstoffproduktion
- Festkörper-Leistungsschalter (UC 2.2) für Netzschutz und fortschrittliche Batteriespeicher

Diese Demonstratoren werden die technische Machbarkeit und Leistungsfähigkeit von SiC-Modulen unter realen Einsatzbedingungen validieren. Zusammengekommen sollen diese Aktivitäten Europa an die Spitze nachhaltiger, hochleistungsfähiger Leistungselektronik bringen – auf Basis von Siliziumkarbid. (bs)

Autor: Dr. Sebastian Fritzsche, Manager Technology Scouting bei Heraeus Electronics



ISABELLENHÜTTE

Systeme beherrschen: Präzise Messung von Strom, Spannung, Temperatur und Energie.

TREFFEN SIE UNS AUF DER
BATTERY SHOW EUROPE 2026

📍 Messe Stuttgart

📅 09. - 11. Juni 2026

📍 Halle: 3, Stand: 3-D26





Bild: MiguelAngel - @stock.adobe.com

Laserdioden-Versorgung in aktuellen Laseranlagen

Wenn Stromversorgung zur Systemarchitektur wird

Steigende Spannungen und Ströme, dynamische Pulsregime sowie normativ abgesicherte Sicherheitskonzepte führen dazu, dass klassische Standard-Netzteile für Laseranwendungen oft nicht mehr ausreichen. Stattdessen wird die Stromversorgung zunehmend zu einer zentralen Systemkomponente innerhalb komplexer Laserarchitekturen.

Die Lasertechnologie hat sich in den vergangenen Jahren in zahlreichen Industriezweigen rasant weiterentwickelt. Von der industriellen Materialbearbeitung über medizinische Anwendungen bis hin zu Forschungsprojekten entstehen immer leistungsfähigere und zugleich stärker spezialisierte Lasersysteme. Mit dieser Entwicklung steigen auch die Anforderungen an die elektrische Versorgung der Laserdioden.

Während früher häufig universelle Netzteile eingesetzt wurden, rückt heute eine anwendungsspezifische Auslegung der Stromversorgung immer stärker in den Fokus. Lasersysteme werden zunehmend individuell auf eine konkrete Anwendung hin entwickelt. Entsprechend müssen auch die Stromversorgungslösungen genau auf diese Systeme abgestimmt sein. Anbieter spezialisierter Stromversorgungslösungen übernehmen dabei nicht nur die Lieferung einzelner Geräte, sondern zunehmend auch Entwicklungsaufgaben für Test-, Forschungs- und Industrieanwendungen.

Ein wesentlicher Treiber dieser Entwicklung ist der technologische Wandel bei den Laserdioden selbst. Aktuelle Anwendungen arbeiten häufig mit Dioden-Stacks oder seriell verschalteten Single-Emittern, um höhere optische Leistungen und bessere Strahlqualitäten zu erreichen. Dadurch steigen sowohl die benötigten Ströme als auch die Versorgungsspannungen.

Während klassische Laserdioden-Barren vor allem hohe Ströme erforderten, verschiebt sich der Fokus bei vielen neuen Anwendungen in Richtung höherer Spannungen. Solche Architekturen finden sich beispielsweise

beim Pumpen leistungsstarker Faserlaser, in hochpräzisen Schneidprozessen oder in wissenschaftlichen Hochleistungsanwendungen.

Gleichzeitig zeigt sich eine enorme Bandbreite an Laseranwendungen – von industriellen Fertigungsprozessen über Medizintechnik bis hin zu Defence-Projekten. Jede dieser Anwendungen stellt sehr spezifische Anforderungen an die jeweilige Stromversorgung. Eine universelle Standardlösung wird diesen unterschiedlichen Anforderungen daher immer seltener gerecht.

Anforderungen an Treiberdesigns

Neben Leistung und Spannung spielt zudem auch die Dynamik vieler Laseranwendungen eine entscheidende Rolle. Während im klassischen Continuous-Wave-Betrieb ein besonders geringer Ripple im Vordergrund stehen kann, verlangen gepulste Anwendungen extrem schnelle Stromanstiegszeiten und eine sehr präzise Regelung.

Gerade bei kurzen oder ultrakurzen Pulsen wird deutlich, dass Stromversorgung und Laserdiode nicht getrennt voneinander betrachtet werden können. Leitungsinduktivitäten, die geometrische Nähe zwischen Treiber und Diode sowie das gesamte Systemlayout beeinflussen direkt die erreichbare Pulsdynamik.

In vielen Fällen reicht es deshalb nicht aus, lediglich ein Netzteil auszuwählen. Vielmehr müssen Treiber, Anschlussgeometrie und Laserdioden als Gesamtsystem betrachtet und gemeinsam optimiert werden, um die geforderte Performance zuverlässig zu erreichen.

Grenzen klassischer Netzteile

Vor diesem Hintergrund stoßen klassische Standard-Netzteile oder rein katalogbasierte Lösungen zunehmend an ihre Grenzen. Zwar können sie oft die nominalen Strom- und Spannungswerte bereitstellen, erfüllen jedoch nicht immer die zusätzlichen Anforderungen aktueller Laseranwendungen. Ein Aspekt ist der verfügbare Bauraum. Aktuelle Lasersysteme sind häufig kompakt, sodass große Netzteile mechanisch nur schwer integrierbar sind. Gleichzeitig verlangen viele Anwendungen eine Point-of-Load-Versorgung, bei der der Strom möglichst nahe an der Laserdiode erzeugt wird.

Wenn Treiber und Diode räumlich weit voneinander entfernt sind, können Leitungsinduktivitäten und Verluste schnell zum limitierenden Faktor werden. Deshalb gewinnen kompakte DC/DC-Treiberlösungen in unmittelbarer Nähe zur Diode an Bedeutung. Die Stromversorgung wird damit nicht mehr nur als vorgelagerte Energiequelle verstanden, sondern als funktional eng mit dem Lasersystem verknüpfte Baugruppe.

Elektronische Sicherheit

Ein weiterer zentraler Aspekt ist die Gewährleistung der Sicherheit. Hochleistungs-Laseranlagen müssen häufig die Anforderungen der DIN EN ISO 13849-1 erfüllen, insbesondere das Performance Level e. Dieses stellt die höchste Sicherheitskategorie für Maschinen dar.

Klassische mechanische Schutzkonzepte erweisen sich in diesem Kontext jedoch häufig als nicht mehr ausreichend. In vielen modernen Laserarchitekturen existiert beispielsweise kein zugänglicher Resonatorbereich mehr, in dem ein mechanischer Shutter den Strahl unterbrechen könnte. Bei heutigen Faserlasern tritt der Strahl erst am Ausgang der Faser aus. Mechanisch einzugreifen würde bedeuten, die gesamte Laserleistung absorbieren zu müssen – ein Ansatz, der technisch kaum sinnvoll realisierbar ist. Eine Alternative bieten elektronische Sicherheitsschalter, die den Laser direkt zwischen Treiber und Diode deaktivieren. Dadurch kann der Laser zuverlässig abgeschaltet werden, ohne dass die gesamte Stromversorgung heruntergefahren werden muss.

Von der Komponente zum integrierten System

Dadurch wird deutlich, dass die steigende Komplexität moderner Laseranwendungen dazu führt, dass die Stromversorgung zunehmend als integraler Bestandteil der Systemarchitektur verstanden werden muss. Treiber, Sicherheitseinrichtungen, Steuerung und mechanische Integration müssen aufeinander abgestimmt sein.

Anbieter spezialisierter Stromversorgungslösungen reagieren darauf mit breiten Portfolios für Laser- und Photonik-Anwendungen. Dazu gehören unter anderem Hochleistungs-Treiberplattformen, elektronische Sicherheitsschalter sowie kundenspezifische Racksysteme.

Die Umsetzung solcher Lösungen beginnt in der Regel mit einer detaillierten Analyse der jeweiligen Anwendung. Betrachtet werden dabei nicht nur Strom und Spannung, sondern auch Faktoren wie Pulsdynamik, Leitungswege, Integration, Sicherheit und Systemarchitektur. Auf dieser Basis entstehen applikationsspezifisch konzipierte Lösungen, die von einzelnen Treibern bis hin zu vollständig integrierten Stromversorgungssystemen reichen können.



Skalierbarkeit und Systemintegration

Mit Blick auf zukünftige Laseranwendungen nehmen insbesondere Skalierbarkeit und modulare Architekturen an Bedeutung zu. Viele Systeme werden heute so ausgelegt, dass sie später erweitert oder an steigende Leistungsanforderungen angepasst werden können. Auch Themen wie thermisches Management, mechanische Integration und geeignete Schnittstellen spielen eine immer größere Rolle für die langfristige Betriebssicherheit einer Laseranlage.

Eine stabile Laseranlage entsteht nicht allein durch einen leistungsfähigen Treiber. Erst wenn elektrische Auslegung, Mechanik, Thermik und Steuerung zusammenpassen, lässt sich ein wirklich robustes Gesamtsystem realisieren.

Zusätzlich zeigt sich in vielen Projekten, dass die Anforderungen an Laserstromversorgungen nicht nur durch die eigentliche Laserquelle bestimmt werden, sondern auch durch die übergeordnete Anlagenarchitektur. Produktionsanlagen müssen häufig rund um die Uhr zuverlässig arbeiten, während Forschungsumgebungen maximale Flexibilität und Anpassungsfähigkeit verlangen. Stromversorgungslösungen müssen daher hohe technische Präzision und langfristige Stabilität bieten. Gerade bei Hochleistungsdioden entscheidet die Qualität der elektrischen Versorgung oft darüber, ob ein System dauerhaft reproduzierbare Ergebnisse liefert oder ob Leistungsabfälle, thermische Belastungen oder unkontrollierte Pulsverläufe auftreten. (bs)

Autor: Patrick Schulze, Journalist für Wordfinder

Der Halbleiter-Sicherheitsswitch SES ermöglicht den Betrieb von Laseranlagen mit Taktzyklen bis Cat. 4/Performance Level e.

Bild: Schulz-Electronic



50 Jahre POWER

**600 V Zwischenkreis
Batterie-Ladung
Frontendversorgung
Bahnzulassung**

SYSTEMKOMPONENTEN

< 450 bis > 850 V
1000 Vs 1ms
28V/84V/126VDC
1,7kw / 2 kw 4 sek I²t



BLG.S600.126.16

SYKO Gesellschaft für Leistungselektronik mbH
 +49 (0)6182 9352-0 / www.syko.de / info@syko.de

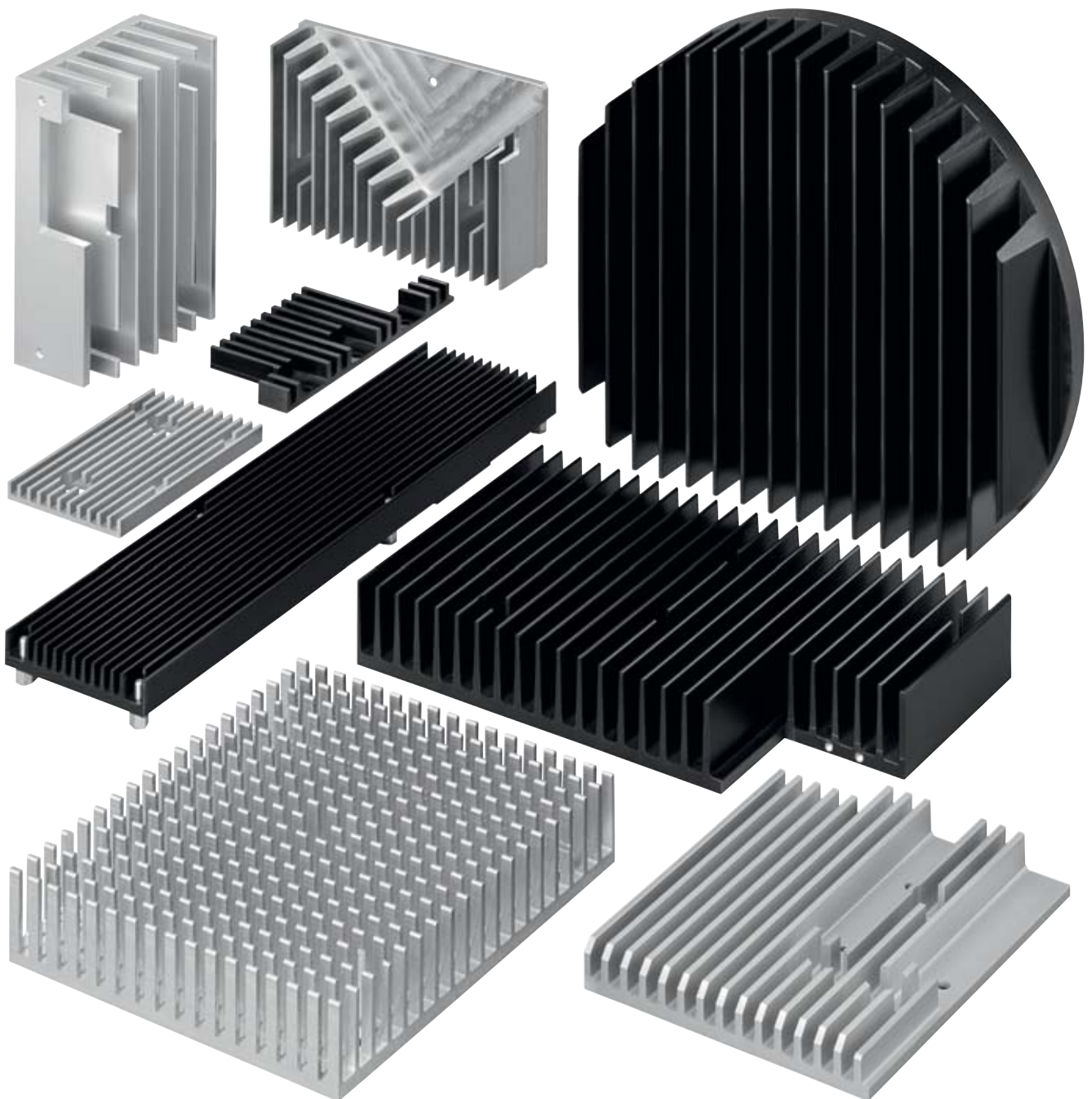
Thermomanagement in der Elektronik

Effiziente Entwärmungskonzepte für mehr Sicherheit und Lebensdauer

Bild 1: Verschiedenartige Strangkühlkörper aus Aluminium liefern zur Entwärmung elektronischer Bauelemente hervorragende Lösungsmöglichkeiten mittels freier Konvektion.

Bild: Fischer Elektronik

Effiziente Entwärmungskonzepte sind eine zentrale Voraussetzung für die Funktionssicherheit und Lebensdauer elektronischer Bauteile. Je nach Anwendung kommen passive, aktive und materialgestützte Lösungen zum Einsatz.



In Abhängigkeit der Bauteilgröße und deren Verwendung in einer bestimmten Applikation, sind effiziente Entwärmungslösungen mehr denn je nachgefragt. Ziel solcher Systeme ist es, die elektronischen Bauteile in einem vom Hersteller spezifizierten Temperaturbereich zu betreiben, um langfristig die positiven Eigenschaften und Funktionsmerkmale dieser Bauteile zu gewährleisten. Zu hohe Temperaturen bzw. die sogenannte Verlustwärme entsteht im Bauteil selbst, da nicht die gesamte zugeführte Energie in Leistung umgewandelt wird. Es entstehen aufgrund physikalischer Vorgänge Verluste im Bauteil, welche unmittelbar in schädliche Wärme umgewandelt werden. Wird es dem Bauteil als Konsequenz zu warm, sind Fehlfunktionen, Bauteilausfälle oder gar eine Bauteilerstörung vorprogrammiert.

Elektronische Bauteile erfordern je nach Anwendung, Verlustleistung und Einsatzgebiet, effektvolle, auf die Applikation angepasste Entwärmungskonzepte. Fischer Elektronik als Hersteller von verschiedenartigen Entwärmungskomponenten und auch Problemlöser für unterschiedliche Entwärmungsaufgaben, liefert ein umfangreiches Standardprogramm und kann dieses ebenfalls mittels eines aktuellen Maschinenparks auf die Kundenbedürfnisse anpassen. Verschiedenartige Kühlkörpervarianten als Aluminiumstrangpressprofil, Kupfer- oder Aluminiumblechbiegeteile für die Bauteilentwärmung auf der Leiterkarte, aktive Lösungen als Lüfteraggregat oder leistungsfähige Flüssigkeitskühlkörper für Bauteile mit größerer Verlustleistung, ermöglichen eine solide und sichere Entwärmung elektronischer Bauteile und Komponenten.

Strangkühlkörper aus Aluminium

Stranggepresste Kühlkörper (Bild 1) aus Aluminium sind in der Elektronik zur Bauteilentwärmung weit verbreitet, genauer gesagt, nach wie vor eine der am häufigsten eingesetzten Entwärmungsmethoden. Beim Strangpressen wird wie im Extrusionsverfahren ein erwärmter Aluminiumblock kurz vor der Schmelzgrenze durch eine Werkzeugmatrize gepresst. Diese enthält als negativ die eigentliche Kühlkörpergeometrie. Das genannte Aluminium ist eine spezielle Legierung und besitzt neben einer hohen Wärmeleitfähigkeit weiterhin funktionelle Eigenschaften, wie ein relativ geringes spezifisches Gewicht und eine hohe Festigkeit bei sehr guter Zerspanbarkeit. Des Weiteren eignet sich das Material gut für vielzählige Oberflächenbeschichtungen.

Auswahl des richtigen Kühlkörpers

Zu Beginn eines jeden Projektes steht oftmals die Frage im Raum, welcher Kühlkörper sich am besten für die Entwärmungsaufgabe eignet, beziehungsweise zur Applikation passt. Um das Thema Auswahlprozess etwas einzugrenzen, ist es sinnvoll, im ersten Schritt den so genannten Wärmewiderstand überschlagsmäßig zu berechnen. Einfache Berechnungsformeln liefern keine wissenschaftliche Ausarbeitung, helfen aber dabei, das Wärmeproblem einzugrenzen. Anhand des berechneten Wärmewiderstandes kann unter Berücksichtigung der weiteren Randbedingungen, wie z.B. dem max. zur Verfügung stehende Einbauraum, eine Auswahl des Kühlkörpers anhand der in den Katalogen der Kühlkörperhersteller gemachten numerischen Angaben, Diagram-



Bild 2: Leistungsstarke Lüftermotoren ergeben in Verbindung mit einem Aluminiumhohlkammerprofil mit innovativer Wärmetauschstruktur beste thermische Wirkungsgrade.

Bild: Fischer Elektronik

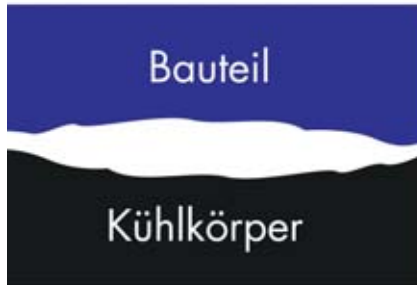


Bild 3: Für die Entwärmung von Hochleistungskomponenten stehen U-durchströmte Flüssigkeitskühlkörper bis zu einer Verlustleistung von 8 kW zur Verfügung.

Bild: Fischer Elektronik

men oder graphischen Darstellungen erfolgen. Weiterhin liefert die Größe des thermischen Widerstandes eine Aussage darüber, ob die Entwärmungsaufgabe passiv mittels der freien Konvektion, aktiv mittels der forcierten Konvektion oder nur durch den Einsatz von Flüssigkeiten zu lösen ist.

Zwischenraum durch Unebenheit



Luftpolster

Zwischenraum durch Rauheit

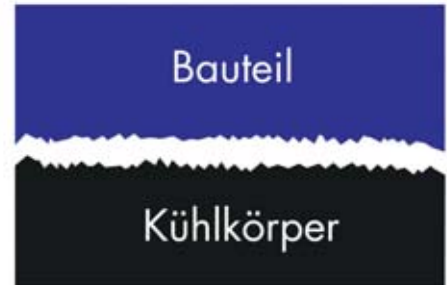


Bild 4: Jede Auswahl an TIMs sollte zunächst mit einer genauen Betrachtung der Kontaktpaarung und deren dazugehörigen Toleranzen starten, um die Auswahl einzuzugrenzen.

Bild: Fischer Elektronik

Das Design des jeweiligen Kühlkörpers wird im Hause Fischer Elektronik nicht einfach so gewählt, sondern genauestens analysiert. Hierfür wird eine spezielle Simulationssoftware eingesetzt, die im Besonderen auf die physikalischen Gegebenheiten wie Wärmeleitung und -strahlung ausgelegt ist. Im Detail wird der Wärmeverlauf im gesamten Kühlkörper betrachtet, da sich die thermische Performance von Strangkühlkörpern aus dem richtigen Verhältnis zwischen Bodenstärke, Rippenhöhe, -abstand und -anzahl zusammensetzt. Je nach entstandener Kühlkörpergeometrie und dessen Materialverteilung, müssen im Vorfeld gleichfalls die auftretenden Fertigungstoleranzen Beachtung finden. Fertigungstoleranzen sind beim Strangpressverfahren unvermeidlich und obliegen internationaler DIN-Normen.

In puncto Durchbiegung der Montageflächen, aber auch der Breiten- und Höhentoleranz, können diese je nach Größe des Profilquerschnitts erheblich sein und erfordern oftmals eine mechanische Nachbearbeitung, zumal ein Strangkühlkörper bei der Verwendung in der Gesamtkonzeption der Applikation berücksichtigt werden muss. Oftmals stellt der Kühlkörper eine im Gerät verbaute Komponente dar, weshalb dieser immer in Zusammenhang mit anderen Bauteilen zu betrachten ist.

Luft und Wasser liefern Performance

Gelangen die genannten Strangkühlkörper aus Aluminium an ihre leistungstechnischen Grenzen, sind die in der Applikation geforderten Temperaturdifferenzen zu klein oder ist die abzuführende Verlustleistung der eingesetzten Bauteile zu groß, dann sind aktive Entwärmungskonzepte in Form von sogenannten Lüfteraggregaten (Bild 2) sinnvoll einzusetzen. Lüfteraggregate enthalten im Aufbau eine umschlossene Hohlkammer, welche in ihrem Aufbau und Wärmetauschgeometrie jeweils auf die verwendeten Lüftermotoren und deren Leistungsdaten, wie Luftgeschwindigkeit und -volumen, abgestimmt sind.

Der mittels der vorgeschalteten Lüftermotoren erzeugte Luftstrom, wird in gerichteter Form durch die umschlossene Wärmetauschstruktur geleitet. Hierdurch sind Lüfteraggregate als aktive Entwärmungslösung sehr effektiv und stellen bereits in vielen Bereichen der Leistungselektronik eine erprobte Technik dar. Hierfür stehen spezielle Systeme als Segment-, Miniatur-, Hohlrippen- oder Hochleistungslüfteraggregat, mit Axial-,

Radial- oder Diagonallüftermotor, zur Verfügung. Die unterschiedlichen modularen Aufbauten der Lüfteraggregate sowie deren technische Realisierung sind auf die vielfältigen Anwendungen, Bauteilgrößen und der damit verbundenen abzuführenden Verlustleistung angepasst. Effiziente innenliegende und strömungsoptimierte Wärmetauschflächen, ein- oder doppelseitige exakt plan gefräste Halbleitermontageflächen, runden die vielzähligen positiven Eigenschaften der Lüfteraggregate ab.

Abfuhr großer Verlustleistungen

Etlche leistungstechnische Anwendungen erfordern die Wärmeabfuhr großer Verlustleistungen, die mit aktiven Lösungsansätzen nicht mehr umzusetzen sind. Nach dem Element Luft, folgt das Element Wasser, welches sich alleine durch die Betrachtung der spezifischen Wärmekapazität gegenüber der Luft deutlich unterscheidet. Die sogenannten Flüssigkeitskühlkörper (Bild 3) werden mit dem Kühlmedium Wasser oder Öl betrieben und liefern ausgezeichnete sowie sehr leistungsfähige Lösungen zur Bauteilentwärmung. Flüssigkeitskühlkörper aus dem Hause Fischer Elektronik, in unterschiedlichen Ausführungen als I- oder U-durchströmte Variante, besitzen im inneren Strömungskanal eine zueinander versetzte Lamellenstruktur. Diese ist wärmeleitend über ein spezielles Lötverfahren mit der Basis- und Bauteilmontageplatte verbunden, wodurch ein sehr guter Wärmetransport von dem zu kühlenden Bauelement in die durchströmende Flüssigkeit umgesetzt wird.

Des Weiteren sorgt die Struktur für eine homogene (flächige) Durchströmung des Flüssigkeitskühlkörpers, womit gleichfalls die entstehenden Strömungsverluste minimiert werden. Exakt plangefräste, dicke Halbleitermontageflächen dienen zur Befestigung wärmeemittierender Bauelemente und erlauben darüber hinaus eine freie Platzierung der Bauteile ohne jegliche Beschränkung. Nicht nur aufgrund der 4-fach höheren Wärmekapazität des Wassers gegenüber der Luft erscheint eine Flüssigkeitskühlung als Entwärmungskonzept überragend und bei etlichen Anwendungen durchaus als überlegenswert.

