ELEKTRONIK PRAXIS 60
www.elektronikpraxis.de

Wissen.
Impulse.
Kontakte.

1
B19126
25. Februar 2026
19,90 €

Motorsteuerungen auf Energieeffizienz trimmen

Wie ein neuer Ansatz zum System-Design elektrischer Maschinen Effizienz, Skalierbarkeit und Zukunftsfähigkeit vereint.

VOGEL COMMUNICATIONS GROUP

Luft- und Raumfahrt ist anspruchsvoll

Wenn Unterbrechungen keine Option sind, bietet DigiKey eine schnelle Lieferung von Teilen, wann und wo immer sie benötigt werden.

Finden Sie Ihre Bauteile bei digikey.de

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

Der Blick muss nach vorn gehen!

Das Jahr 2025 war für die deutsche Automobilindustrie, aber auch für viele andere Branchen in unserem Land außerordentlich herausfordernd: hohe Energie- und Standortkosten, stetig wachsende statt abnehmender Bürokratie, Probleme auf dem chinesischen Markt und vor allem US-Zölle waren nur einige Punkte auf einer langen Liste. 2026 schließt sich nahtlos an.

US-Präsident Donald Trump ist überzeugt, mit Zolldrohungen und Zöllen seinen Kurs steuern zu können – er nutzt sie als Grundlage, um die USA reich zu machen und als geopolitisches Machtmittel, mit dem er den transatlantischen Handelskonflikt schürt. Der deutschen Wirtschaft drohen Milliardenverluste, insbesondere die Autoindustrie ist wie gesagt von der unberechenbaren Zollpolitik betroffen. Mehr als schwierige Zeiten, wenn man bedenkt, dass die USA noch 2024 mit einem Außenhandelsumsatz von 236 Milliarden US-Dollar vor China Deutschlands wichtigster Handelspartner waren und man sehr enge Beziehungen pflegte.

„Indien ist bereits heute ein wichtiger Handelspartner und gilt seit einiger Zeit als strategischer Zukunftsmarkt."

stefanie.eckardt@vogel.de

Doch der amerikanische Protektionismus führt zu der Erkenntnis, dass sich Deutschland von den USA lösen und neue Partner finden muss. Hoffnung gibt das Freihandelsabkommen mit Indien. Die Europäische Union und die viertgrößte Volkswirtschaft der Welt haben Ende Januar 2026 nach langjährigen Verhandlungen die „Mutter aller Deals" erreicht. Indien soll der Europäischen Union Zollsenkungen gewähren, die bisher kein anderer Handelspartner erhalten hat. So werden beispielsweise die Zölle auf Autos schrittweise von 110 Prozent auf bis zu 10 Prozent gesenkt, während sie für Autoteile in fünf bis zehn Jahren vollständig abgeschafft werden. Zölle von bis zu 44 Prozent auf Maschinen, 22 Prozent auf Chemikalien und 11 Prozent auf Arzneimittel werden ebenfalls weitgehend abgeschafft.

Natürlich gibt es bei diesem Abkommen viele Herausforderungen. Doch Indien ist ein wachsender Markt mit einer großen industriellen Dynamik. Schauen wir also nach vorn!

Herzlichst, Ihre

STEFANIE ECKARDT
Redakteurin
ELEKTRONIKPRAXIS

WÜRTH ELEKTRONIK
MORE THAN YOU EXPECT

THE LAN PORTFOLIO YOU CAN TRUST!

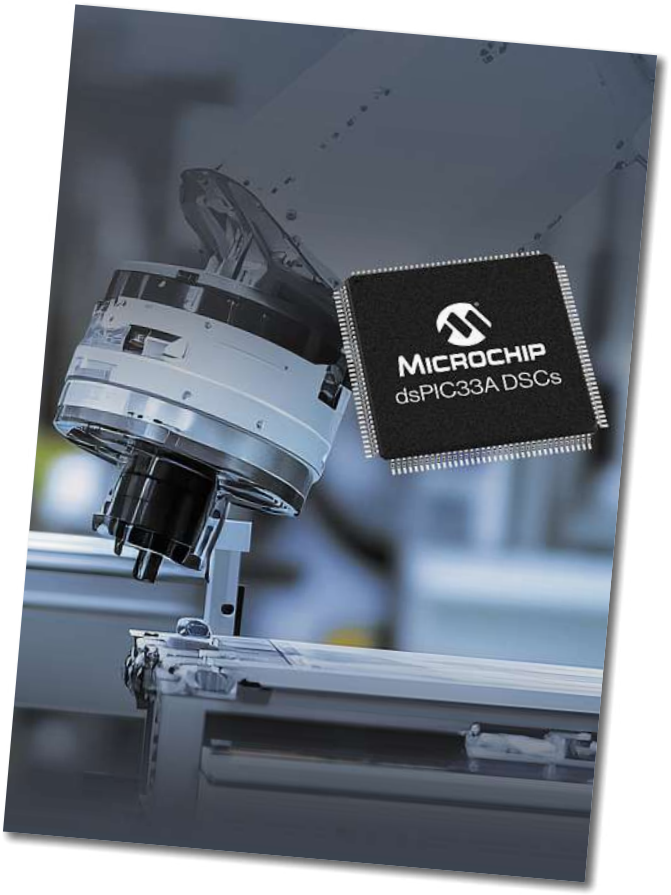
Große Auswahl für alle LAN-Anforderungen.
Zertifiziert und ab Lager verfügbar.

www.we-online.com/lantransformers

© eSos

WE meet @
embedded world Europe
Halle 2 - 110

INHALT Nr. 1.2026



LEISTUNGS- UND ANTRIEBSELEKTRONIK

Effiziente Motorsteuerungen im Fokus

Motoren sind aus unserem Alltag nicht mehr wegzudenken und finden sich in vielen Haushaltsgeräten wie Waschmaschinen, Trocknern, Geschirrspülern oder Gartenpumpen. Aber auch im Fahrzeugbereich sind sie unverzichtbar: Moderne Autos enthalten je nach Modell und Ausstattungsvariante zwischen 40 und 100 Motoren. In der Industrie sind Motoren in der Robotik und der Fabrikautomation von Bedeutung. Allerdings verbrauchen sie weltweit viel Energie. Daher muss eine effiziente Steuerung im Mittelpunkt stehen.

20

ELEKTRONIKSPIEGEL

6 **Zahlen, Daten, Fakten**

8 **Aktuelles**

SCHWERPUNKTE

Leistungs- und Antriebselektronik

TITELTHEMA

20 **Motorsteuerungen auf Energieeffizienz trimmen**
Motorenaufbau, Frequenzumrichter und Lösungen für Motorsteuerungsanwendungen für eine bessere Effizienz.

Stromversorgungen

24 **Neue Schaltungstopologien für mehr Leistung**
Neue Schaltungstopologien tragen dazu bei, die Leistungsdichte industrieller Einbaunetzteile zu erhöhen.

28 **Batterien, Supercaps und ihre Rolle im System**
Hybridkonzepte helfen, Stromspitzen, Temperaturstress und Alterungseffekte dauerhaft beherrschbar zu machen.

32 **Testmethoden für Point-of-Load-Converter**
Neben Wirkungsgrad oder Baugröße gewinnen dynamische Eigenschaften eines POL an Bedeutung. .

36 **Auswirkungen dynamischer Vorgänge auf Netzteile**
Dynamische Effekte spielen für die Zuverlässigkeit eines Netzteils im relaen Betrieb eine wichtige Rolle.

Messtechnik & Test

42 **Elektrodenqualität bei Lithium-Ionen-Batterien**
Ein integriertes Messsystem bei der elektrochemischen Analyse von Batterie-Slurries erübrigt Spezialkenntnisse.

Embedded Computing

48 **In-The-Loop-Testansätze für Mikrocontroller**
SiL, PiL oder HiL? Welcher Testansatz für Embedded-Systeme ist der Richtige?

52 **Hochverfügbarkeit im Dauerbetrieb**
Automatisierte Verkaufsumgebungen stellen hohe Anforderungen an Rechenleistung und Zuverlässigkeit.

54 **Ausleuchten kritischer Straßenbereiche**
An kritischen Straßenbereichen kommt es häufig zu Unfällen. Daher ist es wichtig, diese gut auszuleuchten.

Automotive & Transportation

60 **Ladekommunikation meets SDV**
Wie lässt sich Ladekommunikation zuverlässig in komplexe E/E-Architekturen integrieren?

64 **„Das Auto wird zum digitalen Lebensraum“**
Pascal Peguret von Harman erklärt, welche Technologien der Vernetzung zum Durchbruch verhelfen.

66 **Thermische Netzanalyse als Schlüsseltechnologie**
Kosteneffiziente Methode zur Simulation des Temperaturverlaufs in elektrischen Netzwerken unter Last.

Ausdauer oder Sprint?

Batterien, Supercaps und ihre richtige Rolle im System. Denn es gibt selten eine Entweder-Oder-Entscheidung.

Seite 28

Wir feiern 60 Jahre

Im Jahr 1966 schlug die Geburtsstunde der ELEKTRONIKPRAXIS. Wir blicken auf die Highlights der Elektronikbranche und kuriose Begebenheiten zurück.

Seite 79

Wärmemanagement

70 **Mikrothermografie für dünne Schichten**
Thermografische Widerstandsmessung an dünnen Sinterverbindungen.

Sonderteil 60 Jahre ELEKTRONIKPRAXIS

79 **Pioniere der Elektronik**
Wir blicken zurück auf Begebenheiten und Anekdoten aus 60 Jahren Elektronikgeschichte.

TIPPS & SERIEN

18 **Analogtipp**
In-plane-Magnetsensor bietet mehr Empfindlichkeit.

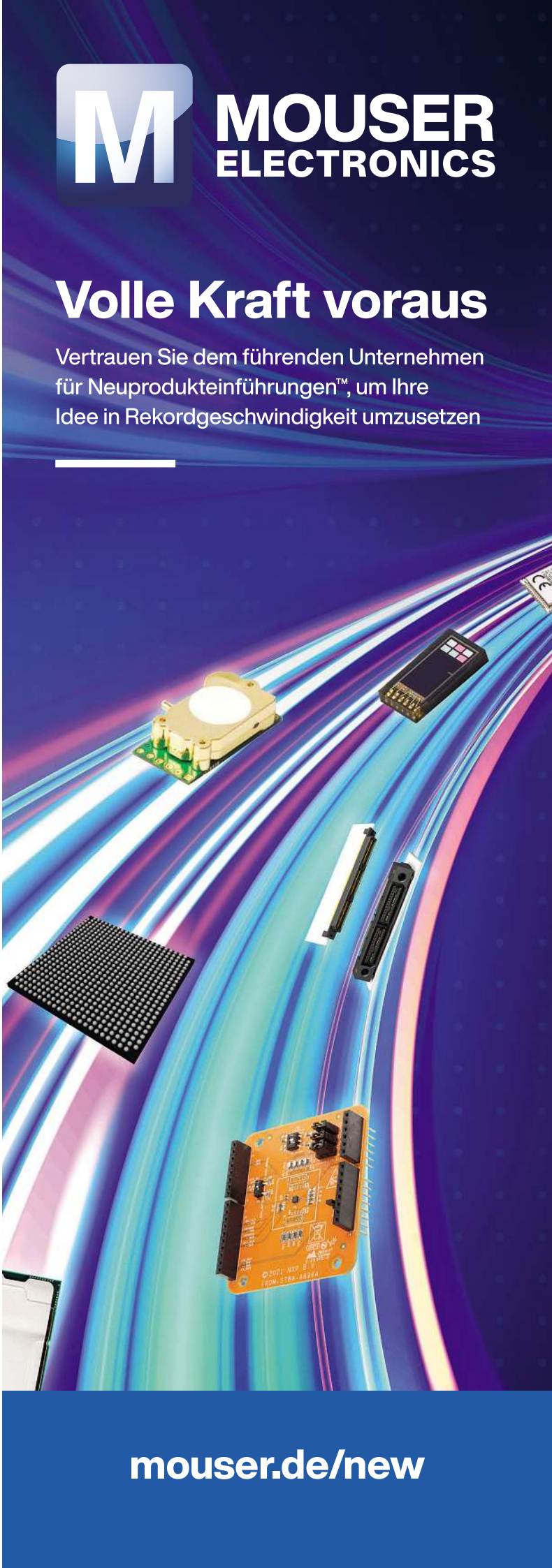
19 **Power-Tipp**
Was Sie über die Regelschleife wissen müssen.

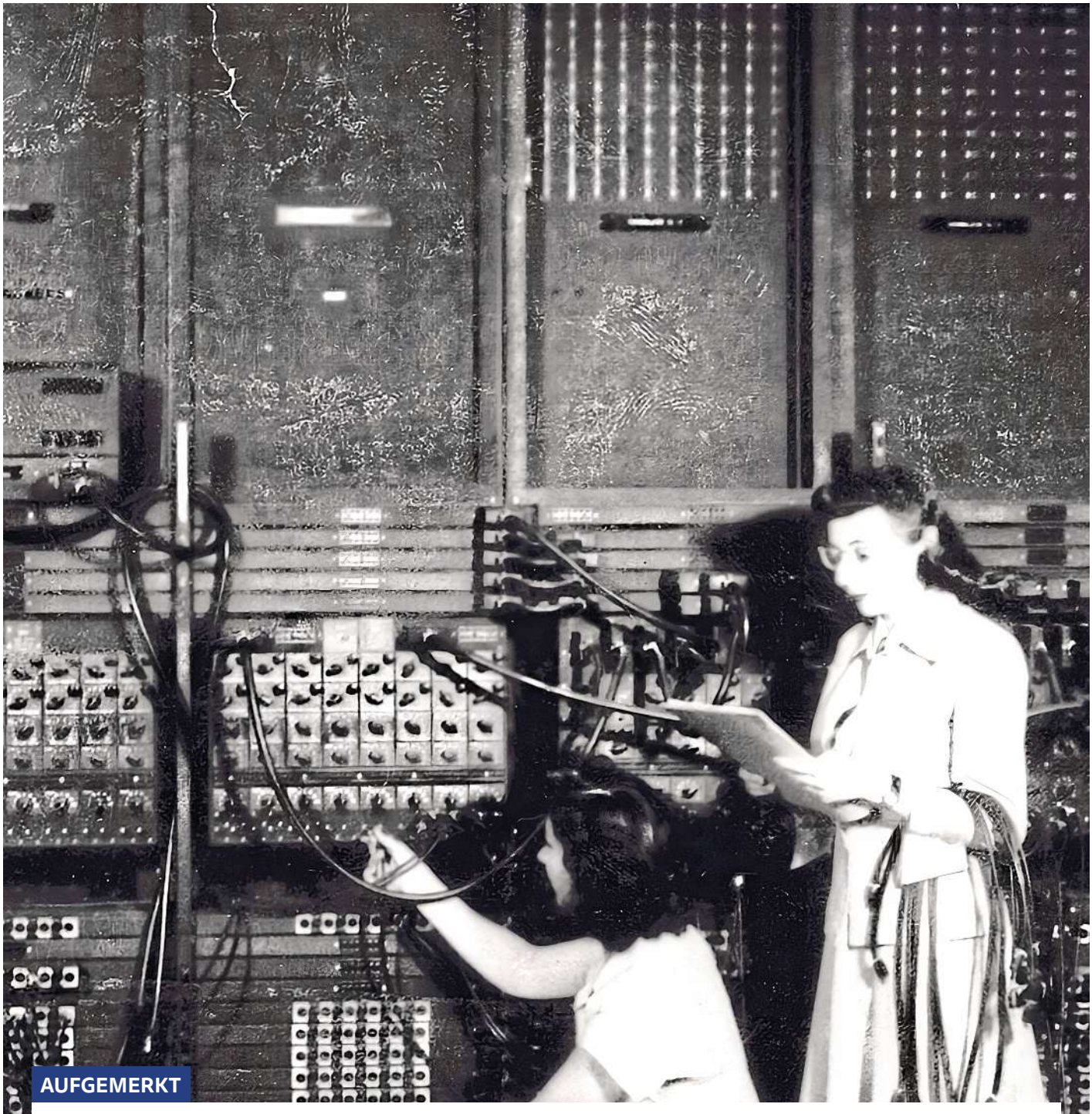
106 **Zum Schluss**
Warum rennen wir immer wieder gegen dieselbe Wand?

RUBRIKEN

3 **Editorial**

40 **Impressum**





AUFGEMERKT

15. Februar 1946: ENIAC I wird öffentlich vorgestellt

ENIAC („Electrical Numerical Integrator And Calculator") gilt – je nach Definition – als der erste voll funktionale und programmierbare digitale Computer der Welt. Der Rechner war 1942 von der US-Armee in Auftrag gegeben worden, um ballistische Berechnungen durchzuführen, wurde aber (offiziell) erst nach Kriegsende fertiggestellt. Der von John Presper Eckert und John Mauchly entwickelte programmierbare Rechner bestand aus 40 Modulen, die jeweils eine Fläche von 60 cm x 70 cm einnahmen und 2,7 m hoch waren. Diese wurden u-förmig angeordnet und beanspruchten eine Fläche von 170 Quadratmetern. Das Gesamtgewicht von 27 t verteilte sich neben den Gehäuseteilen, Schrauben, Kabeln und weiteren Kleinteilen auf 17.468 Elektroröhren, 7.200 Dioden, 1.500 Relais, 70.000 Widerstände und 10.000 Kondensatoren. Die ersten Programmierer waren primär Frauen: Sogenannte refrigerator ladies verbrachten Stunden damit, zur Dateneingabe Schalter umzulegen und Kabel umzustecken, um dem Universalcomputer mitzuteilen, was er als nächstes tun sollte. (sg)

Bild: Columbia University

Bild: BIFOLD

REKORD DES MONATS

Täglich 20 Terabyte

Die Erdbeobachtung mit den Satelliten der ESA erzeugt täglich 20 Terabyte hochauflösende Daten. Das entspricht etwa 4.000 DVDs. Diese enormen Datenmengen können nicht vollständig übertragen werden, weshalb die Satelliten mit Embedded-Software ausgestattet sind, um die Daten im Weltraum vorzuverarbeiten. KI-Algorithmen müssen dabei auf ressourcenschwachen ARM-Computern zuverlässig funktionieren. *(heh)*

Aufgedreht: R&S FPL1044

Frequenzbereich: Messungen von 10 Hz bis 44 GHz im Ka-Band für Bias-Netzwerke, Leistungselektronik und niederfrequente Störungen.

Niedriger DANL: Der Eigenrauschpegel von -163 dBm ermöglicht Messungen schwacher Ka-Band-Signale, beispielsweise bei Satelliten-Downlinks.

Bauform: Die Kombination aus Tischgerät und portablem Design (optionaler 3h-Akku) ermöglicht Messungen direkt am Entwicklungsplatz oder bei Feldtests.

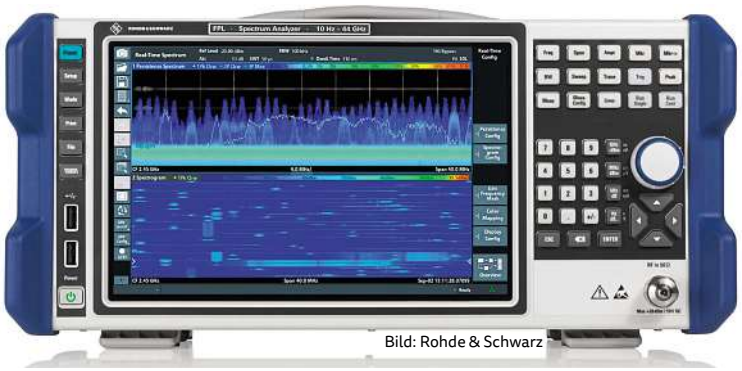


Bild: Rohde & Schwarz

Echtzeit-Analyse: Die R&S FPL1-K41R-Option erfasst transiente Ereignisse mit 100-prozentiger Wahrscheinlichkeit ab einer Dauer von 4,2 µs.

SSB-Phasenrauschen: Das Phasenrauschen von -108 dBc (1 Hz) bei einem Offset von 10 kHz ist entscheidend bei phasenmodulierten Signalen.

Eingangsstecker: Der 2,92-mm-Connector ist bis 40 GHz spezifiziert und gewährleistet reproduzierbare Messungen auch bei häufigem Stecken.

Der R&S FPL1044 von Rohde & Schwarz ist ein Spektrumanalysator, der die Ka-Band-Spekrumanalyse erstmals in die Mittelklasse bringt. Bisher war Ka-Band-Messtechnik bei hochpreisiger Labor- und Produktionsumgebungen vorenthalten. Professionelle Spektrumanalysatoren mit 44-GHz-Abdeckung waren bisher teuer und blieben damit für viele Entwicklungsteams unzugänglich. Systementwickler haben mit dem Analysator die Möglichkeit, Ka-Band-Subsysteme bereits in frühen Entwicklungsphasen zu evaluieren und zu optimieren. *(heh)*

„Ich glaube, dass wir keinen Frieden schaffen können, indem wir bessere Waffen haben."

Neura-CEO David Reger, der alle Defence-Aufträge ablehnt.

016008

Die Bauteilgröße 016008 mm (006003 Zoll) ist die nächste, derzeit in Entwicklung befindliche Miniatur-Generation und konnte kürzlich erstmals von Fuji Corporation bestückt werden. Hintergrund ist der steigende Miniaturisierungs- und Integrationsdruck in der Elektronikfertigung: Geräte werden kleiner, zugleich aber funktional komplexer. Selbst heutige 0201-Bauteile (0,25 mm × 0,125 mm) stoßen bei höherer Integrationsdichte bereits an prozesstechnische und physikalische Grenzen. (sb)

PERSON DES MONATS

Dr. Gladys West

Dr. Gladys West war eine bedeutende US-afroamerikanische Mathematikerin und Programmiererin. Sie wurde für ihre Beiträge zur mathematischen Modellierung der Erdform bekannt und spielte eine entscheidende Rolle bei der Entwicklung des Global Positioning System (GPS). West ist am 17. Januar 2026 im Alter von 95 Jahren verstorben. *(kr)*

Bild: Adrian Cadiz / CC BY-SA 3.0 / Wikimedia Commons

FORTSCHRITTLICHE HALBLEITERFERTIGUNG

Chinas „Manhattan Project“: Die eigene Lithografiemaschine

Viel ist nicht bekannt über Chinas eigene Lithografiemaschinen zur Herstellung fortgeschrittener Halbleiter. Die Anstrengungen werden geheim gehalten, seit die USA und ihre westlichen Verbündeten den Export der Technologie in die Volksrepublik blockieren.

Umso mehr Aufmerksamkeit erhält jeder Bericht, der den Schleier dieses chinesischen Lithografie-Staatsgeheimnisses auch nur ein kleines Stück lüftet. Der chinesische Hersteller SMEE etwa hat am 25. Dezember 2025 einen öffentlichen Auftrag zur Lieferung einer Lithografiemaschine erhalten, offenbar vom Typ „Step-and-Scan“, berichtet das chinesische Wirtschaftsportal 21jingji. Das Wissenschafts- und Technologieministerium in Peking habe auf seiner Website die Bestellung der Anlage im Wert von rund 110 Millionen Yuan, umgerechnet etwa 13 Millionen Euro, bekannt gegeben. SMEE ist eine Tochter der staatlichen Shanghai Electric Group und gilt als eines der wichtigsten Unternehmen in China für die Herstellung von Lithografiemaschinen.

Moderne DUV- und EUV-Lithografie

Step-and-Scan-Verfahren werden in hochpräzisen DUV- und EUV-Lithografiesystemen eingesetzt; Maske und Wafer bewegen sich dabei während der Belichtung synchron. Ob es sich bei der bestellten Maschine tatsächlich um ein solches System handelt, bleibt jedoch unklar. Reuters berichtete kurz zuvor, China habe in einem Geheimlabor in Shenzhen einen ersten EUV-Prototyp fertiggestellt; ehemalige ASML-Ingenieure sollen bis Anfang 2025 einen funktionsfähigen Prototyp aufgebaut haben. Der Bericht ist nicht unabhängig überprüfbar. Sollte er zutreffen, hätte China erstmals das Monopol von ASML gebrochen. Beobachter weisen jedoch darauf hin, dass ein Prototyp noch keine industrielle EUV-Produktion ermöglicht und bislang in China kein Chip mit EUV gefertigt wurde.

Führende Technologie: Die EXE:5000 von ASML. Version EXE:5200B hat die High-NA-EUVL-Technologie zur Serienreife gebracht.

Bild: ASML

Extreme Ultraviolet Lithography

EUV-Maschinen werden zur Herstellung moderner KI-Chips gebraucht, deren Verkauf in die Volksrepublik die Regierung aus Washington ebenfalls stark eingeschränkt hat. Was die Lithografie betrifft, so hatten die USA seit 2018 Druck auf die niederländische Regierung und ASML gemacht, die modernsten Generationen von DUV- und EUV-Maschinen nicht mehr nach China zu liefern. Die Niederländer haben sich diesem Druck gebeugt.

Seither gibt die chinesische Regierung umgerechnet viele Milliarden Euro für ein Programm der „heimischen Substitution“ in der Halbleiterindustrie aus. Analysten erklären immer wieder, die Entwicklung der Chip-Herstellung mit „Extreme Ultraviolet Light“ habe ASML mehrere Jahrzehnte gekostet, und ein „Reverse Engineering“ in China durch in den Niederlanden oder sonstwo abgeworbene Ingenieure sei nicht einfach.

China werde noch „viele, viele Jahre“ benötigen, um aufzuschließen, hatte ASML-Chef Christophe Fouquet im April 2025 erneut erklärt. Allerdings hatten sich ähnliche Behauptungen, etwa was die Entwicklung von großen Sprachmodellen der künstlichen Intelligenz betrifft, in der Vergangenheit als falsch herausgestellt. Fest steht, dass Chinas Regierung den Aufbau einer eigenen Lieferkette für Lithografiemaschinen systematisch vorantreibt.

Durch den Aufkauf älterer Lithografiemaschinen, Beschaffungen auf dem grauen Markt und den Nachbau einzelner Komponenten sei es chinesischen Ingenieuren gelungen, einen noch groben EUV-Prototyp zu bauen, berichtet Reuters. Der Prototyp sei deutlich größer als die Anlagen von ASML und belege eine komplette Fabrikhalle; besonders fehle es an hochpräziser Optik des deutschen Herstellers Zeiss.

Trotz dieser technischen Defizite treibe China das Projekt weiter voran. Das Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics arbeite an der Integration der UV-Optik; erste Fortschritte gebe es, die Technik müsse jedoch weiter verbessert werden. *(sb)*

Green Hills®
SOFTWARE

Revolutionizing
development of
Embedded Software

Real-Time Operating Systems
Secure Hypervisors
Compilers & Tools
Debug Probes
Safety & Security Certifications

For more information
call +49 (0)228 4330 777
or email info-emea@ghs.com

embeddedworld
Exhibition&Conference
10-12 March 2026 | Nuremberg, Germany
Hall 4, Stand 325
https://ghs.com/ew26

Copyright © 2026 Green Hills Software. Green Hills and the Green Hills logo are registered trademarks of Green Hills Software.

WIRELESS CONNECTIVITY

Texas Instruments will Silicon Labs für 7,5 Mrd. US-Dollar übernehmen

Bild: Texas Instruments

Embedded Wireless: TI will künftig Silicon-Labs-Produkte in eigenen Fabs produzieren.

Texas Instruments hat angekündigt, Silicon Labs, den ebenfalls in Texas ansässigen Spezialisten für intelligente Wireless-Lösungen, in einer definitiven Kaufvereinbarung für einen Preis von 231 US-$ pro Akte übernehmen zu wollen. Der gesamte Kaufpreis läge bei 7,5 Mrd. US-$ (circa 6,35 Mrd. Euro).

Mit der Übernahme plant Texas Instruments, eines der weltweit führenden Analogtechnik-Unternehmen, sein Portfolio im Bereich Embedded Wireless Connectivity auszubauen. Dabei sollen vor allem Synergien aus seinem eigenen Bereich für Mixed-Signal-Technologien zum Tragen kommen.

Das fusionierte Unternehmen könnte, Zustimmung der Kartellbehörden vorausgesetzt, ein führender Anbieter von eingebetteten drahtlosen Verbindungslösungen werden. TI zufolge werde das bestehende Portfolio durch die Transaktion um etwa 1.200 Produkte erweitert, die zahlreiche Standards und Protokollen für drahtlose Verbindungen unterstützen. Zudem könne man vollständig integrierte Prozess-, Design- und Fertigungskapazitäten bereitstellen und Silicon-Labs-Produkte in eigenen Fabs fertigen. Die Prozesstechnologien von TI, einschließlich 28 nm, seien für die drahtlosen Konnektivitätsprodukte von Silicon Labs optimiert und dürften effizientere und schnellere Designzyklen für Prozesstechnologien mit sich bringen. Die Übernahme soll voraussichtlich bis zum ersten Halbjahr 2027 abgeschlossen sein. *(sg)*

VERKAUF

AMS Osram veräußert Teil des Sensorgeschäfts für 570 Mio. Euro an Infineon

AMS Osram sucht weiterhin nach Möglichkeiten zu einer strategischen Neuausrichtung und teilte im Februar 2026 den Verkauf des nicht-optischen Analog-/Mixed-Signal-Sensorgeschäfts für Automotive, Industrie und Medizin an Infineon Technologies für 570 Millionen Euro mit. Man will auf diesem Wege die Verschuldung deutlich reduzieren und sich künftig stärker auf die Digitalisierung von Lichtemission und optischer Sensorik fokussieren.

Das entsprechende Geschäftssegment erwirtschaftete 2025 rund 220 Millionen Euro Umsatz und etwa 60 Millionen Euro bereinigtes EBITDA. Im Rahmen der Transaktion, mit deren Abschluss im 2. Quartal 2026 gerechnet wird, wechseln rund 230 Mitarbeiter zu Infineon. Die Produktionsstandorte verbleiben im Konzern, denn AMS Osram plant Infineon über einen mehrjährigen Zeitraum Fertigungsdienstleistungen bereitzustellen.

Bild: AMS Osram

Photonics-Powerhouse: AMS Osram möchte sich mit dem Verkauf schärfer aufstellen.

Diese Transaktion stellt einen Teil eines größeren Entschuldungsplans dar. Man gibt zwar 7 Prozent des Umsatzes weg, reduziere die Schulden damit aber um rund ein Drittel. Mit dem Kapital will das Unternehmen seine finanzielle und strategische Flexibilität stärken. „Wir sind das Photonics-Powerhouse", erklärt CEO Aldo Kamper. Man möchte sich klar als Anbieter im Bereich Digital Photonics positionieren; mit einem breiten Portfolio intelligenter optischer Halbleiter-Emitter, Sensoren und ergänzender Treiber- sowie Power-Management-ICs. *(sb)*

SPARTENVERKAUF UND STRATEGISCHE PARTNERSCHAFT

SiTime erwirbt Takterzeuger- und Timing-Geschäft von Renesas

Bild: Renesas

Künftig im SiTime-Portfolio: Die Ultra-Low-Jitter-Bausteine der FemtoClock-3-Reihe.

Für 1,5 Mrd. US-Dollar aus liquiden Mitteln und weiteren 4,3 Mrd. US-Dollar in Stammaktien übernimmt SiTime den Geschäftsbereich für Takterzeuger und Timing-Bausteine von Renesas. Während sich Renesas damit als eigener Akteur aus dem Timing-Bereich zurückzieht, stärkt SiTime mit dem Zukauf seine Position als reiner Anbieter von frequenzgebenden Halbleiterlösungen. Das Unternehmen erweitert sein Portfolio an Timing-Komponenten um mehr als das Zehnfache und erschließt zusätzliche Anwendungen in schnell wachsenden Märkten wie KI-Rechenzentren, Kommunikation und Enterprise-Systemen.

Bis 2026 soll die Übernahme und Integration des Geschäftsbereichs abgeschlossen sein. Im Anschluss wird Renesas-CEO Hidetoshi Shibata zudem in den Verwaltungsrat von SiTime einziehen.

Parallel zur Übernahme haben beide Unternehmen eine Absichtserklärung zur strategischen Zusammenarbeit unterzeichnet. Ziel ist es, MEMS-Resonatoren von SiTime in Embedded-Computing-Produkte von Renesas zu integrieren, darunter MCUs, Power-Management-ICs und andere SoCs. Technologische Grundlage dafür sind die MEMS-Resonatoren der Titan-Familie von SiTime. Die ungehausten Chips lassen sich gemeinsam mit einem MCU- oder SoC-Die in einem einzigen Gehäuse integrieren. Renesas-Kunden erhalten damit weiterhin Zugang zu der gewohnten Timing-Technologie. *(sg)*

LEITERPLATTEN AUS EUROPA

Jenaer Leiterplatten sucht Neustart in Insolvenzverfahren

Bild: JLP

Jenaer Leiterplatten: Das Unternehmen ist aus dem Kombinat Carl Zeiss hervorgegangen.

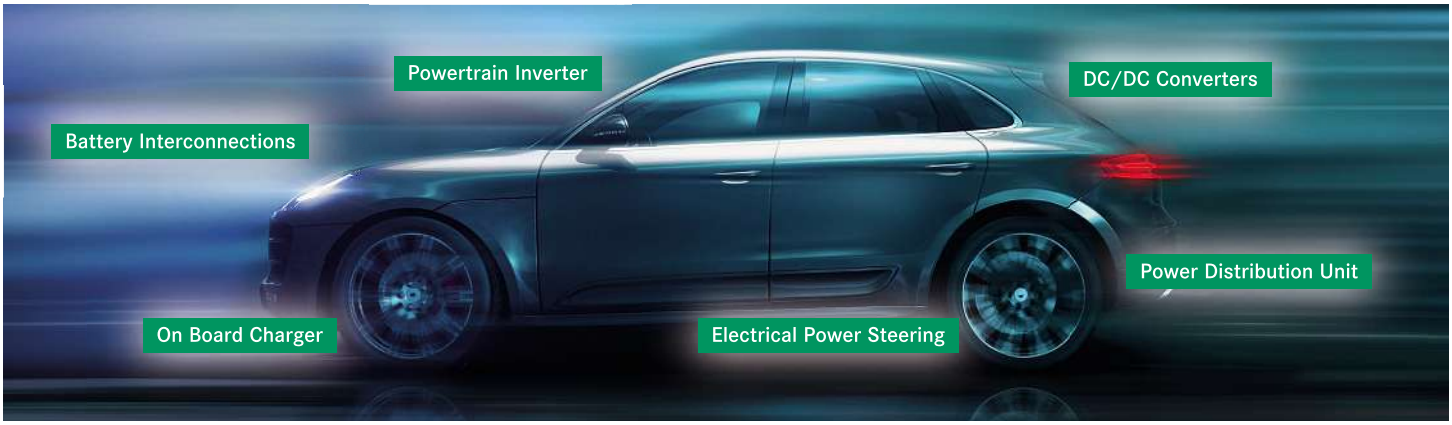
Noch kurz bevor die meisten Leute hierzulande den Jahreswechsel gefeiert haben, hat das Unternehmen Jenaer Leiterplatten GmbH nach Angaben des Geschäftsführers Stefan Wiedemann Ende Dezember 2025 die Eröffnung eines Insolvenzverfahrens beim Amtsgericht Gera beantragt. Grund seien „kurzfristige Veränderungen in der Finanzierungsstruktur", die nun die Chance auf eine nachhaltige Neuausrichtung ermöglichen. Der Geschäftsbetrieb läuft derweil uneingeschränkt weiter, die Produktion ist voll ausgelastet. Die hohe Nachfrage komme vor allem aus den Bereichen Defense und Luftfahrt. Mit dem Insolvenzgeld sind Löhne und Gehälter der 70 Mitarbeiter sowie drei Auszubildenden für die kommenden drei Monate vollständig gesichert. Wiedemann bestätigt den Start eines gezielten Investorenprozesses: „Die Kombination aus unserer technologischen Expertise und dem Zugang zu geschützten Märkten wie der Verteidigungsindustrie macht uns für strategische Partner hochattraktiv. Unser klares Ziel ist der Erhalt des Standorts Jena und der Arbeitsplätze." Zum vorläufigen Insolvenzverwalter wurde Rechtsanwalt Thorsten Springstub von der bundesweit tätigen Kanzlei Tiefenbacher bestellt.

Angesichts dessen, dass sich die deutsche Industrie die Förderung und den Ausbau der heimischen Leiterplatte wünscht, könnte sich mit Jenaer Leiterplatten also eine vielversprechende Chance ergeben, Jobs in dem Bereich zu erhalten und die PCB-Resilienz zu stärken. Ein Beispiel dafür, dass der Bedarf offenbar gesehen wird, brachte der EMS-Dienstleister TLT Manufacturing. Das Unternehmen hat bei Vilnius vier neue Fertigungsstätten in Betrieb genommen und dafür rund 320 Millionen Euro investiert – darunter ein neues Leiterplattenwerk, das laut Unternehmen das erste seiner Art in Europa in 20 Jahren ist. Insgesamt entstehen bis zu 1.400 neue Arbeitsplätze.

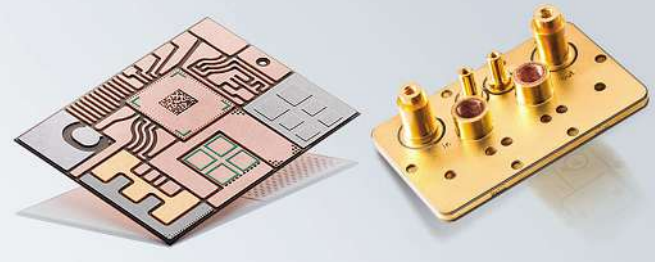
Strategisch verfolgt das Unternehmen damit eine konsequente vertikale Integration: Von der Leiterplattenfertigung über Komponenten-, Elektronik- sowie Mechanik- und Kunststoffproduktion bis hin zur Endmontage soll die gesamte Wertschöpfungskette gebündelt werden. In einem europäischen Markt, in dem die PCB-Produktion stark nach Asien abgewandert ist, setzt TLT so ein industriepolitisches Signal. *(sb)*

POWERFUL PRODUCTS
FOR POWER ELECTRONICS

ROGERS CORPORATION



curamik®
ENABLING POWER EFFICIENCY



curamik Ceramic Substrates and Cooling Solutions

ROLINX®
MADE FOR POWER

ROLINX Laminated Busbars

www.rogerscorp.com

ORGANISCHE SOLARZELLEN

Forscher entwickeln Molekül mit integriertem p/n-Übergang

Forscher der Osaka Metropolitan University haben einen fundamentalen Konstruktionsfehler organischer Solarzellen identifiziert und eine elegante Lösung entwickelt, die das jahrzehntelange Problem instabiler p/n-Übergänge beseitigt. Das bisherige Bulk-Heterojunction-Prinzip, bei dem p-Typ- und n-Typ-Materialien physikalisch miteinander vermischt werden, erwies sich als Schwachpunkt: Bereits geringste Änderungen der Herstellungsbedingungen wie Temperatur, Lösungsmittel oder Trocknungszeit führten zu chaotischen, unkontrollierbaren Strukturen und schwankenden Leistungen, was eine zuverlässige Massenproduktion verhinderte. Der Paradigmenwechsel liegt in der molekularen Selbstorganisation: Statt zwei verschiedene Materialien zu mischen, entwickelten die Wissenschaftler ein einzelnes Molekül namens TISQ, das sich eigenständig organisiert und nanoskalige p/n-Übergänge bildet. Dieser Bottom-up-Ansatz ermöglicht erstmals kontrollierbare und reproduzierbare Strukturen. Besonders interessant ist die Steuerung der molekularen Anordnung durch verschiedene Lösungsmittel: Polare Lösungsmittel erzeugen J-Typ-Aggregate für höhere Photoströme, während unpolare Lösungsmittel H-Typ-Aggregate bilden. Damit eröffnen sich neue Möglichkeiten für energieautarke IoT-Sensoren, elektronische Wearables mit integrierter Energieversorgung sowie bei flexiblen Displays. *(heh)*

Bild: Fraunhofer ISE

Organische PV-Module: Forscher der Osaka Metropolitan University haben ein spezielles Molekül entwickelt, das sich selbst organisiert und kontrollierbare Strukturen bildet.

RESSOURCENBEDARF

Mit Mittelspannung Kupfer bei PV-Kraftwerken sparen

Photovoltaik wird nicht mehr in Gigawatt, sondern zunehmend in Terawatt gedacht. Mit dieser Skalierung ändern sich die relevanten Fragestellungen. Während in der Vergangenheit Effizienzsteigerungen auf Modulebene im Mittelpunkt standen, rücken heute Systemaspekte in den Fokus: Materialverfügbarkeit, Infrastrukturkosten und die physikalischen Grenzen klassischer Anlagenkonzepte.

Laut IEA wird der weltweit steigende Bedarf an elektrischen Leitungen das verfügbare Kupferangebot ab 2025 übersteigen. Das Projekt „PVgoesMV" des Fraunhofer ISE reduziert den Materialeinsatz, indem es höhere Spannungen, geringere Ströme und damit kleinere Leiterquerschnitte ermöglicht. Das Projekt verfolgt bewusst nicht den direkten Sprung zur Hochspannung. Der Grund liegt in der Balance zwischen Nutzen und technischem Aufwand. Bereits in diesem Spannungsbereich lassen sich große Teile der Material- und Kosteneinsparungen realisieren, ohne die Anlagenkomplexität unverhältnismäßig zu erhöhen. Um die theoretischen Vorteile praktisch zu überprüfen, werden im Rahmen von PVgoesMV zwei Pilotanlagen in Baden-Württemberg und Rheinland-Pfalz aufgebaut. Die Anlagen verfügen über eine Anschlussleistung von jeweils rund 135 kW. Auf der DC-Seite wird mit einer Spannung von 3 kV gearbeitet, während die AC-Seite mit 1,2 kV betrieben wird. *(mr)*

Bild: Fraunhofer ISE

Reduktion: Die Erhöhung der Spannung reduziert die Kabelquerschnitte.

PHOTOVOLTAIK-FORSCHUNG

Solarzellen reparieren sich selbst von UV-bedingten Schäden

Bild: frei lizenziert

Silizium-Solarzellen: Sie können UV-bedingte Schäden auf molekularer Ebene selbst reparieren.

Forscher haben mit einer UV-Raman-Spektroskopie-Methode erstmals die Selbstreparatur-Mechanismen von Silizium-Solarzellen auf molekularer Ebene in Echtzeit sichtbar gemacht. Die Erkenntnisse verändern das Verständnis der UV-Degradation. Bei UV-Bestrahlung zerstören hochenergetische Photonen chemische Bindungen zwischen Wasserstoff-, Silizium- und Bor-Atomen nahe der Zelloberfläche, was zu Leistungsverlusten führt. Bei einer normalen Sonnenlichtbestrahlung migrieren die Wasserstoffatome jedoch zurück zur Oberfläche, die gebrochenen Bindungen formieren sich neu und das Material kehrt in seinen ursprünglichen Zustand zurück. Dieser Erholungsprozess benötigt lediglich 10 bis 20 Minuten Sonnenlichtexposition. Die Analysemethode macht Schwingungen und Bindungsänderungen sichtbar. Im Gegensatz zu herkömmlichen beschleunigten UV-Tests, die eine Demontage erfordern und nur indirekte elektrische Messungen über Wochen liefern, ermöglicht die neue Technik eine UV-Empfindlichkeitsdetektion binnen Sekunden. Für die Elektronikindustrie bedeutet dies eine direkte Integration in Produktionslinien zur Inline-Qualitätskontrolle ohne Probenentnahme. Die Erkenntnisse zeigen, dass aktuelle UV-Testprotokolle langfristige Leistungsverluste möglicherweise überschätzen, da sie Degradationsmodi induzieren, die unter realen Außenbedingungen selbst reparieren. *(heh)*

RESSOURCENEFFIZIENZ

Magnetisches Trennverfahren rettet seltene Erden aus Elektroschrott

Bild: Dall-E / KI-generiert

Elektroschrott: Recycling-Verfahren sind notwendig, oft aber nicht wirtschaftlich genug.

Elektroschrott ist ein wachsendes Problem, weil eine sortenreine Trennung oft nicht wirtschaftlich ist und Abfälle deshalb in Länder mit gefährlichen Arbeitsbedingungen exportiert werden. Um Alternativen in Europa zu schaffen, erforscht etwa das Helmholtz-Institut Freiberg für Ressourcentechnologie neue Ansätze für die Aufbereitung von Elektronikschrott. Das Team „WEE-Efficient" hat kürzlich die zweite Runde der SPRIND Tech Metal Transformation Challenge der Bundesagentur für Sprunginnovationen erreicht und erhält dafür eine mehrjährige Förderung in Millionenhöhe. Im Fokus steht ein dreistufiges Verfahren, bei dem nach dem Schreddern und einer Flotation ein neuartiger, hochselektiver magnetischer Prozess („Magsel") eingesetzt wird, der ohne giftige Chemikalien auskommt. Der Elektroschrott wird zerkleinert, damit Kunststoffe effizient von Metallen getrennt werden können. „Anschließend setzen wir Flotation ein", erklärt Teamleiter Ali Hassan. „Bei diesem Prozess führt man einer Flüssigkeit mit fein gemahlenen Partikeln Gasblasen zu, sodass die Blasen an Teilchen mit wasserabstoßender Oberfläche haften. Diese steigen mit den angehängten Luftblasen nach oben und bilden eine Schaumschicht, die abgeschöpft werden kann. Die dabei eingesetzten Reagenzien sind biologisch abbaubar, also umweltfreundlich. Auf diese Weise konzentrieren wir Metalle wie Gold, Kupfer, Zinn oder Palladium effizient auf." *(sb)*

OXIDASE-BIOSENSOREN

Messgenauigkeit Oxidase-basierter Sensoren auf 99 Prozent erhöht

Forscher der TU München haben ein 50 Jahre altes Problem der Biosensorik gelöst und die Messgenauigkeit von Oxidase-basierten Sensoren von 50 auf 99 % gesteigert. Das Kernproblem lag in der sogenannten Sauerstoff-Interferenz: Die in den Sensoren verwendeten Oxidase-Enzyme übertragen ihre Elektronen nicht nur an die gewünschte Messelektrode, sondern auch unkontrolliert an gelöste Sauerstoffmoleküle aus der Umgebung. Diese Elektronenleckage führte bisher zu systematischen Messfehlern von bis zu 50 % und begrenzte die Einsatzmöglichkeiten der Technologie erheblich. Die Lösung der TUM-Wissenschaftler besteht aus einem „Sauerstofffänger" auf Basis einer Alkohol-Oxidase, die überschüssigen Sauerstoff kontrolliert verbraucht und in Wasser umwandelt, ohne mit den eigentlichen Messstoffen wie Glucose, Lactat oder Kreatinin zu reagieren. Diese Verbesserung eröffnet neue Marktchancen: von Point-of-Care-Diagnostik und personalisierten Wearables in der Medizin bis hin zu IoT-Anwendungen in der Landwirtschaft beim Einsatz von Stickstoff-Sensoren. *(heh)*

Bild: Andreas Heddergott / TU Muenchen

Sensorstreifen: Forscher haben die Messgenauigkeit von Biosensoren von 50 auf 99 Prozent erhöht.

DATA MODUL
Passion Displayed

iMX95

Embedded Power für industrielle Systeme.

Entdecken Sie leistungsstarke Embedded-Systeme – von eigenen Boards bis zum breiten Embedded-Portfolio.
Der neue eDM-SBC-iMX95

- NXP i.MX95 Application Processors
- Hexa-Core ARM Cortex-A55 Prozessor
- Bis zu 16 GB LPDDR5 RAM (gelötet)
- Bis zu 128 GB gelötetes eMMC
- 2x CAN sowie RS232/422/485
- 3x M.2 Slots, 5x USB
- 2x Gigabit Ethernet mit TSN
- Display- und Kamera-Schnittstellen

embeddedworld
Exhibition&Conference
Halle 1 | Stand 1-368

NEUE FESTKÖRPER-BATTERIEPLATTFORM

Serienreife Batterie mit 100.000 Ladezyklen versorgt Motorrad

Letztes Jahr präsentierte Donut Labs auf der CES einen Elektromotor, der den Markt aufrüttelte. Nun passiert dasselbe, allerdings im Batteriesegment. Dieses Mal ohne Loch in der Mitte. Die Donut Battery. Sie wurde als universelle Festkörper-Batterieplattform konzipiert und wird von Donut Lab entwickelt, industrialisiert und skaliert. Genau wie beim Motor wird der erste Einsatz in einem Elektromotorrad sein.

Die Donut Battery erreicht eine gravimetrische Energiedichte von rund 400 Wh/kg. Bei aktuellen serienreifen Lithium-Ionen-Batterien liegt diese bei etwa 150 bis 250 Wh/kg. Entscheidend ist dabei, dass diese Werte nicht im Labor, sondern in realen Produktionsfahrzeugen erzielt werden.

Ebenso praxisnah ist das Ladeverhalten. Die Batterie ist so ausgelegt, dass eine Volladung in etwa fünf Minuten möglich ist. Diese Ladezeiten verschieben die Elektromobilität aus dem Bereich der Planung zurück in den Bereich spontaner Nutzung. Unabhängig von Fahrzeugklasse oder Einsatzzweck. Für das Verge TS Pro Motorrad bedeutet das: 350 km mit einer Batterieladung, welche keine zehn Minuten benötigt. Eine Long-Range-Variante soll 600 km Reichweite bringen. Die Auslieferung mit der neuen Batterie erfolgt bereits im ersten Quartal des Jahres. Die Donut Battery kommt ohne Lithium-Ionen-Chemie aus und behält die Donut Battery selbst bei –30 °C mehr als 99 Prozent ihrer Kapazität. *(mr)*

Bild: Donut Lab

Serieneinsatz: Die Festkörper-Batterie von Donut Lab.

FESTKÖRPERBATTERIEN

Europäische Initiative zur Industrialisierung von Festelektrolyten

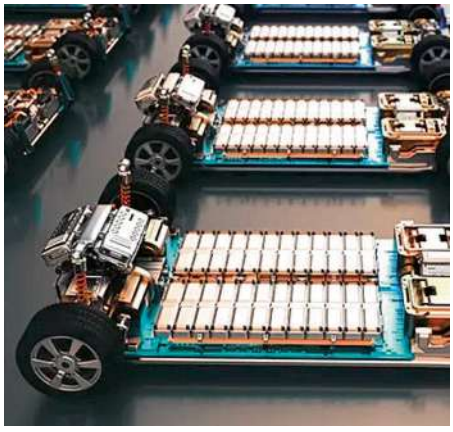


Bild: Syensqo

Europäischer Vorstoß: Die Initiative zur Industrialisierung von Festelektrolyten.

Mit der Gründung von Argylium bündeln Syensqo (Belgien) und Axens (Frankreich) ihre Kompetenzen, um einen zentralen Engpass der Batterietechnologie anzugehen: die industrielle Skalierung fortschrittlicher Festelektrolyt-Materialien für Festkörperbatterien. Das neue Unternehmen zielt darauf ab, Sulfid-basierte Festelektrolyte aus dem Pilotstadium in eine marktreife Produktion zu überführen. Trotz intensiver Forschung scheiterte der breite industrielle Einsatz bislang häufig an der Komplexität der Materialien und der fehlenden Skalierbarkeit der Produktionsprozesse. Häufig bei sulfidischen Festelektrolyten, die hohe ionische Leitfähigkeit bieten, aber anspruchsvoll in Herstellung und Verarbeitung sind.

Argylium knüpft direkt an die Vorarbeiten von Syensqo an. Das Unternehmen betreibt eine Pilotanlage für Festkörperbatterien im französischen La Rochelle und kann auf mehr als ein Jahrzehnt Forschung und Materialentwicklung in seinem Labor in Aubervilliers bei Paris zurückgreifen. Diese technologische Basis soll nun gezielt in Richtung industrieller Demonstrationsanlagen weiterentwickelt werden. Der Fokus liegt dabei auf der Beschleunigung der Industrialisierung von Sulfid-Festelektrolyten für sogenannte All-Solid-State Batteries. Ziel ist es, reproduzierbare, skalierbare Prozesse zu etablieren, die den Übergang von Labor- und Pilotmengen zu industriellen Produktionsvolumina ermöglichen. *(mr)*

LEISTUNGSDICHTE 2.000 WH/KG

Natrium-Schwefel: Laborversuch bringt günstigen Super-Akku hervor

Die Fachzeitschrift Nature berichtet über einen bedeutenden Fortschritt in der Batterietechnologie: Forscher haben eine hochvoltige Natrium-Schwefel-Batterie ohne Anode entwickelt. Diese kann theoretisch mehr als 2.000 Wattstunden pro Kilogramm (Wh/kg) erreichen. Herkömmliche Lithium-Ionen-Batterien erreichen meist nur einige Hundert Wh/kg. Die neue Natrium-Schwefel-Zelle kombiniert ein hochvalentes S/SCl_4-Redoxsystem mit einem anodenfreien Design, bei dem eine Aluminiumfolie die Natrium-Plattierung übernimmt.

Zentraler technologischer Kniff ist der Einsatz eines nicht-entzündlichen chloroaluminat-basierten Elektrolyten mit Natriumdicyanamid (NaDCA). Diese Elektrolyt-Formulierung ermöglicht es, sowohl die reversible Umwandlung zwischen Schwefel und Schwefeltetrachlorid im Kathodenmaterial freizuschalten als auch eine effiziente Plattierung und Abplattierung von Natrium an der Anodenseite zu erreichen. Im Labor erreichte die Zelle bei Messungen auf Basis der Gesamtmasse aller Elektrodenmaterialien eine Energiedichte von etwa 1.198 Wh/kg, was bereits ein sehr hoher Wert ist. Durch die zusätzliche Einbindung eines bismutkoordinierten kovalenten organischen Rahmenmaterials (Bi-COF) im Kathodenverbund konnte die Entladekapazität auf rund 1.206 mAh g^{-1} erhöht werden, was zu einer berechneten Spitzen-Energiedichte von etwa 2.021 Wh/kg führte. *(mr)*

Bild: frei lizenziert

Zukunft: Der Schwefel-Akku zeigt, wo die Reise hingeht.

ELEKTROMECHANISCHE SENSOREN

Quantensensoren im Chip

Bild: TU Wien

Nano-Sensoren: Eine neue Generation kommt ohne aufwendige, störanfällige optische Aufbauten aus.

Forscher der TU Wien haben einen Plattenkondensator mit einem Weltrekord-Elektrodenabstand von nur 32 nm entwickelt. Das ebnet den Weg für eine neue Generation hochpräziser Quantensensoren. Eine Aluminiummembran bildet zusammen mit einer Elektrode einen winzigen Kondensator, der in Kombination mit einer Spule einen Schwingkreis erzeugt, dessen Resonanz extrem empfindlich auf mechanische Schwingungsänderungen reagiert. Der entscheidende Vorteil liegt im Verzicht auf aufwendige, störungsanfällige optische Aufbauten. Besonders für die Rasterkraftmikroskopie, wo bisher optische Komponenten zum Auslesen von Vibrationen verwendet werden, eröffnet sich neues Potenzial durch vollständige Chip-Integration. Anders als bisherige Quantensensorik-Experimente, die oft Kühlung auf Temperaturen nahe dem absoluten Nullpunkt erfordern, funktionieren die neuen Strukturen unter normalen Betriebsbedingungen. Selbst bei Raumtemperatur lassen sich mikromechanische Systeme über einen GHz-Frequenzbereich koppeln. *(heh)*

QUANTENCOMPUTING IN DEUTSCHLAND

Robuste logische Quantenbits

Bild: Marcus Spee

snaQCs2025: Kick off des Projekts am 14. Januar 2026 in Köln.

Quantencomputer bieten enormes Potenzial, das für praktische Anwendungen nur existent ist, wenn man die Quantenfehler in den Griff bekommt. In den internationalen Wettlauf ist jetzt der deutsche Forschungsverbund „snaQCs2025“ eingetreten, an dem neQxt, das Fraunhofer IAF und Point 8 beteiligt sind.

Quantencomputersysteme sind extrem anfällig gegenüber Temperaturschwankungen, Vibrationen, Magnetfeldern oder Mikrowellenstrahlung, die Quantenfehler verursachen, die das Rechenergebnis verfälschen. Bei Quantenfehlerkorrekturverfahren werden Fehler in den Berechnungen von Quantencomputern gefunden und korrigiert, um die Zuverlässigkeit der Ergebnisse zu verbessern. Im Rahmen des Projekts sollen mithilfe von Simulations- und Integrationsverfahren, Software-Tools für Analyse und Optimierung sowie skalierbarer und fehlerresistenter Quantenalgorithmen robuste logische Quantenbits (Qubits) für Quantencomputing-Hardware entwickelt werden. Das Ziel besteht in der Bereitstellung einer vollständigen Entwicklungspipeline.*(kr)*

Bürklin bringt's

Save the Date:
10.03. - 12.03.2026

Meet us
@ Halle 3A- 513

embeddedworld

Jetzt kostenloses Ticket sichern!

EFFIZIENTER, EINFACHER, ROBUSTER

Neue PFC-Regelstrategie ohne Stromsensor

Ohne Stromsensor, aber mit nahezu perfektem Leistungsfaktor: Forscher der Chonnam National University zeigen, wie sich PFC-Schaltungen radikal vereinfachen lassen.

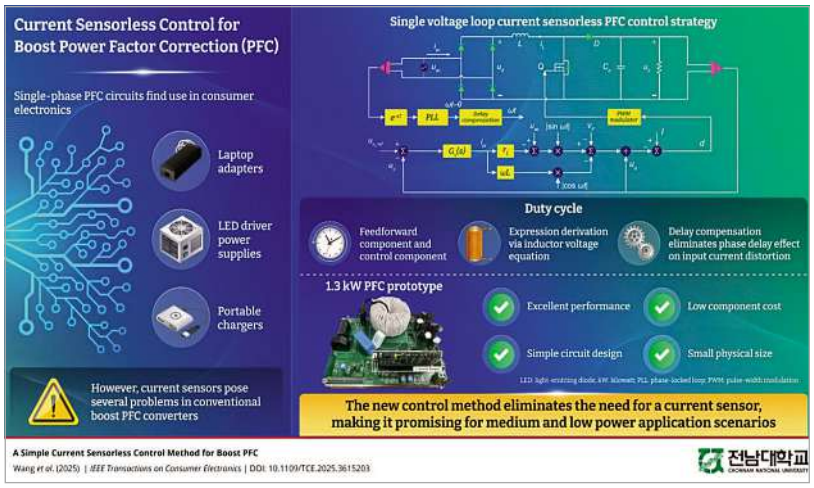


Bild: Sung-Jun Park, Chonnam National University

Effizient: Die sensorlose Boost-PFC-Regelung erreicht einen Leistungsfaktor von nahezu 0,9998 sowie geringen Verzerrungen. So sind noch kleinere und zuverlässigere Stromversorgungen möglich.

Forscher der Chonnam National University in Gwangju, Südkorea, haben eine neuartige Regelungsmethode für einphasige Boost-Leistungsfaktorkorrekturen (Power Factor Correction, PFC) vorgestellt, die vollständig ohne Stromsensor auskommt. Der Ansatz senkt Kosten und Schaltungsaufwand, reduziert Störanfälligkeit und erreicht dennoch eine sehr hohe Leistungsqualität.

Warum PFC neu denken?

PFC-Schaltungen sind der Standard in AC/DC-Frontends von Laptop-Netzteilen, LED-Treibern oder Schnellladegeräten.

Klassische Konzepte benötigen Stromsensoren, die zwar präzise messen, aber auch Nachteile mitbringen. So entsteht zusätzliches Rauschen, Verzögerungen durch Signalverarbeitung, mehr Bauteile und potenzielle Ausfallstellen. All das kann Effizienz und Zuverlässigkeit beeinträchtigen.