In Kontakt bleiben

Thermische Kontaktmaterialien (TIM) dienen zur Verbesserung der Wärmeleitung beim Übergang von der einen Komponente auf die andere. Oftmals betrifft das

die Kontaktierung eines zu entwärmenden Bauteils auf einer Wärmesenke. Die Oberflächen der Kühlkörper, aber auch der elektronischen Bauteile, wirken auf den ersten Eindruck eben und glatt. Gemäß Literatur wird lediglich mit einer Kontaktfläche, ohne mechanische Nachbearbeitung, von 2 bis 5 Prozent gerechnet. Die restliche Fläche ist ein Luftpolster, welches aus Zwischenräumen besteht, in denen die Luft als thermischer Isolator fungiert. Diese Luftpolster gilt es mit geeigneten Wärmeleitmaterialien auszugleichen, da die Luft bei bekanntermaßen sehr schlecht die Wärme leitet. Leider wird vielfach bei der Auswahl von Wärmeleitmaterialien nur der Wert der Wärmeleitfähigkeit als Entscheidungskriterium betrachtet, ohne wirklich einen Blick auf die vorhandene Einbausituation und die geforderten Randbedingungen zu werfen.

Der Wärmewiderstand, die thermische Impedanz bei appliziertem Anpressdruck, die Eben- und Rauheit der Kontaktpaarung, die elektrische Isolierung oder Leitung (Isolationswiderstand), der Temperaturbereich und die Durchschlagsfestigkeit sind nur einige Parameter, die es zu berücksichtigen gilt. Das bereits benannte Auswahlkriterium der Wärmeleitfähigkeit ist damit zu begründen, dass diese zwangsläufig zu einem geringeren Temperaturanstieg am elektronischen Bauteil und damit zu einer längeren Lebensdauer führen muss.

Produktwelt der Wärmeleitmaterialien

Die Produktwelt der Wärmeleitmaterialien beinhaltet unzählige unterschiedliche Ausführungen und Lösungsansätze. Angefangen von altbekannten Wärmeleitpasten und -klebern bis hin zu silikonhaltigen und silikonfreien Wärmeleitfolien, Schaum- und GEL-Folien, Graphit- und Aluminiumfolien, Phasen-Change-Materialien in fest und flüssig, einseitig und doppelseitig klebenden Folien, Kapton- und Glimmerscheiben sowie Aluminiumoxydmaterialien, werden diese Materialien in den unterschiedlichsten Konfektionen angeboten. Bei der Auswahl für die Applikation geeigneter Wärmeleitmaterialien, ist es stets ratsam, in einem ersten Schritt die Kontaktpaarung zu betrachten. Erforderliche Randparameter, zu überbrückende Spaltmaße, welche durch die Konvexität und Konkavität einer jeden Kontaktpaarung gegeben sind, müssen genauestens einer Analyse unterzogen werden (Bild 4).

Zu guter Letzt ist es vielfach notwendig die angesprochenen Materialien speziell auf die Kundenapplikation bzw. die Kontaktpaarung in Form besonderer Geometrien oder Zuschnitte anzupassen. Wärmeleitfolien können aufgrund ihrer Eigenschaften und Weichheit relativ einfach nach kundenspezifischen Vorgaben oder als Konstruktionsteil mittels Stanzautomaten oder Schneidcutter produziert sowie konfektioniert werden.

Aus Platten- oder Rollenmaterial erfolgt mittels geeigneter CAD-Daten eine toleranzgenaue Schneidvorlage. Darüber hinaus ist als weiterer echter Mehrwert bei Fischer Elektronik ein-24-Stunden-Muster-Lieferservice gegeben, womit der Anwender seine für sein Design ausgewählten Materialien direkt an oder in der Applikation schnell und unkompliziert testen sowie bewerten kann. (na) ■

Autor: Jürgen Harpain, Entwicklungsleiter bei Fischer Elektronik



ICT SÜEDWERK
TIM Solutions & Services

WE CREATE BETTER T.I.M.S

INSPIRED CUSTOMIZED T.I.M. SOLUTIONS

COOL BLEIBEN WENN'S HEISS HERGEHT

- SPEZIALFOLIEN
- TECHNISCHE KERAMIKEN
- WÄRMELEITMATERIALIEN
- EMV-SCHIRMUNGSPRODUKTE

Ihre T.I.M.-Lösung
ist nur einen Klick entfernt
www.ict-suedwerk.de

Besuchen Sie uns auf

THE BATTERY SHOW

by Informa***

Halle 3
Stand D86

Wir freuen uns auf Ihren Besuch!

9-11 June, 2026

Messe Stuttgart

Germany, DE

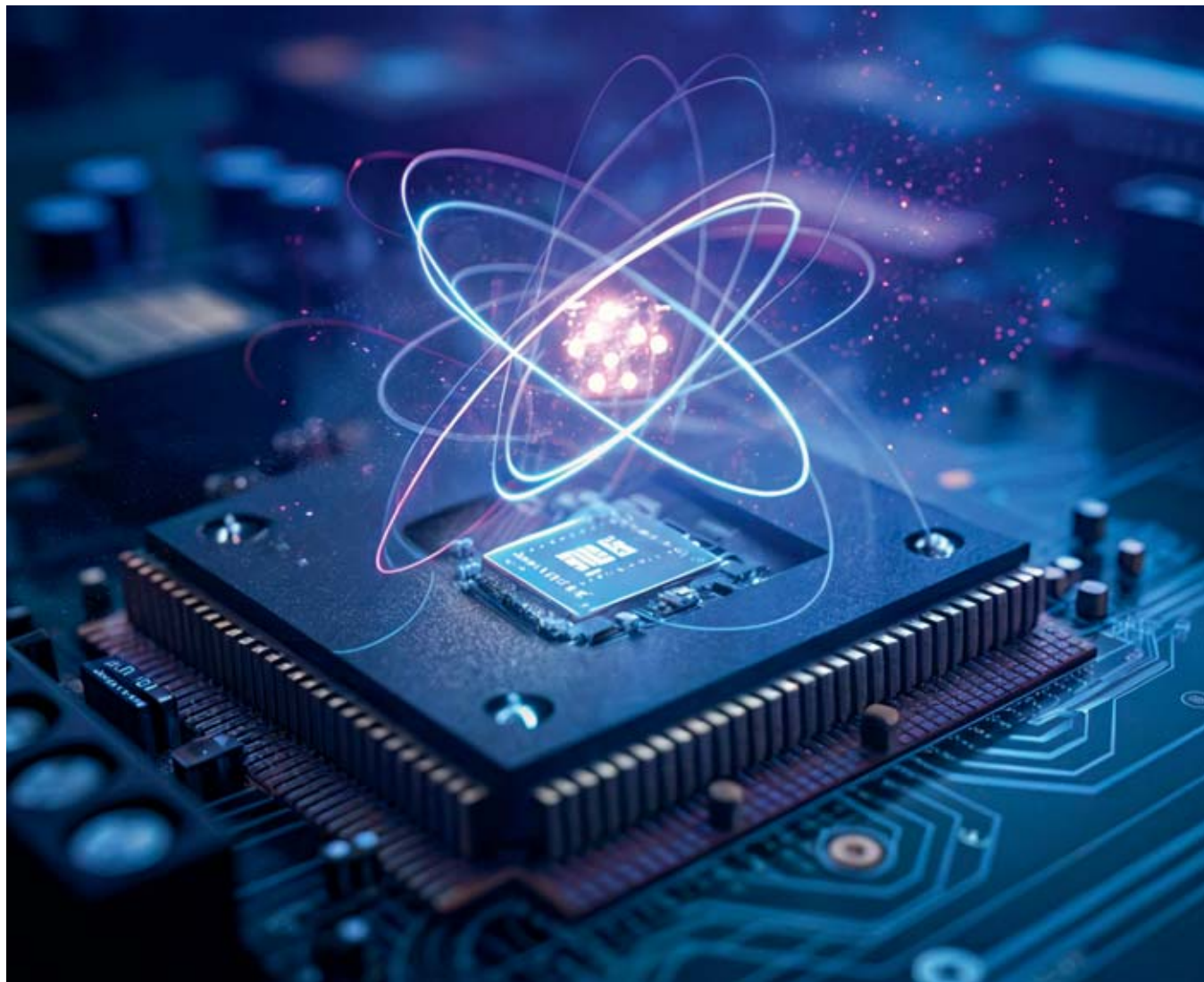
ICT SÜEDWERK GmbH

Bajuwarenring 12a ■ 82041 Oberhaching

T +49 (0)89 21 23 102-0 ■ info@ict-suedwerk.de



ALL YOU NEED
TO MANAGE YOUR HEAT



Für Quantentechnologien braucht es Materialplattformen, die Skalierbarkeit und die kommerzielle Tragfähigkeit der Quantentechnologie ermöglichen.

Bild: eaivey - stock.adobe.com

Grundlagen, Plattformen, Perspektiven

Materialien für Quantentechnologien

Quantentechnologie gehört aktuell zu den am schnellsten wachsenden Deep-Tech-Märkten. Ihre Leistungsfähigkeit und Skalierbarkeit werden jedoch häufig durch Herausforderungen bei Materialien, Komponenten und Fertigungsprozessen ausgebremst. Dieser Beitrag analysiert die Chancen und aufkommenden Lösungen bei Materialien für Quantencomputing, Quantensensorik und Quantenkommunikation.

In der gesamten Quantentechnologiebranche braucht es Materialplattformen, die Skalierbarkeit und damit letztlich die kommerzielle Tragfähigkeit der Quantentechnologie ermöglichen. Diese Materialplattformen bilden die physische Grundlage der Quantensysteme, mit deren Hilfe Produkte von den Eigenschaften der Quantenphysik profitieren können: sei es durch die Lösung klassisch nicht beherrschbarer Probleme im Quan-

tencomputing, durch eine um Größenordnungen höhere Empfindlichkeit bei Quantensensoren oder durch sichere kryptografische Lösungen in der Quantenkommunikation.

Das Feld der Quantentechnologien wird üblicherweise in drei Marktsegmente gliedert: Quantencomputing, Quantensensorik und Quantenkommunikation. In allen drei Bereichen werden quantenmechanische Phä-

nomene wie Superposition, Verschränkung und diskrete Energieniveaus genutzt, um einen Mehrwert gegenüber klassischen Technologien zu erzeugen.

Drei zentrale Materialplattformen

Aus Materialsicht macht es Sinn, Quantentechnologien nicht in die drei Marktsegmente Quantencomputing, Quantensensorik und Quantenkommunikation aufzuteilen, sondern nach den Quantensystemen, auf dem sie basieren.

Die drei wichtigsten Materialplattformen für Quantentechnologien sind:

- Photonische Systeme
- Supraleitende Chips
- Nanomaterialien und Diamant

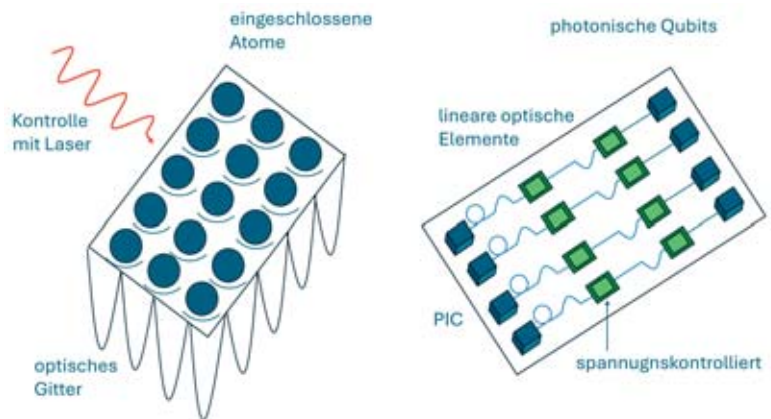
In allen drei Fällen erstrecken sich die Materialplattformen jeweils über alle drei Marktsegmente. Dadurch können Technologien und Produkte aus unterschiedlichen Bereichen der Quantentechnologie oft von denselben Materialinnovationen, Komponenten oder Fertigungskompetenzen profitieren.

Photonik in der Quantentechnologie

Photonik spielt in der Quantentechnologie eine zentrale Rolle, weil Lichtquanten, also Photonen, besonders gut als Informationsträger geeignet sind. Sie sind schnell, koppeln vergleichsweise schwach an ihre Umgebung und lassen sich über große Distanzen mit geringen Verlusten übertragen. Deshalb bilden sie die Grundlage für die Quantenvernetzung, also die Verbindung einzelner Quantensysteme zu größeren Netzwerken. In diesem Kontext fungieren Photonen als „fliegende Qubits“, die Verschränkung zwischen räumlich getrennten stationären Qubits erzeugen und übertragen können, etwa zwischen Ionenfallen oder Neutralatomsystemen.

Ionenfallen- und Neutralatom-Quantencomputer

Im photonischen Quantencomputing werden Qubits sogar direkt in den Zuständen einzelner Photonen kodiert, beispielsweise über Polarisation, Phase oder Zeitbins. Mithilfe interferometrischer Strukturen lassen sich diese Zustände gezielt manipulieren, sodass Quantenlogikoperationen und komplexe Rechenprozesse möglich werden. Auch bei Ionenfallen- und Neutralatom-Qubits



ist Photonik unverzichtbar. Obwohl hier nicht selbst die Qubits von Interesse sind, sind photonische Komponenten für Initialisierung, Kontrolle und Auslesen unverzichtbar. Sowohl Atome als auch Ionen, die im Vakuum gehalten werden, können durch angelegte Laserfelder bewegt, gekühlt oder in ihrem Quantenzustand verändert werden, wobei die Laser mit den intrinsischen Energieniveaus der Teilchen koppeln. Allerdings können bei Ionenfallen die Ionen wegen ihrer elektrischen Ladung in elektrischen Feldern gefangen werden, die praktisch über metallische Kontakte auf dem Quantenchip erzeugt werden. Neutrale Atome dagegen müssen allein mit Lasern und Magnetfeldern gekühlt und gefangen werden. Für beide Ansätze gewinnt integrierte Photonik an Bedeutung, weil sie Fehler reduziert, die Robustheit erhöht und Skalierbarkeit demonstriert.

Photonik und atomare Interferometrie

Bild: Sabine Synkule

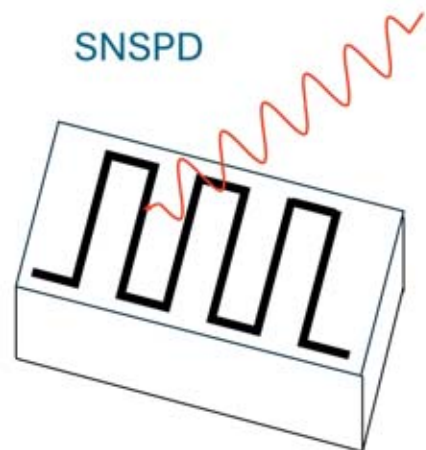
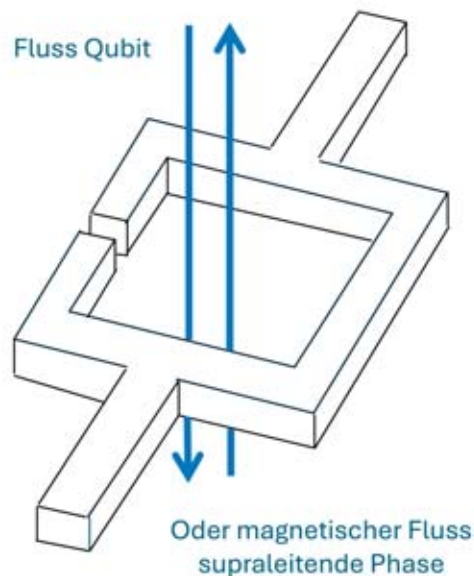
Photonische integrierte Schaltkreise (PICs)

Photonische integrierte Schaltkreise (PICs) übertragen optische Funktionen aus dem komplexen Laboraufbau auf eine kompakte, stabile und skalierbare Chipplattform, auf der sich Photonen gezielt erzeugen, führen, modulieren, detektieren und mit atomaren Systemen oder Spin-Defekten koppeln lassen. Auf ihnen sind optische Bauelemente wie Wellenleiter, Modulatoren und Detektoren integriert, um Lichtsignale – auch einzelne Photonen – gezielt zu erzeugen, zu steuern und zu verarbeiten. PICs integrieren oft auch Einzelphotonenquellen, z. B. nichtlineare Materialien für spontane parametrische Prozesse, oder Einzelphotonendetektoren, z. B.

Quantenplattformen für Quantentechnologien

Bild: Sabine Synkule

Materialplattform	Quantencomputing	Quantensensoren	Quanten-Kommunikation
Supraleitende Chips	Supraleiter Qubits (universell & Annealing) Topologische Qubits Einzelphotonendetektoren	SNSPDs SQUID-Magnetometer	SNSPDs für QKD und Networking
Photonische Systeme	Photonische Qubits Quanten-Interconnects Kontrolle von Ionen/Atomen	Einzelphotonendetektoren Quantenbildgebung	QKD-Netzwerke Optische QRNGs Quantennetzwerke
Atominterferometrie	Analog	Atomuhr OPMs Gyroskope Gravimeter	
Nanomaterialien & Diamant	Diamant-Defekt-Qubits Quantenpunktquelle	NV-Magnetometer Gyroskope	Quantenspeicher Photonenquelle



Supraleitende Chips
Bild: Sabine Synkule

supraleitende Nanodrahtdetektoren. Das reduziert Verluste und erhöht die Stabilität gegenüber freien optischen Aufbauten. Für Systeme wie Ionenfallen, neutrale Atome oder NV-Zentren in Diamant übernehmen PICs die Rolle einer präzisen Schnittstelle. Sie ermöglichen eine gezielte Lichtführung zu einzelnen Atomen oder Defekten, eine kontrollierte Anregung z. B. mit resonanten Laserpulsen, das Auslesen des Quantenzustands über emittierte Photonen und Photon-Materie-Kopplung durch integrierte Resonatoren oder Kavitäten zur Verstärkung der Wechselwirkung.

Der zentrale Mehrwert der PICs besteht in der sinkenden Größe, Gewicht und Energiebedarf eines Quantencomputers, auch die skalierbare Herstellung kommerzieller Systeme über standardisierte Halbleiterfertigungsprozesse wird erleichtert. Darüber hinaus können PICs die Leistung verbessern und das Rauschen reduzieren, weil der gesamte optische Pfad kürzer wird und die relative Position der Komponenten fest definiert ist, was die Justage vereinfacht und Fehlanpassungen verringert.

Die Anforderungen an Quanten-PICs unterscheiden sich jedoch stark von anderen Anwendungen. Aufgrund der Fragilität von Quantensystemen ist ihre Verlusttoleranz äußerst gering. Um Systeme wie Atome und Punktdefekte in Diamant anzusteuern, müssen sie zudem bei Wellenlängen arbeiten, die der traditionellen Telekommunikations- oder Datacom-Industrie wenig vertraut sind.

Um diese Anforderungen zu erfüllen, erforschen Photonik-Innovatoren PIC-Materialplattformen jenseits von Silizium, denn Silizium-Photonik ist zwar die am weitesten entwickelte Plattform, zugleich ist sie aber ungeeignet für sichtbare Wellenlängen. Siliziumnitrid (SiN) hingegen gilt als ausgereifte Wellenleiterplattform mit großem Betriebsfenster. Dünnschicht-Lithiumniobat (TFLN) und Bariumtitanat (BTO) sind weitere Beispiele für aufstrebende Materialien in der Quantenphotonik, wobei TFLN besonders geeignet für optische Schalter mit ultraschneller Modulation ist. Verfechter dieser Materialien kommen sowohl aus der Quantenindustrie selbst – etwa PsiQuantum, QuiX Quantum und

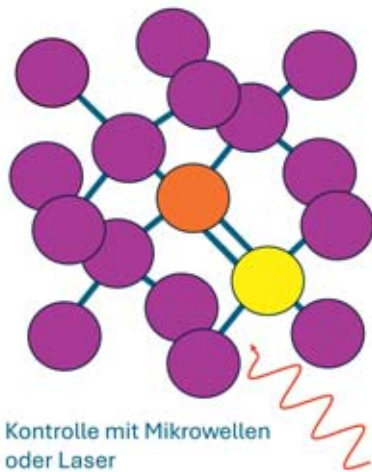
Quantum Computing Inc. (QCi) – als auch von externen Foundries und Partnern.

Supraleiter in der Quantentechnologie

Supraleitende Chips sind wichtige Hardwareplattformen der Quantentechnologie, weil sie quantenmechanische Zustände in mikrofabrizierten Schaltungen kontrollierbar machen und damit Anwendungen von Sensorik bis hin zu Quantencomputern ermöglichen. Mikrofabrizierte supraleitende Schaltungen bestehen aus dünnen Schichten supraleitender Metalle oder Verbindungen – etwa Aluminium oder Niob –, die mithilfe von Halbleiterprozessen auf Wafern strukturiert werden. Supraleitung ist ein physikalischer Zustand, bei dem ein Material unterhalb einer kritischen Temperatur elektrischen Strom ohne Widerstand und damit verlustfrei leitet. Um supraleitend zu werden, müssen die entsprechenden Materialien üblicherweise auf Temperaturen unter 20 K gekühlt werden, in der Praxis oft sogar in den mK-Bereich. In diesem Zustand bewegen sich Elektronen als Cooper-Paare ohne elektrischen Widerstand, und selbst sehr kleine äußere Signale können messbare Reaktionen hervorrufen. Zudem sorgen die extrem niedrigen Temperaturen für ein Umfeld mit sehr geringem Rauschen. Gleichzeitig entstehen daraus aber erhebliche Einschränkungen, denn um Temperaturen im Bereich weniger Kelvin oder darunter zu erreichen, sind kryogene Systeme nötig, die groß, energieintensiv, teuer und heliumabhängig sind.

Eine zentrale Rolle bei supraleitenden Chips spielt der Josephson-Effekt. Er beschreibt den quantenmechanischen Tunnelstrom von Cooper-Paaren zwischen zwei Supraleitern, die durch eine dünne Isolierschicht getrennt sind. Dadurch entsteht ein nichtlinearer, verlustfreier Stromfluss, der sich gezielt zur Realisierung und Kontrolle von Quantenzuständen nutzen lässt.

SQUIDs (Superconducting Quantum Interference Devices) nutzen die Interferenz von supraleitenden Strömen in einem Ring mit Josephson-Kontakten, um extrem kleine Magnetfeldänderungen mit hoher Empfindlichkeit zu detektieren. Als Quantensensor besitzt ein



Nanomaterialien und Diamant

Bild: Sabine Synkule

SQUID ein oder zwei Josephson-Kontakte und kommt als einzelner Sensor ebenso vor wie in Arrays mit Hunderten Bauelementen. Er entwickelt sich vor allem in Richtung besserer Performance, geringerer Systemgröße und niedrigerer Kosten, etwa durch Betrieb bei höheren Temperaturen. Verwendet werden vor allem Niob, Aluminium oder Titan. Zu den Fertigungsverfahren zählen Dünnschichtabscheidung durch Magnetronspütern, Elektronenstrahl- und Photolithografie, Ionenätzen und Lift-off. Die Anwendungen gelten als nischenhaft, aber ausgereift, etwa in der Hirnbildgebung mittels MEG, in wissenschaftlichen Instrumenten und in Systemen zur Messung magnetischer Eigenschaften.

Bei der Fertigung werden bei supraleitenden Chips für SQUIDS ähnliche Materialien und vergleichbare Mikrofertigungsprozesse eingesetzt, wie bei supraleitenden Qubits, und die meisten Qubit-Designs enthalten sogar ein SQUID oder ein ähnliches Bauelement. Während SQUID-Sensoren allerdings bereits eine ausgereifte Technologie mit begrenztem Optimierungspotenzial darstellen, befinden sich Quantencomputer noch in einer Phase rascher Entwicklung und Skalierung.

In supraleitenden Qubits werden Josephson-Effekte verwendet, um wohldefinierte Energieniveaus zu erzeugen, die als $|0\rangle$ - und $|1\rangle$ -Zustände dienen. Mikrowellenpulse ermöglichen die kohärente Manipulation dieser Zustände, während gekoppelte Resonatoren das Auslesen über dispersive Messverfahren erlauben. Ein supraleitender Quantenchip nutzt pro Qubit ein oder zwei präzise gefertigte Josephson-Kontakte, gekoppelt mit Induktivitäten, Kapazitäten und Mikrowellenresonatoren. Heute werden ungefähr hundert Qubits pro Chip erreicht, perspektivisch sollen es Tausende pro Chip und Millionen pro Gesamtsystem werden. Der Entwicklungsschwerpunkt liegt auf Gleichförmigkeit, Stabilität und Skalierbarkeit. Eingesetzt werden Aluminium, Niob und Tantal. Bei der Fertigung kommen Dünnschichtabscheidung, Lithografie, Ionenätzen und kontrollierte Oxidation zum Einsatz. Hinzu kommen fortgeschrittene Packaging-Ansätze wie Through-Silicon Vias, 3D-Packaging und Chiplets. Die Hardware ist bereits kommerziell verfügbar, muss jedoch weiterentwickelt werden,

um von Use-Case-Tests zu echtem kommerziellem Vorteil zu gelangen.