Das Team um Sung-Jun Park, Professor für Elektrotechnik, entwickelte eine sensorlose Ein-Spannungs-Schleifenregelung. Grundlage ist eine neu hergeleitete Tastgradgleichung, die sich ausschließlich auf Spannungsmessungen stützt. Sie kombiniert einen Feedforward-Anteil mit einem Regelanteil, abgeleitet aus der fundamentalen Spulen-Spannungsgleichung.

Ein entscheidendes Detail ist die integrierte Verzögerungskompensation: Digitale Regler leiden oft unter Phasenverzögerungen durch Abtastung und Verarbeitung, was den Eingangsstrom verzerren kann. Die neue Methode gleicht diesen Effekt gezielt aus und hält den Strom nahezu sinusförmig.

„Wir adressieren ein typisches Problem digitaler Leistungselektronik – die Phasenverzögerung – direkt im Regelgesetz. Die Kompensation ist ein Hauptgrund für die sehr hohe Stromqualität", erklärt Prof. Park.

Ergebnisse aus der Praxis

Validiert wurde das Konzept an einem 1,3-kW-Prototyp, einer Leistungsklasse mit hoher Relevanz für Konsum- und Industriegeräte. Die Messergebnisse sind bemerkenswert. Ein Leistungsfaktor bis 0,9998, ein Gesamtklirrfaktor (THD) von 2,12 % bei Volllast und eine stabile Leistungsfähigkeit über einen weiten Lastbereich. Damit erreicht der sensorlose Ansatz mindestens die Qualität klassischer, stromsensorbasierter Regelungen, bei geringerer Komplexität.

Für Hersteller gibt es viele Vorteile. Die Lösung verzichtet auf Beobachtermodelle und komplexe mathematische Schätzverfahren. Das bringt gleichzeitig mehrere praktische Vorteile:

- weniger Bauteile, kleinere Bauform
- geringere Kosten und höhere Zuverlässigkeit
- unempfindlicher gegenüber Bauteiltoleranzen
- einfache Integration auf gängigen Digital-Signal-Prozessoren (DSPs)

Für die Serienfertigung bedeutet das, dass keine zusätzlichen Sensoren und kein aufwendiges Redesign notwendig ist. Eine schnellere Umsetzung in bestehenden Produktionslinien ist somit möglich.

Die Forscher sehen frühe Einsatzfelder bei Notebook-Netzteilen, Smartphone-Schnellladern, Monitor- und TV-Netzteilen, Server-PSUs sowie Elektrowerkzeugen. Langfristig könnte die breite Einführung nicht nur Geräte kleiner, leichter und günstiger machen, sondern auch die Netzqualität verbessern – durch sauberen Strom mit hohem Leistungsfaktor und niedriger Oberschwingungsbelastung. Die Arbeit wurde am 30. September 2025 bei IEEE Transactions on Consumer Electronics veröffentlicht. *(mr)*

OPTOAKUSTISCHE BILDGEBUNG

Laser-Ultraschall stellt Gefäße durch die Haut dreidimensional dar

Die Fast-RSOM-Technologie (Raster-Scan-Optoakustische Mesoskopie) demonstriert exemplarisch, wie die intelligente Kombination etablierter Technologien völlig neue Anwendungsfelder erschließen kann. Das innovative System nutzt Nanosekunden-Laserpulse zur thermoelastischen Erzeugung von Ultraschallwellen und erreicht dabei Einzelkapillar-Auflösung bei einer Eindringtiefe von mehreren Millimetern – Leistungsparameter, die bisher ausschließlich teure, stationäre Bildgebungssysteme liefern konnten.

Für Elektronikentwickler stellten sich erhebliche technische Herausforderungen: Die Integration kompakter, stabiler Lasersysteme für reproduzierbare Pulserzeugung erforderte innovative Miniaturisierungsansätze, während die Entwicklung hochauflösender Ultraschall-Arrays in tragbarem Format neue Wege in der Sensorintegration aufzeigte. Besonders kritisch erwies sich das Thermomanagement für sichere Laserleistung bei kompakter Bauweise sowie die echtzeitfähige Signalverarbeitung. Aus optoakustischen Rohdaten müssen in Echtzeit hochauflösende 3D-Bilder berechnet und gleichzeitig quantitative Biomarker für medizinische Diagnosen extrahiert werden. Diese komplexe Datenverarbeitung erforderte optimierte Algorithmen und leistungsstarke Embedded-Computing-Lösungen.

Das Marktpotenzial erstreckt sich weit über die klassische Medizintechnik hinaus und könnte eine völlig neue Gerätekategorie für portable Hochleistungs-Bildgebung etablieren. Die Technologie arbeitet ohne Kontrastmittel oder ionisierende Strahlung und nutzt natürlichen Kontrast durch Hämoglobin, was erhebliche regulatorische Vorteile bietet. Zielfelder umfassen Point-of-Care-Diagnostik, Präventivmedizin, Therapiemonitoring und mobile Gesundheitsüberwachung. Kostenoptimierung gegenüber stationären Systemen und die Erschließung des rapid wachsenden Marktes für präventive Diagnostiklösungen bieten erhebliches Geschäftspotenzial für innovative Elektronikentwickler. Der Weg zur Marktreife erfordert noch umfassende Patientenvalidierung und medizinische Zulassung, doch die bereits demonstrierte Grundlagentechnologie zeigt das enorme Innovationspotenzial optoakustischer Systeme. *(heh)*

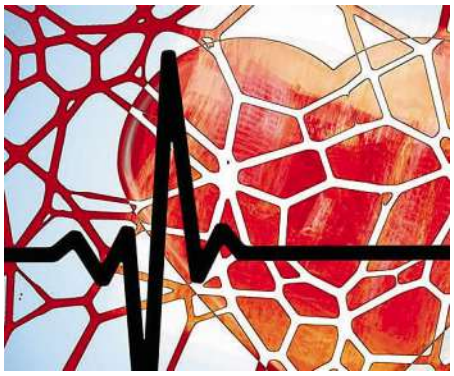


Bild: frei lizenziert

Medizinische Bildgebung: Frühe Anzeichen von Herzkrankheiten lassen sich durch die Haut erkennen.

Entwickelt für maximale Energieeffizienz

Jedes Watt im Blick, jedes Mikroampere einsparen

Sind Sie es leid, unnötig viel Strom zu verbrauchen, nur um den Stromverbrauch zu messen? Möchten Sie Echtzeit-Warnmeldungen zum Schutz Ihres Systems erhalten, ohne dabei Effizienz einzubüßen? Mit dem PAC1711 und PAC1811 müssen Sie nicht länger die Batterielebensdauer opfern, nur um den Stromverbrauch Ihres Systems zu überwachen.

Im Vergleich zu herkömmlichen digitalen 12- und 16-Bit-Strommonitoren reduzieren der PAC1711 und PAC1811 den Stromverbrauch um 50%. Mit beiden Bausteinen lässt sich der Stromstatus überwachen, ohne die Batterie zu belasten, um so die Betriebszeit und Effizienz in jeder batterieabhängigen oder Notstromanwendung zu maximieren.

Optimieren Sie Ihr nächstes Projekt mit dem PAC1711 und dem PAC1811 – die perfekte Kombination aus Effizienz, Sicherheit und einfacher Integration.

MICROCHIP

microchip.com/MorePowerInsight

Der Name Microchip und das Microchip-Logo sind eingetragene Warenzeichen von Microchip Technology Incorporated in den USA und in anderen Ländern. Alle anderen Marken sind im Besitz der jeweiligen Eigentümer.
© 2026 Microchip Technology Inc. Alle Rechte vorbehalten.
MEC2637A-GER-02-26

MAGNETSCHALTER

In-plane-Magnetsensor bietet mehr Empfindlichkeit

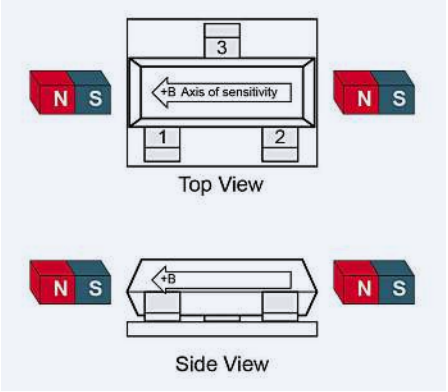


Bild: TI

Bild 1: Aufbau des Hall-Effekt-Schalters TMAG5134.

Parameter	TMAG5134	AMR-Schalter	TMR-Schalter	Reed-Schalter
Erfassungs-richtung	In-plane (X-Achse)	In-plane (X-Achse)	In-plane (X-Achse)	In-plane (X-Achse)
Kosten	niedrig	hoch	hoch	hoch
Stromauf-nahme	0,6 µA	< 0,1 µA	< 0,05 µA	0
Typische Ansprechschwelle	1 mT	ca. 3 mT	0,3 mT	< 5 mT

Quelle: TI

Tabelle 1: Vergleich der Eigenschaften des TMAG5134 mit anderen In-plane-Magnetschaltern.

VERFASST VON

Rishi Ramabadran

Product Marketing Engineer Position Sensing
Texas Instruments

Die in immer mehr Anwendungen anzutreffenden Magnetschalter müssen nicht selten Magnetfelder detektieren, die horizontal, d. h. parallel zur Leiterplatte verlaufen (so genannte In-plane-Felder). Die größte Verbreitung haben AMR- und TMR-Sensoren (anisotroper magnetoresistiver Effekt bzw. Tunnel-Magnetoresistanz) und Reed-Schalter.

Während sich bei AMR- und TMR-Elementen der Widerstand abhängig von Richtung und Stärke des Magnetfelds verändert, bestehen Reed-Schalter aus zwei, in ein Glasröhrchen eingeschmolzenen ferromagnetischen Kontaktzungen, die sich unter dem Einfluss eines hinreichend starken Magnetfelds berühren und einen elektrischen Kontakt herstellen. Nachteilig an Reed-Schaltern ist ihre begrenzte Zahl von Schaltzyklen sowie die Tatsache, dass Magnetfelder nicht besonders genau detektiert werden können. Hinzu kommt das Risiko von Debounce-Effekten (Entprellen), wenn sich die Kontakte wieder trennen. AMR- und TMR-Sensoren sind teuer in der Herstellung, denn sie erfordern einen komplexen Aufbau verschiedener metallischer Schichten, die zudem magnetisiert werden müssen.

Aufgrund dieser Situation wächst die Nachfrage nach Hall-Effekt-Sensoren, die bezüglich der Empfindlichkeit und des Stromverbrauchs mit den anderen populären Magnetschaltern vergleichbar sind, aber den Vorteil der Skalierbarkeit und der größeren Wirtschaftlichkeit haben. Der In-plane-Halleffekt-Schalter TMAG5134 (Bild 1) besitzt zudem einen eingebauten, aus zwei Metallplatten bestehenden Magnetfeld-Konzentrator, der das Magnetfeld auf das darunterliegende Sensorelement fokussiert und Magnetfelder erfassen kann, die für den Sensor eigentlich zu schwach wären. Tatsächlich kann der TMAG5134 Felder von 1 mT detektieren, was die Verwendung kleinerer, kostengünstigerer Magnete ermöglicht.

Günstig wirkt sich der integrierte Magnetfeld-Konzentrator auch auf den Stromverbrauch des Bausteins aus, denn aufgrund der Fokussierung des Magnetfelds kann der Sensor mit einem geringeren Strom angesteuert werden – 0,6 µA reichen aus. Die In-plane-Charakteristik sorgt für mehr Flexibilität, wenn Magnetfelder erfasst werden müssen, die parallel zur jeweiligen Leiterplatte verlaufen.

Man könnte hierfür auch auf einen Hall-Effekt-Schalter im TO-92-Gehäuse zurückgreifen, jedoch wäre hier mehr Leiterplattenfläche erforderlich. Als Hall-Effekt-Schalter kommt der Baustein überdies ohne bewegliche Kontakte aus, was gegenüber mechanischen Schaltern den Vorteil des geringeren Verschleißes mit entsprechend höherer Zuverlässigkeit bietet.

Mit dem Simulator TIMSS (Texas Instruments Magnetic Sense Simulator) bietet TI ein Tool an, mit dem sich das Magnetfeld und das Ausgangssignal des Sensors abhängig von der Platzierung von Sensor und Magnet simulieren lässt. Unterschiedliche Systemtoleranzen lassen sich auf diese Weise mit wenig Aufwand untersuchen. Man erhält neben einer 3D-Visualisierung des Magnetfelds auch eine Angabe des zu erwartenden Ausgangssignals. Eine Übersicht über die Kosten, den Stromverbrauch und die Ansprechschwellen der einzelnen Lösungen bietet Tabelle 1.

In-plane-Hall-Effekt-Schalter eignen sich für zahlreiche Anwendungen. Beispiele aus dem Smart-Home-Sektor sind Tür- und Fenstersensoren und intelligente Türschlösser. Damit lässt sich der Öffnung- und Verriegelungszustand von Fenstern und Türen sicher feststellen, während gleichzeitig eine lange Batterielebensdauer erzielt wird. Zu den Anwendungen in der Consumer-Elektronik gehören Notebooks, Tablets und Kopfhörer.

In der Energieversorgungs-Infrastruktur lassen sich beispielsweise Gas- oder Wasserzähler durch eine Wischbewegung mit einem Magneten in den Diagnosemodus versetzen, und auch die Nutzung externer Magnete zum Manipulieren von Zähleinrichtungen lässt sich mit diesen Sensoren feststellen. *(kr)*

REGELUNGSARTEN BEI SPANNUNGSWANDLERN

Was Sie über die Regelschleife wissen müssen

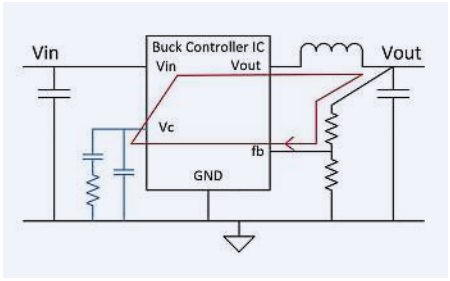


Bild: ADI

Bild 1: Die Regelschleife eines getakteten Spannungswandlers nach dem abwärtswandelnden ‚Buck'-Prinzip ist in Rot dargestellt.

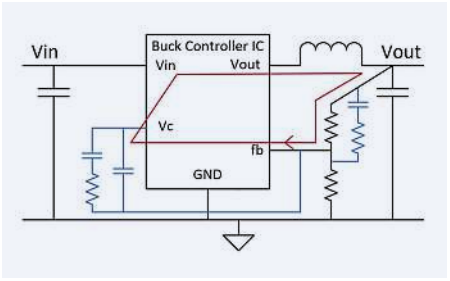


Bild: ADI

Bild 2: Bei der Voltage-Mode-Regelung ist eine umständliche Kompensation der Regelschleife am Kompensationspin sowie parallel zum oberen Feedback-Widerstand notwendig.

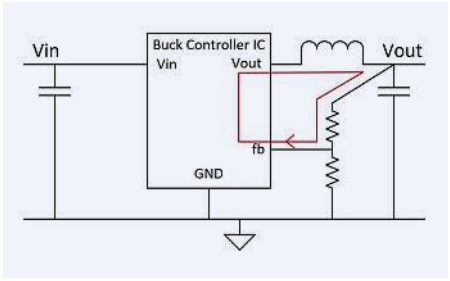


Bild: ADI

Bild 3: Hysterese-Regelung mit höherer Spannungswelligkeit am Ausgang, aber ohne Kompensationskomponenten.

Spannungswandler erzeugen die richtige Versorgungsspannung für elektronische Schaltungen. Bei der Auswahl eines Spannungswandlers achtet man auf die maximale Stromfähigkeit und den zulässigen Bereich der Eingangsspannung, damit er in einer Schaltung problemlos eingesetzt werden kann. Zusätzlich gibt es noch weitere Eigenschaften der Spannungswandler, welche ebenfalls bei der Auswahl berücksichtigt werden. Eine ganz wesentliche ‚Eigenart' eines getakteten Spannungswandlers ist die Art der Regelung, also der Regelschleife. Welche Regelungsart bietet welche Vorteile? Worauf ist bei der Auswahl zu achten?

Current-Mode-Regelung: Die meisten Spannungswandler nutzen die Regelungsarchitektur ‚Current Mode'. Sie vergleicht die Abweichung der Ausgangsspannung vom Sollwert mit einer Sägezahn-Spannungsrampe, welche abhängig vom Spulenstrom ist. Durch diesen Spannungsvergleich mit einem im Schaltregler-IC integrierten Operationsverstärker, auch Fehlerverstärker genannt, wird ein Taktzyklus terminiert. Der Taktzyklus wird anhand des Spulenstroms und der Abweichung der Ausgangsspannung vom Sollwert eingestellt. Das bietet einige Vorteile. Die Regelung kann direkt auf Veränderungen des Spulenstroms, beispielsweise bei Eingangsspannungsveränderungen, reagieren. Eine Überstrombegrenzung lässt sich mit dieser Regelart leicht umsetzen.

Der wohl wichtigste Vorteil der Current-Mode-Regelung ist die einfache Kompensation. Die Kompensation bestimmt im Wesentlichen mit zwei Kondensatoren und einem Widerstand am Kompensationspin die Stabilität sowie die Geschwindigkeit der Regelschleife. Bild 1 zeigt die Regelschleife eines Abwärtswandlers (Buck Controller). Die Kompensationskomponenten sind bei manchen Spannungswandler-ICs nicht extern, sondern eingebaut. Das macht die Anwendung einfacher, jedoch ist die Auswahl von Leistungsstufe, Induktivität und Ausgangskapazität dadurch eingeschränkt.

Voltage-Mode-Regelung: Beim Voltage-Mode-Konzept wird die Ausgangsspannung ähnlich geregelt, jedoch der Spulenstrom nicht berücksichtigt. Das birgt einige Nachteile. Wenn sich die Eingangsspannung verändert, reagiert die Regelung erst, nachdem die Ausgangsspannung durch diese Veränderung ihren Sollwert verlassen hat. Das kann zu einer verzögerten Regelung führen. Bei Voltage-Mode-Reglern muss eine Strombegrenzung hinzugefügt werden, wenn die Spannungsversorgung eine Laststrombegrenzung benötigt.

Der wohl gravierendste Nachteil dieser Regelungsart liegt jedoch darin, dass die Kompensation sehr viel komplexer eingestellt werden muss. Üblicherweise wird eine Typ-3-Kompensation benötigt, was bedeutet, dass zwei Widerstände und drei Kondensatoren am Kompensationspin passend ausgewählt werden müssen. Auch ändert sich bei dieser Regelart die Stabilität beim Wechsel zwischen Volllast (Constant Current Conduction, CCM-Modus) und Teillast (Discontinuous Current Conduction, DCM-Modus). Das kann bei manchen Anwendungen die Kompensation zusätzlich erschweren. Aus diesen Gründen kommen heute nur noch selten neue Voltage-Mode-Regler auf den Markt. Bild 2 zeigt einen Voltage-Mode-Regler mit einer entsprechenden Typ-3-Kompensation. Die Kompensationskomponenten sind in Blau dargestellt.

Hysteretic-Mode-Regelung: Daneben gibt es noch eine dritte Regelart. Diese Regler nutzen im Rückkoppelpfad einen Hysterese-Komparator und richten ihre Schaltzeitpunkte und das Taktverhältnis nach dem Zustand der Ausgangsspannung. Diese Regler sind per Definition instabil. Somit ist keine Regelschleifenkompensation notwendig. Diesem Vorteil stehen jedoch einige Nachteile gegenüber. Die Taktfrequenz des Hysterese-Reglers ist nicht fest vorgegeben, sondern ändert sich je nach Eingangsspannung, Laststrom und anderen Zuständen. Auch ist die Ausgangsspannungswelligkeit höher als bei einem Current-Mode- oder Voltage-Mode-Regler. Hysterese-Regler werden häufig missverstanden, da es unterschiedliche Bezeichnungen für viele verschiedene Derivate dieser Variante gibt. Verbesserungen wie ‚Constant On Time Control' sollen die Nachteile dieser Regelung minimieren. *(kr)*

Bild: ADI

VERFASST VON

Frederik Dostal

Field Application Engineer für Power Management

Analog Devices

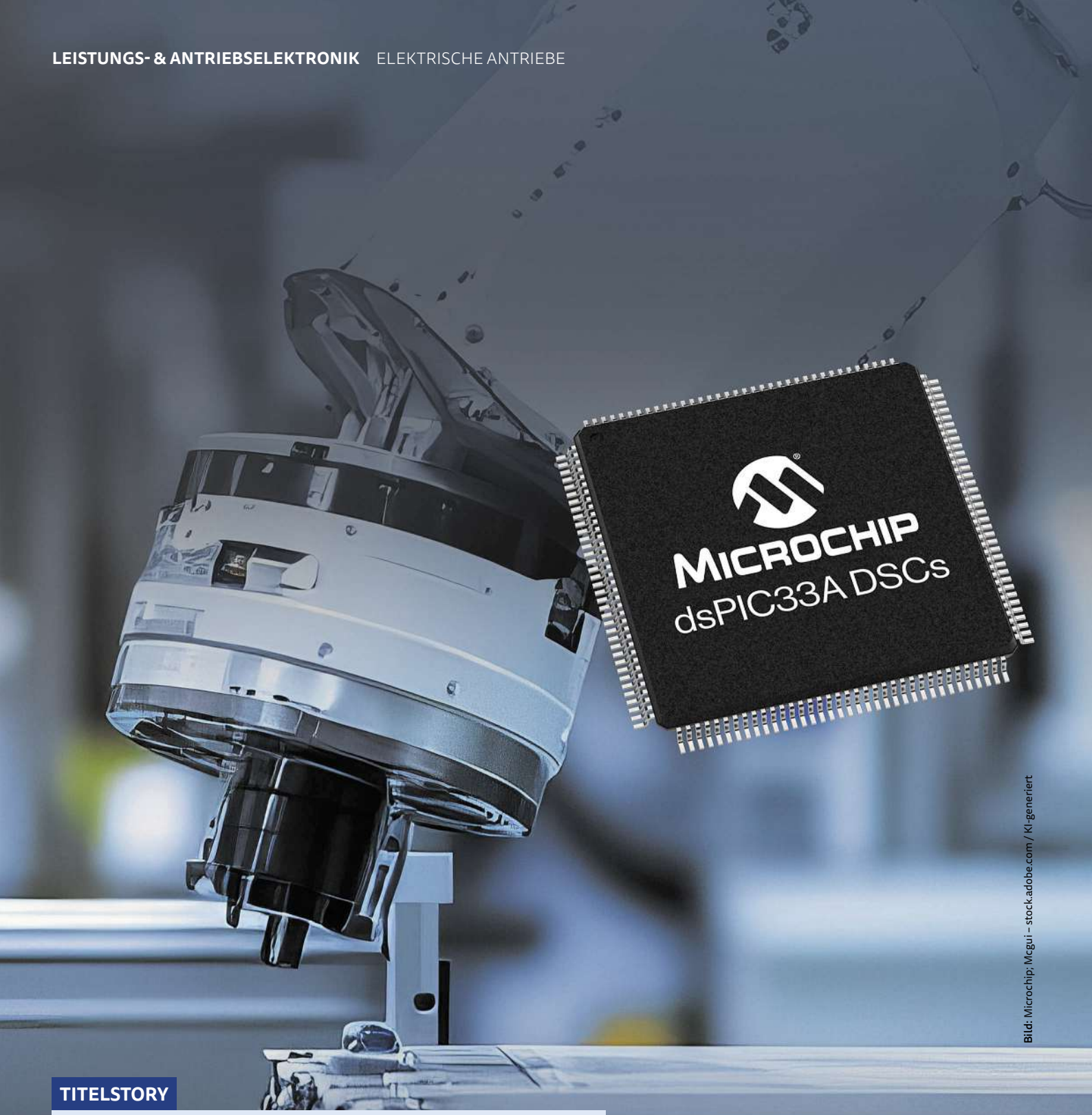


Bild: Microchip; Mcgui – stock.adobe.com / KI-generiert

TITELSTORY

Energieverbrauch und Effizienz

Laut der US Energy Information Administration (EIA) entfallen etwa 50 Prozent des weltweiten Energieverbrauchs auf Motoren. In industriellen Anwendungen kann dieser Anteil sogar über 80 Prozent betragen. Im Jahr 2022 betrug der Gesamtenergieverbrauch in den USA 4,07 Billionen kWh, was einem täglichen Verbrauch von 11,2 Mrd. kWh entspricht. Eine Verbesserung der Motoreffizienz um nur 1 Prozent könnte täglich 56 Mio. kWh Energie einsparen. Umgerechnet entspricht diese Energiemenge dem täglichen Strombedarf von mehreren Millionen Haushalten. Schon kleine Effizienzsteigerungen bei Motoren haben daher ein enormes Potenzial, Betriebskosten zu senken, Netze zu entlasten und den CO_2-Ausstoß spürbar zu reduzieren.

VOM MOTOR ZUM SYSTEM

Motorsteuerungen auf Energieeffizienz trimmen

Motoren verbrauchen weltweit viel Energie. Entscheidend ist daher eine effiziente Steuerung. Der Artikel beleuchtet Motorenaufbau, Frequenzumrichter und Lösungen für Motorsteuerungsanwendungen.

Motoren sind aus unserem Alltag nicht mehr wegzudenken und finden sich in Haushaltsgeräten wie Waschmaschinen, Trocknern, Geschirrspülern und Gartenpumpen. Auch im Fahrzeugbereich sind sie unverzichtbar: Moderne Autos enthalten je nach Modell und Ausstattungsvariante zwischen 40 und 100 Motoren. Im industriellen Einsatz werden Motoren besonders in der Robotik und Fabrikautomation benötigt.

Wichtigste Trends bei der Motoreffizienz

Energieeffiziente Motoren: Einer der wichtigsten Trends bei der Motoreffizienz ist der Übergang von herkömmlichen Motoren, wie AC-Induktionsmotoren, zu effizienteren Typen wie bürstenlosen DC-Motoren (BLDC), Permanentmagnet-Synchronmotoren (PMSM) und Permanentmagnetmotoren mit Innenmagnet (IPM). Diese Motoren bieten einen höheren Wirkungsgrad und verbesserte Leistungsfähigkeit. Darüber hinaus haben Fortschritte bei den Materialien, z. B. der Einsatz amorpher Metalle und Seltenerdmagnete, die Motoreffizienz weiter verbessert.

Motoraufbau und -materialien

Im Bereich der Motortechnik haben Fortschritte bei Materialien und Aufbau die Effizienz und Leistungsfähigkeit von Motoren im letzten Jahrhundert erheblich verbessert. Erst durch die Analyse der Bauteile und ihrer Weiterentwicklungen wird nachvollziehbar, wie die Effizienzsteigerungen erreicht wurden.

Ein Motor besteht aus Endkappen, einem Rotor, Lagern und einem Stator mit Wicklungen. Im Laufe der Jahre haben sich die in diesen Komponenten verwendeten Materialien weiterentwickelt. So hat der Übergang von Aluminium zu Kupfer in den Rotor- und Statorwicklungen die Leitfähigkeit und Effizienz verbessert. Zudem haben Fortschritte bei den Fertigungstoleranzen zu weniger Geräuschentwicklung und noch mehr Effizienz geführt.

Ein bemerkenswerter Trend in der Motortechnik sind amorphe Materialien in Rotoren und Statoren. Traditionell wurden Siliziumstähle verwendet, die jedoch hohe Wirbelstrom- und Hystereseverluste aufwiesen. Diese werden nun durch amorphe Materialien wie metallische Gläser ersetzt, die geringere Verluste und damit einen höheren Wirkungsgrad aufweisen. Auch im Bereich der Permanentmagnetmotoren gab es bedeutende Verbesserungen. Stärkere Magnete, z. B. aus Seltenerdmetallen wie Neodym, Eisen und Bor, bieten ein höheres Drehmoment

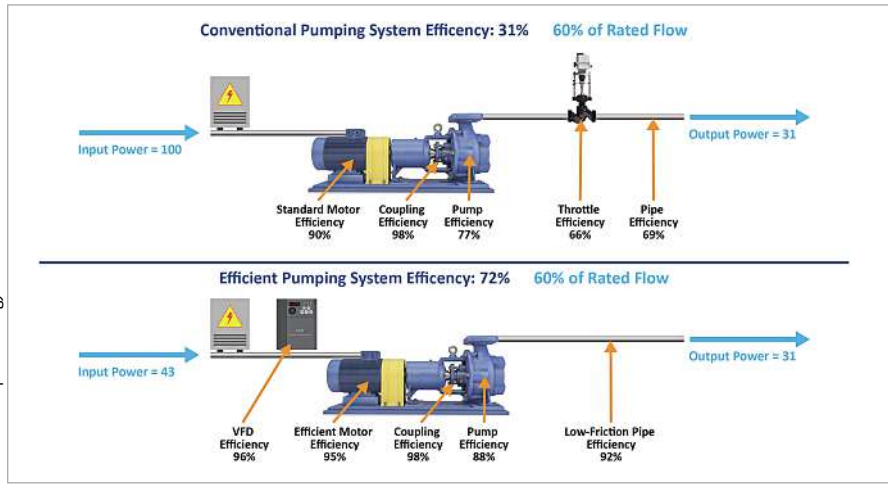


Bild: Microchip Technology

Bild 1: Technische und wirtschaftliche Überlegungen zur Anwendung von drehzahlvariablen Antrieben in elektrischen Motorsystemen.

Bild: Microchip Technology

VERFASST VON
Pramit Nandy
Product Marketing Manager
Microchip Technology

und einen höheren Wirkungsgrad. Aus Gründen der Nachhaltigkeit werden jedoch Alternativen wie Magnete auf Aluminium-, Nickel-, Chrom- und Ferritbasis erforscht. Sie weisen über einen breiten Temperaturbereich und bei starken Magnetfeldern gute Eigenschaften auf.