SNSPDs (Superconducting Nanowire Single-Photon Detectors) arbeiten wiederum anders: Trifft ein einzelnes Photon auf einen supraleitenden Nanodraht, erwärmt es ihn lokal über die kritische Temperatur und zerstört so die Supraleitung. Dadurch entsteht ein messbarer Widerstandspuls. So lassen sich einzelne Photonen mit hoher Effizienz und Zeitauflösung nachweisen.

Gemeinsam ist all diesen Bauelementen, dass sie quantenmechanische Effekte auf makroskopischer Ebene nutzbar machen und sich dank mikroelektronischer Fertigungstechniken präzise, reproduzierbar und zunehmend skalierbar auf Chips integrieren lassen.

Diamant in Quantenanwendungen

Punktdefekte in künstlichem Diamant, insbesondere NV-Zentren (Stickstoff-Fehlstellen-Zentren), haben sich als vielversprechende Plattform für Quantentechnologien etabliert und werden sowohl in kommerziellen Quantensensoren als auch in ersten Quantencomputing-Ansätzen genutzt.

Diamant ist ein Wide-Bandgap-Material. Dadurch lassen sich gezielt Defektstellen im Kristallgitter erzeugen, die mit Laserlicht angeregt und über ihr ausgesandtes Licht wieder ausgelesen werden können. Bei NV-Zentren kommt hinzu, dass ihre Quantenzustände nur vergleichsweise schwach mit Gitterschwingungen koppeln. Deshalb bleiben die Spinzustände selbst bei Raumtemperatur relativ stabil. Unterstützt wird das durch die geringe Zahl magnetisch störender Atomkerne im Diamant sowie durch die schwache Spin-Bahn-Kopplung. Das bringt lange Kohärenzzeiten sowie wenig Störeinflüsse und damit gute Voraussetzungen für Sensorik und Quantenbauelemente mit sich. Die Energieniveaustruktur der NV-Zentren erlaubt es zudem, den elektronischen Spin effizient optisch zu manipulieren und auszulesen, was sie besonders für Anwendungen in der Quantensensorik – etwa zur hochpräzisen Messung von Magnetfeldern – interessant macht. Gleichzeitig eröffnen Fortschritte in der Materialforschung weitere Perspektiven: Neben Diamant werden auch Nanomaterialien wie Kohlenstoffnanoröhren (CNTs), Quantenpunkte sowie zwei- und zweieinhalbdimensionale Materialien als potenzielle Träger von Quantenzuständen untersucht.

Allerdings sind mit Diamant auch Herausforderungen verbunden. So führen Streuungen der emittierten Wellenlängen und Wechselwirkungen mit Phononen dazu, dass die erzeugten Photonen nicht vollständig identisch sind, was die quantenmechanische Ununterscheidbarkeit einschränkt – ein kritischer Punkt für photonische Quantenanwendungen. Zudem ist die Bearbeitung von Diamant deutlich anspruchsvoller als bei etablierten Halbleitern wie Silizium, und die Größe hochreiner Einkristalle war lange begrenzt, um 2020 typischerweise auf etwa 10 mm Kantenlänge. Daher werden auch alternative Wide-Bandgap-Materialien intensiv erforscht, wenngleich bislang keines die Kombination von Eigenschaften erreicht hat, die NV-Zentren in Diamant auszeichnet. (bs)

Dieser Beitrag basiert auf Unterlagen von IDTechEx. ■
Autorin: Sabine Synkule, Redakteurin bei elektronik industrie

Zuverlässige Chip-Qualifizierung

Fehler in der IC-Qualifizierung vermeiden

Die Qualifizierung hochkomplexer integrierter Schaltungen erfordert präzise Prüfmethoden, stabile Testbedingungen und eine lückenlose Analyse. Durch strukturierte Vorabtests und geeignete Schutzmaßnahmen lassen sich Ausfälle gezielt reduzieren.

Die Durchführung einer Vorprüfung oder einer Vorauswahl vor der Qualifizierung ist sehr wichtig, um potenziell schwache Komponenten zu eliminieren. Bauteile, die elektrische Tests nicht bestehen, sollten nicht in weiteren Schritten genutzt werden, bei denen sie der Belastung im Rahmen der Qualifizierung ausgesetzt werden. Wenn einige Parameter von Einheiten nahe an den Testgrenzwerten liegen, kann das eine Herausforderung darstellen. Auch wenn sie die Tests zunächst bestehen, können die Parameter dieser Komponenten während der Belastung außerhalb ihrer Grenzwerte driften, was zu Fehlern in den Ergebnissen der automatisierten Testgeräte (Automated Test Equipment, ATE) führt. Daher ist es unerlässlich, die Komponenten auszusortieren, deren Parameter nahe an den Testgrenzwerten liegen.

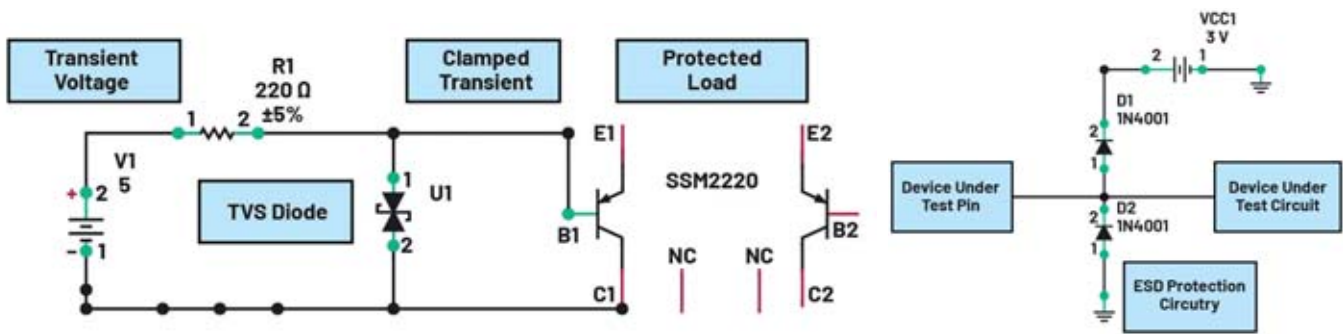
Ein Ansatz besteht darin, vorab einen elektrischen Test (E-Test) der Komponenten unter Verwendung der Produktionstestgrenzen durchzuführen, die einen Drei-Sigma-Schutz gegenüber den tatsächlichen Testdatengrenzwerten bieten. Dies ist die erste Testrunde. Die zweite Testrunde umfasst die Durchführung von E-Tests unter Verwendung von Qualifikationstestgrenzen, die den Datenblattgrenzen ohne Schutzbänder entsprechen.

Dieser zweistufige Screening-Prozess reduziert die Wahrscheinlichkeit von Ausfällen aufgrund von Qualifikationsbelastungen erheblich. Durch die Eliminierung von Komponenten, die sich in der Nähe der Ausreißer befinden, wird das Risiko eines Ausfalls während der Belastungsphase der Qualifizierung gemindert. Dieser proaktive Ansatz verbessert die Gesamtzuverlässigkeit und Leistung der Komponenten.

Wie lassen sich Fehler in der Qualifizierung integrierter Schaltungen vermeiden? Wichtige Methoden, Tests und Maßnahmen im Überblick.

Bild: Design - stock.adobe.com





Nützliche Qualifizierungswerkzeuge und -ansätze

Es ist wichtig, jeder Einheit während der Vorprüfung eine eindeutige Seriennummer zuzuweisen. Bei größeren Mengen wird eine elektronische Chip ID bevorzugt, um einen einfachen Datenvergleich zwischen Vor- und Nachprüfung zu ermöglichen. Eine Abweichung von weniger als zehn Prozent vom Vorprüfungsgrenzwert gilt als bestanden, was die Verwendung der elektronischen Chip ID während der Qualifizierungsprüfung erfordert.

Um zwischen Bauteilfehlern und Problemen mit der Wiederholbarkeit der Prüfung zu unterscheiden, wird eine Steuereinheit 50-mal durch dieselbe Prüfsequenz geführt. Wenn sie alle 50 Durchgänge besteht, bestätigt dies die Stabilität der Prüfung. Wenn sie jedoch nach einigen Einsätzen fehlschlägt, deutet dies auf ein Problem mit der Wiederholbarkeit der Prüfung hin, was eine weitere Untersuchung erforderlich macht. Die Analyse der Daten nach der Belastung trägt dazu bei, potenzielle testbezogene Probleme zu identifizieren. Wenn solche Probleme festgestellt werden, muss das Testprogramm optimiert werden; das Ergebnis sollte nicht als Komponentenausfall gekennzeichnet werden. Bei komplexen Bauteilen wie dem Apollo MxFE AD9084 von Analog Devices ist es wichtig, die Steuereinheiten auch während der Hochtemperatur-Belastungstests zu betreiben. Da das Bauteil mit 37 W betrieben wird, können separate Steuereinheiten vor potenziellen Problemen mit der Stromversorgung schützen.

Eine weitere häufige Ursache für Ausfälle von Bauteilen sind Spannungsspitzen beim Umschalten der Versorgungsspannung. Beim Einschalten der Versorgungs-

spannung kann es in den ersten Millisekunden zu Störimpulsen kommen, die das Bauteil beschädigen können. Wenn es im Labor für Zuverlässigkeitstests zu einer Stromunterbrechung kommt und der Stromgenerator eingeschaltet werden soll, besteht die Möglichkeit von Spannungsspitzen, die wiederum das Bauteil beschädigen können. Dies wird als elektrische Überlastung (Electrical Overstress, EOS) bezeichnet. Um diesen Mechanismus zu verhindern, besteht eine der einfacheren Maßnahmen darin, eine Suppressordiode hinzuzufügen.

Bild 1 zeigt eine Suppressordiode in Aktion, die einen Stromausfall und nachteilige Auswirkungen auf die Komponente verhindert. Durch solche Vorbeugungsmaßnahmen lassen sich Rezertifizierungen, Terminverzögerungen und zusätzliche Kosten vermeiden. Bei der Entwicklung des Apollo MxFE AD9084 war dies ein wichtiger Aspekt.

Während der Qualifizierung kann eine weitere Art von Ausfall auftreten, die mit der Feuchtigkeitsempfindlichkeit (Moisture Sensitivity Level, MSL) zusammenhängt. Dieser Belastung geht in der Regel eine konfokale Ultraschallmikroskopie (Confocal Acoustic Microscopy, CSAM) während des Reflow- und Trocknungsprozesses voraus. MSL wird auch als Qualifizierungsbelastung auf Paketebene bezeichnet. Manchmal zeigen CSAM-Bilder nach der Belastung und der Nachprüfungsphase eine Delaminierung des Chips. CSAM ist eine schnelle, zerstörungsfreie Analysetechnik, bei der Veränderungen der akustischen Eigenschaften in integrierten Schaltkreisen und ähnlichen Materialien mithilfe von Ultraschallwellen erkannt werden.

Gemäß dem JEDEC-Standard gilt eine Delaminierung des Chips zwischen Epoxidharz und Chip von

Bild 1: Suppressordiode zur Verhinderung von Stromausfällen.

Bild: Analog Devices

Bild 2: Die Durchgangsprüfung umfasst in der Regel die Prüfung der ESD-Schutzdioden.

Bild: Analog Devices

XGL-Familie – Leistungs-Induktivitäten mit geringsten Verlusten kombiniert in einem Designer-Kit!*



- Ausgewählte Werte zwischen 0,055 μH und 10 μH decken weiten Anwendungsbereich ab
- Branchenweit höchste Leistungseffizienz durch niedrigste DC-Widerstände und geringste AC-Verluste
- Weiche Sättigung und Nennströme von 520 mA bis 53,0 A

* Kit beinhaltet 3 Muster je Wert.

Ordern Sie Ihr Kit: www.coilcraft.com/C509



Bild 3: Typischer Laboraufbau für die Durchgangsprüfung der integrierten Schaltung.

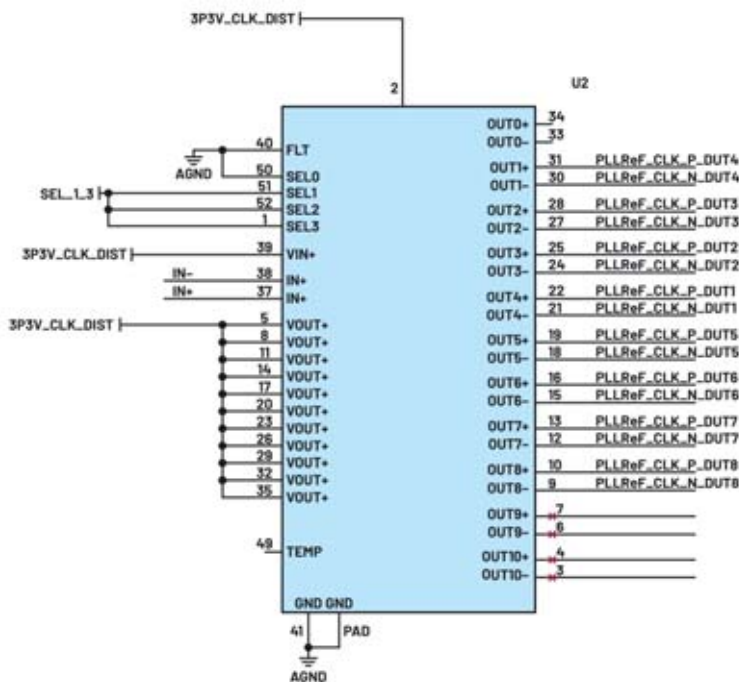
Bild: Analog Devices

mehr als zehn Prozent als Fehler. Eine Möglichkeit, dies zu verhindern, ist die Durchführung einer CSAM- und Thru-Scan-Analyse während des Qualifizierungsprozesses. Thru-Scan, auch bekannt als akustische Mikroskopie im Transmissionsmodus, ist besonders effektiv bei der Erkennung von Delaminationen an der Die-Attach-Schnittstelle.

Um eine Delamination des Chips weiter zu verhindern, müssen zwei Faktoren berücksichtigt werden. Überprüfen Sie zunächst die Temperaturen des Epoxids und des Aushärtungsprofils, um sicherzustellen, dass sie innerhalb des geeigneten Bereichs liegen. Stellen Sie ferner während des Montageprozesses sicher, dass alle Flussmittelrückstände effektiv entfernt wurden. Dies ist besonders wichtig, wenn eine Hochdruckreinigung durchgeführt wurde. Darüber hinaus

Bild 4: Externer Takt von 125 MHz, der an jedem HTOL-Standort für den internen Takt innerhalb von Apollo MxFE anliegt.

Bild: Analog Devices



ist die Auswahl des richtigen MSL von entscheidender Bedeutung. Für laminatbasierte Gehäuse ist ein MSL 3 empfehlenswert. Die Verwendung von MSL 1 oder 2 kann zu Ausfällen führen.

Bei größeren elektronischen Gehäusen wie einem TQFP-Gehäuse (Thin Flat Quad Package) von 10 mm x 10 mm ist die Wahl von MSL 3 gegenüber MSL 1 vorzuziehen, um das Risiko einer Delaminierung des Chips und eines möglichen Ausfalls des Bauteils zu verringern.

Hilfreiche Qualifizierungstests

Eine Leckstromprüfung ist ein wichtiger Vorabtest, mit deren Hilfe festgestellt werden kann, ob ein Prozessfehler vorliegt. Bei einer Leckstromprüfung wird das Bauteil ausgeschaltet und sowohl mit positiver als auch mit Nullspannung beaufschlagt, um zu prüfen, ob ein Stromfluss vorhanden ist. Wird Strom detektiert, deutet dies auf einen Prozessfehler hin, und diese Einheiten sollten keiner Qualifizierungsbelastung unterzogen werden. Eine Belastung kann zu einem scheinbaren Versagen führen und dadurch die Ermittlung der tatsächlichen Ursache erschweren, die möglicherweise im Fertigungsprozess begründet ist.

Die Integration von Hardware für eine Leckstromprüfung in die endgültige Schnittstellen-Hardware kann jedoch komplex sein. Um dieses Problem zu lösen, kann eine Prüfkarte konstruiert werden, mit der die Leckstromprüfung durchgeführt werden kann, noch bevor der Chip in das endgültige Gehäuse eingebaut wird. Dadurch lassen sich Prozessfehler frühzeitig erkennen. Ein weiterer häufiger Fehler während der Qualifizierung entsteht durch Montageprobleme. Dies kann auf Faktoren wie Kupferpins auf Silizium oder BGA-Gehäuse mit vielen Anschlüssen zurückgeführt werden, die bis zu 900 Pins erreichen können und manchmal zu Komplikationen bei der Metallurgie unter den Lötballen führen. Eine effektive Methode zur Identifizierung und Behebung von Montageproblemen ist die Durchführung eines Verlaufstests, der sowohl positive als auch negative Durchgangsprüfungen umfasst. Dadurch können Montageprobleme frühzeitig, also noch vor den Funktions- und Parametertests, erkannt werden. Außerdem trägt dies dazu bei, die Ursache des Problems zu lokalisieren. In einigen Fällen wird der Durchgangstest vor der endgültigen Gehäusemontage auf Chipebene mit einer Prüfkarte durchgeführt. Diese Vorgehensweise senkt nicht nur die Kosten, sondern liefert auch eine Schätzung der endgültigen Mustermengen, was zur Kostensenkung und einer besseren Planung für das Team beiträgt.

Es ist wichtig zu beachten, dass ein Durchgangstest auf ein montagebezogenes Problem hinweist, das sich von einem bauteilbezogenen Qualifikationsfehler unterscheidet. Wenn ein Fehler mit dem Prozess des Packings zusammenhängt, wird er in Bezug auf die Qualifikation als Packaging-bezogenes Problem betrachtet. Wenn es sich jedoch um ein Problem im Zusammenhang mit dem Gehäuse selbst handelt, können Maßnahmen zu dessen Behebung ergriffen werden.

Häufige Ursachen für Probleme bei der Montage sind Fehlausrichtung des Drahtbonders, Epoxidharzauftragung und Temperatur des Aushärtungsprofils. Es wurde beobachtet, dass ein erheblicher Teil der Ausfälle im Laufe der Jahre auf Probleme im Zusammenhang mit

der Montage zurückzuführen ist. Daher kann die Umsetzung eines wirklich robusten Ansatzes für die elektronische Verpackung während der Montage zu einer erheblichen Reduzierung der qualifikationsbezogenen Ausfälle führen.

Der Gleichstrom-Hochtemperatur-Lebensdauerest (Direct-Current High-Temperature Operating Life, DCHTOL) ist entscheidend für die Vorhersage der Zuverlässigkeit eines Bauteils im Laufe der Zeit. Durch Belastung des Bauteils bei Temperaturen von 70 °C bis 125 °C ermitteln wir einen Beschleunigungsfaktor (Acceleration Factor, AF) von etwa 118. Das bedeutet, dass jede Teststunde bei 125 °C etwa 118 Stunden normaler Nutzung bei 70 °C entspricht.

Bei einer Belastung von 1000 Stunden DCHTOL entspricht dies etwa 13,58 Jahren. Diese Belastung ist besonders kritisch für den Apollo MxFE AD9084 von ADI, der in Phased-Array-Radargeräten und Weltraumwendungen eingesetzt wird, wo die Bauteile langen Betriebszeiten standhalten müssen.

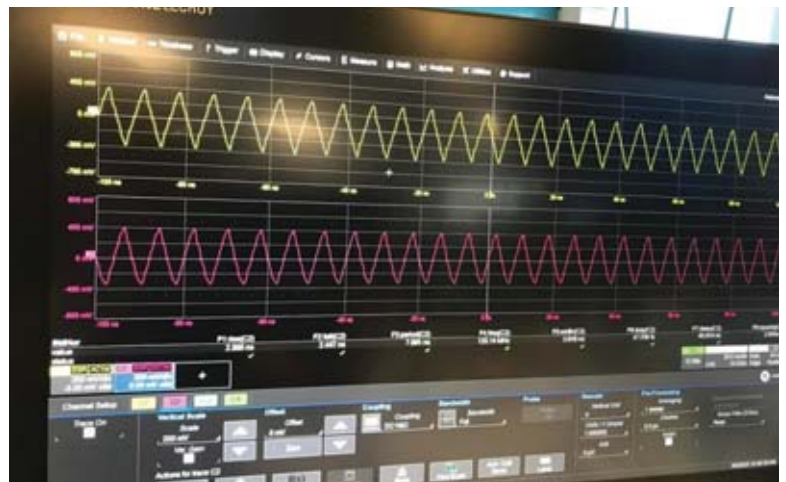
Während des Tests kann eine Überwachung der I/V-Kurve Belastungs- oder Kühlkörperprobleme verhindern. Dies kann dazu beitragen, potenzielle Probleme frühzeitig zu erkennen und dadurch Fehlvorsagen während der Qualifizierung zu vermeiden.

Hochtemperatur-Lebensdauerests

Der Hochtemperatur-Lebensdauerest (High-Temperature Operating Life, HTOL) ist eine weitere kritische Phase, in der Bauteile ausfallen können. Die richtige Bestimmung des Wärmewiderstands (Theta Jc) ist entscheidend, um eine Überhitzung zu vermeiden. Thermische Scans liefern wichtige Erkenntnisse, helfen bei der Identifizierung von Überhitzungsbereichen und ermöglichen Korrekturmaßnahmen.

Elektrostatische Entladungen (Electrostatic Discharge, ESD) können ebenfalls zu Fehlern während der Qualifizierung führen. Wenn zusätzlich zu den Einheiten, die ESD-Tests unterzogen werden, auch Steuereinheiten geprüft werden, trägt dies zur Einhaltung der ESD-Protokolle bei und bestätigt die ordnungsgemäße Handhabung während des Prozesses.

Die Gruppierung von Pins nach Funktion und die Anwendung von ESD in separaten Arealen verringert das



Risiko von ESD-Fehlern. Darüber hinaus ist bei Bauteilen wie dem Apollo MxFE eine sorgfältige Taktkonditionierung unerlässlich, insbesondere bei der Verwendung interner PLLs oder Takte. Die richtigen Oszillatorfrequenzen und Spannungspegel sind entscheidend für zuverlässige Tests. Es ist wichtig, Probleme mit Quarzoszillatorschaltungen während HTOL-Tests zu beheben. Die Änderung des Schaltplans und des Layouts ist hilfreich, aber die Umsetzung dieser Änderungen auf der Qualifizierungsplatine kann mit erheblichen Kosten verbunden sein. Um dies zu vermeiden, kann eine Richtlinie für Adapterplatinen, wie sie beispielsweise bei ADI AD9084 angewendet wird, eine kostengünstige Lösung sein.

Wie im Beispiel des Apollo MxFE von ADI in Bild 5, wurde jede der Adapterplatinen mit dem modifizierten Taktschema einer individuellen Überprüfung unterzogen. Die nächste Herausforderung bestand darin, diese Adapterplatinen auf den vorhandenen HTOL-Platinen anzubringen, die ein fehlerhaftes Taktschema hatten. Die spezifischen Lötunkte wurden identifiziert und die Adapterplatinen erfolgreich auf die vorhandene HTOL-Platine gelötet. Diese Anpassung funktionierte reibungslos und führte zu erheblichen Kosten- und Zeitersparnissen, welche die Entwicklung einer neuen Platine mit sich gebracht hätte. (na)

Der Beitrag beruht auf Material von Analog Devices.

Bild 5: Optimiertes Taktsignal, das von der modifizierten Adapterplatine erzeugt wird und an jedem der HTOL-Geräte unter Belastung anliegt, acht davon ohne Dämpfung oder Taktjitter.

Bild: Analog Devices

Thomapren®-EPDM/PP-Schläuche – FDA konform

www.rct-online.de



Elastischer Pumpen-, Pharma- und Förderschlauch für höchste Ansprüche

- **High-Tech-Elastomer EPDM/PP:** Temperaturbeständig bis +135 °C, UV-beständig, chemikalienresistent, niedrige Gaspermeabilität
- **Für Schlauchquetschventile und Peristaltikpumpen:** Bis zu 30 mal höhere Standzeiten gegenüber anderen Schläuchen
- **Biokompatibel und sterilisierbar:** Zulassungen nach FDA, USP Class VI, ISO 10993, EU 2003/11/EG



**Reichelt
Chemietechnik
GmbH + Co.**

Englerstraße 18
D-69126 Heidelberg
Tel. 0 62 21 31 25-0
Fax 0 62 21 31 25-10
rct@rct-online.de



Strategische Elektronik

Der Einfluss von Halbleitertechnik auf Verteidigungssysteme

Halbleitertechnik ist eine zentrale Grundlage heutiger Verteidigungssysteme. Sie ermöglicht sichere Kommunikation, präzise Steuerung, datenbasierte Aufklärung und die Integration neuer Technologien wie KI und Edge-Computing.