Der Übergang von Gleitlagern zu Kugellagern hat maßgeblich zu weniger Reibung und verbesserten Toleranzen geführt und damit die Effizienz der Motoren erhöht. Im Laufe des letzten Jahrhunderts sind Motoren bei gleicher Leistungsabgabe erheblich kleiner geworden. So ist ein moderner 5-PS-Drehstrom-Induktionsmotor mit Käfigläufer wesentlich kleiner und wiegt nur etwa 20 Prozent dessen, was ein Motor mit derselben Nennleistung im Jahr 1910 wog. Diese Verkleinerung ist auf leichtere und effizientere Materialien sowie auf fortschrittlichere thermische und elektrische Isolierungen zurückzuführen. Leichtere Motoren sind besonders vorteilhaft für Fahrzeuganwendungen, wo geringeres Gewicht zu mehr Effizienz und der Möglichkeit führt, Motoren in kompaktere Räume zu integrieren. Die Auswirkungen dieser Fortschritte sind tiefgreifend und führen zu effizienteren Motorsystemen.

Kontinuierlich verbesserte Motormaterialien und Motordesigns haben zu erheblichen Fortschritten bei Effizienz und Leistungsfähigkeit geführt. Von der Verwendung amorpher Materialien und stärkerer Magnete bis hin zur Weiterentwicklung von Lagern und Miniaturisierung von Motoren – diese Neuerungen treiben die Zukunft der Motortechnik voran. Da wir weiterhin neue Materialien und

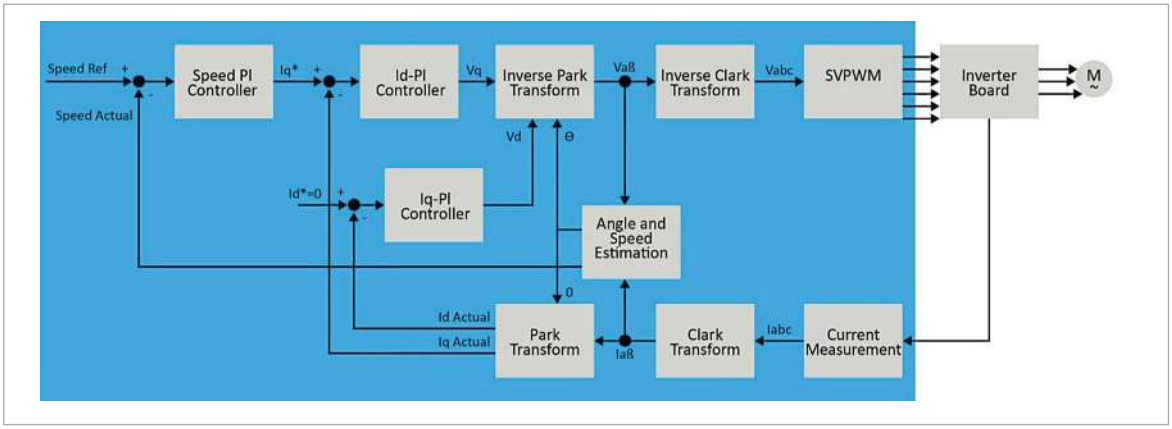


Bild 2: FOC kann je nach Motortyp und Anwendungsanforderungen mit oder ohne Sensoren implementiert werden.

Bild: Microchip Technology

Designs erforschen, bleibt das Potenzial für noch mehr Effizienz und Leistungsfähigkeit in Motorsystemen vielversprechend.

Einsatz von Frequenzumrichtern (VFD)

Frequenzumrichter (VFD; Variable Frequency Drives) werden zunehmend für die Drehzahlreglung von Motoren und mehr Effizienz eingesetzt. VFD passen die Drehzahl des Motors an die Lastanforderungen an und reduzieren so den Energieverbrauch. Der Übergang von isolierten Gate-Bipolartransistoren (IGBTs) zur Siliziumkarbid-/SiC-Technologie in VFD hat ebenfalls zu höherer Effizienz und schnelleren Schaltzeiten beigetragen.

VFD haben die Motorsteuerung revolutioniert, indem sie eine präzise Steuerung der Motordrehzahl und des Drehmoments ermöglichen. Sie optimieren die Motorleistung und verbessern die Systemeffizienz erheblich. Ein VFD passt die dem Motor zugeführte Frequenz und Spannung an, sodass dieser bei einer bestimmten Last mit maximaler Effizienz arbeiten kann. Herkömmliche Motorsysteme (z. B. Pumpenmotoren) arbeiten oft mit Volllast, wobei die Durchflussmenge durch Drosselventile geregelt wird, was zu erheblichen Energieverlusten führt. Im Gegensatz dazu erübrigen VFD eine Drosselung, indem sie die Motordrehzahl an die erforderliche Durchflussrate anpassen und so den Energieverbrauch senken und die Gesamteffizienz des Systems erhöhen. Studien haben gezeigt, dass durch die Umstellung auf einen Frequenzumrichter die Effizienz eines Motorsystems von etwa 31 auf 72 Prozent mehr als verdoppelt werden kann.

Bild 3: Vergleich der verschiedenen Regelalgorithmen.

Algorithm	Applicable Motors	Notes
Open Loop (V/F)	ACIM	Low Cost
Six-step Sinusoidal	PMSM	Low Noise
Six-step Trapezoidal (sensorless BEMF)	PMSM, BLDC	Low Cost Good torque control at moderate and high speeds
Six-step Trapezoidal (with sensored feedback)	PMSM, BLDC	Good torque control at all speed ranges
Field Oriented Control (with sensor-less feedback)	Permanent Magnet Synchronous Motor (PMSM), Brushless Direct Current (BLDC), AC Induction Motor (ACIM)	High efficiency Excellent torque control Low cost
Field Oriented Control (with sensored feedback)	PMSM, BLDC	High efficiency Excellent torque control

Bild: Microchip Technology

Lösungen und Hardware-Support

Microchip stellt Komponenten für Motorsteuerungsanwendungen bereit. Dazu gehören unter anderem Mikrocontroller, Gate-Treiber, Leistungselektronik und Sensoren. Ergänzend werden Hardwareunterstützung und Algorithmen für die Ansteuerung von Motoren angeboten. Die Hardware von Microchip beschleunigt die Entwicklung von Motorsteuerungssystemen und optimiert die Leistungsfähigkeit und Effizienz. Für VFD bietet das Unternehmen AC/DC-Wandler und Wechselrichter mit hocheffizienten SiC-MOSFETs und fortschrittlichen Gate-Treibern für präzises Schalten. Die Wechselrichter, die über die Digital-Signal-Controller (DSC) dsPIC gesteuert werden, wandeln DC in AC mit variabler Frequenz um und sorgen so für einen effizienten Motorbetrieb. Integrierte Sensoren liefern Echtzeit-Rückkopplung zu Strom, Spannung und Temperatur und erhöhen so die Zuverlässigkeit des Systems. Microchip bietet auch Evaluierungs- und Entwicklungsboards, Referenzdesigns, Softwarebibliotheken und Entwicklungstools, um die Entwicklungsarbeit zu unterstützen und komplexe Motorsteuerungsalgorithmen einzubinden.

Fortschrittliche Steuerungsalgorithmen

Algorithmen sind für die Optimierung von Motorsteuerungssystemen von grundlegender Bedeutung. Herkömmliche Methoden, wie die V/f-Steuerung für AC-Induktionsmotoren, sind kostengünstig und unkompliziert, bieten jedoch nicht die höchste Effizienz. Fortschrittlichere Algorithmen, wie die Sechs-Stufen-Kommutierung für BLDC- und PMSM-Motoren, bieten eine bessere Drehmomentsteuerung und können sensorbasiert oder sensorlos sein. Der effizienteste Algorithmus ist die feldorientierte Regelung (FOC), die einen hohen Wirkungsgrad, geringe Geräuschentwicklung und eine hervorragende Drehmoment- und Drehzahlleistung bietet. FOC kann je nach Motortyp und Anwendungsanforderungen mit oder ohne Sensoren implementiert werden. Die Motorsteuerungslösungen von Microchip enthalten fortschrittliche Algorithmen wie FOC, maximales Drehmoment pro Ampere (MTPA, Maximum Torque per Ampere) und Feldschwächung, um den Wirkungsgrad und die Leistungsfähigkeit zu maximieren. Diese Algorithmen werden von Tools wie der MPLAB motorBench Development Suite unterstützt, die das Implementieren und Optimieren von Steuerungsalgorithmen erleichtert. Darüber hinaus bietet Microchip Funktionen für maschinelles Lernen zur vorausschauen-

den Wartung. Dies stellt einen optimalen Motorbetrieb mit maximaler Effizienz sicher und reduziert das Risiko unerwarteter Ausfälle. Der Zero-Speed/Maximum-Torque-(ZS/MT-)Steuerungsalgorithmus ist eine neue Variante des sensorlosen FOC-Algorithmus. Er ermöglicht sensorlose Steuerungstechniken in Anwendungen mit hohem Drehmoment oder niedriger Drehzahl. ZS/MT erübrigt Hall-Effekt-Sensoren, indem es eine zuverlässige Methode zur Ermittlung der Ausgangsposition (IPD, Initial Position Detection) auf Basis von Hochfrequenz-Einspeisung (HFI) verwendet, um die genaue Rotorposition bei Null- und niedrigen Drehzahlen zu bestimmen.

Integration mit IoT und KI/ML

Techniken aus dem Bereich des IoT und der KI haben die Motorsteuerung revolutioniert. Sensoren spielen dabei eine entscheidende Rolle. Sie sind für die Erfassung von Strom, Drehmoment und Rotorposition unerlässlich. Diese Sensoren liefern Daten an Mikrocontroller, die diese Informationen verarbeiten. Durch die Integration von Algorithmen für maschinelles Lernen können diese Systeme vorausschauende Wartungsmaßnahmen durchführen, indem sie Sensordaten analysieren, um potenzielle Motorausfälle oder Wartungsbedarf vorherzusagen. Diese Fähigkeit ist besonders in industriellen Umgebungen von Vorteil, wo unerwartete Motorausfälle zu erheblichen Ausfallzeiten und finanziellen Verlusten führen können. Vorausschauende Wartung stellt sicher, dass Motoren mit maximaler Effizienz und Leistungsfähigkeit arbeiten, was die Wahrscheinlichkeit unerwarteter Ausfälle verringert.

Vorausschauende Wartung nutzt Sensoren und Algorithmen für maschinelles Lernen, um den Zustand des Motors zu überwachen und potenzielle Probleme zu erkennen, bevor sie zu Ausfällen führen. Durch die kontinuierliche Analyse von Parametern wie Strom, Drehmoment und Vibration gewährleistet sie einen effizienten Motorbetrieb und minimiert Ausfallzeiten. Dieser Ansatz ist besonders vorteilhaft in industriellen Umgebungen, in denen unerwartete Motorausfälle zu erheblichen Produktionsausfällen führen können. Die Demo-Anwendung von Microchip veranschaulicht die vorausschauende Wartung für Motoren mithilfe der MPLAB Machine Learning Development Suite in Verbindung mit dem dsPIC LVMC Motor Control Board. Das System verwendet ein Klassifizierungsmodell, um den Betriebszustand eines Motors zu bestimmen und durch Überwachung des I_q-Stroms festzustellen, ob der Motor normal funktioniert oder Anomalien wie eine unausgeglichene Last oder ein defektes Lager aufweist.

Fazit

Eine optimierte Motorsteuerung im Hinblick auf Energieeffizienz ist entscheidend, um den weltweiten Energieverbrauch zu senken und die Leistungsfähigkeit verschiedener Anwendungen zu verbessern. Effiziente Motoren, Frequenzumrichter, fortschrittliche Steuerungsalgorithmen sowie IoT- und KI-Technologien sorgen für erhebliche Energieeinsparungen. Development-Kits bieten eine Reihe von Lösungen, diese Bemühungen zu unterstützen. Hardware, Software und Know-how stehen bereit, um die Entwicklung effizienter Motorsteuerungen zu gewährleisten. Da die Nachfrage nach energieeffizienten Lösungen weiter wächst, werden Fortschritte im Bereich Motorsteuerung eine entscheidende Rolle spielen. *(mr)*

Die neue Generation.
Für anspruchsvollen Einsatz.
Stark. Zuverlässig.

- Von 75 W bis 960 W
- Wirkungsgrad bis zu 96 %
- Kompakte Bauform – Platzsparend im Schaltschrank
- Betriebstemperaturbereich: -40 °C bis +70 °C
- Geringe Leerlaufleistung
- Überspannungskategorie OVC III
- Zertifiziert nach EN 62368-1, EN 61558-1/-2-16, UL/EN 61010

Design-In Support:
support@fortec-power.de
+49 61 58 82 85-0

embeddedworld
Exhibition&Conference

WIR SIND DABEI | Stand 1-562
kostenfreies Ticket mit Code:
EW26583372

FORTEC
POWER
www.fortec-power.de

NEUE GENERATION INDUSTRIELLER EINBAUNETZTEILE

Neue Schaltungstopologien für höhere Leistungsdichte

Steigende Anforderungen an Wirkungsgrad, Leistungsdichte und Zuverlässigkeit treiben die Weiterentwicklung industrieller Einbaunetzteile voran. Neue Topologien ermöglichen mehr Leistung auf kleinerem Raum. Neue Freiheitsgrade im Gerätekonzept entstehen.

VERFASST VON
Frank Stocker
Field Application Engineer Power Supplies
Schukat electronic

In der Elektronikindustrie steigen die Anforderungen stetig in Bezug auf Wirkungsgrad, Spitzenlastfähigkeit, erhöhte Umgebungsspezifikationen und Sicherheitsanforderungen. Miniaturisierung, thermisches Management, Zertifizierung und Time-to-Market sind weitere Herausforderungen, mit denen sich Entwickler auseinandersetzen müssen. Insbesondere in systemkritischen Industrieanwendungen und im Medizinbereich sind eine hohe Ausfallsicherheit und eine lange Betriebserwartung wichtige Voraussetzungen. Um diese Aufgaben zu meistern, müssen Hersteller von Netzteilen ihre Produkte kontinuierlich weiterentwickeln.

Endgeräte werden kontinuierlich kleiner, was den nutzbaren Bauraum in elektronischen Endgeräten und Anlagen für Elektronik limitiert. Wenn Hersteller immer kleinere Bauformen bei Netzteilen und anderen Komponenten anstreben, erhöhen sie die Designflexibilität bei der Montage und Auslegung der Endgeräte und ermöglichen den Einsatz sogar in den kompaktesten Geräten. Enabler für die reduzierten Baugrößen sind neueste Schaltungstopologien und die damit verbundene Steigerung des Wirkungsgrads. Dank der höheren Effizienz und der niedrigeren Eigenerwärmung lassen sich die im Netzteil verarbeiteten elektronischen Komponenten (z.B. Leistungshalbleiter) dichter aneinander positionieren. Das führt zu einer höheren Packungsdichte und Leistungsfähigkeit (W/cm³) sowie zu einem niedrigeren Gewicht. Die geringe Eigenerwärmung und der hohe Wirkungsgrad ermöglichen ein nachhaltiges Endgerät mit einfachem Wärmedesign und kompakter Bauform.

Klein und stark: Das Mean Well NSP-200.

Allerdings kann ein begrenzter Bauraum zu einem Hitzestau durch die Verlustleistung der verbauten Komponenten führen. Zu den möglichen Schäden zählen ein geschädigtes Endgerät oder die verkürzte Lebenszeit. Dadurch wird ein effektives thermisches Konzept wichtiger und bei kleinen oder gar „verwinkelten" Geräten aufwändiger. Abhilfe schaffen hier hocheffiziente Netzteile und andere Baugruppen mit geringer Verlustleistung, da sie den Kühlaufwand im Endgerät enorm verringern und die Auslegung des thermischen Designs erleichtern.

Je nach Anwendung und geforderter Norm kann der Zertifizierungsaufwand für Endgeräte sehr hoch sein. Netzteile sind in Endgeräten als sicherheitsrelevante und kritische Komponenten zu betrachten. Um die Time-to-Market möglichst kurz zu halten, müssen Zertifizierungsprozesse rasch umgesetzt werden. Die Zertifizierung verwendeter Baugruppen erleichtert Konstrukteuren die Zulassung ihrer Endgeräte für die verschiedensten Anwendungen. Abhängig von den Einsatzbereichen sind verschiedene Normen relevant, darunter von IEC/EN/UL 62368 (Sicherheitsanforderungen bei Einrichtungen für Audio-/Video-, Informations- und Kommunikationstechnik), IEC/EN 60335 (Sicherheit elektrischer Geräte für den Hausgebrauch und ähnliche Zwecke), IEC/EN 61558 (Sicherheit von Transformatoren und Netzgeräten), IEC/EN/UL 61010 (Sicherheitsbestimmungen für elektrische Mess-, Steuer-, Regel- und Laborgeräte) sowie IEC/EN 62477 (Sicherheitsanforderungen an Leistungselektronik-Umrichtersysteme und -betriebsmittel). Es ist also empfehlenswert, auf Stromversorgungen zu setzen, die bereits ab Werk für viele Branchen zertifiziert sind. Das vereinfacht und beschleunigt den Zertifizierungsprozess des gesamten Systems, in das das Netzteil eingebaut werden soll, erheblich.

Lösungen für anspruchsvolle Anwendungen

Als Antwort auf diese Herausforderungen hat der Hersteller Mean Well die industriellen Einbaunetzteile der NSP-Serien konzipiert. Es handelt sich um zertifizierte Lösungen für anspruchsvolle Anwendungen in der Industrie bis hin zum Haushalt. Sie decken den Leistungsbereich von 75 bis 750 W ab; Varianten mit 1.000 und 2.400 W sollen

folgen. Die NSP-200-Typen zielen auch auf medizinische Anwendungen ab, wofür sie zudem nach der Medizinnorm IEC/EN 60601 bzw. ANSI/AAMI 60601 für BF-„Body Floating"-Patientenanwendungen zertifiziert sind. Mit 159mm x 97mm x 30mm weisen sie eine kompakte und flache Bauform auf. Im Vergleich zum Vorgängermodell wurde das Volumen um rund 38 % reduziert. Die NSP-Serien erzielen aufgrund ihrer höheren Packungsdichte, Leistungsfähigkeit und Gewichtsreduzierung Wirkungsgrade von 89 % bis 95 % (im Vergleich zu 75,5 % bis 92 % bei den älteren (RSP-)Serien im identischen Leistungsbereich). Am konkreten Beispiel des 200-W-Modells der RSP- und NSP-Serien zeigt sich eine maximale Steigerung des Wirkungsgrads um 6,5%. Dadurch ergibt sich nahezu eine Halbierung der Verlustleistung (mehr als 16 W bei Volllast) und eine entsprechende Reduzierung der Eigenerwärmung.

Neben dem maximalen Wirkungsgrad wurde auch der lastabhängige Effizienzverlauf über das Leistungsspektrum des Netzteils verbessert. Dies ist in einer flach abfallenden Kurve des Wirkungsgrads im Verhältnis zur sinkenden Auslastung erkennbar (Bild 1). Trotz des guten Wirkungsgrads erfordern NSP-Netzteile ab 320 W einen Gerätelüfter, da sie nicht über eine Kontaktkühlung verfügen. Zwar sind Low-Noise-Lüfter verbaut, jedoch ist eine Restgeräuschentwicklung unvermeidbar. In sensiblen Anwendungen, in denen absolute Stille gefordert ist, können kontaktgekühlte Netzteile die bessere Wahl sein. (Genaue Angaben zur Geräuschentwicklung sind im Datenblatt enthalten.)

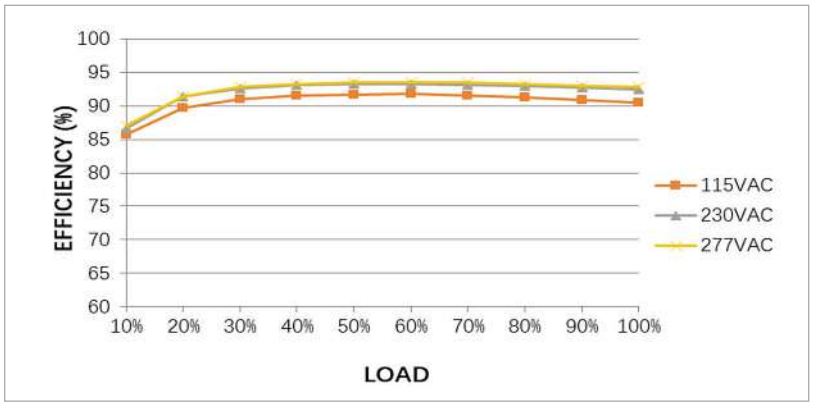


Bild: Mean Well

Bild 1: Die Darstellung des Wirkungsgrads in Abhängigkeit zur prozentualen Last ist im Testreport des NSP-200-5 zu sehen. Der flache Kurvenverlauf zeigt hohe Wirkungsgrade auch bei niedriger Belastung mit > 90 % Effizienz bei rund 20 % Last.

Eine geringe Eigenerwärmung optimiert das Deratingverhalten (Bild 2) und erweitert den Betriebstemperaturbereich, wie bei den NSP-Serien. So wurde der erlaubte Betriebstemperaturbereich des NSP-200 auf -40 °C bis 85 °C erweitert. Ein optimiertes Temperaturderating steigert die Leistungsfähigkeit zusätzlich. Ein Betrieb unter Volllast und ohne Leistungsreduzierung ist nun bis zu einer Umgebungstemperatur von 60 °C möglich. Damit sind die Netzteile auch bei hohen Umgebungstemperaturen einsetzbar.

Stromversorgung: kundenspezifisch entwickelt.

Power supply: tailored to your requirements.

Von der Idee zur Serie. From concept to series.

Das passgenaue Schaltnetzteil für Ihre Anwendung.
Individuell entwickelt und maßgefertigt nach Ihrer Spezifikation.
Reduzieren Sie Kosten, planen Sie effizient und lassen Sie in Deutschland fertigen.

The perfectly matched switch-mode power supply for your application.
Individually engineered and custom-built to your exact specifications.
Reduce costs, plan efficiently, and rely on manufacturing in Germany.

Anwendungen | Applications:

- **Industrie** Industry
- **LED-Beleuchtung** LED lighting
- **Datentransfer & Kommunikation** Data transfer & communication
- **Gebäudesystemtechnik** Building systems technology
- **Medizin** Medical technology
- **Transport & Verkehr** Transport

inpotron Schaltnetzteile GmbH
Hebelsteinstr. 5 | 78247 Hilzingen | Germany
+49 7731 9757-0 | info@inpotron.com | www.inpotron.com

inpotron
activates your best

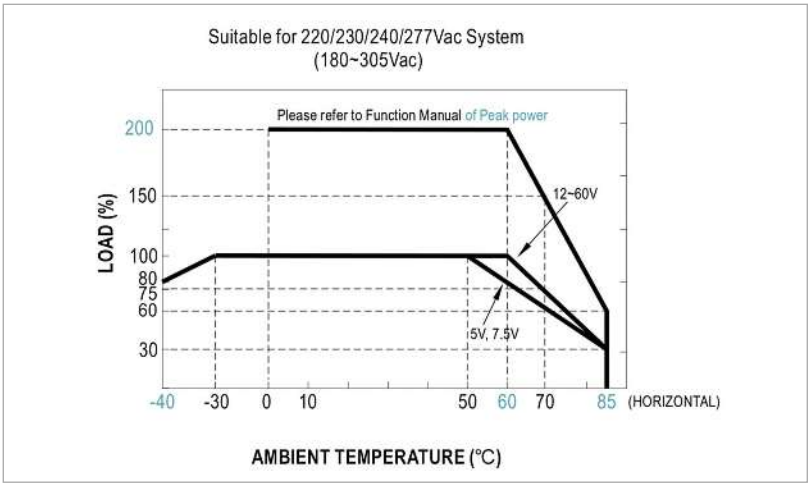


Bild: Mean Well

Bild 2: Volllastbetrieb bis zu einer Umgebungstemperatur von 60 °C (je nach Variante). Die Deratingkurve für Nenn- und Spitzenlast, hier abgebildet für den NSP-200 im 230-VAC-EU-Versorgungsnetz.

Zuverlässigkeit und Sicherheit

Um ein breites Anwendungsfenster bei rauen Umweltbedingungen zu ermöglichen, ist die Elektronik des NSP bereits im Standardgerät verlackt. Diese sogenannte „Conformal Coating"-Verlackung schützt vor Umwelteinflüssen und kann beispielsweise eine Oxidation verhindern. Da die Netzteile eine Lochblechgehäuse besitzen und nicht vollständig geschlossen oder vergossen sind, ist ein Einsatz in stark feuchten, öligen oder anderweitig belasteten Umgebungen nicht empfehlenswert. Für solche Einsatzbereiche sollten voll gekapselte Netzteile mit der Schutzart IP65 oder höher verwendet werden.

Beim Einsatz in stark schmutzigen oder staubigen Geräten sind, gerade beim Einsatz von Netzteilen mit integriertem Gerätelüfter, zusätzliche Schutzmaßnahmen zu prüfen. So sollte beispielsweise durch den Einsatz von Filtern sichergestellt werden, dass kein Schmutz in das Netzteil gelangt, da dies zu Beschädigungen führen kann.

Die vom Hersteller ermittelte voraussichtliche Betriebserwartung ist auf 50.000 h bei 50 °C ta gestiegen. Bei Einhaltung der maximalen Temperaturwerte sind die Geräte vor Überhitzung, Abschaltung oder gar Ausfall geschützt. Das elektrische Design der NSP-200-Serie ist für Leckströme kleiner als 350 µA, 2 x MOPP und eine Spannungsfestigkeit von 4,2 kV Input/Output ausgelegt. Dank der Einhaltung der Überspannungskategorie III können die Netzteile innerhalb von Gebäuden installiert werden, insbesondere von der Hauptverteilung bis zu den fest installierten Verbrauchern (Bild 3). Der Weitbereichseingang von 85 bis 305 VAC deckt die gängigen globalen Netzspannungen, einschließlich 277 VAC in Nordamerika, ab. In DC-Netzen kann im Bereich von 120 bis 431 VDC gearbeitet werden. Dies und eine Reihe zusätzlicher internationaler Approbationen wie CB, UL, CE, BSMI, CCC, EAC, BIS und KC, ermöglichen den internationalen Einsatz. Mit einer Standby-Leistungsaufnahme im Remote-Betrieb von 0,3 W bis 0,5 W werden Ecodesign-Anforderungen für verschiedenste Endanwendungen erfüllt.

Erweiterte Funktionalität

Zusätzlich zum DC-OK-Fernmeldekontakt verfügen die NSP-200-Typen über eine Remote-Sense- und Remote-ON/OFF-Funktion und eine Spitzenlastfähigkeit von bis zu 200 %. Im Überlastfall gehen sie in den sogenannten „Constant Current Limiting"-Modus. Dabei wird der ausgegebene Strom mit dem Ansprechen der Schutzschaltung auf den Nennwert begrenzt und dauerhaft ausgegeben, während die Spannung am Netzteil heruntergezogen wird. Aufgrund der Peak-Power-Funktion steht jedoch kurzzeitig das Doppelte der Nennleistung zur Verfügung. Die lieferfähige Spitzenleistung für eine spezifische Anwendung hängt von der durchschnittlichen Belastung der Stromversorgung ab und lässt sich relativ einfach anhand einer im Datenblatt aufgezeigten Formel errechnen. Die Spitzenleistung steht für maximal fünf Sekunden zur Verfügung. Der Durchschnitt aus Spitzen- und Regelleistung, die dem Netzteil entnommen werden, darf die Nennleistung nicht überschreiten. Das zeitliche Verhältnis von Spitzen- zu Regelleistung sollte maximal 35 % betragen. Unter Berücksichtigung dieser Parameter kann das NSP-200 maximal bis zu 400 W Spitzenleistung liefern. Netzteile mit Peak-Power-Funktion bieten gegenüber Standard-Netzteilen den Vorteil, dass sie nicht auf die Spitzenlast der Anwendung dimensioniert werden müssen.

Ein eins-zu-einsPlug-and-Play RSP gegen NSP ist aufgrund der mechanischen Inkompatibilität nicht möglich. Obwohl die NSP-Serie kompakter ist, müssen oft Montagelöcher oder Befestigungsvorrichtungen angepasst werden. Zudem können Stecker oder Pinbelegungen abweichen, sodass eine Umkonfektionierung bestehender Kabel erforderlich ist. Aus Kostensicht sollte ein direkter 1:1 Austausch bestehender, validierter Designs (z.B. der RSP-Serie) gegen NSP-Modelle gut abgewägt werden. Der Aufwand für eine Neuzertifizierung und mechanische Anpassungen kann die Vorteile gegebenenfalls überwiegen, insbesondere wenn Vorgängermodelle noch verfügbar sind. Für Neuentwicklungen stellt sich diese Überlegung natürlich nicht. *(mr)*

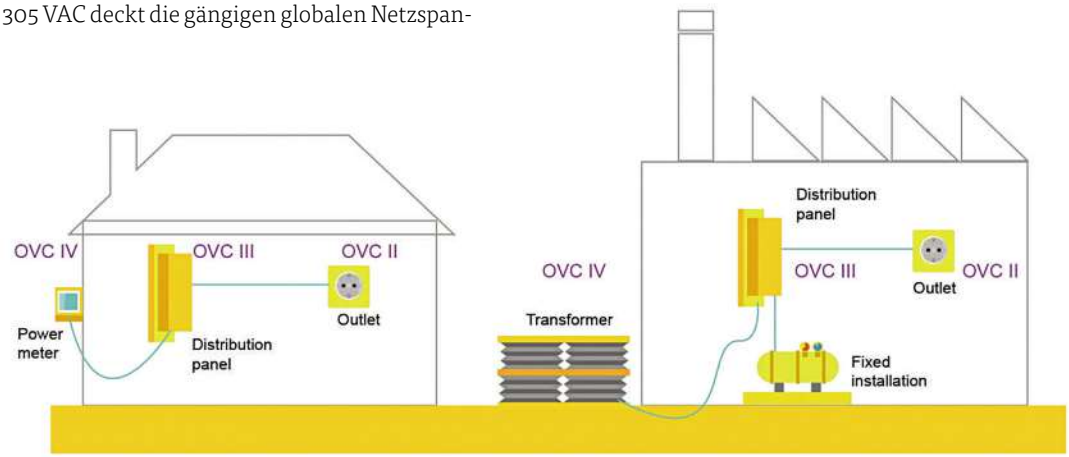


Bild: Mean Well

Bild 3: Die nach dem Installationsort zu beachtenden Überspannungskategorien II bis IV.