In der Vergangenheit wurde die Militärtechnik von mechanischen und analogen Systemen dominiert. Panzer, Munition, Flugzeuge und Schiffe waren auf physische Steuerungen, manuelle Zielerfassung und menschliche Entscheidungen angewiesen. Diese Systeme können zwar weiterhin effektiv sein, sind jedoch durch die Geschwindigkeit und Genauigkeit der menschlichen Bediener sowie die Einschränkungen der Analogtechnik begrenzt.

Digitale Elektronik, basierend auf Halbleitern, markierte einen Wendepunkt. Sie ermöglicht die Verarbeitung riesiger Datenmengen in Echtzeit, die Automatisierung komplexer Aufgaben und die Integration von Systemen auf bisher unvorstellbare Weise. Dieser Wandel

hat zum digitalen Gefechtsraum geführt – einer hochvernetzten, datengesteuerten Umgebung, in der Informationsüberlegenheit ebenso wichtig ist wie Feuerkraft.

Da militärische Operationen zunehmend auf digitale Systeme angewiesen sind, ist die Cyberabwehr zu einem entscheidenden Aspekt der nationalen Sicherheit geworden. Halbleiterbauteile spielen eine zentrale Rolle bei der Entwicklung sicherer Hardware, die Cyberangriffe erkennen und darauf reagieren kann.

Sicherheit muss in militärische Kommunikationssysteme, Computer und Datenspeichereinheiten integriert werden, um unbefugten Zugriff zu verhindern, Datenlecks zu minimieren und vor Schadsoftware zu schützen. Diese Sicherheit wird durch ICs ermöglicht, die Sicher-

Wie verändert Halbleitertechnik nationale Verteidigungssysteme durch KI, Cyberabwehr, Präzision und resiliente Lieferketten?

Bild: Mikhail Vorobev



heitsmaßnahmen zum Schutz sensibler Daten und kritischer Infrastrukturen vor Eindringlingen enthalten.

Darüber hinaus sind Halbleiterkomponenten für die Entwicklung von KI- und ML-Algorithmen, die in der Cyberabwehr eingesetzt werden, unerlässlich. KI-gestützte Cybersicherheitssysteme sind auf fortschrittliche Halbleiter angewiesen, um große Datensätze zu analysieren, ungewöhnliche Muster zu identifizieren und potenzielle Bedrohungen autonom zu erkennen und darauf zu reagieren.

Halbleiter als nationales Sicherheitsgut

In der heutigen vernetzten Welt sind Halbleiter nicht nur Komponenten, sondern strategische Güter. Die Fähigkeit, fortschrittliche Chips im Inland zu entwickeln, herzustellen und zu liefern, wird heute als eine Frage der nationalen Sicherheit angesehen. Dies gilt insbesondere für Verteidigungssysteme, bei denen die Integrität, Zuverlässigkeit und Sicherheit jeder einzelnen Komponente über den Erfolg einer Mission entscheiden kann.

Die globale Halbleiter-Lieferkette ist komplex und anfällig für Störungen. Geopolitische Spannungen, Handelsbeschränkungen und Naturkatastrophen können sich auf die Verfügbarkeit kritischer Komponenten auswirken. Aus diesem Grund legen viele Regierungen den Schwerpunkt auf die heimische Halbleiterfertigung und die Widerstandsfähigkeit der Lieferkette. Unternehmen



Autonome Drohenschwärme sind ein wichtiges Einsatzfeld für Halbleiterkomponenten.

Bild: Microchip

wie Microchip Technology sind mit ihrem Engagement für die Produktion im Inland (Onshore), der Einhaltung strenger Qualitätsstandards, ihrem skalierbaren Angebot und ihrer Fähigkeit, Lösungen individuell anzupassen, unverzichtbare Partner.

Mit der Weiterentwicklung des digitalen Gefechtsfeldes wird die Partnerschaft zwischen Verteidigungsorganisationen und vertrauenswürdigen Halbleiterlieferanten wichtiger denn je. Gemeinsam werden sie die Zukunft der nationalen Sicherheit gestalten – Chip für Chip.

Überwachung und Aufklärung verbessern

In der modernen Kriegsführung sind Überwachung und Aufklärung unerlässlich, um Informationen zu sammeln, feindliche Aktivitäten zu überwachen und fundierte Entscheidungen zu treffen. FPGAs, Mikroprozessoren, HF-MMIC-Verstärker und Präzisions-Timing-Komponenten sind entscheidend, um hochentwickelte Überwachungssysteme bereitzustellen, von Radarsystemen bis hin zu Satellitenbildern.

Diese Komponenten werden in Radarsystemen eingesetzt und ermöglichen es Streitkräften, Objekte in der Luft, an Land und auf See zu erkennen und zu verfolgen. Diese Systeme verarbeiten Radarsignale und liefern dem Militärpersonal Echtzeitinformationen, sodass es große Gebiete überwachen und Bedrohungen schnell erkennen kann.

Satellitensysteme mit hochauflösenden Sensoren und Kameras basieren auf Halbleitern, um Daten zu verarbeiten und an Kommandozentralen zu übertragen. Diese Technologien sind für die Informationsbeschaffung, Überwachung und Aufklärung entscheidend, da sie es dem Militär ermöglichen, feindliche Stellungen zu überwachen und strategische Entscheidungen auf der Grundlage von Echtzeitinformationen zu treffen.

Präzision und Autonomie in Waffensystemen verbessern

Moderne Waffensysteme entwickeln sich mit Schwerpunkt auf Präzision und Autonomie weiter. So sind Lenkrameten, Drohnen und autonome Fahrzeuge in hohem Maße auf Halbleiterkomponenten angewiesen, um Flug-





FPGAs, Mikroprozessoren und HF-MMIC-Verstärker sind grundlegende Bestandteile aktueller Radarsysteme.

Bild: Microchip

bahnen zu berechnen, Sensordaten zu verarbeiten und ihren Kurs anzupassen, um Ziele mit bemerkenswerter Genauigkeit zu treffen. Diese Präzision reduziert Kollateralschäden und verbessert die Gesamteffektivität militärischer Operationen, wodurch Angriffe effizienter und ressourcenschonender werden. Autonome Systeme wie unbemannte Luftfahrzeuge (UAVs) und robotergesteuerte Bodeneinheiten sind auf Halbleiter angewiesen, um Missionen mit wenig oder gar keiner menschlichen Aufsicht durchzuführen.

Diese hochentwickelten Systeme können viele Aufgaben wie Überwachung, Aufklärung und sogar Kampfeinsätze ausführen und sich dabei an dynamische Umgebungen anpassen. FPGAs, Mikroprozessoren und Ethernet ermöglichen es diesen Systemen, Sensordaten in Echtzeit zu verarbeiten, intelligente Entscheidungen zu treffen und zu handeln, ohne dass ein direkter menschlicher Eingriff erforderlich ist.

Neue Bedrohungen abwehren

Während Gegner neue Technologien und Waffensysteme entwickeln, ermöglichen Halbleiter Verteidigungs-

systemen eine schnelle und effektive Reaktion. So können FPGAs in Raketenabwehrsystemen auf verschiedene Weise eingesetzt werden, u. a. für Signalverarbeitung, Zielverfolgung, Lenkung, Sensorfusion, Kommunikation und Systemsteuerung.

Darüber hinaus sind spezielle Komponenten wie Atomuhren unerlässlich für die Entwicklung von Gegenmaßnahmen gegen elektronische Kriegsführung, einschließlich Stör- und Spoofing-Angriffen. Diese Technologien basieren auf sicheren, leistungsstarken Halbleitern, um militärische Ressourcen zu schützen und die operative Überlegenheit in immer komplexeren Umgebungen zu gewährleisten.

Fazit: Die strategische Rolle von Halbleiterbauteilen in der Landesverteidigung

Halbleiterbauteile sind die unsichtbaren, aber leistungsstarken Wegbereiter der modernen Landesverteidigung. Da militärische Systeme immer fortschrittlicher, automatisierter und vernetzter werden, nimmt die Bedeutung dieser Komponenten weiter zu. Von präziseren Waffensystemen über sichere Kommunikation bis hin zu verbesserter Cybersicherheit spielen Halbleiter eine entscheidende Rolle, um die Sicherheit und den technologischen Vorsprung eines Landes aufrechtzuerhalten.

Da viele Länder weltweit vermehrt auf Neuerungen im Verteidigungssektor setzen, bleiben Investitionen in moderne Halbleitertechnologien von zentraler Bedeutung. Der strategische Nutzen von Halbleitern für Verteidigungsoperationen ist offensichtlich, und ihre Rolle bei der Gestaltung der Zukunft der Kriegsführung ist unbestritten. Mit den Fortschritten in den Bereichen KI, Edge-Computing und Sicherheit werden Halbleiter ein zentraler Bestandteil kommender Verteidigungstechnologien und dafür sorgen, dass die nationalen Verteidigungsfähigkeiten robust, anpassungsfähig und auf neue Bedrohungen vorbereitet bleiben. (na)

Autor: Max Bucklin, Senior Manager Business Development, Aerospace and Defense Business Unit, Microchip Technology

Auch aktuelle Kommunikationstechnik für Soldaten ist auf leistungsfähige Halbleiterbausteine angewiesen.

Bild: Microchip



Signalerzeugung – schnell und einfach mit **DDS**

Direct Digital Synthesis

Stellen Sie sich 64 Sinuswellen auf einem einzigen Generatorkanal vor, die alle individuell in Frequenz, Amplitude und Phase verändert werden können, in Schritten von nur 3,2 ns!

Dies ist eine schnelle und einfache Methode, um Wellenformen, Frequenzsweeps, Modulationen oder fein abstimmbare Referenzsignale zu erzeugen!

MEHRTON

- 1 bis 64 Sinuswellen auf einem Generatorkanal
- Formfaktoren: PCIe, PXIe und LXI/Ethernet
- Ausgangsfrequenz bis zu 3,9 GHz



MEHRKANAL

- Bis zu 128 Kanäle
- Bis zu 400 Sinuswellen
- Schnelle Integration in automatisierte Testsysteme

EINFACHE BEDIENUNG

- Nur wenige Befehle in Ihrem C++/Python-Code erforderlich
- Oder einfach die Regler des DDS-Controllers einstellen



Perfect fit – modular designed solutions

Mehr DDS info:



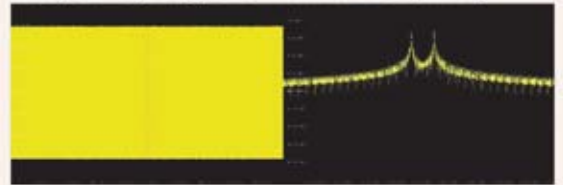
Zweiton-IMD-Test [GHz]



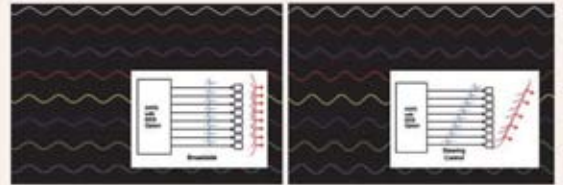
Frequenzsweep für Radar [GHz]



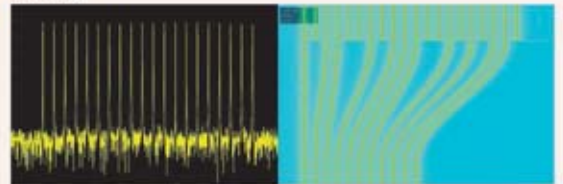
Frequenzsprungverfahren für FSK [MHz]



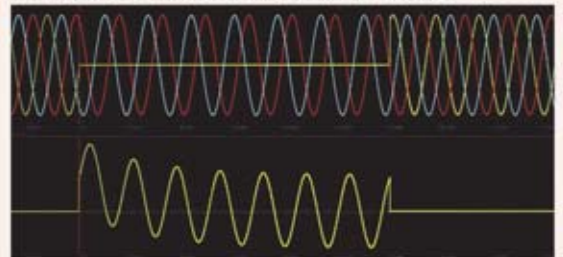
Wellenfronten-Steuerung für Radar/Ultraschall [MHz]



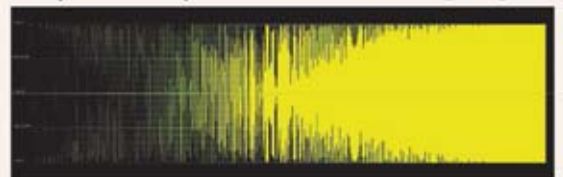
Laser-Ansteuerung für Quantencomputer [MHz]



Fehlersimulation für Drehstrom [kHz]



Frequenzsweeps für Vibrationstests [kHz]



Video (5min)



Wie erreicht humanoide Robotik die Produktionsreife und welche Chancen und Hürden prägen den industriellen Einsatz?

Bild: Mentee Robotics

Vom Prototyp zur Produktionsreife

Herausforderungen und Chancen humanoider Robotik

Humanoide Robotik verlässt das Versuchslabor und rückt in die industrielle Praxis vor. Zwischen KI-Schub, QDD-Antrieben und regulatorischen Hürden entscheidet sich jetzt, ob aus Vision belastbare Produktionsrealität wird.

Die rasante Entwicklung der Humanoiden profitiert stark vom technologischen Fundament, auf dem sie aufbauen können. Hochdichte, präzise Frameless-Motoren, kompakte Servoantriebe und modulare Steuerungssysteme, die ursprünglich für Cobots entwickelt wurden, lassen sich nun auch für humanoide Systeme optimieren. Die Locomotion – also das koordinierte und sichere Laufen sowie Balancieren in verschiedenen Einsatzszenarien – ist daher längst gewährleistet.

Aktuell setzt der vermehrte Einsatz von Quasi-Direct-Drive (QDD) neue Maßstäbe in der Antriebstechnik. Statt der bisher üblichen hohen Getriebeübersetzungen werden in modernen Humanoiden zunehmend Antriebe mit sehr niedrigen Übersetzungen verbaut. Diese QDD-Architektur reduziert Trägheit und Reibung drastisch und ermöglicht damit noch natürlichere, präzisere und sichere Bewegungen, wie sie für Mensch-Roboter-Interaktion und dynamische Locomotion unerlässlich sind. Genau hier setzen leistungsstarke Torque-Motoren, wie die Modelle von TQ-RoboDrive an, die speziell für sensitive, robotische Anwendungen entwickelt wurden: Ihre außergewöhnlich hohe Drehmomentdichte ermöglicht es, die notwendige Leistung für QDD-Aktuatoren bereitzustellen

und gleichzeitig kompakte, leichte und hochdynamische humanoide Gelenke zu realisieren.

Darüber hinaus hat der Siegeszug der KI dazu geführt, die Wahrnehmung und Entscheidungsfähigkeit humanoider Roboter auf ein neues Niveau zu heben. Deep-Learning-Ansätze und leistungsstarke VLA-Modelle (Vision-Language-Action) ermöglichen es Robotern, ihre Umgebung wahrzunehmen, zu verstehen, Handlungen zu planen und Aufgaben durch Beobachtung zu erlernen. Diese Kombination aus KI und physischer Verkörperung mit hochpräzisen Antrieben eröffnet Humanoiden völlig neue Möglichkeiten, die weit über klassische Robotik hinausgehen.

Von Safety bis Zertifizierung: Was humanoide Roboter noch bremst

Trotz aller Fortschritte gilt es für die humanoide Robotik noch Herausforderungen zu meistern, die ihre breite Einführung bislang bremsen. Funktionale Sicherheit und KI-Zuverlässigkeit stehen dabei an erster Stelle. Humanoiden müssen nicht nur einzelne Antriebe sicher regeln, sondern die koordinierte, verzögerungsfreie Bewegung ihrer 30 bis 50 Achsen in Echtzeit beherrschen. Hinzu

kommt die Interaktion mit Menschen, die deren zuverlässige Erkennung, eine korrekte Einschätzung von Abständen und die Integration von Regelungstechnik und KI in sicherheitskritische Entscheidungen erfordert.

Ebenso wichtig ist das Thema Security. Mit der zunehmenden Vernetzung humanoider Roboter wächst das Risiko von Cyberangriffen. Gleichzeitig gilt es, sensible Daten zu schützen, die Roboter im Arbeitsumfeld erfassen. Sicherheitsarchitekturen müssen daher ähnlich robust sein wie in der Automobilindustrie oder bei industriellen Steuerungssystemen. Auch bleibt die Handhabung komplexer Objekte eine der größten Herausforderungen: Hände mit vielen Freiheitsgraden, taktilem Feedback und variabler Steifigkeit sind technisch sehr anspruchsvoll umzusetzen.

Eine weitere, große Herausforderung ist es, humanoide Roboter in reale Arbeitsprozesse zu integrieren. Humanoide Roboter müssen nicht nur technisch leistungsfähig sein, sondern auch in der Lage, effektiv mit Menschen, Maschinen und anderen Robotern zusammenzuarbeiten. Das heißt, sie müssen komplette Arbeitsprozesse verstehen können und sich an wechselnde Anforderungen, dynamische Einsatzfelder sowie an bestehende Workflows anpassen.

Ein weiterer Engpass ist die Supply Chain. Humanoide benötigen hochspezialisierte Komponenten. Viele dieser Bauteile sind schwer skalierbar und stammen von wenigen Herstellern. Erst wenn die Produktion skaliert, können die Kosten sinken und humanoide Roboter wirtschaftlich attraktiv werden. Nicht zuletzt fehlt es aktuell noch an der entsprechenden Regulierung und Zertifizierung. Für Humanoide gibt es bislang kaum Normen oder Verfahren. Doch mit der ISO TC 299 WG12 erarbeitet die ISO aktuell eine neue, passende Norm – inklusive technischer, rechtlicher und ethischer Aspekte.

Immenses Potenzial: Warum humanoide Roboter so vielversprechend sind

Humanoide können bestehende Infrastruktur nutzen und lassen sich dadurch schneller und kostengünstiger integrieren. Hinzu kommt ihre universelle Einsatzfähigkeit. Während klassische Roboter meist für klar definierte Aufgaben entwickelt werden, können Humanoide flexibel einsetzbar ein breites Spektrum an Tätigkeiten übernehmen.

Darüber hinaus profitieren Humanoide von den aktuellen Fortschritten in der KI und Imitation Learning, was komplexe Programmierung ersetzt. In sogenannten „Robot Gyms“ sammeln Hersteller derzeit riesige Mengen an Bewegungs- und Interaktionsdaten, indem Menschen den Robotern demonstrieren, wie sie Tätigkeiten ausführen sollen. Dank ihres menschlichen Formfaktors und ihrer mithilfe hochpräziser Antriebe gesteuerten Gelenke können sie diese Demonstrationen besonders exakt übernehmen.

Der globale Markt für menschliche körperliche Arbeit wird auf rund 25 Billionen Dollar geschätzt – größer als jeder andere Wirtschaftssektor. Humanoide adressieren genau diesen Bereich, indem sie anstrengende und monotone Tätigkeiten übernehmen, die heute von Menschen ausgeführt werden müssen. Ebenso ermöglichen humanoide Roboter eine Automatisierung ohne Umbau der Produktion. Bestehende Abläufe lassen sich nahezu unverändert übernehmen, was Investitionskosten und Implementierungszeit reduziert.

Fazit: Die nächste große technologische Revolution

Wagt man einen Ausblick in die Zukunft, so könnten Humanoide in den kommenden fünf Jahren in ersten



Leistungsstarke Torque-Motoren bieten hohe Drehmomentdichte und ermöglichen es, die notwendige Leistung für QDD-Aktuatoren bereitzustellen.

Bild: TQ-RoboDrive

Projekten branchenübergreifend produktiv arbeiten. Die Kosten werden sinken, und KI-Modelle werden ein Leistungsniveau erreichen, das mit kurz angelegten menschlichen Arbeitskräften vergleichbar ist.

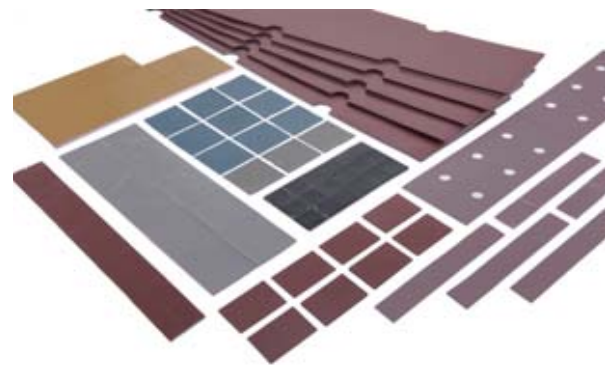
Das macht es wahrscheinlich, dass humanoide Roboter in zehn Jahren bereits in vielen Branchen zum Standard gehören und die zukünftige Wirtschaft massiv mittragen bzw. zu einer wirtschaftlichen Leistungssteigerung in Milliardenhöhe führen. (na) ■

Autor: Robert Vogel, Head of Business Development & Sales bei TQ-RoboDrive



Wärmeleitfolien

-60 bis +200°C



Silikon Soft Pads
SBC Serie 1,5 / 3 / 5 / 7 / 12 W/mK
Weiche gelartige Pads: 2 - 10° ShA,
beidseitig haftend. Stärke: 0,5 bis 5,0 mm



Silikon Soft Pads mit Gewebe
SB-VO Serie 0,9 / 1,3 / 3 / 7 W/mK
Glasgewebe Deckfolie und weiche gelartige
Unterseite. 2 - 20° ShA., einseitig haftend.
Stärke: 0,5 bis 5,0 mm



Silikon Glasgewebe Folie
SB-HIS Serie 1 / 2 / 3 / 4 / 5 W/mK
Optional: einseitig haftend oder klebend
ca. 80° ShA., Stärke: 0,15 bis 0,8 mm

Verarbeitungsmethoden: Plotten, Stanzen, Wasserstrahlschnitt

Isolier- und Messtechnik GmbH & Co. KG
Hans-Böckler-Ring 19
22851 Norderstedt

Tel: +49 40 529547 0
eMail: info@detakta.de
Web: www.detakta.de

Komponenten für die E-Mobilität

Stromsensoren für die Motorsteuerung in E-Fahrzeugen

Stromsensoren übernehmen in E-Fahrzeugen zentrale Messaufgaben. Sie unterstützen eine präzise Motorsteuerung und tragen zu Effizienz, Sicherheit sowie zur Integration kompakter Antriebssysteme bei.

Die Zahl batteriebetriebener Elektrofahrzeuge (BEV) auf den Straßen steigt rasant, insbesondere da ihre Anschaffungskosten immer erschwinglicher werden und ihre Reichweite deutlich zunimmt.

Die BEV-Hersteller verbessern ihre Fahrzeuge kontinuierlich und fördern so deren weitere Verbreitung. Dennoch gibt es Herausforderungen, denen sich die Entwickler

weiterhin stellen müssen, um vor allem die Reichweite zu optimieren. Dazu gehören unter anderem die Reduzierung von Größe, Gewicht und Kosten der BEV-Systeme und -Komponenten bei gleichzeitiger Steigerung der Leistungsfähigkeit und Sicherheit. Hier leisten Komponenten wie Stromsensoren einen wichtigen Beitrag. Sie sind in den Batteriemanagementsystemen (BMS) und Bordladegeräten (OBC; On-Board-Charger)

von BEV zu finden, wo sie die Ströme überwachen und messen, die in diese Systeme ein- und ausfließend. Auch Leckströme erkennen und messen sie aus Sicherheitsgründen, um die Gefahr von Stromschlägen oder Bränden zu verhindern.

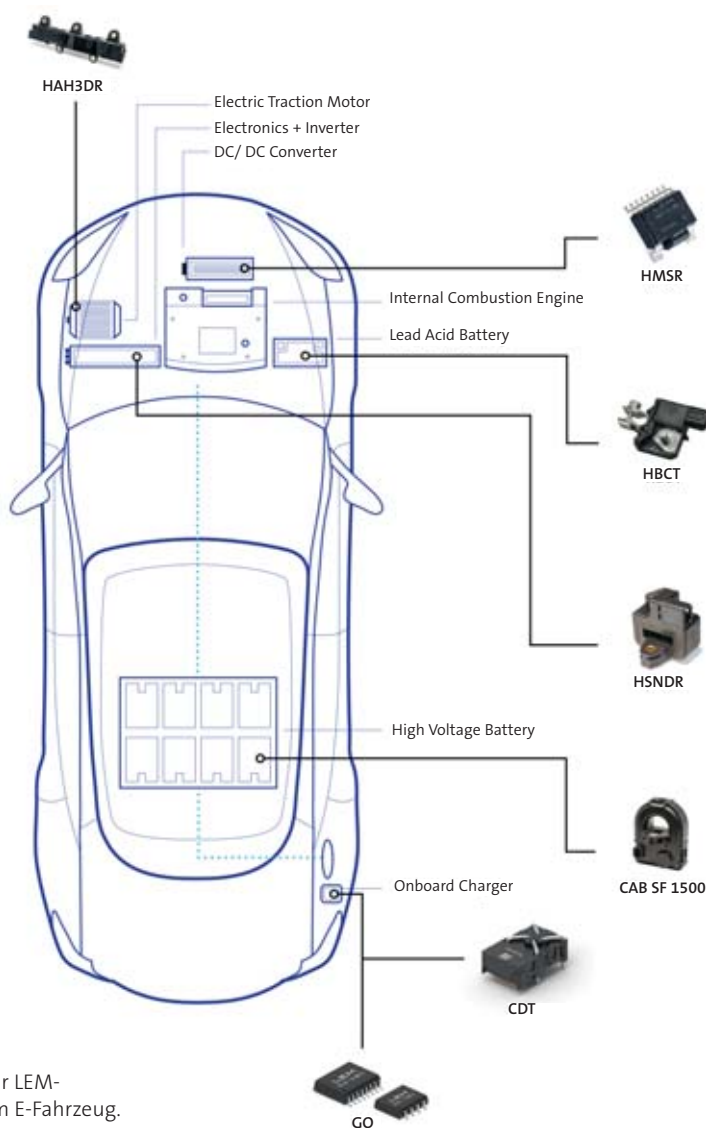
Stromsensoren in der BEV-Motorsteuerung

In der Motorsteuerung (Bild 1) überwachen und messen Stromsensoren den Stromfluss durch den Antriebsmotor und gewährleisten so dessen ordnungsgemäßen und sicheren Betrieb. Stromsensoren kommen in drei wichtigen Stufen zum Einsatz: im DC-Zwischenkreis, bei der Phasenmessung und der Rotoranregung.

Ein DC-Link-/Zwischenkreis ist praktisch die Verbindung zwischen dem Gleichrichter (der AC in den für den Batteriebetrieb erforderlichen DC umwandelt) und dem Wechselrichter (der DC in AC für den Motorantrieb umwandelt). Der DC-Link besteht aus Kondensatoren.

Um die Gleichspannung des Akkus jederzeit stabil zu halten, überwacht und steuert der Zwischenkreis den Strom mit Stromsensoren. Dies ist eine wichtige Stufe der Motorsteuerung, die jedoch aufgrund von Integrationstrends zunehmend durch das BMS oder die Batterietrennvorrichtung (BDU; Battery Disconnect Unit) ersetzt wird.

In BEV können die Antriebsmotoren eine Leistung von 50 kW oder mehr haben und verwenden 3-Phasen-Wechselrichter. In Hochleistungsfahrzeugen sind es sogar 6-Phasen-Wechselrichter. Der Ausgangsstrom des Wechselrichters treibt jede Phase des Motors an, um ein Magnetfeld zu erzeugen, das die Drehung des Motors ermöglicht. Jede Phase verfügt über einen eigenen, unabhängigen Stromsensor am Ausgang des Wechselrichters, um den Strom zu überwachen. Zwei Stromsensoren können hier für einen sicheren Betrieb ausreichend sein, wobei der Strom in der dritten Phase aus der Summe der beiden anderen Phasen abgeleitet wird. Für maximale Sicherheit und Zuverlässigkeit verwenden Entwickler jedoch üblicherweise drei Stromsensoren.



Beispiele für LEM-Sensoren im E-Fahrzeug.

Bild: LEM

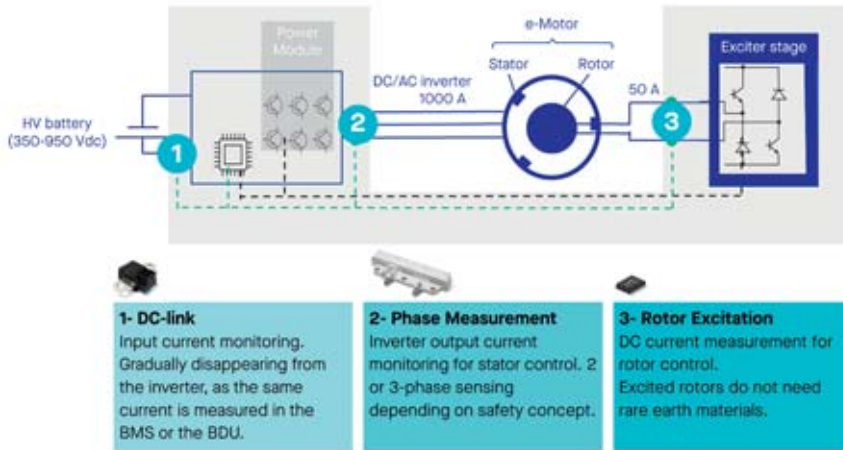


Bild 1: In der Motorsteuerung verwendete Sensoren

Bild: LEM

Der Wechselrichter steuert über den Strom das Drehmoment und die Drehzahl des Motors, indem er die Frequenz und Amplitude des an jede Phase gelieferten Stroms regelt. Dies wird durch die Stromsensoren ermöglicht. Um sicherzustellen, dass der Wechselrichter die richtige Strommenge an den Motor liefert, wird das Ausgangssignal der Stromsensoren in einen Regelkreis eingespeist.

Stromsensoren spielen auch bei der Rotorerregung eine zentrale Rolle. Hier dient die DC-Messung zur präzisen Ansteuerung der Rotorwicklung.

Miniaturisierung und Integration von Sensoren

Für alle Messaufgaben der Motorsteuerung in BEVs spielt die Miniaturisierung weiterhin eine wichtige Rolle. Neuerungen im Halbleiterbereich ermöglichen hier bessere, intelligentere und kostengünstigere Sensoren. Um den Platzbedarf zu minimieren und die Kosten zu senken, setzen viele Sensorhersteller, darunter auch LEM, auf mechanische Integration der Sensoren im oder am Powermodul.

Die Integration erhöht die Leistungsdichte und sorgt für eine optimale und konstante Performance über Lebensdauer, da Sensor und Powermodul nach End-of-Line-Kalibrierung eine Plug-and-Play implementierbare Einheit bilden. Hinzu kommen optimale mechanische und elektrische Kopplung, hohe Genauigkeit durch magnetischen Konzentration und gute Übersprechunterdrückung durch den Magnetkern.

Derzeit sind kernlose Designs eine wichtige Innovation in der Branche, da sie den Platzbedarf und die Kosten reduzieren und das Design vereinfachen.

Ein echtes kernloses Design entfernt den Magnetkern aus dem Stromsensormodul und ist die beste Option, um die Ge-

samtgröße seines Gehäuses zu reduzieren. Es erfordert jedoch neue Konstruktionsansätze und die Lösung einiger technischer Herausforderungen: Höhere Genauigkeit verlangt eine bessere Kopplung, Techniken zur Verminderung von Übersprechen und zur Sicherstellung von Linearität über einen sehr großen Strombereich. Dies wiederum erfordert bessere Halbleiter, verbesserte mechanische Konzepte, eine engere Zusammenarbeit mit OEMs bei der Entwicklung.

Herausforderungen der Branche bewältigen

Mit über 50 Jahren Erfahrung und Anwendungswissen hat LEM umfassendes Know-how in der Entwicklung von Stromsensoren erlangt. Dazu gehören mechanische Konzepte, Sensortechnologien und Kalibrierung, Integrationsansätze, Chipdesigns und Softwareentwicklung, aber auch die Einhaltung verschiedener Normen und Vorschriften für unterschiedliche Regionen.

Für den DC-Link bietet LEM verschiedene Arten von Stromsensoren, die als Standardprodukte (OTS) oder kundenspezifisch erhältlich sind. Dazu gehören die 1-Phasen-Sensoren HSND, HSTDR, HAM und HAH1, die in unterschiedlichen Bauformen erhältlich sind.

Für die Phasenüberwachung in der Motorsteuerung hat das Unternehmen ein breites Angebot an Stromsensoren, darunter den HAH2 für 2-Phasen- und den HAH3 für 3-Phasen-Anwendungen. Hinzu kommen kundenspezifische Stromsensoren.

Für die Rotorerregung und die hier zu überwachenden Ströme stellen die HMSR-, GO- und fortschrittlichen ICS-Sensoren (die dieses Jahr eingeführt werden) eine geeignete Lösung dar. (bs)

Autor: Charles Flatot-Le Bohec, Global Product Manager e-mobility, LEM



NEU
optoCONTROL 2700

Präzisions-Mikrometer für Automation und Maschinenbau

- Kompaktes Mikrometer mit Submikrometer-Genauigkeit
- Messbereich: 10/40 mm
- 15 kHz Abtastrate für schnelle Messungen
- Messung kleinster Objekte ab 0,05 mm



Kontaktieren Sie unsere
Applikationsingenieure:
Tel. +49 7161 9887 2300

micro-epsilon.de/odc

Modulare Testarchitekturen gewinnen an Bedeutung

Radartests in einem sich verschärfenden Umfeld

Aktuelle Radarsysteme müssen in komplexen und dynamischen HF-Umgebungen zuverlässig arbeiten. Dadurch steigen die Anforderungen an Testverfahren, Validierung und flexible Testarchitekturen deutlich.



Bild: xyz+ - stock.adobe.com

Radarsysteme sind für die Lage- und Bedrohungserkennung sowie Verfolgung von wesentlicher Bedeutung – ihr Aufgabenfeld wird zunehmend anspruchsvoller. In dem heute stark ausgelasteten und hart umkämpften elektromagnetischen Spektrum müssen sich Systeme in stark genutzter Signalumgebungen, bei absichtlichen Interferenzen und irreführende Übertragungen bewehren. Gleichzeitig müssen sie so weiterentwickelt werden, dass ihre Anpassungs- und Widerstandsfähigkeit sowie Agilität zunehmen. Um mit diesen Entwicklungen Schritt halten zu können, sind entsprechend ausgefeilte Validierungs- und Teststrategien erforderlich.

Ein Umfeld im Wandel

Bei der Entwicklung der Radartechnik liegt der Fokus immer stärker auf Integration, Anpassungsfähigkeit und softwaredefiniertem Betrieb. Heute kombinieren zahlreiche Anlagen Radar, Kommunikation und elektronische Kriegsführung in einem einzigen HF-Frontend, was die Leistungsfähigkeit erweitert, aber auch zu einer höheren Komplexität führt. Auch kognitive Radararchitekturen, bei denen maschinelles Lernen zur Anpassung von Wellenformen, zur Optimierung des Beamforming und zur Umgehung von Störungen in Echtzeit eingesetzt wird, gewinnen an Bedeutung. Fortschritte bei digitalen programmierbaren Arrays, z. B. aktive elektronisch gesteuerte Arrays (Active Electronically Scanned Arrays; AESAs) ermöglichen eine feinere räumliche Steuerung und größere Beweglichkeit. Die entsprechenden Designs stellen neue Anforderungen an die präzise Synchronisierung über große Bandbreiten sowie stark genutzte Signalkanäle.

Die benötigten Innovationen stellen erhebliche Herausforderungen für die Validierung und Tests dar. Aktuelle Radarsysteme müssen unter zahlreichen Bedingungen verlässlich funktionieren. Dazu zählen sich schnell ändernde Signale, ein schwankender Spektrumzugang sowie Bereiche, in denen Signale mehrdeutig oder absichtlich irreführend sein können.

Gleichzeitig beschleunigen sich die Entwicklungszyklen. Inzwischen wird von Testteams erwartet, dass sie mehr Funktionen in einem noch breiteren Spektrum von Einsatzszenarien überprüfen – und das in kürzerer Zeit. Diese Entwicklung erfordert flexible, programmierbare Testumgebungen, die eng getaktete HF-Aktivitäten präzise simulieren können und sich an weiterentwickelnde Systemanforderungen anpassen lassen.

Bei effektiven Radartests kommt es heute nicht nur auf eine hohe Signalgenauigkeit an, sondern auch auf die Fähigkeit zur Reaktion in Echtzeit. Um Verhaltensweisen wie Zieldiskriminierung, agile Strahlsteuerung und Interferenzunterdrückung unter realistischen Bedingungen beurteilen zu können, müssen Systeme eine präzise Steuerung von Timing, Doppler-Effekten und Signalamplitude unterstützen.

Aktueller HF-Kampfbereich

Durch Operationen im elektromagnetischen Spektrum (Electromagnetic Spectrum Operations; EMSO) hat sich die Bedrohungslandschaft von physischen Plattformen auch auf Aktivitäten auf Signalebene ausgedehnt. In diesem Bereich müssen Radarsysteme in der Lage sein, Ziele zu erkennen, zu verfolgen und zu klassifizieren.

Dabei müssen sie Störungen, Spoofing und Spectrum Denial umgehen.

In diesem Zusammenhang bringen Tests neue Herausforderungen mit sich, die das hart umkämpfte und sich rasch entwickelnde Umfeld des HF-Spektrums widerspiegeln. Von Radarsystemen wird erwartet, dass sie ihre Leistung auch bei starker Überlastung durch Signale aufrechterhalten, wenn militärische und kommerzielle Sender in unmittelbarer spektraler Nähe zueinander betrieben werden. Sie müssen außerdem absichtlich erzeugten Interferenzen standhalten können, wozu auch adaptive Störtechniken zählen, die sich während des Betriebs weiterentwickeln und verändern können. Angesichts eines immer dynamischeren Frequenzspektrums müssen Systeme innerhalb extrem kurzer Zeiträume - oftmals innerhalb weniger Millisekunden - Frequenzen wechseln, Wellenformen modulieren und Beams neu konfigurieren. Zur Validierung dieser Funktionsweisen sind Testaufbauten erforderlich, die mehrere HF-Signale gleichzeitig erzeugen beziehungsweise verwalten können und dabei das Timing sowie die Signaleigenschaften präzise steuern.

Diese Bedingungen sind in herkömmlichen Testumgebungen schwer zu reproduzieren. Over-the-Air-Tests (OTA) und Freiluft-Testbereiche bieten zwar realistische Bedingungen, jedoch mangelt es an Wiederholbarkeit und Kontrolle. Kammerbasierte oder Hardware-in-the-Loop-Aufbauten (HIL) bieten Isolation und Präzision, setzen jedoch eine flexible Instrumentierung voraus, die



eine echtzeitfähige Emulation ermöglichen. Um diese Anforderungen zu erfüllen, muss die Herangehensweise an Radartests verändert werden.

Aktuelle Testumgebungen müssen auf modularen Systemen aufbauen, die rekonfigurierbare Signal-Transceiver, breitbandige HF-Ein- und Ausgänge sowie offene Software-Schnittstellen nutzen. Mithilfe dieser Kombination können Testingenieure sich weiterentwickelnde Bedrohungen von Spektren modellieren, Interferenzen präzise einspeisen und Systemreaktionen unter wiederholbaren, hochpräzisen Bedingungen beobachten. Dies unterstützt sowohl die Validierung als auch die iterative Entwicklung.

Radarsysteme im Militär müssen in der Lage sein, Ziele zu erkennen, zu verfolgen und zu klassifizieren. Dabei müssen sie Störungen, Spoofing und Spectrum Denial umgehen.

Bild: At My Hat - @stock.adobe.com

Test&Measurement

YOKOGAWA 



Prädiktive Datenanalyse mit GA10 Software & SmartDAC+

Anomalien erkennen, bevor sie Kosten verursachen. Mit der GA10 Software und der SmartDAC+ Gerätefamilie überwachen Sie Ihre Anlagen intelligent und in Echtzeit. KI-gestützte Analysen von Profilwellenformen und Health Scores machen Abweichungen sofort sichtbar und ermöglichen vorausschauendes Handeln.

Ihr Vorteil: maximale Anlagenverfügbarkeit, deutlich reduzierte Stillstände und geringere Wartungskosten.

PCIM Expo

9. - 11. Juni 2026

Halle 9 | Stand 400

Precision Making

tmi.yokogawa.com/de



Testumgebungen müssen eine schnellere, besser wiederholbare Validierung für eine immer größer werdende Bandbreite an Einsatzbedingungen ermöglichen.

Bild: DC Studio - @stock.adobe.com

Neue Herausforderungen für Radartests

Da sich Radarsysteme sowohl in ihrer Architektur als auch in ihrer Funktion weiterentwickeln, müssen Testumgebungen Schritt halten und eine schnellere, besser wiederholbare Validierung für eine immer größer werdende Bandbreite an Einsatzbedingungen ermöglichen.

Eine wachsende Herausforderung ist die Notwendigkeit, die Leistung aktiver, elektronisch gesteuerter Phased-Array-Antennen (AESAs) zu überprüfen. Für das Testen dieser Systeme sind oft Over-the-Air-Konfigurationen erforderlich, mit denen sich Beam-Agilität, Nebenkeulen-Verhalten und Abtastmuster unter realistischen Bedingungen beurteilen lassen. Die entsprechenden Szenarien basieren in der Regel auf kammerbasierten oder Nahfeld-Testaufbauten. Diese bieten realistische HF-Bedingungen und die für wiederholbare Ergebnisse erforderliche Messkonsistenz.

Gleichzeitig werden Radardesigns so erweitert, dass sie eine größere Bandbreite und eine höhere Kanalanzahl unterstützen. Dieses Wachstum führt zu einem starken Anstieg des Datenvolumens, wodurch Erfassungssysteme, Speicher und Nachbearbeitungs-Pipelines stärker belastet werden. Um mit den technologischen Fortschritten Schritt zu halten und Engpässe zu vermeiden, sind Architekturen mit hohem Durchsatz sowie Echtzeit-Analysetools unerlässlich.

Zudem müssen Testumgebungen schnelle Iterationen unterstützen. Der Zeitdruck erstreckt sich über die Entwicklungsphase hinaus auch auf die Produktions- und Wartungsphase. In den letztgenannten Phasen sind Automatisierung, integrierte Kalibrierung und ein geringer manueller Aufwand entscheidend, um sowohl Geschwindigkeit als auch Genauigkeit zu gewährleisten.

Die zunehmende Verwendung von handelsüblichen Komponenten sowie FPGA-basierten Signalketten erhöht zusätzlich die Komplexität. Diese Elemente können zu Schwankungen bei der Latenz sowie bei der Rauschleistung und beim Spektralverhalten führen. Aus diesem Grund ist es äußerst wichtig, Baugruppen nicht isoliert, sondern als Teil des gesamten Radarsystems zu charakterisieren. Dies ist besonders wichtig in der Spätphase des Entwicklungszyklus, wenn noch Integrations- und Designänderungen vorgenommen werden.

Flexibilität an oberster Stelle

Ältere Testsysteme wurden oft für bestimmte Radarmodelle, Wellenformtypen oder Frequenzbänder entwi-

ckelt. Diese Ansätze haben sich zwar bei Testsystemen früherer Generationen bewährt, sie haben jedoch Schwierigkeiten, mit den Anforderungen der sich heutzutage schnell weiterentwickelnden Radardesigns sowie der erweiterten Einsatzbereiche von Missionen Schritt zu halten.

Eine effektivere Strategie sieht eine plattformbasierte, softwaredefinierte sowie modulare Architektur vor. Mithilfe dieses Ansatzes können Testsysteme parallel zur Radarentwicklung angepasst werden, ohne dass die gesamte Hardware ausgetauscht werden muss. Eine der wichtigsten Funktionen ist die Möglichkeit, Echtzeit-Szenarien zu generieren. Dazu werden Ziele mit dynamischen Verzögerungen, Doppler-Verschiebungen und Dämpfungsprofilen eingespeist, wodurch reale Bedingungen präzise nachgebildet werden.

Modulare Signal-Transceiver decken große Bandbreiten und Frequenzbereiche ab, während skalierbare Kanalanzahlen wiederum immer komplexere Systeme unterstützen. Offene Software-Schnittstellen ermöglichen die Integration von digitalen Zwillingen, Szenario-Generatoren sowie Rahmenwerken für die Missionsmodellierung. Kalibrierte und synchronisierte Signalpfade gewährleisten gleichzeitig die für zeitkritische Messungen wie Entfernungsverzögerung und Phasenkohärenz erforderliche Präzision.

Diese flexible Architektur unterstützt frühzeitiges Prototyping, Closed-Loop-Tests und kontinuierliche Validierung in allen Phasen: vom Design über die Produktion bis zum Lifecycle-Sustainment. Durch eine effektive Implementierung können Radarentwickler und Testingenieure parallel arbeiten, was die Zeit bis zur Fertigstellung verkürzt. Gleichzeitig steigt das Vertrauen in die Systemleistung unter den schwierigen Bedingungen, die für den Betrieb im elektromagnetischen Spektrum typisch sind.

Vorbereitung auf die Zukunft

Entsprechend der Veränderungen im HF-Kampfbereich werden sich auch Radarsysteme weiterentwickeln. Seit 2025 werden Radartests nicht mehr nur eine einfache Validierung umfassen, sondern auch Simulation, Emulation und adaptive Reaktion beinhalten. Die zunehmende Komplexität multifunktionaler HF-Systeme macht flexible und skalierbare Testumgebungen erforderlich, die mit der Geschwindigkeit und Komplexität der Systeme selbst mithalten können.

Um diese Herausforderungen zu meistern, sind Testplattformen erforderlich, die einsatzspezifische Abläufe, die Erzeugung von Echtzeitszenarien sowie eine präzise Signalsteuerung unterstützen. Die Abkehr von festen, hardwareorientierten Testaufbauten hin zu modularen, programmierbaren Architekturen versetzt Entwicklungsteams in die Lage, Innovationen zu beschleunigen, ohne dabei realistische Signalbedingungen und Messgenauigkeit aus den Augen zu verlieren.

Angesichts des sich verschärfenden Wettbewerbs um Frequenzen wird die Fähigkeit, Radarsysteme unter realistischen Bedingungen zuverlässig zu testen, von entscheidender Bedeutung für die Aufrechterhaltung der Einsatzbereitschaft und Wehrhaftigkeit sein. (bs) ■

Autor: Haydn Nelson, Business Development Manager, Radar- und HF-Tests, Emerson Test & Measurement

Druckfest bis 500 bar Sensoren für maritime Anwendungen



Die Sensoren der Full-Inox-Maritime-Serie von Contrinex bieten hohe Schutzarten (IP68/69K), sind korrosions- sowie salzwasserbeständig und wurden von der Klassifikationsgesellschaft DNV zertifiziert. Sie sind in einem einteiligen Edelstahlgehäuse verbaut (V4A/AISI 316L). Ein Merkmal ist der EMV-Schutz, der auch spezifische maritime Anforderungen erfüllt. Die Sensoren bieten große Schaltabstände auf Metalle wie Stahl und Aluminium (Faktor 1) und sind

druckfest bis 500 bar (Spitze: 800 bar). Erhältlich sind sie in verschiedenen Ausführungen (M10, M12, M18, M30, P12G und C23); alle Varianten verfügen über eine IO-Link-Schnittstelle, über die nicht nur Sensordaten ausgelesen werden können (z. B. die Anzahl der Schaltereignisse oder die Chiptemperatur), sondern sich auch Parameter flexibel anpassen lassen. Dazu gehören die Funktionsauswahl als Schließer oder Öffner sowie die Programmierung einer Ein- oder Ausschaltverzögerung. Der Einsatz von IO-Link reduziert den Aufwand für Inbetriebnahme und Wartung in schwer zugänglichen Umgebungen wie in Hafener- oder Off-shore-Anlagen drastisch. (bs)

In-Circuit-Funktionstestsysteme, Adaptionen, Kabeltester



- ▷ Testsysteme für elektronische Flachbaugruppen, Module und Geräte für die Qualitätssicherung
- ▷ In-Circuit- und Funktionstest, Boundary Scan, Mehrfachnutzertest, Paralleltest (auch Flashen), Displaytest, EOL
- ▷ praxisnahe und anwenderfreundliche Testprogrammerstellung, hohe Prüfschärfe und Prüftiefe
- ▷ breitestes Spektrum an Produkten für das automatische Testen aus eigener Entwicklung
- ▷ Stand-alone und Inline-Einsatz

- ▷ manuelle und pneumatische Adaptionen
- ▷ Niederhaltersysteme für bis zu 1000 gefederte Kontaktstifte
- ▷ austauschbare Adapterplatten (Nadelbett)
- ▷ langlebig und geringe Folgekosten

- ▷ MCT 192-2 Kabel- und Backplanetester mit 192 Messkanälen
- ▷ optionale Steckerkontaktierungsboards
- ▷ Teststecker für viele gängige Kabel
- ▷ Prüfprogrammerstellung mit Autolern von einem Goldenen Prüfling oder über Softwareeditor

REINHARDT

System- und Messelectronic GmbH

Bergstr. 33 D-86911 Diessen Tel. +49 8196 934100

E-Mail: info@reinhardt-testsystem.de <http://www.reinhardt-testsystem.de>

Energiespeicher, Leistungselektronik und Stromversorgungen

Isolierte Eingangsmodule

Yokogawa Test & Measurement stellt zwei Eingangsmodulen vor: ein isoliertes Spannungsmodul (720252) mit erweitertem DC-Offset-Abgleich sowie ein Modul mit hoher Genauigkeit (720301).