Embedded Software Engineering Kongress

30. November bis 4. Dezember 2026

Call for Papers

14758

19. ESE Kongress 2026 in Sindelfingen

Es gibt viele gute Gründe, warum Sie sich mit Ihrem eigenen Vortrag beteiligen sollten. Werden Sie Teil von Deutschlands größter Wissenscommunity der Embedded-Software-Branche. Teilen und diskutieren Sie Ihr Knowhow mit einem fachkundigen Publikum. Für Vortragende ist die Kongressteilnahme kostenfrei. Die besten Sprecherinnen und Sprecher werden mit dem Best Speaker Award ausgezeichnet.

Alle wichtigen Informationen zum Call for Papers finden Sie auf www.ese-kongress.de.

Gestalten Sie den ESE Kongress aktiv mit und reichen Sie Ihren Themenvorschlag ab Mitte März ein.

Deadline ist der 17. Mai 2026.

Danke an alle Aussteller und Goldsponsoren 2025:

bbv Software Services, BURGER Engineering, Cloudflight, CQSE, Danube Dynamics, ELEKTRONIKPRAXIS, embeff, eSOL, GLIWA, **Green Hills Software**, Hitex, infoteam Software, invenio, kws Computersysteme, Lauterbach, MathWorks, MicroConsult, ONEKEY, oose, PLS, PROTOS, QNX, **Qt Quality Assurance**, Razorcat, SEGGER, Slint, SodiusWillert, SSV Software Systems, TASKING, Toradex, Vector Informatik, wolfSSL

Goldsponsoren 2025

Green Hills SOFTWARE

Qt Quality Assurance

Veranstalter

ELEKTRONIK PRAXIS

MicroConsult

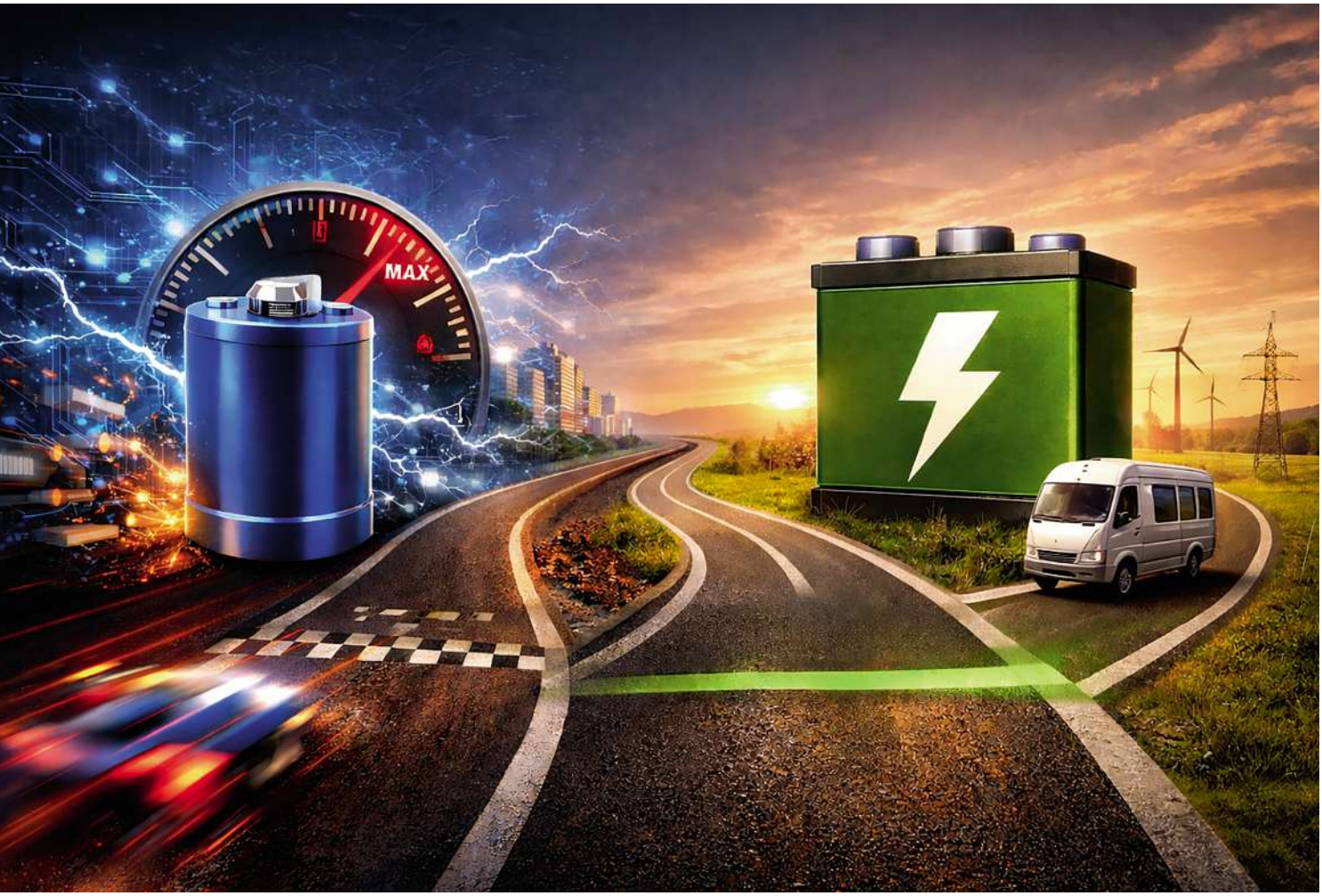


Bild: WDI AG

Vergleich: Kondensatoren speichern elektrische Ladung, Batterien wandeln chemische Energie in elektrische um.

AUSDAUER ODER SPRINT?

Batterien, Supercaps und die richtige Rolle im System

Warum es in realen Anwendungen selten eine einfache Entweder-oder-Entscheidung gibt und wie Hybridkonzepte helfen, Stromspitzen, Temperaturstress und Alterungseffekte dauerhaft beherrschbar zu machen.

Bild: Ann-Kathrin Rohse

VERFASST VON
Falko Ladiges
Teamleader PEMCO
WDI AG

Wenn ein Funkmodul im Feld alle paar Minuten kurz „auf Sendung“ geht, zählt jeder Milliohm Innenwiderstand. Wenn eine Steuerung bei Netzausfall Parameter sichern muss, entscheiden Sekunden – und ob der Puffer nach fünf Jahren noch genauso zuverlässig funktioniert wie am ersten Tag. Batterien und Superkondensatoren können beide dazu beitragen, die Versorgung stabil zu halten. Nur tun sie das auf völlig unterschiedliche Art. Wer diese Unterschiede früh sauber einordnet, vermeidet typische Feldprobleme: sporadische Resets, unerklärliche Ausfälle bei Kälte oder Backup-Puffer, die im Labor funktionieren und später „wie von selbst“ leer sind.

Im Mittelpunkt stehen reale Lastprofile, Spannungsfenster und bewährte Schaltungskonzepte – nicht Datenblattrekorde. Der Beitrag zeigt, worauf es bei der Auswahl

Kriterium	Batterie	Supercap	Hybrid (Batterie + Supercap)
Rolle im System	**Energiequelle** für lange Zeit	**Leistungspuffer** für kurze Zeit	**Energie + Peak-Puffer** kombiniert
Typische Zeitskala	Stunden bis Jahre	Millisekunden bis Minuten	Millisekunden bis Tage (abhängig vom Konzept)
Stärken	hohe Energiedichte, geringe Selbstentladung (v. a. Primärzellen)	sehr hohe Pulsströme, schnell ladbar, viele Zyklen	stabile Versorgung, Batterie wird von Peaks entlastet
Typische Grenzen	Innenwiderstand → Spannungseinbruch bei Peaks; Kälte verschärft	Spannung fällt kontinuierlich; Leckstrom begrenzt Standzeit	mehr Bauteile/Designaufwand, Strompfade müssen definiert sein
Spannungsfenster	vergleichsweise „komfortabel“	**kritisch** (Vin fällt) → UVLO/DC/DC oft nötig	planbar, v. a. mit DC/DC-Kopplung
Temperatur/ Lebensdauer	Kälte: Ri↑; Hitze + hohe Ströme: Alterung	ESR/Cap ändern sich; bei hoher Spannung altert schneller	robust, wenn für „gealtert am schlechten Tag“ ausgelegt
Typische Use-Cases	Backup über lange Zeit, wartungsarm	Ride-through, Burst, Energy Harvesting	IoT/Industrie mit Peaks, stabile Feldperformance

Tabelle 1: Vergleich von Batterien, Supercaps und Hybriden Lösungen.

in der Praxis ankommt: von Low-Power-IoT über Memory- und RTC-Backup bis zu harten Strompulsen in Industrieanwendungen und mobilen Systemen.

Zwei Speicher, zwei Physiken – und damit zwei Denkweisen

Batterien speichern Energie chemisch – damit sind sie unschlagbar, wenn lange Laufzeit zählt: hohe Energiedichte, geringe Selbstentladung (vor allem bei Primärzellen) und eine Entladekurve, die über weite Strecken ein nutzbares Spannungsniveau hält. Bei kleinen Zellen dominiert jedoch der Innenwiderstand – und damit der Spannungseinbruch unter Last. Lastspitzen werden schnell zum Problem, und Kälte verschärft den Effekt zusätzlich. Bei wiederaufladbaren Systemen kommt zyklische Alterung hinzu: Hohe Ströme, hohe Temperaturen und aggressive Ladeprofile reduzieren die Lebensdauer.

Superkondensatoren funktionieren anders. Sie speichern Energie überwiegend elektrostatisch und sind sehr gut darin, kurzfristig große Ströme bereitzustellen und schnell wieder nachzuladen. Das macht sie attraktiv für harte Pulse, häufige Lade-/Entladeereignisse und Kurzzeitpuffer. Gleichzeitig haben Supercaps klare Konsequenzen: Die Spannung sinkt kontinuierlich, und Leckströme begrenzen die Standzeit ohne Nachladung. Wird das nicht berücksichtigt, tritt ein typischer Effekt auf: Das System ist energieseitig richtig dimensioniert – scheitert aber an Mindestspannung, Inrush oder Selbstentladung.

Eine Logik statt Bauchgefühl: fünf Kriterien, die die Wahl fast automatisch machen

Erstes Kriterium ist die Zeitskala. Muss nur ein Spannungsdip überbrückt werden, ist ein Kurzzeitpuffer oft die eleganteste Lösung – hier spielt der Supercap seine Stärke aus. Geht es um Sekunden bis Minuten, wird es konzeptabhängig: Wird regelmäßig nachgeladen, kann ein Supercap oder ein hybrider Ansatz reichen. Sind längere Offline-Phasen realistisch, ist eine Batterie meist robuster. Sobald Stunden, Tage oder gar Jahre gefordert sind, führt an einer Batterie in der Regel kein Weg vorbei. In der Praxis lohnt es sich, nicht in „Kapazität“ zu denken, sondern in Energie über Zeit: Welche Leistung wird über welche Dauer benötigt – und bis zu welcher Mindestspannung darf die Elektronik arbeiten?

Zweitens entscheidet die Pulsbelastung. Viele reale Systeme sind nicht gleichmäßig, sondern impulsartig: Funkmodule, Motoranlauf, Aktuatoren, Wake-up-Spitzen von Prozessoren oder DC/DC-Wandlern. Genau hier passieren Feldfehler. Die Energiebilanz stimmt – aber die Spannung bricht beim Peak ein.

Ein Supercap kann solche Pulse abfangen, sofern er elektrisch nahe an der Last sitzt und der Strompfad niederimpedant ausgeführt ist. Sind die Pulse selten und die Spannungsreserve groß, kann Battery-only trotzdem funktionieren. Der Unterschied: bewusst entscheiden – statt auf Glück im Feld zu setzen.

Drittens ist das Spannungsfenster entscheidend. Batterien sind in dieser Hinsicht komfortabel; Supercaps nicht. Wer eine Mindestspannung garantieren muss, kommt in vielen Fällen um eine saubere Wandlung (DC/DC) oder eine klare Unterspannungsstrategie nicht herum. Hier entscheidet sich, ob ein Design nur im Labor funktioniert – oder reproduzierbar im Feld.

Viertens kommt Temperatur ins Spiel – und zwar die echte Feldtemperatur, nicht die Laborluft.

Kälte erhöht bei Batterien den Innenwiderstand und verschärft Pulsprobleme. Supercaps bleiben grundsätzlich funktionsfähig, verlieren aber Performance über höheren ESR. Hitze beschleunigt die Alterung: bei Batterien chemisch, bei Supercaps über Kapazitätsverlust und steigenden ESR, besonders bei hoher anliegender Spannung. Wer auf Lebensdauer entwickelt, dimensioniert deshalb nicht für „neu bei 25 °C“, sondern für „gealtert am schlechten Tag“.

Bild: WDI AG

Bild 1: Eine Batterie vom Typ Knopfzelle.

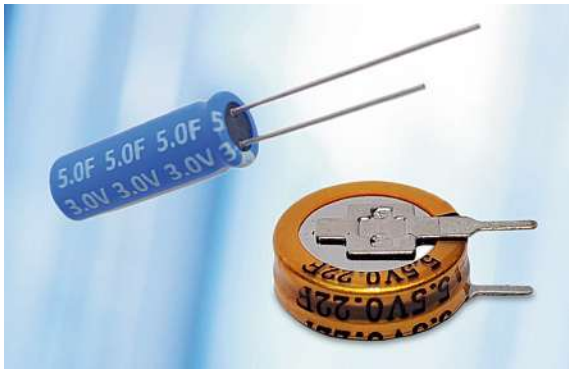


Bild 2: Supercaps in verschiedenen Bauformen.

Bild: WDI AG

Fünftens ist Wartung ein Designparameter. Eine Batterie kann die richtige Wahl sein, ist aber typischerweise ein Verschleißteil im Produktleben. Supercaps altern anders: kaum zyklischer Verschleiß, dafür Kalenderalter, Leckstrom und Kapazitätsrückgang. Hybridkonzepte können Serviceintervalle verlängern, weil die Batterie weniger Spitzenstrom sieht und der Betrieb stabiler wird.

Bewährte Topologien: vier Muster aus der Praxis

Batterie-only ist oft die robusteste und günstigste Lösung – solange Pulsströme und Temperatur sauber im Griff sind. Kritisch wird es, wenn Lastspitzen im Pflichtenheft nicht sauber beschrieben wurden oder wenn Kältebedingungen unterschätzt werden.

Dann treten Resets, merkwürdige Messwerte oder „sporadische" Ausfälle auf, die sich im Labor kaum reproduzieren lassen, weil dort die Randbedingungen zu freundlich sind.

Supercap-only ist kein Batterieersatz, sondern ein Kurzzeitpuffer, der regelmäßig nachgeladen werden muss. Das passt besonders dann, wenn kurze Überbrückungszeiten gefragt sind – etwa als Ride-through bei Netzeinbrüchen, als Puffer für definierte Aktionen oder in Energy-Harvesting-Systemen, die Energie langsam sammeln und dann in einem kurzen Burst bereitstellen. Voraussetzung ist ein definierter Ladepfad, insbesondere eine Begrenzung des Einschaltstroms, sowie ein Konzept, wie die Elektronik mit fallender Spannung umgeht.

Sehr häufig ist ein Hybrid parallel der pragmatischste Schritt: Ein Supercap puffert Pulse, die Batterie liefert die Energie. Das stabilisiert die Versorgung und entlastet die Batterie messbar. Wichtig sind definierte Strompfade und Entkopplung – sonst entlädt der Supercap die Batterie oder der Puffer-Effekt verpufft über den Leitungswiderstand.

Wenn definierte Backup-Zeiten und Mindestspannungen gefordert sind, landet man oft bei einem DC/DC-gekoppelten Hybrid. Damit lässt sich die Supercap-Energie über ein weites Spannungsfenster nutzen und das Verhalten wird planbar. Dafür steigen Bauteilaufwand und Komplexität. Bei Serienschaltung gehört Balancing ins Design – inklusive der Verluste durch Balancer und Wandler-Ruheströme.

Warum Designs trotz „richtiger Teile" scheitern: die Feld-Fallen

Der häufigste Denkfehler ist, einen Supercap wie eine kleine Batterie zu behandeln. Leckstrom ist real, die Spannung sinkt kontinuierlich – ohne Nachladung ist der Speicher irgendwann leer, oft deutlich früher als erwartet. Das zweite typische Problem ist Inrush: Ein leerer Supercap kann beim Einschalten so viel Strom ziehen, dass Sicherungen auslösen oder das Netzteil in die Strombegrenzung geht. Das Ergebnis ist dann nicht „kurze Pufferzeit", sondern ein System, das gar nicht erst sauber startet.

Drittens entscheidet in Pufferanwendungen das Layout. Ein Supercap puffert nur dann, wenn Strom- und Massepfade niederimpedant ausgeführt sind. Leiterbahnen, Via-Arrays, Masseführung und Steckkontakte bestimmen, ob der Supercap die Pulse wirklich liefert oder ob die Batterie weiterhin die Spitzen stemmen muss. Und sobald mehrere Supercaps in Serie geschaltet werden, kommt Balancing als Pflichtaufgabe dazu: Ohne Ausgleich können einzelne Zellen über ihre zulässige Spannung geraten – auch wenn die Gesamtspannung korrekt wirkt. Das ist kein akademischer Sonderfall, sondern ein typischer Lebensdauerkiller.

Was ist gefragt? Ausdauer, Sprint – oder Teamwork

Batterien sind erste Wahl, wenn Energie über lange Zeit bereitgestellt werden muss – besonders dort, wo Wartung

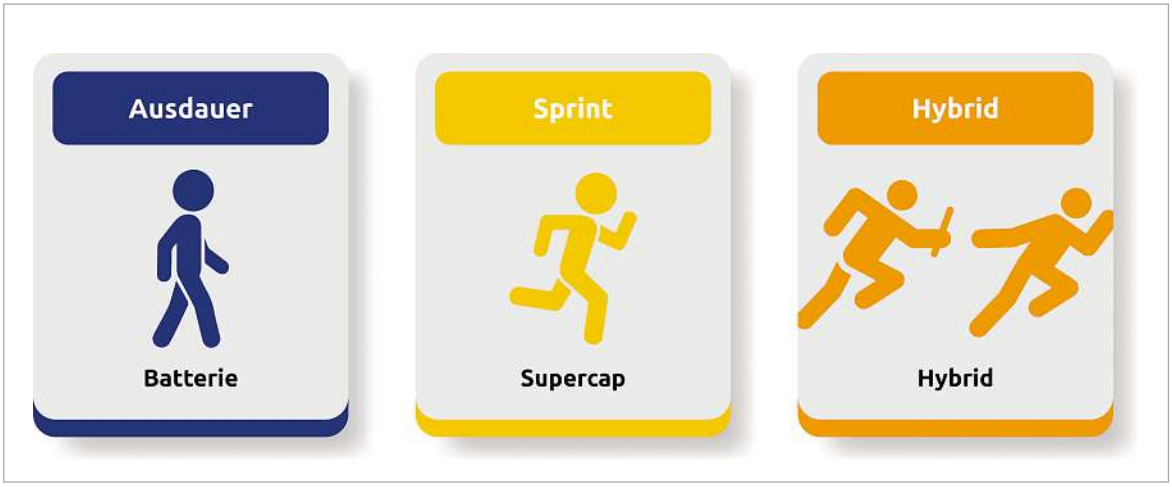


Bild 3: Entscheidend ist die Rolle im System.

Bild: WDI AG

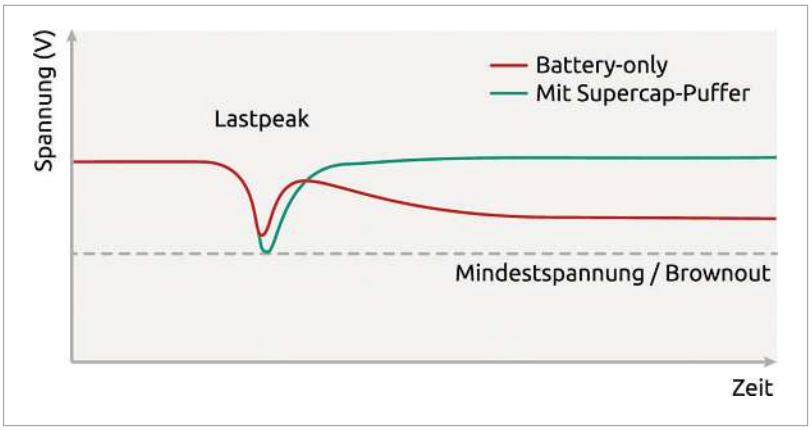


Bild: WDI AG

Bild 4: Schematischer Spannungsverlauf bei impulsförmiger Last: Der Supercap liefert den Peakstrom, die Batterie sieht weniger Spannungseinbruch – die Mindestspannung bleibt eingehalten.

selten oder nie vorgesehen ist. Superkondensatoren spielen immer dann ihre Stärke aus, wenn kurzzeitig hohe Leistungen gefragt sind, wenn häufige Zyklen auftreten oder wenn eine wartungsfreie Kurzzeitpufferung das Ziel ist. In vielen Anwendungen ist die Kombination am robustesten: Ein Supercap fängt Pulsströme ab und stabilisiert die Versorgung, während die Batterie die Ausdauer liefert. Wer Zeitskala, Pulsbelastung, Spannungsfenster, Temperatur und Wartung früh festlegt und Leckstrom, Inrush, Strompfade sowie Balancing konsequent mitdenkt, bekommt robuste Lösungen – auch nach Jahren im Feld.

Checkliste: 10 Fragen vor der Wahl von Batterie, Supercap oder Hybrid:

1. **Lastprofil:** Wie sehen Dauerstrom, Pulsstrom, Pulsdauer und Wiederholrate wirklich aus (gemessen/abgeleitet)?
2. **Zeitskala:** Welche Überbrückungszeit wird benötigt – Millisekunden, Sekunden/Minuten, Stunden/Tage?
3. **Mindestspannung:** Ab welcher Spannung darf das System nicht mehr (Brownout, Reset, Speicherhalt, Regler-Headroom)?
4. **Spannungsfenster:** Kann die Elektronik stark fallende Eingangsspannung tolerieren – oder ist Stabilisierung per DC/DC nötig?
5. **Pulsfähigkeit:** Wer liefert die Peaks – Batterie, Supercap oder beides? Ist der Strompfad zur Last niederimpedant ausgelegt?
6. **Temperatur real im Feld:** Welche Min/Max-Temperaturen treten auf – inklusive Kälte + Pulse und Hitze + Nennspannung?
7. **Standzeit ohne Nachladung:** Wie lange kann das System komplett unversorgt sein – und ist Leckstrom/Selbstentladung berücksichtigt?
8. **Einschaltverhalten:** Was passiert beim Anlegen der Versorgung (Inrush, Precharge, Strombegrenzung, Softstart, Netzteil-Stromlimit)?
9. **Serienschaltung:** Sind mehrere Supercaps/Zellen in Serie nötig – und ist Balancing (passiv/aktiv) samt Verlusten eingeplant?
10. **Schutz & Fehlerfälle:** Kurzschlussstrom, Tiefentladung (Akkus), Übertemperatur, Verpolung, EMV/ESD – sind Schutzmaßnahmen definiert?

Merksatz: Wenn Zeitskala, Pulsbelastung und Spannungsfenster klar sind, ergibt sich die Speicherstrategie meist von selbst. *(mr)*

Big Power in Small Form.

RECOM

RECOM
REC10K-RW DC/DC-Wandler für Industrieanwendungen
- 10 W Leistung im DIP24 Gehäuse
- 4:1 Eingangsbereich (9–36 V / 18–75 VDC)
- Betriebstemperatur bis max. 100 °C
- 4 kVDC/min Isolationsspannung
- Schutz: SCP, OLP, OVP, UVLO

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

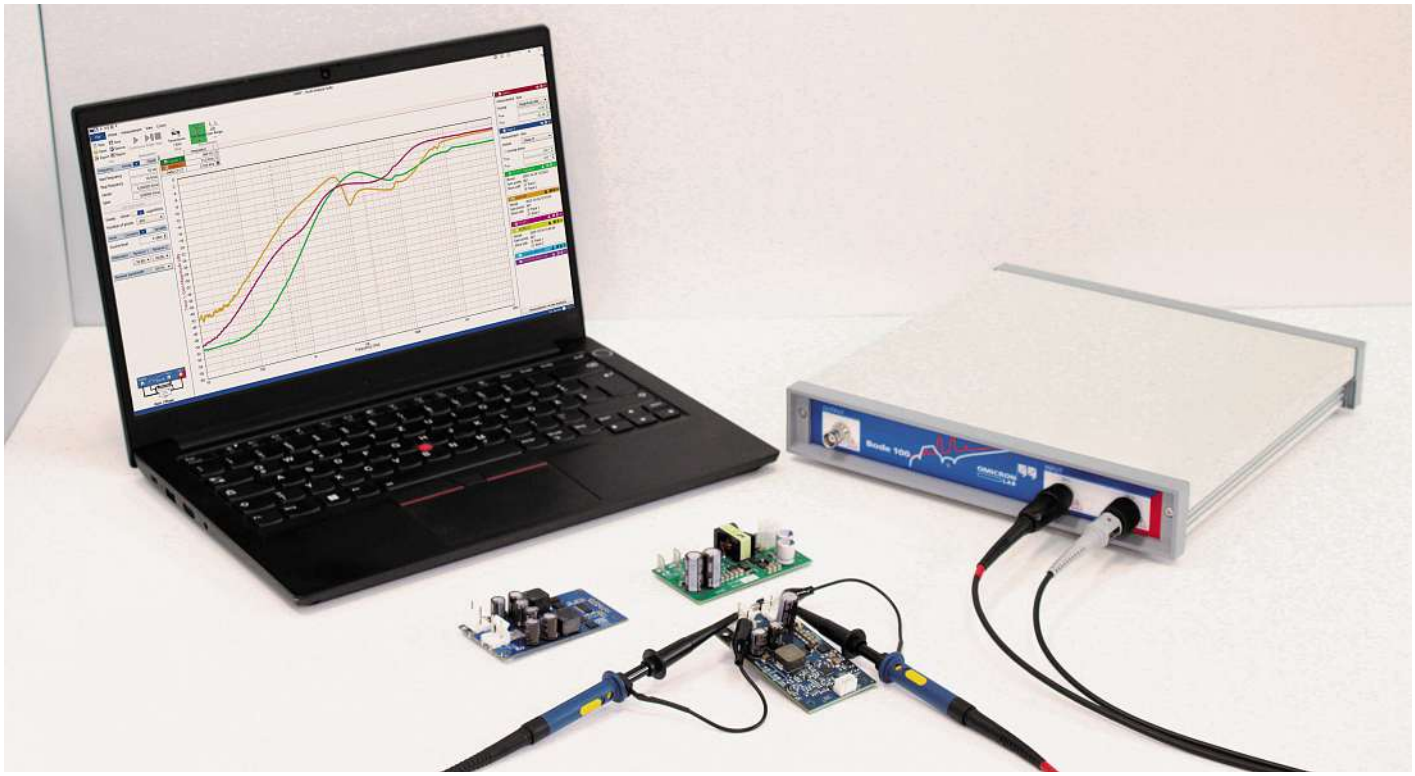


Bild: Elec-Con Technology GmbH

Charakterisierung: Messung der Prüflinge mit einem VNA.

NICHT-INVASIVE DYNAMIKBEWERTUNG

Effiziente Testmethoden für Point-of-Load-Converter

Extreme Lastsprünge von SoCs und FPGAs stellen hohe Anforderungen für Point-of-Load-Wandler dar. Das dynamische Verhalten von DC/DC-Wandlern lässt sich dabei nicht-invasiv per VNA analysieren und objektiv bewerten.

Bild: Elec-Con Technology GmbH

VERFASST VON
Markus Böhmisch
Entwicklungsingenieur
Elec-Con Technology GmbH

Point-of-Load-Wandler (POL) sind heute zentrale Komponenten moderner Elektroniksysteme mit hohen Leistungsdichten und stark schwankenden Lasten. Neben klassischen Kriterien wie Wirkungsgrad, Baugröße und Kosten gewinnen dynamische Eigenschaften wie Regeldynamik und Kommunikationsfähigkeit zunehmend an Bedeutung. Besonders SoCs und FPGAs erzeugen ausgeprägte Lastsprünge, die eine schnelle und präzise Spannungsnachregelung erfordern.

Der folgende Beitrag beschreibt, wie sich das dynamische Verhalten von DC/DC Wandlern nicht-invasiv analysieren lässt. Im Fokus stehen die Messung von Ausgangsimpedanz und PSRR mittels Vector Network Analyzer (VNA) sowie deren Bewertung im Hinblick auf Stabilität und Regelgüte. Zudem wird erläutert, warum hybride, digital konfigurierbare Wandler klare Vorteile bieten: Sie kombinieren die Geschwindigkeit analoger Regelkreise mit der Flexibilität, Diagnosefähigkeit und Anpassbarkeit digitaler Systeme.