Mit dem Modul 720252 erweitert Yokogawa seine ScopeCorder-Serie um eine Lösung, die für die hochauflösende Analyse kleiner Signalveränderungen auf DC-überlagerten Spannungen entwickelt wurde. Durch einen einstellbaren Offset-Bereich lassen sich im Vergleich zu konventionellen digitalen Oszilloskopen selbst kleine Änderungen von Gleichspannungen und -strömen zuverlässig und reproduzierbar erfassen. Die Offset-Funktion ermöglicht die gezielte Kompensation verschiedenster DC-Anteile, etwa von Batteriespannungen oder Gleichströmen. Gleichzeitig können sowohl stabile DC-Niveaus als auch feine Spannungsflektuationen im Mikrovoltbereich (bis zu 1 mV/div) sichtbar gemacht werden. Eine weitere Neuerung ist der High-Z-Modus mit einer Eingangsimpedanz > 1 GΩ, der den Einfluss des Messsystems auf empfindliche Messobjekte signifikant reduziert. Das isolierte Span-

nungsmodul 720301 stellt eine Kombination aus direkten Spannungseingang und Anschluss von Stromsensoren in einem Modul dar. Zusammen mit der ScopeCorder-Familie ermöglicht es die synchrone Erfassung von Leistungsgrößen zusammen mit weiteren physikalischen Signalen wie z. B. Temperatur, Dehnung oder Beschleunigung. Durch den integrierten direkten Spannungseingang (Sicherheits-Bananenbuchsen) sowie einen Anschluss für Stromsensoren (isolierte BNC-Buchse) und die nahtlose Einbindung in die DL950- und SL2000-Systeme wird eine konsistente Messung von Spannungs- und Stromverläufen im DC- und AC-Bereich sichergestellt. Ergänzt wird dies durch Analysefunktionen der Leistungsoptionen (/G05 oder /MT1) des DL950 oder SL2000: Frei definierbare Messintervalle (ab 0,1 ms), zyklusbasierte Leistungsberechnungen sowie flexible Triggerfunktionen auf



Leistungsparameter und Harmonische ermöglichen eine detaillierte und effiziente Auswertung. (bs) ■



Wie verändert fortschrittliche Bewegungserfassung den Industriemarkt durch IIoT, Edge-KI, Sicherheit und präzise Sensorik?

Bild: Mihajlo Maricic

Sensorik in der Industrie

Die Auswirkungen fortschrittlicher Bewegungserfassung im Industriemarkt

Fortschrittliche Bewegungserfassung verändert den Industriemarkt spürbar. Sensorik, Edge-KI und IIoT verschmelzen zu einem Effizienzpaket, das Sicherheit, Zustandsüberwachung und Automatisierung auf ein neues Niveau hebt.

Die Zukunft des Industriemarkts wird durch bahnbrechende Technologien geprägt, die einzigartiges Potenzial offenbaren und die Möglichkeiten neu definieren. Kollaborative Roboter (Cobots) sind nicht nur Werkzeuge, sondern Partner, die menschliche Arbeitskräfte befähigen, gemeinsam größere Kreativität und Produktivität zu erreichen. Künstliche Intelligenz (KI) führt die Industrie in eine neue Ära der Intelligenz, in der datengestützte Erkenntnisse Innovationen beschleunigen und Herausforderungen in Chancen verwandeln. Das Internet der Dinge (IoT) vernetzt umfangreiche Maschinen und Systeme und ermöglicht eine nahtlose Kommunikation und Echtzeitreaktionen wie nie zuvor. Digitale Zwillinge erwecken Vorstellungen zum Leben, indem sie virtuelle Umgebungen schaffen, in denen Ideen getestet, verfeinert und perfektioniert werden können, bevor sie Realität werden. Cloud-Computing dient als Rückgrat dieser Revolution und bietet unbegrenzte Leistung und Konnektivität, um mutige Visionen voranzutreiben. Gemeinsam inspirieren diese Technologien eine neue industrielle

Renaissance, in der Innovation, Nachhaltigkeit und menschliche Initiative zusammenkommen, um eine intelligenteren und widerstandsfähigere Welt zu schaffen.

Die Rolle der Sensoren

Sensoren sind die stillen Führungskräfte, die die Transformation des Industriemarkts in eine Welt voller Intelligenz und Möglichkeiten vorantreiben. Als „Augen und Ohren“ der intelligenten Fabriken erschließen diese Geräte die Kraft von Echtzeitdaten, die es der Industrie ermöglichen, über die Oberfläche hinauszublicken und die Zukunft vorherzusehen. Durch kontinuierliches Erfassen von Druck, Temperatur, Position, Vibration und mehr ermöglichen Sensoren eine ständige Überwachung der Arbeitskräfte und erwecken Maschinen zum Leben, indem sie sie zu vernetzten, reaktionsfähigen Einheiten im industriellen Internet der Dinge (IIoT) machen. Dieser Informationsfluss beschleunigt Innovationen, ermöglicht vorausschauende Wartung und erhöht die Sicherheit. Sensoren überwachen nicht nur, sie leiten eine neue

Ära ein, in der Effizienz auf Nachhaltigkeit trifft, jeder Prozess optimiert wird und die Industrie Veränderungen mit Zuversicht annimmt. In dieser industriellen Landschaft sind Sensoren die Katalysatoren, die Rohdaten in Erkenntnisse für intelligentere, schnellere und widerstandsfähigere Industrien verwandeln.

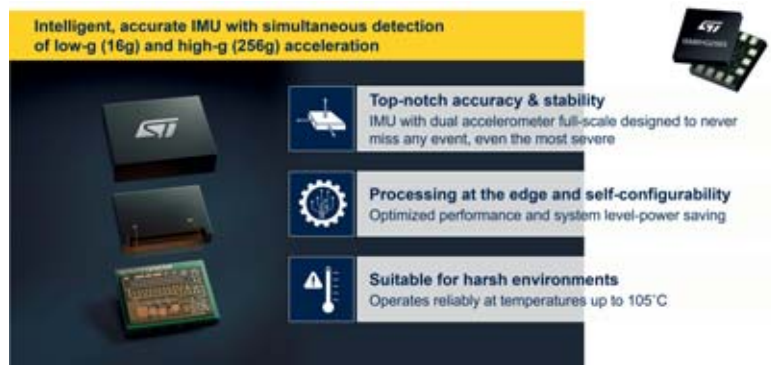
Herausforderungen für industrielle Bewegungserfassungsanwendungen

Sensoren in industriellen Umgebungen stehen vor mehreren bedeutenden Herausforderungen. Sie müssen jahrelang kontinuierlich mit Batteriestrom arbeiten, ohne auszufallen. Zudem ist es entscheidend, dass sie jedes kritische Ereignis erfassen, um keine Zwischenfälle zu verpassen. Sensoren müssen eine genaue und präzise Verfolgung bieten, um Prozesse effektiv zu steuern. Gleichzeitig müssen sie kompakt und leistungsstark sein und mehrere Funktionen in einem kleinen Gerät integrieren. Am wichtigsten ist, dass Sensoren zuverlässige Verfolgung und Datenerfassung in jeder Umgebung gewährleisten – sei sie rau, laut oder komplex – und eine konstante Leistung unabhängig von äußeren Bedingungen bieten. Diese Herausforderungen zu meistern ist entscheidend, um Fabriken durch vernetzte Technologien wie das industrielle Internet der Dinge (IIoT) intelligenter und effizienter zu machen. MEMS-Sensoren sind die siegreiche Technologie für all diese Herausforderungen.

MEMS-Trägheitssensoren sind wesentliche Komponenten, die Bewegungen durch Messung von Beschleunigungen, Vibrationen und Winkelgeschwindigkeiten erfassen und so sicherstellen, dass wichtige Ereignisse in einer industriellen Umgebung nie übersehen werden. Diese Sensoren werden benötigt um effizient zu arbeiten und gleichzeitig Energie zu sparen und müssen auch unter schwierigen Bedingungen wie hohen Temperaturen zuverlässig zu funktionieren. Es gibt jedoch Herausforderungen zu bewältigen. Manchmal können Sensoren überfordert sein, was dazu führt, dass wichtige Details von Stößen oder Vibrationen übersehen werden. Die Verwendung mehrerer Sensoren zur Abdeckung unterschiedlicher Bewegungsbereiche kann kompliziert sein, und die Verwaltung des Energieverbrauchs in einem IIoT-Knoten ist ebenfalls eine Herausforderung. Es besteht ein Kompromiss zwischen Genauigkeit und Messbereich: Sensoren, die kleine Bewegungen messen, sind sehr präzise, können aber starke Stöße nicht bewältigen, während solche, die starke Stöße erfassen, weniger genau sind. In industriellen Umgebungen müssen Sensoren robust genug sein, um rauen Bedingungen standzuhalten und gleichzeitig zuverlässige und genaue Daten zu liefern. Die Lösung dieser Herausforderungen ist der Schlüssel, um MEMS-Sensoren in vielen Anwendungen effektiver zu machen.

Wie der neue industrielle IMU helfen kann

Der neue MEMS-Trägheitssensor (IMU) ISM6HG256X von ST adressiert zentrale Herausforderungen des Industriemarkts, indem er eine einzelne mechanische Struktur für einen Beschleunigungssensor mit einem weiten Dynamikbereich integriert, der sowohl niedrige g-Vibrationen (16g) als auch hohe g-Stöße (256g) erfassen kann, sowie ein Gyroskop, wodurch der Bedarf an mehreren Sensoren



effektiv entfällt. Dieses kompakte Gerät nutzt eingebettete Edge-KI-Verarbeitung und Selbstkonfigurierbarkeit, um die Leistung zu optimieren und gleichzeitig den Energieverbrauch erheblich zu senken, was die Batterielebensdauer verlängert. Er ist so konstruiert, dass er rauen industriellen Umgebungen standhält und zuverlässig bei Temperaturen bis zu 105 °C arbeitet, wodurch eine konstante Genauigkeit und Haltbarkeit unter anspruchsvollen Bedingungen gewährleistet wird. Unterstützend für Industry-5.0-Initiativen ermöglichen die fortschrittliche Sensorarchitektur und die Edge-KI-Verarbeitungsfähigkeiten intelligenter, autonomere Industriesysteme, die Innovationen vorantreiben. Das kompakte Design vereinfacht die Systemarchitektur, indem es die Erfassung hoher und niedriger Beschleunigungen in einer Einheit kombiniert, während die Systemebene durch Edge-KI-Verarbeitung und adaptive Selbstkonfigurierbarkeit energieeffizient optimiert wird. Dieser Sensor ist der weltweit erste IMU für den Industriemarkt, der Hoch-g- und Niedrig-g-Erfassung in einem einzigen Paket mit fortschrittlichen Funktionen wie Sensorfusion und Edge-Verarbeitung integriert und zuverlässige Leistung sowie wertvolle Einblicke selbst bei erweiterten Temperaturbereichen bis zu 105 °C liefert. Diese Lösung bietet eine überzeugende Kombination aus Präzision, Robustheit und Effizienz.

Intelligenter Verfolgung und Sicherheit freischalten – dieser einzelne, integrierte MEMS-Bewegungssensor ist darauf ausgelegt, die anspruchsvollen Bedürfnisse des Industriesektors zu erfüllen. Die vielseitige Technologie ermöglicht die Echtzeitverfolgung von Vermögenswerten in Logistik und Versand und liefert aktuelle Informationen zu Standort, Status und möglichen Schäden. Sie verbessert die Arbeitssicherheit durch tragbare Geräte, die Stürze und Stöße erkennen und sofort Notfallalarmlösungen auslösen, um das Personal zu schützen. Darüber hinaus unterstützt sie die Zustandsüberwachung, indem sie Vibrationen, Stöße und präzise Bewegungen von Industrieanlagen genau verfolgt, was Ausfallzeiten und kostspielige Fehler verhindert. In der Fabrikautomation erkennt die Lösung ungewöhnliche Vibrationen oder Stöße in Robotersystemen sofort und sorgt so für einen reibungslosen und zuverlässigen Betrieb. Durch die Kombination von Verfolgung, Überwachung und Schutz in einer leistungsstarken Komponente können industrielle Abläufe mit optimiertem Systemdesign höhere Effizienz, Sicherheit und Zuverlässigkeit erreichen. (na) ■

Autorin: Lisa Trollo, MEMS Marketing Manager, STMicroelectronics

Der neue MEMS-Trägheitssensor (IMU) ISM6HG256X von ST adressiert zentrale Herausforderungen des Industriemarkts.

Bild: STMicroelectronics



BLICKPUNKT SCHWEIZ

Elektronikentwicklung in der Schweiz 2026

Zwischen Stabilität, Anpassungsdruck und Innovation

Gedämpftes Wachstum, harter Kostendruck, steigende Komplexität: Die Elektronikentwicklung in der Schweiz steht vor einem Spagat zwischen Innovationsstärke, Effizienzdruck und globalem Technologiewettkampf.

Die wirtschaftliche Lage in der Schweiz war 2025 von einer spürbaren Abkühlung geprägt. Das Bruttoinlandsprodukt wuchs nur unterdurchschnittlich, mit Prognosen in einer Bandbreite von rund 0,8 bis 1,7 Prozent.

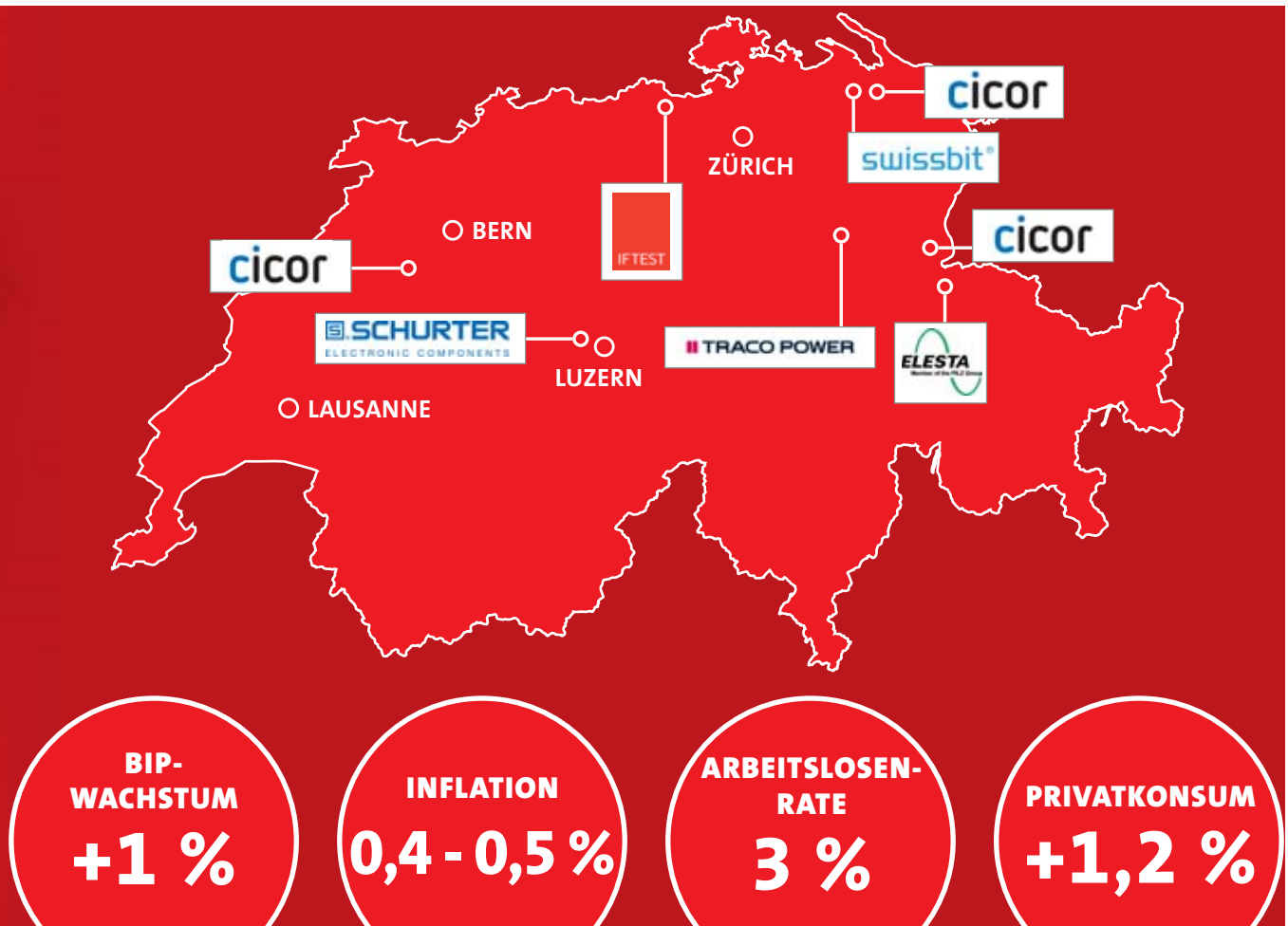
Gleichzeitig zeigte sich die hohe Abhängigkeit vom Exportgeschäft, das durch geopolitische Unsicherheiten und handelspolitische Spannungen beeinflusst wurde. Temporäre Effekte wie vorgezogene Exporte stabilisierten die Zahlen kurzfristig, konnten jedoch die strukturelle Schwäche nicht überdecken.

Für die Elektronikentwicklung bedeutete dies eine Phase erhöhter Kostensensibilität. Entwicklungsbudgets wurden stärker hinterfragt, Projekte priorisiert und

Markteinführungszeiten verkürzt. Gleichzeitig blieb die Innovationsbasis intakt, getragen durch eine weiterhin hohe Forschungsintensität.

2026: Stabilisierung mit begrenzter Dynamik

Im Jahr 2026 zeigt sich eine leichte Stabilisierung, allerdings auf moderatem Niveau. Die offizielle Prognose geht von einem Wirtschaftswachstum von rund 1,0 Prozent aus. Andere Institute sehen die Entwicklung in einem ähnlichen Korridor zwischen etwa 0,6 und 1,2 Prozent. Damit bleibt die Expansion weiterhin unter dem langfristigen Potenzial. Parallel dazu steigt die Arbeitslosenquote leicht an und signalisiert eine verhaltene Industriekonjunktur. Für Entwicklungsabteilungen bedeutet



dies einen anhaltenden Effizienzdruck. Gleichzeitig wächst der Bedarf an hochqualifizierten Fachkräften, insbesondere in Bereichen wie Embedded Software, Leistungselektronik und Systemintegration.

Technologisch verschiebt sich der Fokus weiter in Richtung komplexer Gesamtsysteme. Hardware und Software wachsen enger zusammen, während Anforderungen an Energieeffizienz, funktionale Sicherheit und regulatorische Konformität bereits in frühen Entwicklungsphasen berücksichtigt werden müssen. Forschung und Entwicklung bleiben dabei ein zentraler Stabilitätsanker, da sie die Grundlage für Differenzierung in einem zunehmend preissensitiven Markt bilden.

Forschung und Entwicklung als strukturelle Stärke

Die Schweiz behauptet ihre Rolle als einer der weltweit führenden Innovationsstandorte. Forschung und Entwicklung sind breit in Industrie und Wissenschaft verankert und sichern langfristig die technologische Wettbewerbsfähigkeit. Diese starke F&E-Basis wirkt konjunkturellen Schwankungen entgegen, da sie kontinuierliche Innovationszyklen ermöglicht.

Inhaltlich verschieben sich die Schwerpunkte zunehmend in Richtung energieeffizienter Systeme, Miniaturisierung und digitaler Architekturen. Gleichzeitig gewinnen

Themen wie Edge Computing, KI-Integration und robuste Softwareplattformen an Bedeutung. Entwicklungsprozesse werden stärker datengetrieben und interdisziplinär organisiert.

Ausblick bis 2030: Moderate Expansion bei steigendem Wettbewerbsdruck

Bis 2030 wird für die Schweizer Wirtschaft eine Rückkehr zu moderatem Wachstum erwartet, mit einem langfristigen Potenzial von etwa 1,5 Prozent jährlich. Die Elektronikentwicklung dürfte von dieser Stabilisierung profitieren, steht jedoch gleichzeitig unter wachsendem internationalem Wettbewerbsdruck.

Die Herausforderung verschiebt sich zunehmend von der reinen Innovationsfähigkeit hin zur effizienten Skalierung. Entwicklungsprozesse müssen schneller, kosteneffizienter und stärker standardisiert werden. Plattformstrategien, modulare Architekturen und softwarezentrierte Ansätze gewinnen weiter an Bedeutung.

Damit bleibt die Schweiz ein technologisch führender Standort, dessen Stärke weniger in der Massenproduktion liegt, als in der Entwicklung anspruchsvoller, hochintegrierter Systeme. Die wirtschaftlichen Rahmenbedingungen setzen jedoch klare Grenzen, innerhalb derer Innovation zunehmend wirtschaftlich gedacht werden muss.



Die Relais der SID-Reihe halbieren die Bestückungsfläche auf der PCB.

Bild: Elesta

Schweizer Chip-Initiative

Halbleitertechnologien, Mikroelektronik und das IC-Design sind ein Schlüsselfaktor für Wissenschaft und Industrie in der Schweiz. Im internationalen Umfeld zeichnen sich bei wirtschaftspolitischen Großakteuren wie USA, China, Indien und der EU derzeit jedoch technologische Entkopplungstendenzen ab, die darauf abzielen, primär die je eigene digitale Souveränität zu sichern. So haben zum Beispiel sowohl die USA 2022 als auch die EU 2023 neue Fördergesetze erlassen, um ihre Halbleiter-Produktion anzukurbeln (US CHIPS Act, EU Chips Act). Diese Fokussierung auf die eigene Binnenproduktion kann sich nachteilig auf die Position auswirken, die die Schweiz heute in Forschung und Innovation von Halbleitern, Mikroelektronik und IC-Design hat. Erschwerend kommt hinzu, dass die Schweizer Forschung und Industrie aufgrund des Teilausschlusses aus dem europäischen Forschungs- und Innovationsprogramm Horizon, respektive dem Vollausschluss aus dem neuen Programm „Digital-Europe“, derzeit nur einen deutlich eingeschränkten Zugang hat zu der für innovatives Chip-Design benötigten europäischen Forschungsinfrastruktur. Für die Durchführung von SwissChips ist die ETH Zürich verantwortlich. SwissChips will das starke Schweizer Netzwerk vorantreiben. Seine Infrastruktur und Technologie stehen allen Schweizer Universitäten, Fachhochschulen und Forschungsinstitutionen zur Verfügung.

Zwangsgeführte Relais als Systemkomponente

Relais werden häufig isoliert betrachtet: Funktionalität, Leistungsaufnahme, Preis. Dabei entscheidet die Bau-



Die Plattform kombiniert hohe Rechenleistung mit flexiblen Schnittstellen und einem steckbaren COM-Modul.

Bild: Iftest

teilwahl über Wirtschaftlichkeit und Nachhaltigkeit der gesamten Steuerung. Die 3- bzw. 4-poligen Doppelankerrelais der SID-Serie von Elesta ersetzt zwei klassische Relais durch die Integration von zwangsgeführten Kontaktsätzen nach IEC 61810-3 in einem Gehäuse. Die Bestückungsfläche auf der Leiterplatte halbiert sich. Anschlusspins, Lötprozesse und Verdrahtungsaufwand sinken entsprechend. Der Kunststoffeinsatz reduziert sich um 23 Prozent, die Spulennennleistung um 37 Prozent gegenüber konventionellen Konstruktionen. Zweikanalige Sicherheitsapplikationen bis SIL 3 / PL e benötigen weniger periphere Bauelemente. Der Materialeinsatz ist reduziert, und der Energiebedarf der gesamten Steuerung sinkt. Nachhaltigkeit bei Produkten bis hin zum Betrieb beim Endkunden und Wirtschaftlichkeit gehen bei diesen Produkten Hand in Hand. Die Bauteilauswahl ist der erste Schritt!

Carrier-Boards mit Edge-KI für leistungsfähige Embedded Systeme

Edge-KI erobert die Märkte für Medizin- und Automatisierungstechnik. Intelligente Algorithmen werden direkt auf Embedded-Systemen wie Industrie-Controllern oder Medizingeräten ausgeführt, ohne Cloud-Anbindung und mit voller Kontrolle über Daten und Prozesse. Die lokale Verarbeitung minimiert Latenzen, erhöht die Ausfallsicherheit und schützt sensible Prozess- sowie Patientendaten. Gerade in der Maschinen- und Medizintechnik, wo Echtzeitfähigkeit, Validierbarkeit und regulatorische Anforderungen entscheidend sind, entsteht so ein klarer technologischer und wirtschaftlicher Wettbewerbsvorteil.



Die F-75 setzt auf TLC-NAND und bietet Kapazitäten bis 512 GB für leseintensive oder gemischte Workloads.

Bild: Swisssbit



Die kompakten SIP-8-Module liefern 3 W bzw. 6 W Leistung.

Bild: Traco Power





Das IP67-zertifizierte MIL-Gehäuse schützt zuverlässig vor Staub, Wasser und mechanischen Belastungen.

Bild: MPL

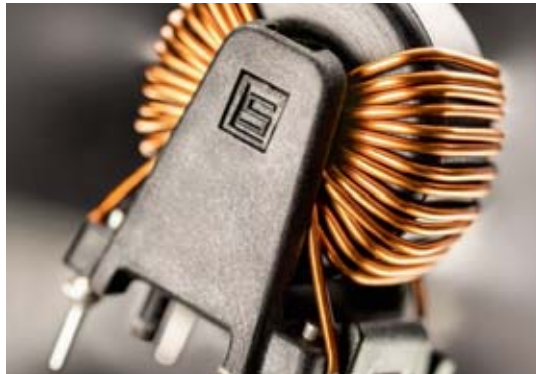
Basis dafür ist das leistungsfähige, modulare Carrier-Board von Iftest. Diese Plattform kombiniert hohe Rechenleistung mit flexiblen Schnittstellen und einem steckbaren COM-Modul für zukünftige Skalierbarkeit und langfristiges Life-Cycle-Management.

Rugged High-Performance Embedded Computer für anspruchsvollste Umgebungen

Der kompakte Embedded Computer CEC24 von MPL kombiniert hohe Rechenleistung, lüfterlosen Betrieb und ein vollständig gekapseltes IP67-MIL-Gehäuse mit D38999-Stecker, entwickelt für extreme Umweltbedingungen in Defense-, Railway-, Maritime- und Industrieanwendungen. Herzstück des CEC24 MIL ist der Intel Atom x6425E Prozessor aus der Intel Atom x6000 Series. Mit vier Kernen, Taktraten bis zu 3 GHz und einer TDP von nur 12 Watt bietet das System eine optimale Balance zwischen Performance und Energieeffizienz. Der lüfterlose Betrieb gewährleistet maximale Zuverlässigkeit bei minimalem Wartungsaufwand, selbst bei hoher CPU und Speicherauslastung. Der Arbeitsspeicher unterstützt bis zu 32 GB DDR4-3200 SO-DIMM inklusive optionaler IB ECC-Unterstützung (In-Band ECC) für erhöhte Datensicherheit. Onboard steht ein 120 GB NVMe-Flash zur Verfügung, optional erweiterbar auf bis zu 1 TB. Die CEC24-MIL wurde für extreme Einsatzbedingungen konzipiert. Das IP67-zertifizierte MIL-Gehäuse schützt zuverlässig vor Staub, Wasser und mechanischen Belastungen. Der erweiterte Temperaturbereich von -40 °C bis $+85\text{ °C}$ ermöglicht den zuverlässigen Betrieb in Wüsten-, Offshore- oder Hochgebirgsregionen.

Stromkompensierte Drosseln für vertikale PCB-Montage

Schurter ergänzt sein Portfolio im Bereich elektromagnetische Verträglichkeit (EMV) um eine neue Serie stromkompensierter Drosseln für die vertikale Leiterplattenmontage. Die DKCV-1-Baureihe ist für Ströme von 0,5 A bis 10 A ausgelegt und wurde konzipiert, um auf PCB-Level hohe Induktivitäten bei kleinem Bauraum zu realisieren. Durch den Einsatz nanokristalliner Kerne erreichen die Drosseln sehr hohe Induktivitätswerte bei kompakter Bauform und gleichzeitig reduziertem Platzbedarf auf der Leiterplatte. Dies erleichtert die Integration leistungsfähiger Filterelemente direkt im Leiterplattenlayout und unterstützt die Unterdrückung elektromagnetischer Störungen in modernen, energieeffizienten Elektroniksystemen. Die vertikale Anordnung und ein einheitlicher Footprint über alle Varianten



Durch den Einsatz nanokristalliner Kerne erreichen die Drosseln sehr hohe Induktivitätswerte bei kompakter Bauform.

Bild: Schurter

tragen zur Designflexibilität bei, während der offene Aufbau eine effektive Wärmeabfuhr ermöglicht. Die DKCV-1-Serie ist für Spannungen bis 300 V_{AC} bzw. 450 V_{DC} ausgelegt und verfügt über internationale Zulassungen (ENEC, cUR, UR). Typische Einsatzbereiche sind Schaltnetzwerke, Industrie-, Medizin-, Labor- und Testgeräte, in denen hohe Dämpfung und kompakte Filterlösungen gefragt sind.

CFast-Speicherkarten für die Industrie

CFast ist in industriellen Umgebungen weiterhin ein verbreitetes Speicherkartenformat. SATA-Interface, robuste Bauform und langfristige Verfügbarkeit unterstützen den Einsatz u. a. in Automatisierung, Transport, Medizintechnik und Edge-Computing. Swissbit erweitert das Portfolio um die CFast-Serien F-75 und F-78 auf Basis von industrietauglichem 112-Layer-3D-TLC-NAND, DRAM-Cache und einem widerstandsfähigen Design. Beide Serien nutzen eine gemeinsame Plattform mit industriellem 3D-NAND, erweitertem Temperaturbereich, Power-Fail-Schutz, End-to-End-Datenschutz sowie SRAM-ECC zur Absicherung des internen Controller-Speichers. Die F-75 setzt auf TLC-NAND und bietet Kapazitäten bis 512 GB für leseintensive oder gemischte Workloads wie SPS-Systeme, HMI-Terminals oder Edge-Gateways. Die F-78 nutzt pSLC mit erhöhtem Over-Provisioning und ist für schreibintensive Anwendungen ausgelegt, etwa für Sensordatenlogger oder Predictive-Maintenance-Systeme.

Neue DC/DC-Wandler

Traco Power stellt mit den neuen DC/DC-Wandler TEC 3UI und TEC 6UI zwei leistungsstarke Produktlinien vor, die durch ihren außergewöhnlich breiten 8:1-Eingangsspannungsbereich von $9\text{--}75\text{ V}_{DC}$ überzeugen. Dieser ermöglicht den Einsatz über verschiedenen Busspannungen hinweg und reduziert damit Variantenvielfalt, Entwicklungsaufwand und Lagerhaltung deutlich. Die kompakten SIP-8-Module liefern 3 W bzw. 6 W Leistung und eignen sich ideal für platzkritische Anwendungen. Beide Serien sind nach IEC/EN/UL 62368-1 zertifiziert, bieten einen weiten Temperaturbereich von -40 °C bis $+80\text{ °C}$ sowie integrierte Schutzfunktionen wie Kurzschluss- und Überstromschutz, Unterspannungserkennung und Remote ON/OFF. Damit setzen TEC 3UI und TEC 6UI neue Maßstäbe für flexible und zuverlässige DC/DC-Stromversorgungen. ■

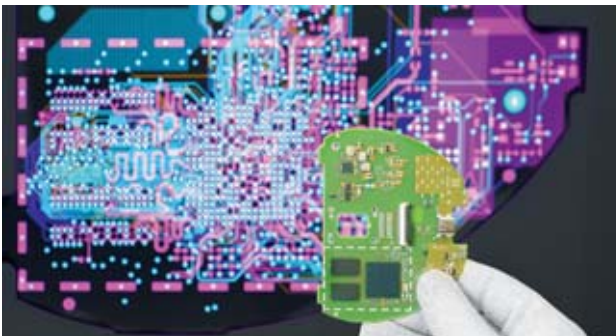
Autorin: Dr.-Ing. Nicole Ahner, redaktionelle Leitung elektronik Industrie

Das Unternehmen

Firmenname: Cicor Group
Geschäftssitz: Cicor Management AG
 Gebenloostrasse 15
 CH-9552 Bronschhofen
 Telefon: +41 71 913 73 00
 E-Mail: info@cicor.com
 Internet: www.cicor.com

Cicor – Creating Together

Cicor ist ein weltweit führender Anbieter in der Entwicklung und Produktion fortschrittlicher Elektroniklösungen für die Bereiche Medizintechnik, Industrieelektronik sowie Luft-, Raumfahrt und Verteidigung. Unser ganzheitlicher Ansatz verbindet technische Exzellenz mit hochpräziser Fertigung, um Ideen zum Leben zu erwecken. Gemeinsam mit unseren Kunden schaffen wir Elektronik, die die Welt zu einem gesünderen, vernetzteren und sichereren Ort macht.



Cicor entwickelt und fertigt seit über 50 Jahren hochkomplexe elektronische Lösungen. In der Schweiz ist die Gruppe an den Standorten Boudry (NE), Bronschhofen (SG) und Wangs (SG) vertreten.

Das Programm

Engineering Services

- Testentwicklung
- Produktentwicklung
- Prozess-Engineering
- EMC Lab

Electronic Manufacturing Services

- Leiterplattenbestückung
- Mikroelektronikbestückung
- Kabelkonfektionierung
- Box Building

Präzisionskunststoff

- Werkzeugdesign und -herstellung
- Kunststoff-Spritzguss
- 3D-MID

Hybridschaltungen

- Dünnfilm Substrate
- Dickschicht Substrate

Leiterplatten

- Flexible Leiterplatten
- Starr-flexible Leiterplatten
- Starre Leiterplatten

Gedruckte Elektronik

Netzteile

Prototypen-Shop



Das Unternehmen

Firmenname: ELESTA GmbH
Geschäftssitz: Heuteilstrasse 18
 CH-7310 Bad Ragaz, Switzerland
 Telefon: + 41 81 303 54 00
 Telefax: + 41 81 303 54 01
 E-Mail: admin@elesta-gmbh.com
 Internet: www.elesta-gmbh.com



ELESTA GmbH:

Innovation und Nachhaltigkeit in Relais & Sensoren

Tradition trifft auf Zukunft – Nachhaltigkeit im Fokus

Die ELESTA GmbH, mit Sitz in Bad Ragaz, Schweiz, blickt auf eine lange Tradition Schweizer Ingenieurskunst zurück, die bis zur Gründung der ELESTA Elektrotechnik AG im Jahr 1952 reicht. Aus dieser Innovationskraft heraus entstand 1997 die ELESTA relays GmbH, als Teil der Pilz GmbH & Co. KG Unternehmensgruppe, spezialisiert auf Relais mit zwangsgeführten Kontakten nach IEC 61810-3. Seit der Umfirmierung zur ELESTA GmbH im Jahr 2013 verbinden wir diese Tradition mit einem klaren Blick in die Zukunft, in der Nachhaltigkeit eine zentrale Rolle spielt.

Pioniere für sichere und nachhaltige Lösungen

ELESTA ist ein führender Hersteller von Relais mit zwangsgeführten Kontakten und kundenspezifischen Sensoren für funktionale Sicherheit. Seit fast 30 Jahren stehen wir für innovative Produkte, die weltweit in sicherheitskritischen Anwendungen – von Maschinen über Züge bis hin zu Medizingeräten und Aufzügen – Menschenleben schützen. Dabei verstehen wir Nachhaltigkeit nicht als Zusatz, sondern als integralen Bestandteil unserer Produktentwicklung und Unternehmensphilosophie.

Das Programm

Nachhaltigkeit im Detail

Unsere Produkte tragen aktiv zur Nachhaltigkeit bei:

- **Effizienz im Design:** Kompakte Relais wie das SID sparen wertvollen Platz auf Platinen, ermöglichen kleinere Steuerungen und reduzierten Materialbedarf.
- **Energieeffizienz:** Geringe Leistungsaufnahme und minimierte Verlustleistung senken den Energieverbrauch im Betrieb.
- **Gefahrstoffreduktion:** Wir minimieren meldepflichtige Stoffe nach REACH/RoHS und entwickeln PFAS-freie Lösungen.
- **Kreislaufwirtschaft:** Recyclingfreundliche Materialien und Verpackungskonzepte fördern die Wiederverwertung.

Lean & Kundenfokus

Nach dem Lean-Prinzip optimieren wir uns stetig, für mehr Nachhaltigkeit und Kundennutzen. Kurze Reaktionszeiten und Kundenorientierung zeichnen uns aus. Mit 340 Mitarbeitenden entwickeln und fertigen wir in Bad Ragaz Schweizer Präzision für globale Verantwortung.

IFTEST

Das Unternehmen

Firmenname: Iftest AG
Geschäftssitz: Schwimmbadstr. 43
 CH-5430 Wettingen
 Telefon: +41 56 437 37 37
 E-Mail: info@iftest.ch
 Internet: www.iftest.ch

Der Schweizer Engineering- und EMS-Dienstleister

Wir begleiten unsere Kunden seit über 40 Jahren – ob Startup, KMU oder Konzern – in allen Phasen des Produktlebenszyklus: von der Entwicklung über die Industrialisierung und die Serienfertigung von elektronischen Flachbaugruppen, Modulen und Geräten bis hin zu After-Sales Services.

Engineering: Konzept/Spezifikation, Hardware Engineering, PCB-Design, Software Engineering, Prototyping/NPI, Verifikation, Pre-Compliance-Tests

Industrialisierung: Herstellkonzept, DfX-Review, Supply-Chain & Procurement, Pilot-/Null-Serie, Werkzeug- & Prüfmittelbau, Compliance-Test, Logistikkonzept

Serienfertigung: Materialbeschaffung, SMT-/THT-Bestückung, Baugruppenmontage, Lackieren & Vergiessen, Optische Prüfung, In Circuit- & Funktions-Tests



Newsletter

all-electronics.de
 ENTWICKLUNG · FERTIGUNG · AUTOMATISIERUNG

- ▶ Branchentrends
- ▶ Neue Produkte
- ▶ praxisorientierte Fachartikel
- ▶ Stellenmarkt
- ▶ 2x wöchentlich

Jetzt kostenlos abonnieren!

www.all-electronics.de/newsletter

Bild: Visual Concepts/fotolia.com



TRACO POWER

Das Unternehmen

Firmenname Traco Electronic AG
Geschäftssitz Sihlbruggstraße 111
 CH-6340 Baar
 Telefon: +41 43 311 45 11
 Telefax: +41 43 311 45 45
 E-Mail: info@tracopower.com
 Internet: www.tracopower.com

TRACO POWER steht für höchste Qualität und Beständigkeit

Die Firma TRACO ELECTRONIC AG mit Hauptsitz in Baar, Schweiz ist ein weltweit führender Anbieter von industriellen Stromversorgungen. Für die Produktemarke TRACO POWER existiert ein globales Vertriebsnetz. Die Vertriebspartner haben Zugriff auf über 3500 Standardprodukte ab Lager Schweiz.



Mit 40-jähriger Erfahrung entwickelt TRACO ELECTRONIC AG zuverlässige und dauerhafte DC/DC-Wandler und AC/DC-Schaltnetzteile für den industriellen Einsatz. In den letzten Jahren wurde die Produktpalette auch spezifisch auf Märkte mit erhöhten Anforderungen ausgebaut. Dies betrifft im Wesentlichen die Bahntechnik, Schwerindustrie sowie die Medizintechnik. Die Produkte verfügen alle über die entsprechenden Sicherheitszulassungen.

Das Programm

DC/DC-Wandler und AC/DC-Schaltnetzteile von 0,5 Watt bis 20 kW

Zielmärkte: Maschinen-, Anlagen- und Apparatebau, Anwendungen im Bereich Industrie und Telekommunikation sowie Medizin, Bahn, Transport, Messen/Steuern/Regeln, Labor, Netztechnik, Haushalt, Klima und Gebäudeautomation.

Kundenspezifische Stromversorgungen

Passend für Ihre Applikation entwickeln wir kundenspezifische Schaltnetzteile in Bezug auf Bauform, Funktion, elektrische Eigenschaften und Konformitätsanforderungen. Vom leicht modifizierten Standardgerät bis hin zur Spezialkonstruktion, erarbeiten und produzieren wir die fertige Lösung. Dank innovativen Entwicklungsprozessen mit modularen Designlösungen und einer flexiblen Produktion, können kundenspezifische Netzteile, schon ab einigen hundert Stück pro Jahr, Sinn ergeben.



Mit Intel-Core-Ultra-Prozessoren der Serie 3 Computer-on-Module

Tria Technologies stellt sein COM-HPC Client Computer-on-Module vor, das mit Intel-Core-Ultra-Prozessoren der Serie 3 ausgestattet ist. Das Modul der Größe A verfügt über 16 Cores und einen integrierten KI-Beschleuniger (NPU). Die Plattform unterstützt bis zu 64 GB schnelles LPDDR5x-SDRAM mit IB-ECC und nutzt Intel Xe-Grafik mit bis zu 12 Xe-Kernen. Sie erreicht eine KI-Leistungsfähigkeit von bis zu 180 Billionen Operationen pro Sekunde (TOPS). Das Modul bietet vielseitige Display-Ausgänge und unterstützt vier unabhängige Display-Streams über verschiedene Display-Schnittstellen wie DisplayPort/HDMI, Embedded DisplayPort und USB-C. Für I/O-Erweiterungen mit hoher Bandbreite stehen mehrere PCI Express Gen-5- und Gen-4-Lanes, eine Vielzahl von USB4-, USB-



3.2- und USB-2.0-Anschlüssen sowie Netzwerk- und SATA-Speicheroptionen zur Verfügung. Das Modul ermöglicht kompakte Edge-Lösungen ohne externe PCIe-basierte Beschleuniger oder Cloud-basierte KI-Dienste. Es ermöglicht den Betrieb von KI-Anwendungen in kontrollierten Umgebungen und dient als Ersatz für GfX-Beschleuniger in medizinischen, spektroskopischen, Datenanalyse-, Gaming-, Automatisierungs- und Robotik-Anwendungen.

Isolierte Gate-Ansteuerspannung Optokoppler mit Photovoltaik-Ausgang

Toshiba Electronics Europe kündigt die Markteinführung des Optokopplers TLX9920 mit Photovoltaik-Ausgang an, der eine isolierte Gate-Ansteuerspannung für Leistungs-MOSFETs bereitstellt. Kombiniert mit externen MOSFETs ermöglicht er das Schalten hoher Spannungen und Ströme, was mit herkömmlichen Photorelais nur schwer realisierbar ist. Im Gegensatz zu mechanischen Relais besitzen Solid-State-Relais keine beweglichen Kontakte, wodurch Kontaktverschleiß vermieden, der Wartungsaufwand reduziert und die Langzeitverlängerung erhöht wird. Das Bauelement ist nach dem automobilen Zuverlässigkeitsstandard AEC-Q101 qualifiziert. Untergebracht in einem SO6L-Gehäuse mit den Abmessungen 3,84 mm × 10,0 mm × 2,1 mm verfügt der Optokoppler über eine Mindest-Kriechstrecke von 8 mm sowie eine Isolationsspannungsfestigkeit



von mindestens 5000 Vrms. Damit eignet sich das Bauteil für Anwendungen mit Anforderungen an eine verstärkte Isolation. Mit einer minimalen Leerlaufspannung (V_{oc}) von 13,5 V und einem Kurzschlussstrom (ISC) von 8 μ A bei einem Vorwärtsstrom (I_p) von 10 mA stellt der TLX9920 ausreichend Gate-Ansteuerleistung für die MOSFET-Steuerung bereit, ohne dass eine zusätzliche galvanisch isolierte Hilfsspannungsversorgung erforderlich ist. Eine integrierte Entladeschaltung vereinfacht das Schaltungsdesign zusätzlich und gewährleistet ein zuverlässiges Abschaltverhalten.

120 W, 240 W und 480 W Hutschienennetzteile

Schukat führt die RACPRO1-S-Hutschienennetzteile des Herstellers Recom im Sortiment. Die Geräte sind in drei Varianten mit 120 W, 240 W und 480 W Nennleistung erhältlich. Ausgelegt für Umgebungstemperaturen von -40 °C bis +60 °C arbeiten sie mit reiner Konvektionskühlung und erreichen Wirkungsgrade von bis zu 95 %. Bei Spitzenlasten steht zudem für 5 s ein Leistungs-Boost von 150 % zur Verfügung. Die Eingangsspannung reicht von 85 – 277 VAC oder 88 – 370 VDC und beinhaltet eine aktive Einschaltstrombegrenzung. Mit Abmessungen von 100 mm × 112 mm × 28 mm erreicht das RACPRO1-S120 eine Leistungsdichte von 500 W/Liter. Einstellbare Ausgangsspannungen von 12 V, 24 V oder 48 V stehen zur Verfügung; der Leerlaufverbrauch beträgt maximal 0,3 W.



Beim RACPRO1-S240-AC/DC-Netzteil ermöglicht eine integrierte ORing-Diode die Parallelschaltung mehrerer Einheiten für eine n+1-Redundanz- oder Power-Sharing-Anwendungen. Das RACPRO1-S480 als leistungsstärkste Variante bietet die Wahl zwischen Konstantstrom- und Parallelbetrieb. Die im 25°-Winkel angebrachten Push-In-Klemmen sind wartungsfrei und ermöglichen eine Montage ohne Werkzeuge.

Bahn-Stromversorgung 500-W-DC/DC-Stromversorgungsfamilie

Bel Fuse stellt mit dem RCM500E die zweite Generation seiner 500-W-DC/DC-Stromversorgungsfamilie vor. Die wurde speziell für Bahnanwendungen wie Fahrzeuge (Rolling Stock) entwickelt. Mit einem Volumen von 830 cm³ ist das Gerät nahezu 60 Prozent kleiner als vergleichbare Wandler und gehört damit zu den kleinsten 500-W-DC/DC-Wandlern auf dem Markt, die der Norm EN 50155 entsprechen. Darüber hinaus ist der Wandler für die Serienfertigung optimiert: Eine geringe Anzahl an Through-Hole-(THT)-Bauteilen sowie ein vereinfachter Montageprozess tragen dazu bei, die Produktionskosten zu senken und gleichzeitig eine gleichbleibende Qualität und Zuverlässigkeit sicherzustellen. Der



Wandler verfügt über eine Konstantstrombegrenzung sowie einen umfassenden Schutz mit automatischer Wiederanlauf-Funktion, wodurch ein zuverlässiger Betrieb auch im Fehlerfall gewährleistet wird. Das Produkt ist in zwei Varianten mit 72 V oder 110 V Eingangsspannung und 24 V Ausgangsspannung erhältlich und bietet damit Flexibilität für gängige Stromversorgungsarchitekturen im Bahnsektor.

PMBus-Schnittstelle AC/DC-Module mit 1500 W

TDK kündigt die Einführung der AC/DC-Module PFE1500FB von TDK-Lambda mit einer Nennleistung von 1500 W an. Diese Serie akzeptiert einen Eingangsspannungsbereich von 85 bis 305 V_{AC} und arbeitet mit einer Nenn-Eingangsspannung von 277 V_{AC}. Die Metallgrundplatte ermöglicht den Betrieb an Orten, an denen Konvektions- oder Lüfterkühlung nicht möglich ist, und lässt sich in einem versiegelten Außengehäuse oder dort montieren, wo Wasserkühlung bevorzugt wird. Das fünfflächige Gehäuse sorgt zudem für ein einfacheres Wärmemanagement und geringere EMI-Abstrahlung. Zusätzlich verfügt das Modul über eine PMBus-Schnittstelle mit Lese-/Schreibfunktion, die eine Fernüberwachung und -programmierung ermöglicht. Dazu gehören die Einstellung von Aus-



gangsspannung, Überspannung, Überstrom und Unterspannung. Die Module können für einen höheren Ausgangsstrom parallel geschaltet werden, wobei der Stromanteil im Droop-Modus genutzt wird, der ebenfalls über den PMBus programmiert werden kann. Weitere Signale und Funktionen umfassen Remote on/off, ein Power-Good-Signal und eine Hilfsspannung von 9,5–14 V, 200 mA. Der Einstellbereich der Ausgangsspannung liegt bei 38,4–57,6 V.

3-GHz- und 6,5-GHz-Varianten Vektor-Netzwerkanalysatoren

Siglent Technologies stellt mit der Serie SNA5000X-E eine Plattform für den Einstieg in die Vektor-Netzwerkanalyse vor. Die 3-GHz- und 6,5-GHz-Varianten unterstützen vollständige Zweitor-S-Parameter-Messungen im Frequenzbereich von 9 kHz bis 3 GHz bzw. 6,5 GHz und ermöglicht damit die präzise Charakterisierung von Filtern, Anpassnetzwerken, HF-Verstärkern, Antennen sowie hochfrequenten Verbindungselementen in Funkmodulen und Signal-Integrity-Untersuchungen. Mit einem typischen Dynamikbereich von bis zu 125 dB bieten die Geräte die notwendige Empfindlichkeit zur Analyse sowohl passiver Komponenten wie Dämpfungsgliedern und Filtern als auch aktiver Baugruppen wie Verstärkerstufen und HF-Frontendmodulen. Integrierte Kalibriermethoden wie SOLT und TRL ermöglichen genaue Messergebnisse sowohl im klassi-



schen Laboraufbau als auch bei Messungen über Adapter, Leiterplatten-Teststrukturen oder kundenspezifische Prüfaufbauten. Neben der frequenzdomänenbasierten S-Parameter-Analyse unterstützt die Serie SNA5000X-E auch Zeitbereichstransformationen zur Lokalisierung von Diskontinuitäten entlang von Kabeln, Steckverbindern und Leiterplatten-Übertragungsstrukturen. Darüber hinaus ermöglichen differenzielle und symmetrische Messverfahren die Analyse moderner Signalfade, wie sie zunehmend in Mixed-Signal- und HF-Systemen eingesetzt werden.