Einleitung

Die Anforderungen an Stromversorgungen in Embedded- und Hochleistungssystemen haben sich in den letzten Jahren grundlegend gewandelt. Während früher vor allem Wirkungsgrad, Verlustleistung und thermisches Verhalten im Zentrum der Bewertung standen, bestimmen heute zunehmend dynamische Kriterien wie Lastwechselverhalten, Ausgangsimpedanz, Störunterdrückung und Kommunikationsfähigkeit die Systemqualität. Moderne Prozessoren, FPGAs oder ASICs ändern ihre Leistungsaufnahme innerhalb kürzester Zeiträume, etwa durch

dynamische Taktumschaltung von Rechenkernen oder das Zu- oder Abschalten von Funktionsblöcken. Dabei kann der Strombedarf eines FPGA innerhalb weniger Mikrosekunden durchaus von wenigen hundert Milliampere auf mehrere Ampere springen. In diesem Moment entscheidet die Regeldynamik des POL-Wandlers darüber, ob die Versorgungsspannung innerhalb der geforderten engen Toleranzen bleibt oder ob Unter- bzw. Überschwinger auftreten. Solche Effekte können nicht nur instabile Betriebszustände hervorrufen oder zu Fehlfunktionen oder Timing-Problemen führen, sondern auch EMV-Störungen verstärken oder die Lebensdauer der Bauteile beeinträchtigen.

Point-of-Load-Wandler adressieren diese Anforderungen, indem sie im Gegensatz zu Konzepten mit zentraler Stromversorgung eine höhere Zwischenspannung über das System verteilen und die eigentliche Spannungswandlung unmittelbar am Verbraucher vornehmen. Das reduziert Leitungsverluste, minimiert Spannungsabfälle und verkürzt deutlich die Reaktionszeit auf Laständerungen. Gleichzeitig steigt jedoch die Bedeutung einer präzisen Auslegung und Bewertung der Regelung.

Herausforderungen bei der Bewertung

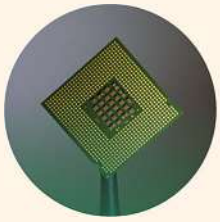
Die Regeldynamik eines DC/DC-Wandlers wird maßgeblich durch Parameter wie Regelgeschwindigkeit, Phasenreserve und Ausgangsimpedanz bestimmt. Klassische Methoden zur Bewertung dieser Eigenschaften, etwa zur Durchführung einer Bode-Analyse, greifen zumeist direkt in den Regelkreis ein – typischerweise durch das Auftrennen der Feedback-Schleife. In modernen, hochintegrierten POL-Wandlern ist ein solcher Eingriff jedoch oft nicht mehr möglich oder mit erheblichem Aufwand verbunden. Hinzu kommt, dass viele Wandler als fertige Module oder vergossene Baugruppen eingesetzt werden, bei denen der interne Regelkreis vollständig verborgen ist. Für Entwickler stellt sich daher die Frage, wie sich Stabilität und Dynamik eines Wandlers objektiv bewerten lassen, ohne dessen interne Struktur zu kennen oder das Layout zu verändern. Nicht-invasive Messmethoden bieten hier einen entscheidenden Vorteil. Sie erlauben es, das Verhalten des Wandlers ausschließlich über sein Ein- und Ausgangsverhalten zu charakterisieren und daraus Rückschlüsse auf die interne Regelung zu ziehen.

Ausgangsimpedanz als Schlüsselgröße

Die Messung der Ausgangsimpedanz Z_{out} eines Wandlers liefert einen direkten Einblick in dessen dynamisches Verhalten. Der Verlauf der Ausgangsimpedanz ist eng mit der Fähigkeit des Reglers verknüpft, Lastsprünge auszugleichen. Für die Impedanzkurven in Bild 1 wurde bei einem DC/DC-Wandler lediglich der Regler angepasst.

Custom Magnetics for
Power System Design

Current Sensors | Transformers | Inductors | Coils


Semiconductor

Industrial

AI

embedded world 2026 • March 10–12, 2026
Nuremberg, Germany • Hall 3A • Booth 238

elytone

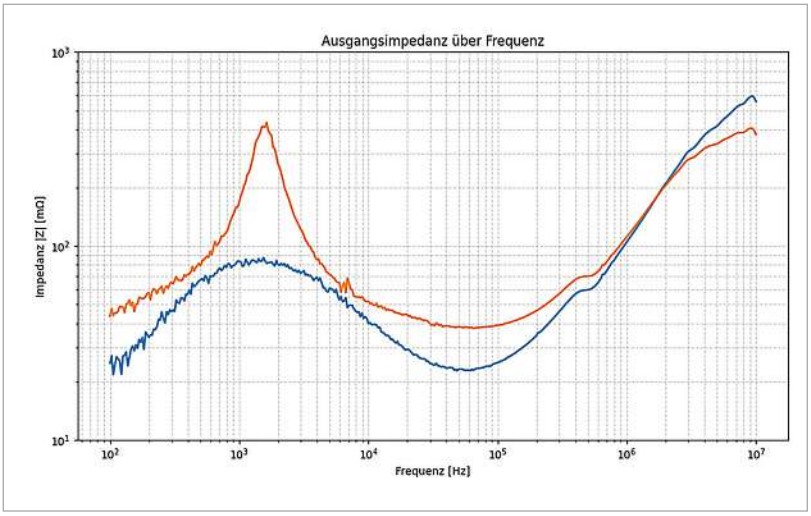


Bild: Elec-Con Technology GmbH

Bild 1:
Das Bild zeigt die Impedanzkurven eines DC/DC-Wandlers mit unterschiedlichen Regelparametern. Im niedrigen Frequenzbereich hat das Regelverhalten einen maßgeblichen Einfluss auf den Verlauf der Impedanzkurve. Mit sinkender Stabilitätsreserve steigt die Güte des lokalen Maximums.

Mit Hilfe eines VNA lässt sich die Ausgangsimpedanz über einen weiten Frequenzbereich ermitteln. Charakteristisch ist dabei ein lokales Maximum der Impedanzkurve, das in engem Zusammenhang mit der Regelgeschwindigkeit des Regelkreises steht. Höhe und Güte dieses Maximums liefern Hinweise auf Dämpfung und Stabilitätsreserve. Ein niedriger Gütefaktor und ein breiter, gleichmäßiger Verlauf deuten auf ein gutes Regelverhalten hin.

Im Gegensatz zu reinen Zeitbereichsmessungen ermöglicht die Betrachtung in der Frequenzdomäne eine deutlich differenziertere Analyse. Entwickler können gezielt erkennen, in welchen Frequenzbereichen der Wandler empfindlich reagiert und wie sich Änderungen an der Ausgangsbeschaltung oder Kompensationsparametern auswirken.

PSRR als Ergänzung der Dynamikanalyse

Die Messung der Power Supply Rejection Ratio (PSRR) erweitert diesen Blick. Sie wird üblicherweise in Dezibel (dB) angegeben und ist insbesondere in mehrstufigen Versorgungssystemen ein entscheidender Faktor.

Die PSRR beschreibt die Fähigkeit eines Wandlers, Störungen auf der Eingangsspannung zu unterdrücken, sodass sie nicht am Ausgang erscheinen. In realen Anwendungen speisen häufig vorgelagerte DC/DC-Stufen oder Netzteile den POL-Wandler. Deren Restwelligkeit oder niederfrequente Störungen können sich ohne ausreichende PSRR bis zur Last fortpflanzen. Eine nicht-invasive PSRR-Messung mit dem VNA zeigt auf, wie effektiv der Wandler über verschiedene Frequenzbereiche hinweg arbeitet.

Schwächen in der PSRR lassen sich oft auf eine ungünstige Auslegung der Filter- oder Regelparameter zurückführen. Die Kombination aus Ausgangsimpedanz- und PSRR-Messung ermöglicht somit eine ganzheitliche Bewertung des dynamischen Verhaltens.

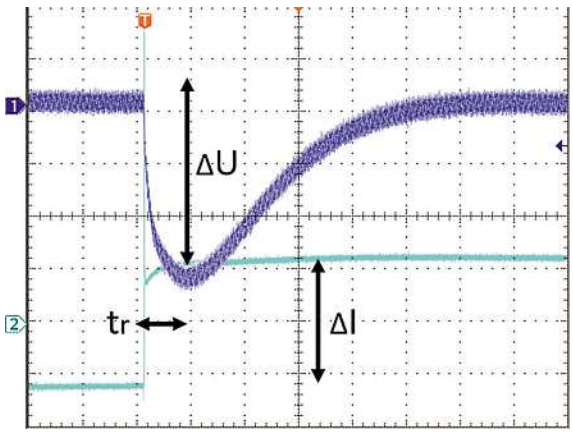


Bild: Elec-Con Technology GmbH

Bild 2:
Das Bild zeigt den Einschwingvorgang eines DC/DC-Wandlers mit einer hohen Stabilitätsreserve. (CH1: Ausgangsspannung, CH2: Ausgangsstrom, ΔI = Lastsprung, ΔU = kurzzeitiger Spannungsabfall aufgrund des Lastsprungs, tr = Reaktionszeit.

Lastsprungmessungen im Kontext

Lastsprungmessungen bleiben ein wichtiges Werkzeug, da sie das unmittelbare Zeitverhalten im realen Betrieb abbilden. Sie zeigen, wie stark die Ausgangsspannung bei einem plötzlichen Lastwechsel einbricht und wie schnell der Wandler wieder in den stabilen Zustand zurückkehrt. In Bild 2 ist der Einschwingvorgang für einen DC/DC-Wandler mit einer hohen Stabilitätsreserve dargestellt.

In Kombination mit den frequenzbasierten Messungen lassen sich die Ergebnisse besser interpretieren. Während die Ausgangsimpedanz und PSRR strukturelle Eigenschaften der Regelung offenlegen, bestätigen Lastsprungmessungen deren praktische Relevanz.

Analog, digital und hybrid

Analoge Regler arbeiten kontinuierlich und reagieren daher sehr schnell auf Änderungen. Ihr Verhalten ist jedoch durch ihre Hardwareparameter fest definiert. Anpassungen an neue Lastprofile erfordern daher zumeist Änderungen an Bauteilen oder Layout, was zu unterschiedlichen Bestückungsvarianten führt.

Digitale Regler bieten demgegenüber eine wesentlich höhere Flexibilität. Parameter lassen sich per Software anpassen, Telemetriedaten auslesen und Firmware-Updates einspielen. Die zeitlich diskrete Abtastung und die notwendige Berechnung begrenzen jedoch die erreichbare Regelgeschwindigkeit und erhöhen die Komplexität.

Hybride, digital konfigurierbare Wandler kombinieren die Vorteile beider Ansätze. Der eigentliche Regelkern bleibt analog und damit schnell, während digitale Schnittstellen eine gezielte Anpassung der Regeldynamik sowie umfangreiche Diagnosefunktionen ermöglichen. Dadurch kann das Verhalten des Wandlers systembezogen optimiert werden, ohne die Hardware ändern zu müssen.

Erkenntnisse aus der Messpraxis

Praktische Messungen zeigen, dass hybride Wandler über einen deutlich größeren Arbeitsbereich stabile Regelverhältnisse aufweisen. Durch anpassbare Kompensationsparameter lässt sich eine hohe Regelgeschwindigkeit realisieren, ohne die Stabilität zu beeinträchtigen. Die Z_{out}-Kurven fallen breiter und gleichmäßiger ab, was auf ein kontrolliertes, gut gedämpftes Regelverhalten hinweist. Besonders bei Systemen mit wechselnden Betriebsmodi wirkt sich dies direkt auf die Zuverlässigkeit und Signalstabilität aus.

Die PSRR-Analyse unterstreicht zudem, dass hybride Wandler Versorgungsschwankungen besser ausregeln können, insbesondere im unteren Frequenzbereich, in dem Störungen durch vorgelagerte Wandlerstufen typischerweise am stärksten auftreten.

Fazit

Mit steigenden Leistungsdichten und immer dynamischeren Lastprofilen gewinnt die Regeldynamik als Entwurfsparameter deutlich an Bedeutung. Hybride, digital konfigurierbare POL-Wandler ermöglichen es Entwicklern, die Regelung systembezogen zu optimieren, ohne Hardware ändern zu müssen. Sie bieten damit nicht nur bessere technische Performance, sondern auch spürbare Vorteile im Entwicklungs- und Validierungsprozess.

Die Kombination aus nicht-invasiven VNA-Messmethoden und digital anpassbaren Reglerparametern eröffnet eine neue Möglichkeit der Stromversorgungsentwicklung: weg vom statischen Design hin zum abgestimmten, transparenten und adaptiven Versorgungssystem.

Entwicklungspfad hybrider Systeme

Die zunehmende Systemintegration in komplexen Elektronikarchitekturen verändert die Rolle des DC/DC-Wandlers. Wo dieser früher lediglich eine stabile Ausgangsspannung bereitstellte, wird er heute zu einem aktiven Element im übergeordneten Energie- und Zuverlässigkeitsmanagement. Hybride, digital konfigurierbare Wandler bilden dafür eine gute technologische Grundlage.

Ein zentraler Entwicklungstrend ist Software-Defined Power: Die Versorgungsspannung wird nicht länger statisch ausgelegt, sondern reagiert dynamisch auf Betriebszustände. Telemetriedaten wie Lastprofil oder Temperatur ermöglichen es, Kühlung, Leistungszuweisung und Betriebsmodi intelligent zu steuern.

Mit dem verstärkten Einsatz von Wide-Bandgap-Leistungshalbleitern (GaN, SiC) steigen Schaltfrequenzen und Dynamikpotenzial weiter an. Die schnelle Regelschleife eines analogen Kerns bleibt hierfür unverzichtbar, während die digitale Konfigurationsebene erlaubt, das Systemverhalten präzise auf die jeweilige Applikation und EMV-Umgebung abzustimmen.

Auch die Zuverlässigkeit profitiert: Kontinuierliche Telemetrie ermöglicht es, Trends in Spannungs-, Strom- und Temperaturverläufen auszuwerten. Daraus entsteht Predictive Maintenance: Wartungsbedarf wird erkannt, bevor Fehlfunktionen auftreten. Die dafür notwendige Auswertung kann zunehmend lokal erfolgen, etwa über Tiny-ML-Algorithmen direkt im Gerät. Darüber hinaus ermöglichen Digitale Zwillinge, reale Stromversorgungen in Simulationsmodellen abzubilden.

Die Weiterentwicklung der Algorithmik eröffnet als nächstes, selbstoptimierende Regler zu implementieren. KI-gestützte Anpassungen der Kompensationsparameter können Lastprofile in Echtzeit berücksichtigen und das Reglerverhalten aktiv anpassen. Damit entwickelt sich der DC/DC-Wandler von einer festen Baugruppe zu einem lernfähigen Systemelement. *(mr)*

MAXIMIZE EFFICIENCY
on High Power

starpower

FEATURES:

- StarPower Si-IGBT and SiC-Mosfet Technology
- Low Stray Inductance of 9 nH
- High CTI Value Package with High Creepage and Clearance Distance

StarPower Europe AG
info@starpowereurope.com
www.starpowereurope.com

DRIVEN BY
QUALITY

ELEKTRISCHE STÖRGRÖSSEN (TEIL 1)

Auswirkungen dynamischer Vorgänge auf Netzteile

Wie zuverlässig ein Netzteil wirklich ist, zeigt nicht das Datenblatt, sondern der reale Betrieb unter wechselnden Bedingungen. Dieser mehrteilige Artikel beleuchtet, warum dynamische Effekte bei der Zuverlässigkeit entscheidend sind.

Die Funktionsfähigkeit jedes elektronischen Systems hängt maßgeblich von der Zuverlässigkeit der Stromversorgung ab. In der Entwicklung von Netzteilen werden jedoch oft lediglich stationäre Kenngrößen wie Nennleistung oder Wirkungsgrad betrachtet. Feldrückläufe zeigen indessen, dass das nicht ausreicht. Für wirklich zuverlässige Netzteile müssen auch dynamische Einflüsse wie Transienten sowie thermische und mechanische Belastungen einbezogen werden. Der Artikel untersucht, wie sich veränderliche äußere Bedingungen auf elektrischer Ebene auswirken und welche konstruktiven Maßnahmen die Zuverlässigkeit sichern. Der hier vorliegende erste Teil diskutiert die elektrische Dimension: Transienten, Schalt- und Einschwingvorgänge, Laständerungen, Energierückflüsse aus der Last, hochfrequente Störungen etc.

Erwartungshaltung und Realität dynamischer Systeme

Aus Anwendersicht soll ein Gleichspannungsnetzteil eine oder mehrere definierte Ausgangsspannungen oder -ströme bereitstellen. Diese Erwartung ist allerdings unvollständig, weil sie implizit stationäre Randbedingungen unterstellt. Reale Systeme sind jedoch dynamisch: Netzspannungen werden zugeschaltet, unterbrochen oder in ihrem Pegel verändert; Lasten ändern sich sprunghaft, sie besitzen kapazitive und induktive Anteile und können

Dynamisch: Die Zuverlässigkeit der Stromversorgung hängt von Effekten wie Transienten, Lastsprünge und hochfrequente Störungen ab.

Bild: inpotron Schaltnetzteile GmbH

Energie zurückspeisen. Daraus folgt, dass ein Netzteil nicht nur „im Datenblattpunkt“, sondern in einem Zustandsraum stabil funktionieren muss. Die Qualität der Spezifikation entscheidet hierbei über Kosten, Baugröße, Zuverlässigkeit und letztlich über die Systemverfügbarkeit.

Wichtig ist es, die Zuschaltung der Versorgungsspannung nicht als Sonderfall zu betrachten, sondern als normalen, bestimmungsgemäßen Betriebszustand. Gerade weil dieser regelmäßig auftritt, muss er mit derselben Sorgfalt betrachtet werden wie der Dauerbetrieb. Gleiches gilt für das Abschalten, insbesondere wenn zeitliche Anforderungen (Power-Good, Datenhaltung, kontrolliertes Shutdown) im System existieren.

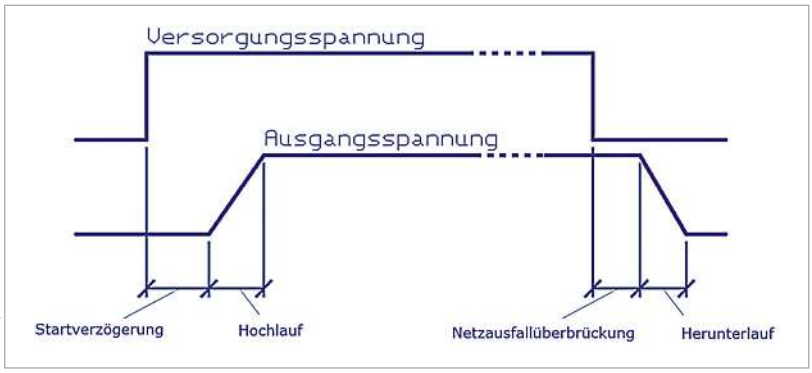


Bild: inpotron Schaltnetzteile GmbH

Bild 1: Spannungsverläufe der Ein- und Ausgangsspannung mit den relevanten Kenngrößen.

Äußere Beeinflussungen: Energieimpulse und Kopplungsmechanismen

Leitungsgekoppelte elektrische Störungen lassen sich in symmetrische (Differential Mode) und asymmetrische (Common Mode) Anteile einteilen. Asymmetrische Störungen führen häufig zu höheren Störpegeln, größeren Feldkopplungen und kritischen Potentialverschiebungen gegenüber Schutzleiter oder Gehäuse. In vielen Anwendungen sind asymmetrische Ereignisse die dominanten Treiber für Fehlfunktionen oder für die Beanspruchung von Isolationsstrecken.

Surge-Impulse sind energiereiche Überspannungsereignisse, die etwa durch Blitzinduktion, Schalthandlungen oder das Abschalten großer induktiver Verbraucher entstehen können. Normativ werden Surge-Impulse in der IEC 61000-4-5 durch definierte Impulsformen beschrieben. Entscheidend für das Schadenspotenzial ist die Kombination aus Spitzenspannung, Quellimpedanz und Energieinhalt. Ohne geeignete Begrenzungselemente und geeignete Isolation kann ein einzelner Impuls Bauteile dauerhaft schädigen oder zerstören. Darüber hinaus können Luft- oder Oberflächenüberschläge auftreten, die zu Kriechstrompfaden und Folgeschäden führen.

Ein wirksames Schutzkonzept ist mehrstufig zu denken. Erstens muss die ankommende Überspannung begrenzt werden (Clamping). Zweitens muss die Energie so verteilt bzw. abgeleitet werden, dass keine lokalen Überlastungen entstehen. Drittens ist sicherzustellen, dass Schutzkomponenten nicht zu Single-Point-of-Failure werden.

Typische Begrenzungselemente sind Varistoren. Sie reduzieren eine Surge-Überspannung beispielsweise von 2 kV auf ca. 800 – 1.000 V. Für die Systemauslegung ist der Zusammenhang zwischen Varistor-Kennlinie und nachfolgender Spannungsfestigkeit zentral: Je niedriger die zulässige Spannung nachfolgender Stufen (Gleichrichter, Zwischenkreis, PFC-Stufe, Primärschalter), desto „härter“ muss begrenzt werden.

Ein Punkt, der in der Praxis regelmäßig unterschätzt wird, ist die Koordination von Varistor und Geräteschutzsicherung. Die Sicherung ist so auszulegen, dass sie den Energieinhalt eines normativen Surge-Impulses übersteht und bei einem Surge-Ereignis nicht auslöst. Eine Auslösung im Impulsfall würde den Leitungspfad trennen. Zudem erzeugt ein ungewollter Ausfall des Netzteils systemseitig Folgerisiken (z. B. Neustartsequenzen, Datenverlust, Sicherheitsfunktionen). Gleichzeitig muss die Sicherung im Fehlerfall zuverlässig und schnell trennen. Daraus ergibt sich eine klassische Koordinationsaufgabe: Surge-Überlebensfähigkeit ohne „nuisance trips“, aber sichere Trennung bei Dauerschaden. Praktisch wird dies über Impulsfestigkeit der Sicherung, I^2t-Betrachtung, thermische Randbedingungen sowie die End-of-Life-Charakteristik des Varistors gelöst.

Neben Varistoren kommen Gasableiter (GDT) in Betracht, insbesondere bei hohen Energieinhalten und wenn im Normalbetrieb ein sehr niedriger Leckstrom gefordert ist. Gasableiter besitzen jedoch Zündverzögerungen und benötigen häufig eine Koordination mit nachgeschalteten Begrenzungselementen. Kombinierte Konzepte (GDT + MOV + Serienimpedanz) sind in rauen Umgebungen üblich.

Passiver Schutz kann zusätzlich durch eine stromkompensierte Drossel und den Zwischenkreiskondensator realisiert werden. Hier wirkt die Drossel mit ihrem Innenwiderstand (und ihrer Impedanz) zusammen mit der Kapazität des Zwischenkreises als Dämpfungsglied. Für eine wirksame Dämpfung muss die Zeitkonstante deutlich größer sein als die charakteristische Zeit des Impulses. Dieser Ansatz ist jedoch nur für Kleinleistungsnetzteile umsetzbar.

Varistoralterung als Zuverlässigkeitsproblem

Schutzbauteile altern. Bei Varistoren führt jede impulsförmige Energieeinwirkung zu lokalem Aufheizen und zu mikroskopischen Strukturänderungen. Über die Lebensdauer kann sich die Kennlinie verschieben. In Multistress-Szenarien (hohe Temperatur + wiederholte Impulse) beschleunigt sich dieser Prozess. Solche kumulativen Schädigungen sollten in der Spezifikation implizit berücksichtigt werden. Für die Praxis bedeutet das: Sicherheitsreserven, Derating, geeignete Wärmeabfuhr und vor allem eine Festlegung der Überspannungskategorie (OVC) und der zugehörigen Prüfpegel.

Burst-Impulse: Impulspakete mit hoher Störwirkung

Burst-Impulse nach IEC 61000-4-4 sind energieärmer als Surge, können jedoch durch ihre hohe Wiederholrate und schnelle Flanken funktionelle Störungen auslösen. Typisch sind Impulspakete (Burst-Trains), die über kapazitive und induktive Kopplungen in Schaltungsteile einkoppeln. Die Konsequenz ist zweigeteilt: Erstens kann das Netzteil selbst gestört werden (Regelkreisinstabilität, Fehltriggern von Schutzfunktionen). Zweitens können Störungen in das nachgeschaltete System weitergegeben werden, etwa über parasitäre Kapazitäten zwischen Primär und Sekundär, über Ableitkapazitäten von Filtern und über

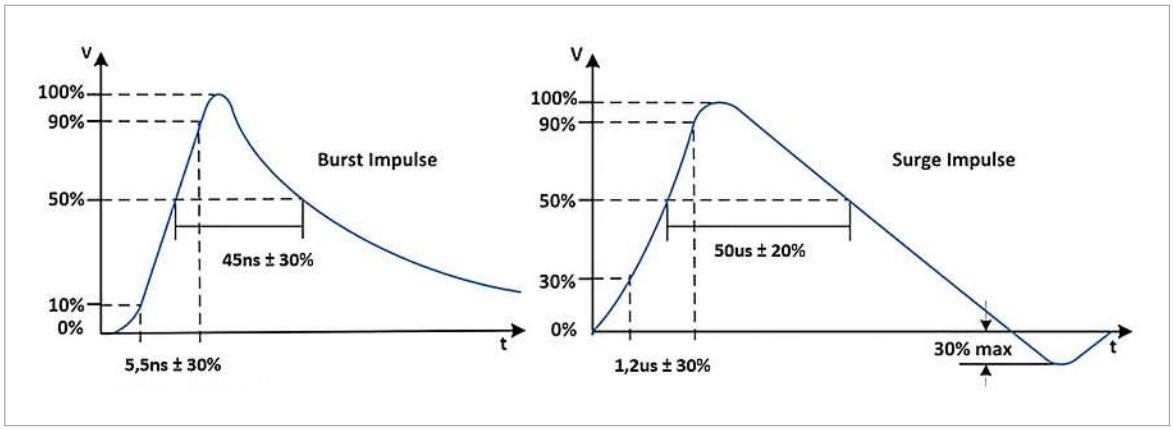


Bild: inpotron Schaltnetzteile GmbH

Bild 2: Burst- und Surge-Impuls entsprechend der IEC 61000-4-5.

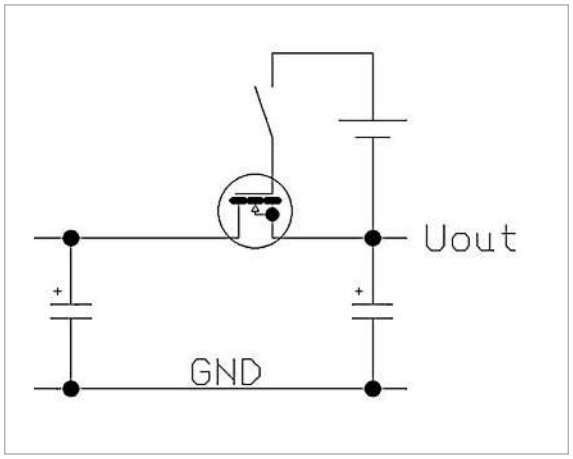


Bild: inpotron Schaltnetzteile GmbH

Bild 3: Sekundärseitiger, elektronischer Schalter.

gemeinsame Masseführungen. Deshalb ist ein gutes Layout ohne Koppelschleifen zentral. Burst muss systemisch betrachtet werden: das Netzteil ist Teil einer Kopplungskette.

Dynamik: Zuschaltung, Hochlauf, Unterbrechung und Abschalten

Beim Anlegen der Eingangsspannung tritt zunächst eine Startverzögerung auf, bis interne Hilfsspannungen aufgebaut, Steuerungen initialisiert und Regelkreise freigegeben sind. Typische Größenordnungen liegen zwischen 200 ms und 2 s, abhängig von Topologie, Leistungsbereich, PFC und Schutzstrategien. Der eigentliche Ramp-Up der Ausgangsspannung erfolgt danach last- und kapazitätsabhängig. In vielen Designs wird ein kontrollierter Hochlauf (Softstart) implementiert, um Einschaltüberschwinger, Inrush am Ausgang und Lastinteraktionen zu reduzieren.

Überschwinger im Hochlauf sind ein Zusammenspiel aus Regelkreisbandbreite, Kompensationsnetzwerk, Ausgangsfilter und Last. Ein „Kriechfall“ (very slow ramp) kann Überschwinger praktisch eliminieren, ist aber nicht immer zulässig, wenn die Anwendung schnelle Verfügbarkeit fordert. Als praxisgerechter Richtwert gilt häufig: Überschwinger < 5 % von Uout. Bei 12 V entspricht das 0,6 V. Es ist zu beachten, dass nicht nur der Maximalwert zählt, sondern auch die Dauer und die Energie im Überschwinger.

Die Netzausfallüberbrückung ist das Zeitfenster, in dem die Ausgangsspannung nach Ausfall der Eingangsspannung noch innerhalb der Spezifikation bleibt. Sie wird primär durch den Energieinhalt des Zwischenkreises bestimmt. Typische Werte reichen von 1 ms bis 100 ms; in vielen AC-Netzteilen sind ≥ 20 ms unter Volllast über den gesamten Eingangsspannungsbereich ein verbreiteter Zielwert. Bei Teillast können deutlich größere Werte auftreten. Der Herunterlauf (Decay) der Ausgangsspannung nach Beginn des Abfalls ist stark lastabhängig: bei sehr geringer Last kann die Entladung der Ausgangskapazitäten Sekunden dauern. Dieser Punkt wird in Spezifikationen häufig nicht definiert, obwohl er für Systemzustände (Reset, Speicherhaltung, Brownout-Detektion) kritisch sein kann.

Praxisrelevant sind kurze Unterbrechungen der Eingangsspannung. Bis etwa 20 ms werden sie im Volllastfall häufig ohne Ausgangsauswirkung überbrückt; bei Teillast kann die tolerierbare Unterbrechungszeit größer sein. Überschreitet die Unterbrechung die Überbrückungsfähigkeit, erfolgt ein Abschalten und ein Neustart. Absenkungen oder Überhöhungen der Eingangsspannung verändern die Zwischenkreisspannung und wirken damit auf Regelreserve, Ripple und transienten Ausgang.

Beim Einschalten lädt sich der Zwischenkreiskondensator auf. Je niedriger der Innenwiderstand des Eingangsfilters und je höher die Anstiegsrate der Eingangsspannung, desto höher der Einschaltstromstoß. Heißleiter (NTC) begrenzen den Inrush nur bedingt: im warmen Zustand sinkt ihr Widerstand, sodass nach kurzer Netzunterbrechung die Begrenzung weitgehend entfällt.

Wissenschaftlich lässt sich dies als Summation impulsförmiger Ströme mit hoher Gleichzeitigkeit interpretieren; systemseitig ist daher entweder eine aktive Inrush-Begrenzung, Sequencing oder eine abgestimmte Absicherung erforderlich.

In vielen Anwendungen ist es gewünscht, sekundärseitig einzelne Ausgänge zu schalten, etwa bei Netzteilen mit mehreren Ausgangsspannungen. Wird ein elektronischer Schalter eingesetzt, können hohe Stromimpulse entstehen, wenn kundenseitige Kapazitäten abrupt zugeschaltet werden. Die Last ist dabei oft nicht bekannt; Worst-Case-Kapazitäten und Einschaltprofile müssen daher spezifiziert werden. Ein zweites Risiko besteht im Linearbetrieb des Schalters während des Übergangs (insbesondere bei Kurzschluss- oder Fault-Bedingungen), wodurch hohe Verlustleistung im Schalter entstehen kann. Daher muss eine Hilfsspannung verfügbar sein, die auch

Bild: inpotron

VERFASST VON
Fabian Schmid
Team Vertrieb Kundenbeziehung und Vernetzung
inpotron Schaltnetzteile GmbH

dann existiert, wenn das Hauptnetzteil noch nicht eingeschaltet ist. Nur so können definierte, sichere Zustände garantiert und unsichere Zwischenzustände vermieden werden.

Lastverhalten: Mischlasten, Peak-Lasten und nichtlineare Interaktionen

Die Last ist als Systemkomponente zu betrachten. In der Praxis treten kapazitive Eingänge, induktive Verbraucher und dynamisch geregelte Lasten in Kombination auf. Daraus resultiert eine nichtlineare Rückwirkung auf das Netzteil.

Peak-Lasten entstehen z. B. beim Laden von Kapazitäten, beim Motoranlauf oder durch Sicherungsanlaufcharakteristiken. Für eine valide Auslegung sind zwei Größen zwingend zu definieren: die Höhe des Spitzenstroms und die zulässige Dauer. Ohne diese Definition arbeitet das Netzteil entweder zu konservativ (unnötig groß, teuer) oder zu knapp (Abschaltungen, Instabilität).

DC/DC-Wandler als Last: Konstantleistungseffekt und „doppelter Strom“

Besonders kritisch sind nachgeschaltete DC/DC-Wandler. Viele dieser Wandler beginnen ihren Betrieb bereits während des Hochlaufs von Uout und ziehen dabei teilweise bereits die volle Leistung. Das kann die Strombegrenzung des Netzteils auslösen. Die Abschaltschwelle des Netzteils und die Reglerdynamik werden dadurch zum limitierenden Faktor. Ein typisches Fehlerbild ist: Der DC/DC-Wandler versucht zu starten, Uout bricht ein, I steigt weiter an, das Netzteil schaltet ab, startet erneut, und der Zyklus wiederholt sich (Hiccup oder Restart-Lock). Die praktische Lösung ist eine verzögerte Zuschaltung des DC/DC-Wandlers, erst nachdem Uout den Nennwert stabil erreicht hat.

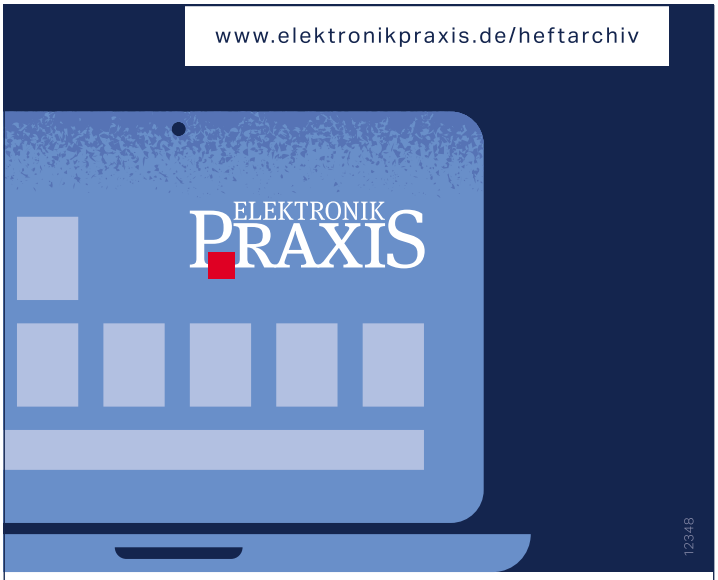
Rückspeisung (Regeneration) durch motorische Bremsung

Bei motorischer Bremsung wird mechanische Energie in elektrische Energie zurückgespeist. Diese Energie lädt die Ausgangskondensatoren des Netzteils über die Nennspannung hinaus. Das Netzteil erkennt eine Überspannung, regelt zurück und kann bei Überspannungsdetektion abschalten. Hier ist eine saubere Systemdefinition erforderlich: Wie viel Rückspeiseenergie ist möglich? Welche Überspannung ist zulässig? Bewährte Lösungen sind Entkopplung durch Dioden oder aktive MOSFET-Entkopplung sowie Brems-Chopper, die überschüssige Energie in Wärme umsetzen.

Schlussfolgerungen und Handlungsempfehlungen

- Stationäre Kennwerte sind notwendig, aber nicht hinreichend. Dynamische und transiente Vorgänge müssen explizit spezifiziert werden.
- Surge- und Burst-Resilienz erfordert systemische Konzepte: Begrenzung, Ableitung, Energieverteilung, Layout und Koordination von Sicherung und Schutzbauteilen. Die Sicherung darf bei normativen Surge-Ereignissen nicht auslösen.
- Startverhalten, Überschwinger, Hold-up und Ausschaltverzögerungen sind zeitkritische Systemparameter. Sie müssen mit dem Anwender abgestimmt und für Uin(min) bis Uin(max) definiert werden.
- Lastverhalten ist die dominierende Unbekannte. Peak-Lasten sind über Höhe und Zeit zu definieren; DC/DC-Wandler erfordern Sequencing. *(mr)*

www.elektronikpraxis.de/heftarchiv



Alle Ausgaben digital lesen

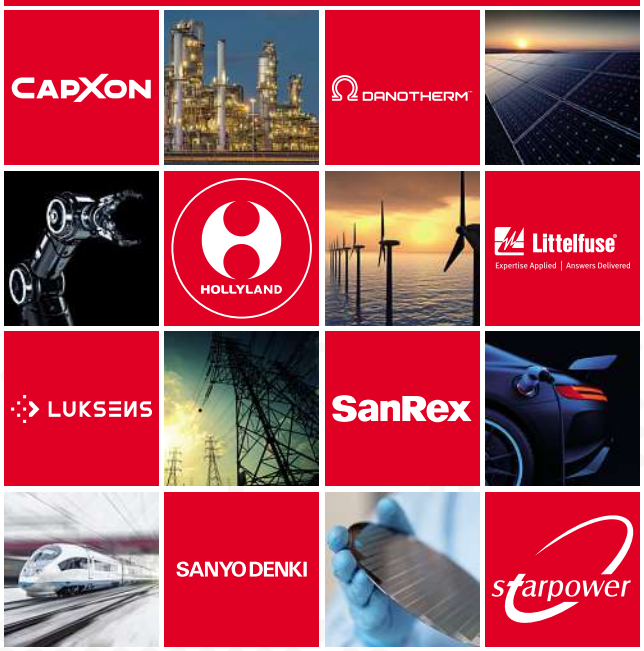
Im Elektronikpraxis-Heftarchiv stehen Ihnen die Ausgaben und Sonderhefte der vergangenen Jahre kostenlos zum Lesen als PDF oder e-Paper zur Verfügung.

www.elektronikpraxis.de/heftarchiv

ELEKTRONIK PRAXIS ist eine Marke der VOGEL COMMUNICATIONS GROUP

MJC ELEKTROTECHNIK

POWER. ELECTRONICS. DISTRIBUTION.



MJC Elektrotechnik GmbH · Am Gielbrunnen 17 · D-67304 Eisenberg
Mail info@mjc-elektrotechnik.de · www.mjc-elektrotechnik.de

IMPRESSUM

ELEKTRONIK PRAXIS

www.elektronikpraxis.de

Leserservice

elektronikpraxis.de/hilfe
oder E-Mail an
vertrieb@vogel.de mit Betreff „ELEKTRONIKPRAXIS".
Gerne mit Angabe Ihrer Kundennummer
vom Adressetikett: *CS-1234567*

Redaktionsservice

Kontakt zur Redaktion:
Tel. +49 931 418-2333
fachmedien@vogel.de

Chefredakteurin:
Maria Beyer-Fistrich (mbf), V. i. S. d. P.

Redaktion:
Susanne Braun (sb), Manuel Christa (mc), Stefanie Eckardt (se), Sebastian Gerstl (sg), Hendrik Härter (heh), Margit Kuther (mk), Veronika Maucher (vm), Michael Richter (mr), Kristin Rinortner (kr)

Freie Mitarbeiter:
Thomas Kuther, Richard Oed

Redaktionsanschrift:
Würzburg: Max-Planck-Str. 7/9, 97282 Würzburg
Tel. -2477, Fax -2740

Layout:
Alexandra Geißner

ELEKTRONIKPRAXIS ist Organ des Fachverbandes Elektronik-Design e.V. (FED). FED-Mitglieder erhalten ELEKTRONIKPRAXIS im Rahmen ihrer Mitgliedschaft.

Schreibweisen, Firmen- und Produktnamen:
Wir halten uns generell an die Schreibempfehlungen des Dudens.

Haftungsausschluss:
Für den Inhalt der einzelnen Artikel sind die jeweils benannten Autoren verantwortlich, er spiegelt nicht zwangsläufig die Meinung der Redaktion wider. Eine Haftung für die Richtigkeit der Veröffentlichungen kann trotz sorgfältiger Prüfung nicht übernommen werden. Kein Teil dieser Publikation darf ohne ausdrückliche schriftliche Genehmigung in irgendeiner Form reproduziert oder unter Verwendung elektronischer Systeme verarbeitet, vervielfältigt oder verbreitet werden.

Verkauf von Medialeistungen

Director Commercial:
Max Stern
sales@vogel.de

Auftragsmanagement:
auftragsmanagement@vogel.de

Abonnement

Bezugspreis (inklusive Versandkosten):

Inland:	jährl.	286,90 €
Ausland:	jährl.	318,10 €

Verbreitete Auflage:
Angeschlossen der Informationsgemeinschaft zur Feststellung der Verbreitung von Werbeträgern – Sicherung der Auflagenwahrheit.
Aktuelle Zahlen: www.ivw.de

Datenbank:
Die Artikel dieses Heftes sind in elektronischer Form kostenpflichtig über die Wirtschaftsdatenbank GENIOS zu beziehen:
www.genios.de

ISSN 0341-5589

VOGEL COMMUNICATIONS GROUP

Vogel Communications Group GmbH & Co. KG
Max-Planck-Str. 7/9, 97082 Würzburg
Tel. +49 931 418-0
www.vogel.de

Beteiligungsverhältnisse:
Persönlich haftende Gesellschafterin:
Vogel Communications Group Verwaltungs GmbH
Max-Planck-Straße 7/9, 97082 Würzburg
Kommanditisten:
Dr. Kurt Eckernkamp GmbH,
Nina Eckernkamp, Klaus-Ulrich von Wangenheim,
Heiko Lindner, Axel von Kaphengst

Geschäftsführung:
Matthias Bauer (Vorsitz), Dennis Hirthammer,
Günter Schürger

Druck:
Vogel Druck und Medienservice GmbH
Leibnizstraße 5, 97204 Höchberg

Gedruckt auf Steinbeis silk Recyclingpapier, ausgezeichnet mit dem Blauen Engel und dem EU Ecolabel.
Mehr Infos unter: www.stp.de

Fragen zur Produktsicherheit:
produktsicherheit@vogel.de

Copyright:
Vogel Communications Group GmbH & Co. KG

STABILER BETRIEB MIT KLEINEN KONDENSATOREN

LDO-Regler mit 500 mA Ausgangsstrom

Bild: ROHM Semiconductor GmbH

Rohm hat die LDO-Regler-ICs der „BD9xxN5 Serie" mit einem Ausgangsstrom von 500 mA entwickelt. Die neue Serie zeichnet sich durch die firmeneigene, äußerst stabile Regelungstechnologie „Nano Cap" aus. Sie umfasst 18 Produkte für 12-V-/24-V-Primärstromversorgungsanwendungen in Automobilen, industriellen Anlagen und Kommunikationsinfrastrukturen.

In den letzten Jahren ist die Bestückungsdichte von elektronischen Geräten deutlich gestiegen. Stromversorgungs-ICs müssen mit Kondensatoren mit geringer Kapazität einen stabilen Betrieb gewährleisten. Allerdings war es technisch schwierig, eine solche Leistung mit Ausgangskondensatoren von 1 µF oder weniger zu erreichen. Deshalb entwickelte Rohm im Jahr 2022 die LDO-Regler der „BD9xxN1 Serie" (150 mA I_{out}), die mit der firmeneigenen, äußerst stabilen Steuerungstechnologie „Nano Cap" ausgestattet sind. Dank dieser Innovation ist ein stabiler Betrieb mit Ausgangskondensatoren von nur 100 nF möglich. Die neu entwickelte BD9xxN5-Serie baut auf der BD9xxN1-Serie auf, erhöht den Ausgangsstrom auf 500 mA und erweitert damit ihre Eignung für Anwendungen mit höherem Leistungsbedarf. Darüber hinaus wird eine sehr geringe Ausgangsspannungswelligkeit von ca. 250 mV (bei einer Laststromschwankung von 1 mA bis 500 mA innerhalb von 1 µs) mit einer geringen Ausgangskapazität von nur 470 nF (typisch) erreicht.

BIS ZU 140 W

USB-C Dual-Role-Power-Controller

Bild: Diodes Incorporated

Diodes Incorporated stellt die Dual-Role-Power-Controller (DRP) AP53781 und AP53782 mit 28-V-USB-Type-C-Power-Delivery (PD) vor, die für die Verwaltung von Gleichstromanforderungen und -ausgängen in batteriebetriebenen, tragbaren Geräten entwickelt wurden. Die Controller unterstützen den neuesten USB PD3.1 Extended Power Range (EPR)-Standard und liefern bis zu 140 W zum Laden sowie zum Entladen der internen Batterie. Zu den mit USB-Typ-C-Anschlüssen ausgestatteten Geräten (TCD) mit diesen Dual-Role-Ports gehören Powerbanks, Elektrowerkzeuge, E-Bikes und tragbare Displays, wodurch Benutzer nicht mehr mehrere Adapter oder Kabel mit sich führen müssen. Der AP53781 und der AP53782 verfügen über leistungsstarke Firmware-Konfigurationen, um automatisch mit dem PD3.1-konformen Ladegerät als Senke oder TCD als Quelle zu kommunizieren. Beide Geräte unterstützen den Modus für leere Akkus, wenn der Systemakku die Controller nicht mit Strom versorgen kann. In diesem Fall fungieren sie als Senke, bis eine externe Stromquelle angeschlossen wird. Die 34-V-toleranten Konfigurationskanal-Pins (CC) ermöglichen einen robusten Systemschutz vor versehentlichen Kurzschlüssen. Der AP53782 verfügt über eine I²C-Schnittstelle, die mehr Flexibilität für anspruchsvollere Designs bietet.

POWER OF ELECTRONICS

29.–30. SEPTEMBER 2026
VOGEL CONVENTION CENTER WÜRZBURG

ENTWICKELN MIT WEITBLICK –
360-Grad-Sicht auf die Elektronik

CALL FOR PAPERS:
Bis 20. April 2026 Vortrag einreichen!

Besetzen Sie jetzt Ihr Spezialthema!

Experten aus Industrie und Forschung und Lehre sowie erfahrene Anwender sind eingeladen, ihr Wissen zu teilen. Gesucht werden in der Praxis erprobte Lösungen, innovative Technologien und Entwicklungstrends, Grundlagenwissen verständlich aufbereitet, Erfahrungsberichte aus realen Projekten sowie Konzepte für die Elektronik von morgen.

www.power-of-electronics.de/callforpapers

Eine Veranstaltung von ELEKTRONIK PRAXIS – einer Marke der VOGEL COMMUNICATIONS GROUP

14834

Bild: Hioki

Elektrochemische Analyse: Mithilfe der Slurry-Analyse lässt sich die Effizienz bei der Entwicklung von Lithium-Ionen-Batterien steigern. Mithilfe der passenden Hardware können Entwickler das ideale Verhältnis zwischen aktivem Material und leitfähigen Additiven ermitteln.

ELEKTROCHEMISCHE CHARAKTERISIERUNG

Eine optimale Elektrodenqualität bei Lithium-Ionen-Batterien

Die elektrochemische Analyse von Batterie-Slurries verspricht erhebliche Effizienzsteigerungen in der Lithium-Ionen-Batterie-Entwicklung. Ein integriertes Messsystem macht diese Technologie nun auch für Entwickler ohne Elektrochemie-Spezialkenntnisse zugänglich.

Batterien sind heute einfach überall und aus unserem Leben nicht mehr wegzudenken. Ob in der einfachen Taschenlampe, im Smartphone, Laptop oder Elektroauto. Ohne Batterien läuft praktisch nichts mehr. Sogar in Herzschrittmachern und anderen wichtigen medizinischen oder sicherheitsrelevanten Systemen stecken sie drin. Sie speichern nicht nur Strom aus erneuerbaren Energien, sondern sorgen auch dafür, dass unsere Geräte laufen oder springen ein, wenn mal der Strom ausfällt.

Ohne Batterien wäre ein großer Teil unserer mobilen technischen Welt kaum denkbar. In allen Einsatzbereichen sollen Batterien effizient, nachhaltig, aber auch betriebs- und ausfallsicher funktionieren. Umfangreiche Tests sind daher in der Entwicklung und Produktion von Batterien erforderlich. Dabei umfassen diese Tests unterschiedliche chemische, physikalische und elektrotechnische Verfahren.

Bild: Meilhaus

VERFASST VON
Ernst Bratz
Technisches Marketing
Meilhaus Electronic

Das Slurry-Verfahren in der modernen Batterieproduktion

Bekannte Testparameter von Batterien umfassen das Lade-/Entladeverhalten, Selbstentladung, Alterungsprozesse, Energieerhalt, Leistungscharakteristik und Innenwi-

derstand. Ein weiterer praxisrelevanter, jedoch weniger bekannter Testbereich ist die Slurry-Analyse.

Slurry-Verfahren sind ein wesentlicher Baustein der modernen Batterieproduktion. Als Slurry wird eine viskose Paste aus Bindemittel, Leitruß und Lösungsmitteln (Wasser oder organische Lösemittel) bezeichnet, mit der Metallfolien für die Elektrodenherstellung beschichtet werden (Bild 1). Nach der Beschichtung und dem Trocknungsprozess entstehen die Elektrodenfolien für Lithium-Ionen-Zellen.

Die Herausforderung liegt darin, dass Kohlenstoffnanoröhren (CNTs) zwar eine exzellente elektrische Leitfähigkeit aufweisen, jedoch zur Agglomeration neigen. Eine homogene Dispersion im Slurry ist daher entscheidend für die elektrochemischen Eigenschaften der finalen Batteriezelle. Die Slurry-Analyse ermöglicht es, die Qualität der Elektrodenpaste bereits vor der Weiterverarbeitung zu bewerten. Das ist ein wichtiger Qualitätssicherungsschritt in der Produktionskette.

Bei der Slurry-Analyse werden sowohl die rheologischen Eigenschaften (Viskosität) als auch die Partikelgrößenverteilung untersucht. Bisher klaffte jedoch eine Lücke bei der elektrochemischen Charakterisierung. Diese schließt die Slurry-Analyse-Lösung SA2634-KIT von Hioki, die eine direkte elektrochemische Bewertung des Slurrys vor der Elektrodenfertigung ermöglicht.

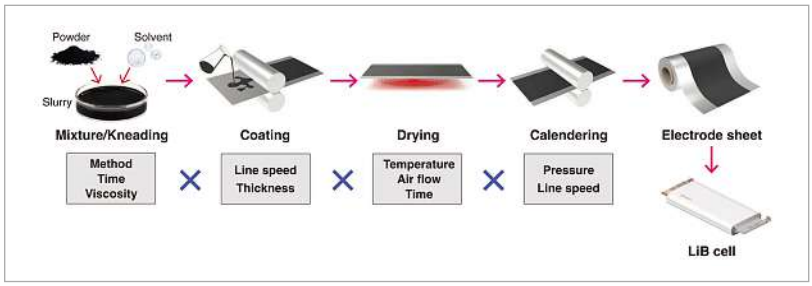


Bild: Hioki

Bild 1:
Das Slurry-Verfahren ist ein wesentlicher Baustein der modernen Batterieproduktion.

Eine komplette elektrochemische Analyse des Batterie

Das System ermöglicht eine vollständige elektrochemische Charakterisierung von Batterie-Slurries bereits in der Entwicklungs- und Produktionsphase. Entwicklern hilft es dabei, den optimalen Mischzustand zu identifizieren und das ideale Verhältnis zwischen aktivem Material und leitfähigen Additiven zu bestimmen.

Basierend auf elektrochemischer Impedanzspektroskopie (EIS) modelliert das System ein Ersatzschaltbild (Bild 2) und extrahiert drei proprietäre Kennwerte: DCR, Rratio und Uniformity. Diese objektiven Messgrößen

TELEDYNE LECROY
Everywhereyoulook™

12-Bit High-Definition Oszilloskope bis 65 GHz

WaveMaster 8000HD ist das einzige Oszilloskop mit hoher Bandbreite, dass für alle Phasen der Produktentwicklung geeignet ist. Kein anderes Oszilloskop unterstützt mehr Entwicklungsaufgaben mit mehr Tools.

- Bis zu **65 GHz** Bandbreite bei **320 GS/s**
- **12 Bit** bei voller Bandbreite und Abtastrate
- **8 Gpts** – der längste Erfassungsspeicher im Markt
- Unerreichte Validierungs- und Debug-Funktionen
- Integriertes **Expertenwissen für serielle Daten** mit einfacher Bedienung

Teledyne LeCroy GmbH
Tel. 0 62 21-82 70-0
teledynelecroy.de

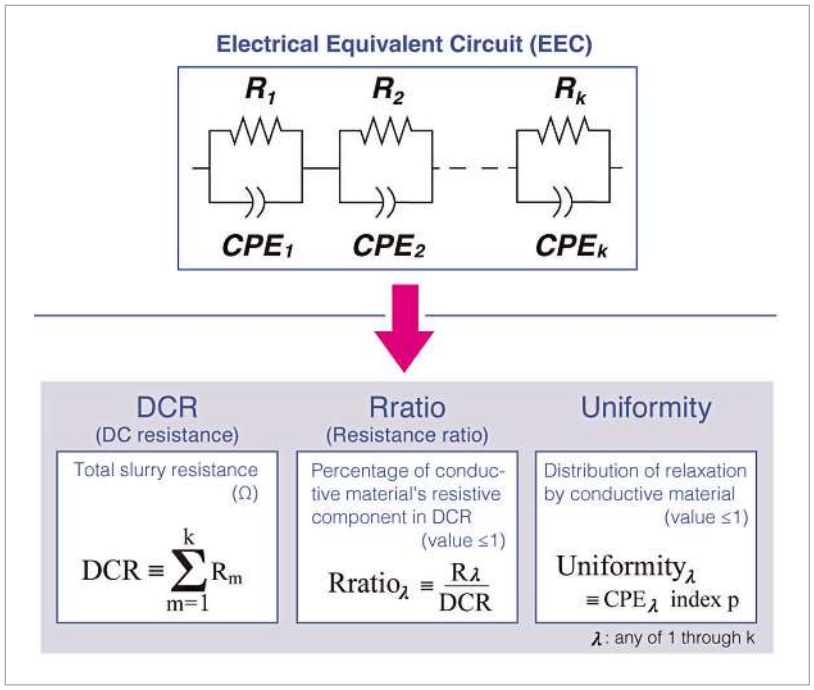


Bild: Hioki

Bild 2: Das System modelliert zudem mit EIS-Daten ein Ersatzschaltbild, um drei proprietäre Parameter zu extrahieren.

quantifizieren die Leitfähigkeitseigenschaften von Lithium-Ionen-Batterie-Slurries und ersetzen subjektive Bewertungsverfahren.

Der praktische Nutzen liegt in der Optimierung von F&E-Prozessen und Produktionseffizienz: Hochleistungsfähige Slurries lassen sich schneller identifizieren, was zu besseren Elektrodenfolien und Zellen, kürzeren Entwicklungszyklen und höherer Batterieausbeute führt.

Die drei Schlüsselparameter im Detail:

- DCR (DC Resistance): Quantifiziert den Gesamtwiderstand der Slurry-Suspension.
- R_{ratio} (Resistance Ratio): Bestimmt den Anteil der Widerstandskomponente des leitfähigen Materials am DCR.
- Uniformity: Bewertet die Homogenität der leitfähigen Pfade und die Konsistenz der Elektrodenbeschichtung.

Die Uniformity ist dabei besonders kritisch, da ungleichmäßige Beschichtungen zu Performance-Einbußen, reduzierter Effizienz und potenziellen Sicherheitsrisiken durch inhomogene Ionenübertragung und Leitfähigkeitsverteilung führen können.

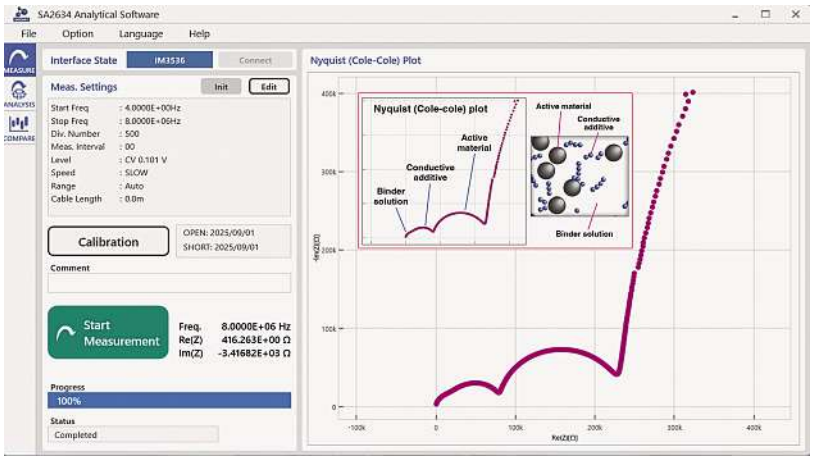


Bild: Hioki

Bild 3: Der praktische Einsatz ist einfach. Dazu wird 1 ml des zu untersuchenden Slurrys in den Probenhalter/die Elektrodenzelle gefüllt.

Der Aufbau des Messsystems und Software-Integration

Der japanische Messtechnikspezialist Hioki (im Vertrieb der Meilhaus Electronic), hat sein Portfolio um Batteriemesstechnik erweitert und bietet nun eine Komplettlösung für die elektrochemische Slurry-Analyse an. Das System basiert auf einem LCR-Meter (IM3536), das über die zugehörige Software elektrochemische Impedanzspektroskopie-Messungen (EIS) durchführt. Hardwareseitig umfasst das System eine spezielle Halterung am LCR-Meter, die Elektrodenzellen mit den zu analysierenden Materialproben aufnimmt.

Das Windows-basierte Analyseprogramm SA2634 wurde speziell für die Slurry-Analyse entwickelt und ergänzt das LCR-Meter um erweiterte Auswertungsfunktionen. Ein zentrales Feature ist die Nyquist-Darstellung (Cole-Cole-Plot), in der Entwickler die charakteristischen Eigenschaften der einzelnen Slurry-Komponenten direkt ablesen können (Bild 3):

- Bindemittellösung,
- Leitfähige Additive und
- aktives Elektrodenmaterial.

Der Kurvenverlauf im Nyquist-Diagramm liefert dabei direkten Aufschluss über die elektrochemischen Eigenschaften und Wechselwirkungen der verschiedenen Materialkomponenten. Das ermöglicht eine fundierte Bewertung der Slurry-Qualität bereits vor der Elektrodenproduktion. Das integrierte System bietet somit eine durchgängige Messkette von der Hardware-Erfassung bis zur detaillierten Datenanalyse.

Der Einsatz in der Praxis ohne tiefe EIS-Kenntnisse

Der Messablauf gestaltet sich unkompliziert und standardisierbar. Zunächst wird ein Milliliter des zu charakterisierenden Slurrys in eine Einweg-Elektrodenzelle gefüllt. Die Probenhalter sind als 50er-Packs verfügbar und gewährleisten reproduzierbare Messbedingungen. Der befüllte Probenhalter wird anschließend in die Systemhalterung eingesetzt und diese am LCR-Meter (IM3536) fixiert. Das LCR-Meter wird über USB oder Ethernet mit einem PC verbunden.

Die Software SA2634 steuert das LCR-Meter und führt automatisiert einen EIS-Sweep (Elektrochemische Impedanzspektroskopie) durch, wobei Impedanzspektren über einen definierten Frequenzbereich erfasst werden. Nach der Messung berechnet die Software automatisch die charakteristischen Parameter DCR, R_{ratio} und Uniformity aus den Impedanzdaten und erstellt das entsprechende Ersatzschaltbild. Die Transformation von rohen Impedanzspektren in praxisrelevante Kennwerte ist dabei der entscheidende Faktor.

Ein wesentlicher Vorteil des Systems liegt darin, dass keine vertieften EIS-Kenntnisse vom Anwender erforderlich sind. Die komplexe Impedanzanalyse wird durch die Software vollständig automatisiert und in direkt interpretierbare Qualitätsparameter für die Slurry-Bewertung umgewandelt, was den Einsatz auch für Entwickler ohne spezialisierte Elektrochemie-Expertise ermöglicht. *(heh)*

FUNKTIONS-/ARBITRÄR-GENERATOR

Der SDG3000X für vielseitige Anwendungen in der Leistungselektronik

Der SDG3000X von Siglent ist ein Multifunktions-Signalgenerator, der verschiedene Gerätetypen in einem kompakten System vereint. Als Funktionsgenerator, Arbiträrgenerator (AWG/AFG), Impulsgenerator, Analog-/Digitalmodulator, Sweep-Generator, Frequenzzähler und Referenztakt-Signalquelle bietet er eine umfassende Lösung für vielfältige Messaufgaben. Das Gerät verfügt über zwei Kanäle mit einer maximalen Ausgangsfrequenz von 200 MHz und einer maximalen Ausgangsamplitude von 20 V_{SS}. Mit Abtastraten bis 1,2 GS/s und einem großen Speicher von bis zu 40 Mpts erreicht der SDG3000X eine hohe Signalqualität und Flexibilität bei der Wellenformerzeugung.

Zwei besondere Technologien heben den SDG3000X von herkömmlichen DDS-Wellenformgeneratoren (Direct Digital Synthesis) ab: EasyPulse ist speziell für die präzise Impulssignalerzeugung optimiert. Diese Technologie erzeugt Impulse mit einer minimalen Breite von nur 8 ns und schnellen Anstiegs-/Abfallflanken, die auch bei Frequenzschwankungen stabil bleiben. Dabei ermöglicht sie fein abgestufte Anpassungen des Flankentimings und der Impulsbreite für hochpräzise Impulssignale. Die TrueArb-Technologie ermöglicht die Punkt-für-Punkt-Ausgabe von Arbiträr-Signalen mit geringem Jitter bei Abtastraten von 10 MS/s bis 600 MS/s.

Bild: Siglent

Der SDG3000X unterstützt eine breite Palette von Signalarten: PRBS-Signalausgabe mit bis zu 120 MBit/s, Basisband- und IF-IQ-Signalerzeugung mit Symbolraten von 250 bis 50 MSymb/s sowie verschiedene Modulationsarten wie AM, DSB-SC, FM, PM, FSK, ASK, PSK und PWM. Die Bedienung erfolgt über ein Sieben-Zoll-Touchscreen. Für automatisierte Testumgebungen unterstützt das Gerät Matlab- und Python-Skripte. Der eingebaute WebServer und vielseitige Schnittstellen ermöglichen sowohl die Fernsteuerung als auch die Synchronisation mehrerer Geräte.

Ein typisches Anwendungsgebiet ist die dynamische Charakterisierung von Leistungshalbleitern wie IGBTs oder MOSFETs. Dabei erzeugt der Funktionsgenerator zwei aufeinanderfolgende Pulssequenzen zur Überprüfung des Schaltverhaltens und der Verluste im Echtzeitbetrieb. Die präzise Kanal-Synchronisation, das Channel Tracking und die schnellen Flanken der SDG3000X-Serie ermöglichen eine exakte Nachbildung realitätsnaher Schaltvorgänge.

GW INSTEK 50 1975

embeddedworld Exhibition&Conference
Embedded World 2026
10-12 March, 2026
Nuremberg, Germany
Stand 5-219

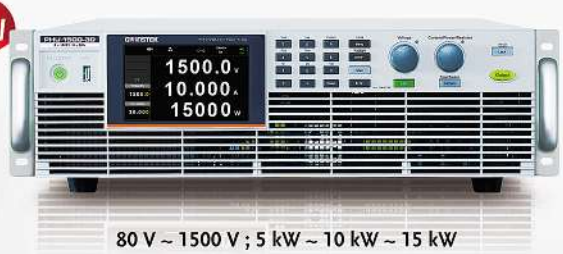
AC/DC-Betrieb für unbegrenzte Testmöglichkeiten

NEW

Serie ASR-6000
- Netzstörsimulation
- Arbiträrgenerator
- Leistungsbereich 4,5 ~ 39,6 KVA

Für DC Power Anforderungen bei Energieversorgung, Leistungselektronik, E-Mobilität und Forschung

NEW



80 V ~ 1500 V ; 5 kW ~ 10 kW ~ 15 kW

Serie PHU Mehrbereichs-Hochleistungs-Gleichstromnetzteil
- Betriebsarten: CV/CC-Priorität, Widerstandssimulation
- Leistung erweiterbar mit bis zu 10 Geräten
- Schnittstellen: LAN, USB, EtherCAT, CANopen, Modbus, Profinet, DeviceNet

Good Will Instrument Euro B.V. http://www.gwinstek.com/en-GB

AUTOMATISIERTE TESTSYSTEME

Emerson bietet PXI-Testplattformen von Oszilloskop bis I/O-Module

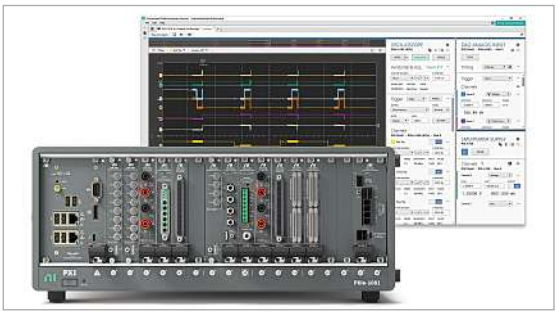


Bild: Emerson NI

Emerson erweitert seine NI PXI-Testplattform um verschiedene Hardware-Komponenten. Die Oszilloskope NI PXIe-5108 bieten vier und acht Eingangskanäle und eine Bandbreite von 100 MHz bei 250 MSamples/s und einer Auflösung von 14 Bit. Das kompakte Design ermöglicht hohe Kanaldichte für umfangreiche Datenerfassung.

Das 18-Slot-Chassis NI PXIe-1081 verfügt über eine Systembandbreite von 2 GBit/s und ist vollständig hybrid ausgelegt. Es lässt sich flexibel skalieren und verbindet verschiedene softwaregesteuerte Testsysteme. Der Embedded-Controller NI PXIe-8842/8862 unterstützt sowohl Windows 11 als auch NI Linux Real-Time. Sie richten sich speziell an Anwendungen, die keinen GPIB-Anschluss benötigen. Schließlich die Multifunktions-I/O-Module NI PXIe-6381/6383 mit einer Auflösung von 18 Bit sowie einer absoluten Genauigkeit von bis zu 980 µV. Sie verfügen über 16 und 32 Kanäle für rauscharme Spannungsmessungen.

Die Hardware-Erweiterungen arbeiten nahtlos mit NI-Software wie LabVIEW, InstrumentStudio und TestStand zusammen. Dies ermöglicht es Entwicklungsteams, bestehende Programmierkenntnisse zu nutzen und Automatisierungsabläufe zu beschleunigen. Ein besonderer Fokus liegt auf der Unterstützung KI-gestützter Arbeitsabläufe. Die modulare Architektur der PXI-Plattform mit ihrer hohen Datenverarbeitungskapazität soll Echtzeit-Analysen und datenbasierte Erkenntnisse direkt in der Testumgebung ermöglichen.

VECTOR NETWORK ANALYZER

Hochfrequenz-Charakterisierung mit dem A2202 für präzise S-Parameter-Messungen bis 22 GHz

Vector Network Analyzer (VNA) sind spezialisierte Messgeräte für die Hochfrequenztechnik, die sowohl Amplitude als auch Phase von elektrischen Signalen erfassen können. Diese Geräte charakterisieren Hochfrequenz-Komponenten wie Filter, Verstärker oder Antennen durch Messung ihrer Streuparameter (S-Parameter). S-Parameter beschreiben das Übertragungsverhalten und geben Auskunft über Reflexion, Transmission und Einfügungsverlust. In der Elektronikentwicklung sind VNAs wichtig für 5G-Komponenten, Satellitenkommunikation, Radarsysteme und Hochgeschwindigkeitsdatenübertragung.

Copper Mountain Technologies (Vertrieb: Telemeter Electronic) stellt mit dem A2202 einen 2-Port-Vector-Network-Analyzer vor, der den Frequenzbereich bis 22 GHz abdeckt. Das Gerät kombiniert hohe Dynamik mit schnellen Messgeschwindigkeiten und richtet sich an anspruchsvolle S-Parameter-Messungen in Entwicklung und Produktion.

Der A2202 arbeitet in einem Frequenzbereich von 100 kHz bis 22 GHz und bietet damit eine deutlich erweiterte Abdeckung gegenüber vielen Vorgängermodellen. Mit einer Ausgangsleistung von +15 dBm und einem Dynamikbereich von 130 dB ermöglicht er auch die zuverlässige Erfassung schwacher Signale bei komplexen Messaufgaben. Besonders hervorzuheben ist die hohe Messgeschwindigkeit mit Sweep-Zeiten von nur 12 µs pro Punkt, wodurch sich Messungen deutlich effizienter durchführen lassen als mit herkömmlichen Geräten.

Bild: Telemeter

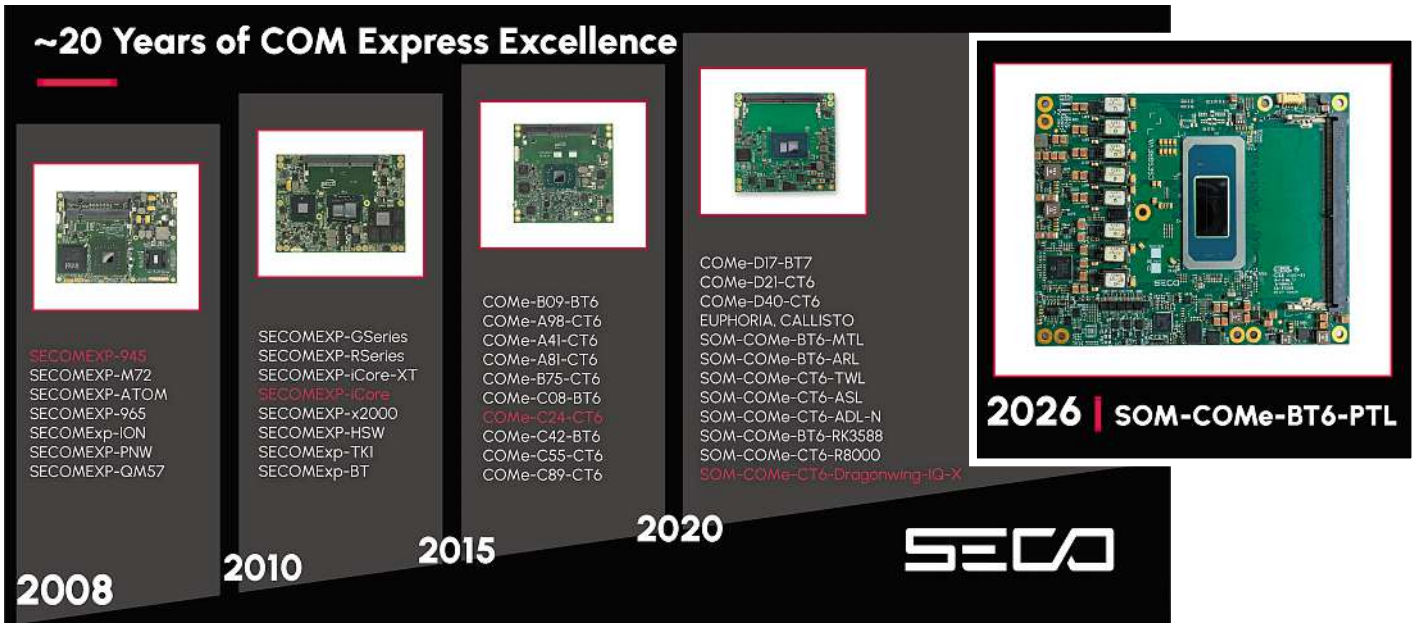
Die mitgelieferte S2VNA-Software für Windows bietet umfangreiche Funktionalitäten wie lineare und logarithmische Sweeps sowie Powersweeps, Time-Domain-Analysen mit Gating-Funktionen und Fixture-Simulationen durch Embedding und De-Embedding. Zur Verfügung stehen bis zu 16 Kanäle mit jeweils 16 Traces, erweiterte Marker-Funktionen mit Mathematik und Suchfunktionen sowie integrierte Pass-/Fail-Tests.

Der A2202 lässt sich über verschiedene Programmiersprachen und Entwicklungsumgebungen automatisieren, darunter LabVIEW, Python, MATLAB und .NET. Für Produktionsumgebungen steht ein Manufacturing Test Plug-in zur direkten Integration in Fertigungsprozesse zur Verfügung. Standardmäßig wird ein werkseitiges Kalibrierungszertifikat mitgeliefert, optional ist eine Kalibrierung nach ISO 17025 oder Z540-1 für erhöhte Rückführbarkeit verfügbar.

Der VNA eignet sich für vielfältige Einsatzgebiete wie Radar- und Satelliten-Kommunikationssysteme, Hochgeschwindigkeits-Datenschnittstellen wie PCIe Gen4/5 oder 100G Ethernet, Filter- und Verstärkerentwicklung, Antennenabstimmung und -qualifizierung, On-Wafer-Probing, Qualitätskontrolle in der Fertigung sowie Materialmessungen und Einfügungsverlustmessungen. Telemeter Electronic unterstützt Interessenten bei der Auswahl der passenden Konfiguration und bietet umfassende Beratung zu spezifischen Anwendungsanforderungen.

SECO UND COM EXPRESS - EIN LANGJÄHRIGES ENGAGEMENT

COM Express Fachwissen



Bilder: Seco

SECO: 20 Jahre COM Express-Innovation, von der frühen Einführung von PICMG bis zu den heutigen fortschrittlichen Typ-6-P

Die Geschichte von SECO im Bereich der COM-Express-Technologie basiert auf einem langfristigen Engagement für offene Standards, Modularität und industrielle Zuverlässigkeit. Der Weg begann offiziell im Jahr 2008, als SECO dem PICMG beitrat, dem Konsortium hinter der COM Express-Spezifikation.

Seitdem ist COM Express eine strategische Säule der Embedded-Roadmap von SECO.

In mehr als 15 Jahren kontinuierlicher Entwicklung hat SECO rund 40 COM Express-Module entwickelt und auf den Markt gebracht, die sowohl den Basic- als auch den kompakten Formfaktor abdecken. Das Portfolio umfasst Module vom Typ 6 und Typ 7 und unterstützt ARM- sowie x86-Prozessorarchitekturen.

Das starke Engagement von SECO im PICMG-Ökosystem führte zu fundiertem Fachwissen in Spezifikationskonformität, langfristiger Verfügbarkeit und Designrobustheit. Die COMs entsprechen der neuesten Revision der 3.1-Spezifikation, ermöglichen USB4-Unterstützung, unterstützen PCIe Gen 4, nutzen 16-Gbit/s-Anschlüsse und bieten MIPI-CSI-Kamera-Support.

Die neuesten Ergebnisse dieser Expertise werden auf der embedded world 2026 (10. - 12. März, Nürnberg) am SECO-Stand (1-320) präsentiert. Dazu zählt das SOM-COMe-BT6-PTL, ein COM Express Type 6-Modul mit Intel® Core™ Ultra Series 3-Prozessoren für verbesserte Grafik, Bildverarbeitung und KI-Edge-Leistung. Zudem wird das SOM-COMe-CT6-P100 mit AMD Ryzen™ AI Embedded P100 vorgestellt, das Rechen-, Grafik- und KI-Beschleunigung für Embedded- und In-Vehicle-Anwendungen bietet.

Ein weiteres Highlight ist der SOM-COMe-CT6-Dragonwing-IQ-X auf Basis der Qualcomm® Dragonwing™ IQ-X-Serie. Er liefert hohe Effizienz, KI-Beschleunigung und Multimedia-Funktionen für Industrie-PCs, HMIs und KI-gestützte Automatisierung und bringt Arm-basierte Innovationen in das COM Express-Ökosystem ein.

Die COM Express-Plattformen von SECO werden durch einen integrierten Software-Stack ergänzt, der ein anpassbares BIOS mit Clea OS kombiniert, dem Yocto-basierten Betriebssystem von SECO. Die Lösungen sind für lokale KI-Inferenz optimiert, während Clea Remote-Bereitstellung, Überwachung und Updates von KI-Modellen ermöglicht. Der SECO Application Hub beschleunigt zusätzlich die Markteinführung mit validierten KI-Anwendungen.

Von der Einführung im Jahr 2008 bis zu heutigen Plattformen prägt SECO die COM Express-Innovation mit technischer Beständigkeit und einer offenen, standardorientierten Vision, die Hardware, Software und KI zu einem industriellen Edge-Angebot verbindet. ■

KONTAKT

SECO
Via A. Grandi 20
52100 Arezzo, Italien
marcom@seco.com
www.seco.com

Endless ways to the future

TEST & DEBUG

In-The-Loop Testansätze für Mikrocontroller

Bei Tests von Embedded-Systemen fallen oft die Begriffe Software-in-the-Loop (SiL), Processor-in-the-Loop (PiL) oder Hardware-in-the-Loop (HiL). Leider ist für Entwickler oft nicht eindeutig, wann welcher dieser Testansätze einzusetzen ist. Dieser Beitrag verschafft einen Überblick.

Bild: embeff

VERFASST VON
Daniel Penning
CEO
embeff GmbH

Im Kontext klassischer Embedded-Projekte ohne Regelungsfokus bleibt oft unklar, wie die Testansätze Software-in-the-Loop (SiL), Processor-in-the-Loop (PiL) und Hardware-in-the-Loop (HiL) sinnvoll anzuwenden sind. Eine Recherche führt oft zu branchenspezifischen Interpretationen, häufig aus dem Automotive-Bereich. Der Fokus liegt dabei typisch auf der Implementierung eines Reglers. Beim Lesen dieser Interpretationen fehlt Testern und Entwicklern von Embedded-Projekten ohne Regler-Fokus oft das Verständnis, welchen Mehrwert die Ansätze für Ihre Projekte haben, und wie sie dort definiert wären.

Darum lohnt es sich, Merkmale und Ziele der In-The-Loop Testansätze näher zu betrachten um zu verstehen, warum die Begrifflichkeiten leicht zu verwechseln sind, und wie sich dies mit einer eindeutigen Klassifizierung („wo läuft der zu testende Code") vermeiden lässt.

Ursprung der „In-The-Loop"-Testansätze

SiL, PiL und HiL wurden ursprünglich für den Test von Reglern eingesetzt. Dieser Ursprung ist entscheidend für das Verständnis der heutigen Verwendung. Ein Regler misst kontinuierlich einen Prozess und versucht, die Abweichung zwischen gemessenem Ist-Wert und gewünschtem Soll-Wert durch Stelleingriffe zu minimieren. Die entstehende Rückkopplung der Umgebung auf den Regler wird im Englischen mit Feedback-*Loop* bezeichnet (siehe Bild 1 links). Ein Beispiel ist ein Zweipunkt-Temperaturregler: Über einen Fühler wird die Ist-Temperatur gemessen. Ein **Algorithmus** vergleicht Soll und Ist-Temperatur und schaltet als Stelleingriff ein Heizelement ein oder aus. Bild 1 (rechts) zeigt die praktische Umsetzung des Reglers mit einem Mikrocontroller (MCU). „Hardware" bezeichnet hier das ganze Steuergerät, also meist eine oder mehrere Platinen.

Der **SiL-Test** verifiziert den isolierten Algorithmus. Dieser Test ist komplett hardware-unabhängig und kann auf dem PC ausgeführt werden. Die SiL-Umgebung muss dabei kontinuierlich auf Basis der Stelleingriffe für die korrekte Simulation der Ist-Werte sorgen (Feedback-Loop).

Der **PiL-Test** verifiziert den Algorithmus auf der MCU. Die Rolle der PiL-Umgebung wird oft sehr unterschiedlich interpretiert. Im häufigsten Fall wird der Algorithmus weiterhin isoliert auf der richtigen MCU ausgeführt und die Umgebung sorgt lediglich für die richtigen logischen Ein- und Ausgänge. Die Zeitbasis ist simuliert und die Umgebungssimulation läuft teilweise für diese Testzwecke auf dem Mikrocontroller. Technisch konsequent ist eine andere Interpretation: Die PiL-Umgebung simuliert hier kontinuierlich auf Basis der Ausgangs-Pins die Eingangs-Pins. Diese Interpretation eröffnet auch abseits von klassischen Reglern viele interessante Anwendungsfälle.

Der **HiL-Test** verifiziert den Algorithmus auf der gesamten Hardware. Die HiL-Umgebung muss dabei kontinuierlich auf Basis der Hardware-Ausgänge für die korrekte Simulation der Hardware-Eingänge sorgen.

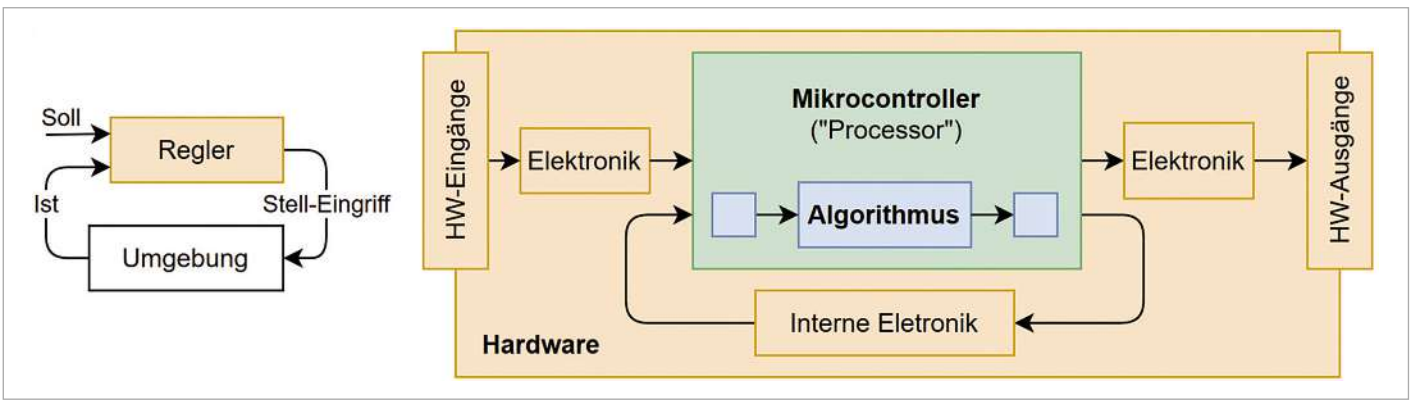


Bild: embeff

Bild 1: Struktur eines Reglers (links) und Realisierung eines Reglers auf einem Steuergerät (rechts).

Für viele Embedded-Projekte ist der ausschließliche Fokus auf ein Regelproblem nicht ausreichend. Dennoch ist das Denken in den Umgebungen für Tests hilfreich.

Ein Embedded-Beispiel ohne Regler

„RedAlert" soll ein sicherheitskritisches System zur Aufnahme und Übertragung von Temperaturwerten sein. Das Beispielsystem soll

- die Temperatur über einen PT1000-Sensor erfassen,
- jede Sekunde den aktuellen Temperaturwert über CAN übertragen, und
- einen defekten Messvorgang erkennen und im Fehlerfall eine rote Fail-Safe LED einschalten.

Die Regelung oder Steuerung eines externen Systems ist nicht Teil der Anforderungen.

Wie übertragen sich hier die In-The-Loop Testansätze? Dazu ist es hilfreich, sich zunächst an der Softwarestruktur zu orientieren.

SiL: Die Logik nutzt den HAL, um eine bestimmte Funktionalität zu implementieren. Der SafetySensor ermittelt beispielsweise aus den ADC-Rohwerten die aktuelle Temperatur. Eine *calc_temperature_from_adc* Funktion rechnet eine gemessene Spannung am PT1000 Sensor in die Temperatur um. Diese Umrechnung kann isoliert in einer SiL-Umgebung ausgeführt werden. Im Gegensatz zum oben geschilderten Regel-Algorithmus handelt es sich hier um eine sogenannte pure Funktion, die unabhängig von vorherigen Aufrufen ist. Der simulierende Teil der SiL-Umgebung ist nicht nötig.

PiL: Der Hardware Abstraction Layer (HAL) macht über einen minimalen Satz an Funktionen die Hardwarefunktionalitäten zugänglich. Die ADC-Komponente im HAL wird eine Funktion zum Auslesen der Analogpins anbieten. Diese Funktion nutzt die Special-Function-Register des Mikrocontroller, um einen Analogwert über die ADC-Peripherie des RP2040 zu sampeln. Eine PiL-Umgebung kann am Pin eine beliebige Analogspannung einstellen und danach die HAL-Funktion auswerten. Je nach Auslegung des Tests und der Implementierung kann dies fortlaufend oder einmalig geschehen. Der simulierende Teil der PiL-Umgebung ist nicht nötig.

HiL: Die Applikation verbindet die einzelnen Logikteile. Das kann eine Endlosschleife oder ein Echtzeitbetriebssystem sein. Die Applikation nimmt sekündlich eine Temperaturmessung vor und sendet den Messwert per CAN. Eine HiL-Umgebung bildet den extern angeschlossenen PT1000-Sensor nach und ermöglicht so das Einstellen einer zu testenden Temperatur. Über einen CAN-Adapter analysiert die HiL-Umgebung die gesendeten Frames. Ein Test kann so etwa überprüfen, dass die Frames in einem zeitlichen Abstand 1s +/- 10% erfolgen und eine gewünschte Genauigkeit bei der Temperaturangabe er-

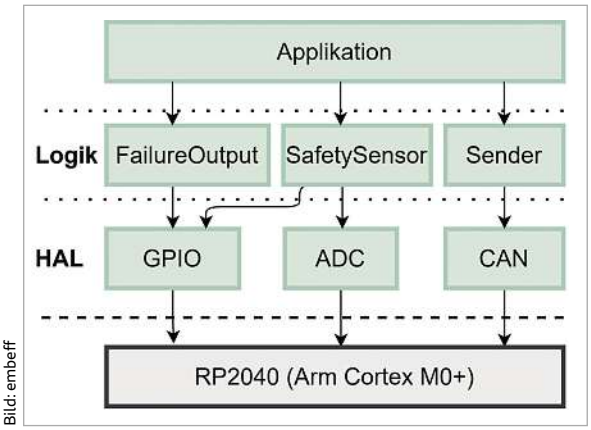


Bild: embeff

Bild 2: Mögliche Architektur der RedAlert Firmware.

EP-INFO

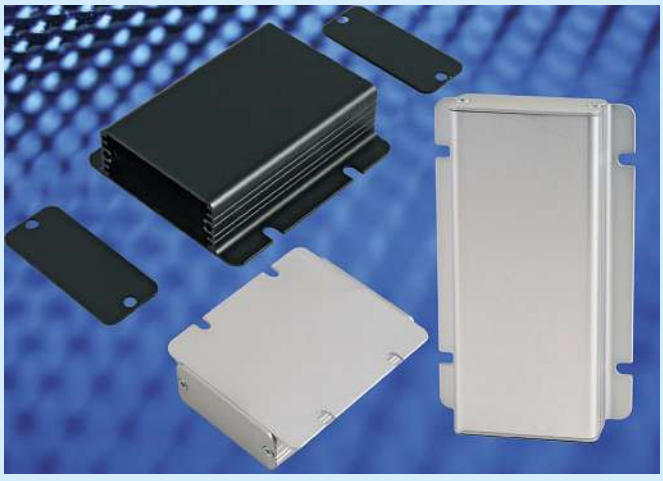
ExecutionPlatform

Die von embeff entwickelte ExecutionPlatform ist ein PiL-Testsystem für Mikrocontroller. Über eine kundenspezifische Einsteckplatine verbindet sich das generische Testsystem direkt mit den Pins des zu testenden Mikrocontroller.
Zur Laufzeit konfiguriert der Benutzer dynamisch Gegenstellen für beliebige Pins und nutzt diese automatisiert ohne Verdrahtung.
Tests greifen bei Bedarf auf eine echtzeitfähige Umgebungssimulationen durch Python Modelle zurück. Auf diese Weise nutzen Teams entwicklungsbegleitend Unit-, Hardware/Software-Integrations- und Systemtests.

HAMMOND®

1455F extrudierte Flanschgehäuse
Mehr erfahren:
hammondmfg.com/1455f

eusales@hammfg.com • + 44 1256 812812



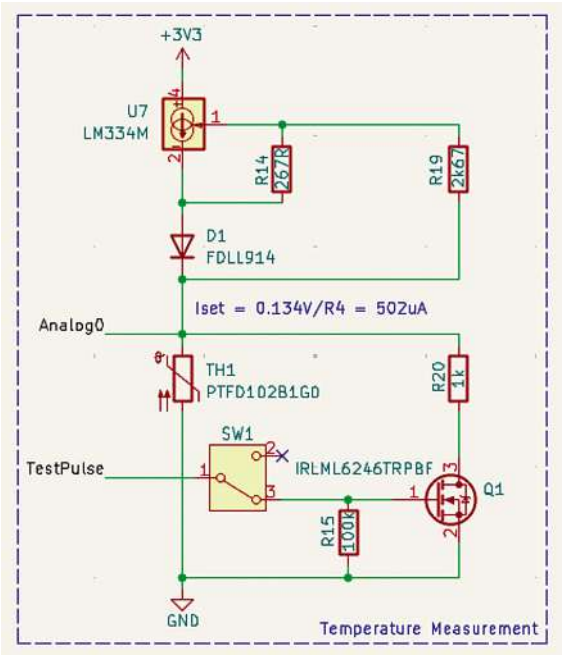


Bild: embeff

Bild 3: Temperatur-Erfassung von RedAlert.

reichen. Auch hier wird der simulierende Teil der HiL-Umgebung nicht benötigt.

Warum PiL mehr kann als oft angenommen

Eine PiL-Umgebung kann sehr viel mehr Testfälle sinnvoll abdecken als die vorigen Beispiele vermuten lassen:

Interne Mikrocontroller-Peripherie: Bei ressourcenintensiven Berechnungen wird in der Praxis versucht, möglichst viel Rechenarbeit durch vorhandene MCU-Peripherie zu erledigen. Zum Beispiel lassen sich CRC oder Crypto-Berechnungen durch Peripherie deutlich beschleunigen. So kann in reiner „Logik"-