Für präzise HF-Messungen Rack-Analyzer

Rosenberger erweitert sein Portfolio im Bereich Passive-Intermodulation-Messtechnik um die neueste Generation des PIM-Rack-Analyzers. Das modulare System basiert auf kaskadierbaren Filtereinheiten: Pro Grundgerät lassen sich bis zu sechs Filter für unterschiedliche Frequenzbänder anschließen. Die Filter sind vor Ort austauschbar und folgen einem Plug-and-Play-Konzept, das Umrüstzeiten minimiert. Dank der integrierten Distance-to-PIM-Funktion (DTP) lassen sich Störquellen schnell und zuverlässig lokalisieren. Als Hardware-Option steht eine Breitband-VNA-Funktionalität direkt am selben Testport zur Verfügung. Diese ermöglicht die präzise Lokalisierung von VSWR-Fehlanpassungen. Anwender können somit PIM-Messungen und Vektornetzwerkanalysen



mit nur einem System durchführen und benötigen weniger zusätzliche Messtechnik. Ergänzend zur Rack-Lösung bietet Rosenberger eine Multiport-Analyser-Konfiguration für die gleichzeitige Prüfung über mehrere Ports und Frequenzbänder. Dabei werden mehrere Grundgeräte und Filter über eine Combiner-Einheit direkt mit dem Prüfling verbunden. Das System reduziert die Anzahl der Steckzyklen und verkürzt die Gesamtprüfzeit erheblich.

Sicherheitsstandards cUL und TÜV Lüfterserien für Industrieanlagen und Server

Die zwei neuen Lüfterserien von Sanyo Denki erfüllen die Anforderungen in Industrieanlagen und Serverarchitekturen, die mit Hochleistungs-GPUs bestückt sind. Die Serie San Ace 80L (9LG) wurde für den Einsatz in Werkzeugmaschinen, Mess- und Steuertechnik entwickelt und schließt eine Lücke im Bereich langlebiger 80-mm-Lüfter. Das Modell 9LG0812P1G001 erreicht 1260 Pa statischen Druck und 3,42 m³/min Luftfördermenge. Die Lebensdauer beträgt 100.000 h im Dauerbetrieb bei 60 °C und die Leistungsaufnahme sinkt um etwa 32 Prozent, wenn die Kühlleistung zweier herkömmlicher Lüfter ersetzt wird. Die Serie ist in Ausführungen für 12 V, 24 V und 48 V verfügbar, unterstützt PWM-Steuerung und erfüllt RoHS sowie die Eco-Product-Kriterien. Parallel dazu stellt der Anbieter die Lüfterserie San Ace 80 Counter Rotating (9CRHA) zur Verfügung, die für Anwen-



dungen mit hohem Strömungswiderstand entwickelt wurde, wie zum Beispiel GPU-Server, Netzwerk-Equipment und Stromversorgungen. Die Modelle erzeugen einen statischen Druck von maximal 2700 Pa und damit rund 38 Prozent mehr als das Vorgängermodell. Im Hochimpedanzbereich reduziert sich die Leistungsaufnahme um etwa 21 Prozent, während optimierte Rotorblattgeometrien und ein effizienterer Motor die Kühlleistung weiter verbessern. Auch diese Serie ist RoHS-konform, als Eco Product zertifiziert und in 12- und 48-V-Varianten mit PWM-Steuerung erhältlich.

Erfüllt VITA-46-Standards Backplane-Steckverbinder



TTI IP&E gibt die sofortige Lagerverfügbarkeit der MULTIGIG-RT-2-Familie von Backplane-Steckverbindern von TE Connectivity bekannt. Die Steckverbinder, die in VITA-46-VPX-Systemen weit verbreitet sind, ermöglichen zuverlässige Datenraten von 10 Gbit/s und verfügen über ein leichtes, stiftloses Design. Sie verfügen über ein vierfach redundantes Kontaktsystem, das die Widerstandsfähigkeit gegenüber Vibrationen und Verschleiß deut-

lich verbessert. Die Lebensdauer beträgt 500 Steckzyklen, was durch umfangreiche Umwelttests nach VITA-72-Standards nachgewiesen wurde. Damit eignen sich die Steckverbinder als Drop-in-Ersatz für ältere VPX-Systeme und bieten höhere Zuverlässigkeit ohne Einbußen bei der Abwärtskompatibilität. Für Anwendungen mit noch höheren Datenraten führt TTI Europe nun außerdem die MULTIGIG RT 2S mit 16 Gbit/s sowie die MULTIGIG RT 3, die für den Betrieb mit 32 Gbit/s ausgelegt ist. Das Angebot bietet Entwicklern eine robuste, skalierbare Lösung für High-Speed Embedded Computing in anspruchsvollen Umgebungen. Anwendungen sind Avionik, Verteidigungselektronik, Raumfahrtssysteme sowie leistungsstarke Industriesysteme. In Kürze wird die MULTIGIG RT 4 auf den Markt kommen.

Zeitsynchronisation mit geringer Latenz Plug-in-Timing-Module



Microchip Technology stellt seine Plug-in-Timing-Module MD-990-0011-B vor, die eine sofort einsetzbare, präzise Synchronisation für Rechenzentrumserver und virtualisierte 5G-Funkzugangsnetze bieten. Die zusammen mit Intel entwickelten Module sind kompatibel mit Serverplattformen auf Basis des Intel Xeon 6 SoC. Durch die integrierte vRAN-Architektur von Intel ermöglichen sie eine robuste Zeitsynchronisation mit geringer Latenz. Sie unter-

stützen automatische Quellenauswahl/-synchronisation über GNSS (Global Navigation Satellite Systems), SyncE (Synchronous Ethernet) und PTP (Precision Time Protocol). Diese Flexibilität gewährleistet ein kontinuierliches, präzises Timing selbst wenn sich die Anforderungen an das Netzwerk weiterentwickeln. Es sind zwei Varianten erhältlich: Das MD-990-0011-BC01 bietet eine Holdover-Zeit von 8 h; das MD-990-0011-BA01 von 4 h.

Dual-Core-Architektur XMC5000-Mikrocontroller-Serie

Die XMC5000-Mikrocontroller-Serie von Infineon bei Rutronik basiert auf einer Dual-Core-Architektur mit einem Arm-Cortex-M4F-Kern mit bis zu 160 MHz sowie einem zusätzlichen Cortex-M0+ Kern für Sicherheits- und Kryptofunktionen. Diese Architektur ermöglicht eine klare Trennung von Steue-

rungs-, Kommunikations- und Sicherheitsaufgaben innerhalb eines Systems. Die Serie gliedert sich in drei skalierbare Produktfamilien XMC5100, XMC5200 und XMC5300. Die XMC5100-Serie adressiert kostenoptimierte und moderat anspruchsvolle Anwendungen. Sie bietet einen 80-MHz-Cortex-

M4F-Kern, bis zu 576 KB Flash und 64 KB SRAM sowie eine Peripherieausstattung mit bis zu 4 CAN-FD-Schnittstellen und mehreren ADC-Kanälen. Die XMC-5200-Serie mit einem 160-MHz-Cortex-M4F-Kern, bis zu 1088 KB Flash und 128 KB SRAM sowie einer erweiterten Peripherie ist für komplexere

Steuerungsaufgaben und Multi-Achsen-Motorsteuerungen ausgelegt. Die XMC5300-Serie bietet mit bis zu 2 MB Flash und 256 KB SRAM sowie der umfangreichsten Peripherieausstattung, einschließlich bis zu 8 CAN-FD-Schnittstellen und erweiterten Timer-Ressourcen, hohe Integrationsdichte.

Jobware, da hab' ich den Job her.

Jobware
... da hab' ich den Job her!



Development Engineer (m/f/d)
Mladá Boleslav (Tschechien)
Jobware-ID 061483995



Experte (m/w/d) Leit- und Sicherheitstechnik / Bahntechnik
Mönchengladbach
Jobware-ID 061459665



Entwicklungsingenieur Thermomechanik (m/w/d)
Bern (Schweiz)
Jobware-ID 061670710



Spezialist Kommunikations- und IT-Systeme (m/w/d)
Emsbüren
Jobware-ID 061459543

Diese und viele weitere attraktive Stellenangebote finden Sie unter jobware.de, der Jobbörse an Ihrer Seite.

Geben Sie einfach die Jobware-ID in die Suchmaske ein und lesen Sie die komplette Stellenanzeige. Viel Erfolg!

21. Fachkongress

**DIGITALE
FABRIK**

10. & 11.06.2026, Herzogenaurach

JETZT TEILNEHMEN**10% Rabatt
mit Code
PM2026**www.ultimamedia.de/produktion/digitale-fabrik/**Kongress: Innovation erleben, Fortschritt gestalten
Digitale Fabrik 2026 in Herzogenaurach**

Der 21. Kongress Digitale Fabrik in Herzogenaurach (Anmeldung über den QR-Code links) zeigt, wie digitale Zwillinge, Künstliche Intelligenz und das Industrial Metaverse die industrielle Produktion transformieren. Am **10. und 11. Juni 2026** trifft sich die Elite der Produktionsplanung im Schaeffler-Konferenzzentrum. Die Veranstaltung der Ultima Media Germany ist längst ein Pflichttermin für alle, die sich mit der Digitalisierung der Produktion beschäftigen. Hintergrund ist ein tiefgreifender Wandel: Die VDI-Richtlinie 4499 definiert die Digitale Fabrik als „umfassendes Netzwerk von digitalen Modellen, Methoden und Werkzeugen, das durchgängiges Datenmanagement nutzt“. Ziel ist die ganzheitliche Planung, Evaluierung und laufende Verbesserung aller wesentlichen Strukturen, Prozesse und Ressourcen einer realen Fabrik in Verbindung mit dem Produkt. Anders gesagt: Die digitale Fabrik macht aus der Produktionsstätte einen lernfähigen Organismus, der sich

virtuell ausprobieren und optimieren lässt. Auch 2026 wartet das Programm mit vielen prominenten Sprecherinnen und Sprechern auf, die ihre Erfahrungen teilen und Einblicke in laufende Digitalisierungsinitiativen geben. Ein Besuch lohnt sich, weil man hier nicht nur von Visionen hört, sondern konkrete Werkzeuge und Best-Practices kennenlernen kann – von großen Konzernen ebenso wie aus spezialisierten Mittelständlern.

Am ersten Tag wird der digitale Zwilling als Leitmotiv behandelt: Virtueller Maschinenbau – ein neues Geschäftsfeld, Künstliche Intelligenz und Industrial Metaverse, Humanoider Roboter in der Produktion und Training in der virtuellen Welt. Am zweiten Tag dreht sich alles um Daten, KI und Standards: KI im Manufacturing Engineering, End-to-End Digital Thread, Effiziente Entscheidungen durch Daten, Automatisierte Grobplanung, Digital Factory in der Medizintechnik, Datenplattformen und Factory Twin und BIM und AAS.

Impressum**elektronik
industrie**

www.elektronik-industrie.de
www.all-electronics.de
 58. Jahrgang
 ISSN 0174-5522

Ihr Kontakt:
 Leserservice:
huethig-medien@vuservice.de
 Tel.: 06123/ 9238-301

**Hüthig
MEDIEN****Vertrieb**

Vertriebsleitung: Lorenz Zehetbauer
 Leserservice:
huethig-medien@vuservice.de
 Tel.: 06123/ 9238-301, Fax.: 06123/ 9238-244

Abonnement:
<https://fachzeitschriften.shop/products/elektronik-industrie>
 Bezugsbedingungen und -preise (inkl. ges. MwSt.) 2026:
 Abopreis Online € 249,00
 Inland € 265,00 zzgl. € 14,80 Versand = € 279,80
 Ausland € 265,00 zzgl. € 29,60 Versand = € 294,60
 Einzelverkaufspreis € 35,00 inkl. ges. MwSt. & inkl. Versand
 Der Studentenrabatt beträgt 35 %.

Kündigungsfrist:
 jederzeit mit einer Frist von einem (1) Monat.
 Erscheinungsweise: 9 x jährlich

Redaktion

Chefredaktion:
 Petra Gottwald (pg) (vi.S.d.P.), Tel.: +49 (0) 6221 489-221,
 E-Mail: petra.gottwald@huethig-medien.de

Redaktionelle Leitung:
 Dr.-Ing. Nicole Ahner (na), Tel.: +49 (0) 8191 125-494,
 E-Mail: nicole.ahner@huethig-medien.de

Redaktion:
 Dr. Martin Large (ml), CvD Online,
 Tel.: +49 (0) 6221 489-483
 E-Mail: martin.large@ultimamedia.de
 Martin Probst (prm), Tel.: +49 (0) 8191 125-214,
 E-Mail: martin.probst@huethig-medien.de
 M.Sc. Sabine Synkule (bs), Tel.: +49 (0) 8191 125-403,
 E-Mail: sabine.synkule@huethig-medien.de
 Redaktionsassistent:
 Diemut Baldauf, Tel.: +49 (0) 8191-125-408
 E-Mail: diemut.baldauf@huethig-medien.de

Anzeigen

Chief Sales Officer:
 Sebastian Wörle, Tel.: +49 (0) 8191 125-167,
 E-Mail: sebastian.woerle@mi-connect.de

Anzeigendisposition:
 Sabine Kaltschmidt, Tel.: +49 (0) 6221 489-598,
 E-Mail: all-dispo@huethig-medien.de
 Zur Zeit gilt die Anzeigenpreisliste Nr. 55 vom 01.10.2025

Verlag

Hüthig Medien GmbH,
 Im Weiher 10,
 69121 Heidelberg
www.huethig-medien.de,
 Amtsgericht Mannheim HRB 745739
 Geschäftsführung: Moritz Warth
 Chief Digital Officer: Lorenz Zehetbauer
 Leitung Zentrale Herstellung: Herbert Schiffers
 Art Director: Jürgen Claus
 Layout und Druckvorstufe: Karin Köhler
 Druck: Vogel Druck und Medienservice GmbH
 Leibnitzstraße 5, 97204 Höchberg
 © Copyright Hüthig Medien GmbH 2025, Heidelberg
 Eine Haftung für die Richtigkeit der Veröffentlichung kann trotz sorgfältiger Prüfung durch die Redaktion, vom Verleger und Herausgeber nicht übernommen werden. Die Zeitschriften, alle in ihr enthaltenen Beiträge und Abbildungen, sind urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung außerhalb der engen Grenzen des Urheberrechtsgesetzes ist ohne Zustimmung des Verlages unzulässig und strafbar. Dies gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Bearbeitung in elektronischen Systemen. Mit der Annahme des Manuskripts und seiner Veröffentlichung in dieser Zeitschrift geht das umfassende, ausschließliche, räumlich, zeitlich und inhaltlich unbeschränkte Nutzungsrecht auf den Verlag über. Dies umfasst insbesondere das Printmediarecht zur Veröffentlichung in Printmedien aller Art sowie entsprechender Vervielfältigung und Verbreitung, das Recht zur Bearbeitung, Umgestaltung und Übersetzung, das Recht zur Nutzung für eigene Werbezwecke, das Recht zur elektronischen/digitalen Verwertung, z. B. Einspeicherung und Bearbeitung in elektronischen Systemen, zur Veröffentlichung in Datennetzen sowie

Datenträger jedweder Art, wie z. B. die Darstellung im Rahmen von Internet- und Online-Dienstleistungen, CD-ROM, CD und DVD und der Datenbanknutzung und das Recht, die vorgenannten Nutzungsrechte auf Dritte zu übertragen, d. h. Nachdruckrechte einzuräumen. Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen und dergleichen in dieser Zeitschrift berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zur Annahme, dass solche Namen im Sinne des Warenzeichen- und Markenschutzgesetzes abgegrenzt sind und daher von jedermann benutzt werden dürfen.

Für unverlangt eingesandte Manuskripte wird keine Haftung übernommen. Mit Namen oder Zeichen des Verfassers gekennzeichnete Beiträge stellen nicht unbedingt die Meinung der Redaktion dar. Es gelten die allgemeinen Geschäftsbedingungen für Autorenbeiträge. Auslandsvertretungen

Schweiz, Liechtenstein:
 Katja Hammelbeck, interpress gmbh
 Ermatinger Str. 4, CH-8268 Salenstein
 Tel.: +41 (0) 71 552 02 12, Fax: +41 (0) 71 552 02 10,
 E-Mail: kh@interpress-media.ch
 Österreich, Großbritannien, USA, Kanada:
 Marion Taylor, Max-Böhm-Ring 3,
 95488 Eckersdorf
 Tel.: +49 (0) 921 316 63, Fax: +49 (0) 921 328 75
 E-Mail: taylor.m@t-online.de

Datenschutz:
 Ihre Angaben werden von uns für die Vertragsabwicklung und für interne Marktforschung gespeichert, verarbeitet und genutzt und um von uns und per Post von unseren Kooperationspartnern über Produkte und Dienstleistungen informiert zu werden. Wenn Sie dies nicht mehr wünschen, können Sie dem jederzeit mit Wirkung für die Zukunft unter datschutz@huethig-medien.de widersprechen.

Ausführliches zum Datenschutz und den Informationspflichten finden Sie unter <https://swmh-datenschutz.de/huethig-medien>

Forschung + Entwicklung

Vorausschauende Wartung und Überwachung

Sensorsystem für PV-Großkraftwerke

Forschende des Fraunhofer-Instituts für Fabrikbetrieb und -automatisierung IFF entwickeln mit Partnern ein Sensorsystem, das Einblicke bis auf Modulebene PV-Großanlagen bietet und so Abweichungen, Verschmutzungen und Defekte frühzeitig erkennt.

Um unerkannte Defekte zu vermeiden und Anomalien frühzeitig aufzuspüren, entwickeln Forschende des Fraunhofer IFF gemeinsam mit den Partnern BEIA Consult International und INELSO Innovative Electrical Solutions im Projekt ZeroDefect4PV ein Sensorsystem, das die Überwachung und vorausschauende Wartung von PV-Großkraftwerken auf Modulebene ermöglicht.

Deutlich höhere Messauflösung auf Modulebene

Etablierte Überwachungsmethoden erfassen die Daten, die der Wechselrichter liefert, über alle Strings hinweg. Obwohl dieser Ansatz zur Gesamtleistungsüberwachung geeignet ist, erkennt er Fehler auf Modulebene nicht.

Das Projekt verfolgt stattdessen einen Ansatz mit kontinuierlicher und hochgranularer Überwachung auf Modulebene. Die im Projekt ZeroDefect4PV vom Partner INELSO Innovative Electrical Solutions entwickelte Sensorik liefert für jedes einzelne Solarmodul differenzierte, hochaufgelöste Messdaten mit einer zeitlichen Aktualisierung entsprechend der jeweiligen Abtastrate: Auf der Rückseite von Photovoltaikmodulen installierte Sensoren messen die Gleichspannung und den Gleichstrom einzelner Solarpanels sowie die Modultemperatur als Indikator für die thermische Belastung und Fehlerzustände. Auch die Sonneneinstrahlung wird berück-

sichtigt. Sie wird nicht direkt über die Datenerfassungseinheit (Data Collection Unit, DCU) gemessen, sondern von einer separaten Wetterstation erfasst. Deren Daten fließen gemeinsam mit den DCU-Werten in die KI-Modelle ein.

Prototypensensoren, sogenannte Datenerfassungseinheiten, kommunizieren über ein als Master-Slave-Architektur organisiertes Mesh-Sensornetzwerk. Sie senden die Daten mit dem ESP-NOW Kommunikationsprotokoll über das Sensornetz mit dem stromsparenden Funknetzprotokoll LoRaWAN an übergeordnete Sammelpunkte (Gateways), die die Informationen an eine Datenplattform in einer zentralen Leitwarte weiterleiten. Die Daten werden synchronisiert, sicher gespeichert und mithilfe fortgeschrittener Analytik sowie KI-gestützter Modelle verarbeitet und ausgewertet. Das Fraunhofer IFF verfügt über eine Leitwarte zur Entwicklung und Simulation von Überwachungs- und Steuerungsalgorithmen für Energienetze, die sich in der Elbfabrik befindet, einer Forschungsfabrik des Fraunhofer IFF.

KI-basierte Anomalieerkennung

Dr. Christoph Wenge, Wissenschaftler am Fraunhofer IFF, erläutert: »In den in Reihe geschalteten Solarpanels können unterschiedlichste Fehler auftreten, nicht nur an den Modulen selbst, sondern auch in den Bypassdioden, in den Kabel- oder Montagesystemen. Anders als bei der Messung am Wechselrichter klassifiziert unser System die Fehler. Es erkennt, wo sie auftreten. KI-Modelle, die zuvor mit Fehlern trainiert wurden, analysieren Muster, identifizieren Abweichungen vom Normalverhalten, identifizieren Anomalien und deren Auswirkungen – etwa ob String A einen geringeren Ertrag als String B liefert. Über implementierte Assistenzfunktionen, die über Monitore in der Leitwarte angezeigt werden, erhalten Mitarbeitende der Leitwarte Handlungsempfehlungen – etwa die Säuberung oder den Austausch eines Moduls.« Zu den Fehlern zählen thermische Auffälligkeiten wie Hotspots, mechanische Schäden wie Zellrisse oder Delamination, elektrische Defekte wie Bypassdiodenfehler, Verschattung durch Objekte oder Vegetation, Verschmutzung und Schneebedeckung, Mismatch-Effekte zwischen Modulen sowie ungewöhnliche Degradationsverläufe und Leistungsverluste. (bs) ■

PV-Anlage auf dem Dach der Elbfabrik, einer Forschungsfabrik des Fraunhofer IFF

Bild: Fraunhofer IFF/Anne Bornkessel





Die DNA von Metrofunk für Systemerhalt hinter der Kulisse



Metrofunkkabel-Union GmbH
Motzener Str. 12,
D-12277 Berlin,
Tel. 030 79 01 86 0
info@metrofunk.de – www.metrofunk.de



QUARZE UND OSZILLATOREN

für sichere Designs und stabile Serienproduktion

VON DER ENTWICKLUNG BIS ZUR SERIE – MIT DESIGN-IN-SUPPORT,
100% PRÜFUNG UND ZUVERLÄSSIGER VERFÜGBARKEIT

PRODUKTSPEKTRUM:

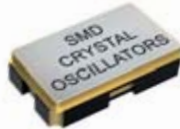
- + MHz SMD/THT Quarze
- + 32.768 kHz Quarze
- + Quarzoszillatoren
- + 32.768 kHz μ Power Oszillatoren
- + MHz Ultra Low Power Oszillatoren
- + Low Power Clock Oszillatoren
- + Programmierbare Oszillatoren
- + Differential Oszillatoren
- + Spread Spectrum Oszillatoren
- + VCXO, VCTCXO
- + SPXO, LPXO, TCXO, OCXO
- + High Temperature Oszillatoren
- + Automotive Oszillatoren
- + Keramikresonatoren und -filter
- + SAW Produkte

APPLIKATIONEN:

- + IoT/M2M
- + Networking/Infrastructure
- + Mobile Communication
- + Telecom (5G)
- + Wearables
- + Wireless
- + Smart Metering
- + Timing/Precision
- + Industrial/Embedded
- + Medical
- + Automotive
- + Consumer
- + Etc.

PRODUKTVORTEILE & SERVICE:

- + Passende Lösung für jede Clocking Applikation
- + Besonders umfangreiches Produktsortiment
- + Höchste Qualität und Zuverlässigkeit
- + Sehr breiter Frequenzbereich
- + Erweiterter Temperaturbereich von $-55/+125^{\circ}\text{C}$
- + Äußerst wettbewerbsfähige Preise
- + Umfangreicher Design-in-Support
- + Großserienbetreuung
- + Kurze Liefertermine
- + Kostensparendes In-House-Engineering
- + Kurze Time-to-Market-Zeiten



PETERMANN-TECHNIK GmbH
Der Puls Ihrer Innovation. Schnell. Sicher. Wirtschaftlich.
Lechwiesenstr. 13
86899 Landsberg am Lech
Deutschland – Germany

Tel +49 (0) 8191 – 30 53 95
Fax +49 (0) 8191 – 30 53 97
info@petermann-technik.de

WWW.PETERMANN-TECHNIK.DE

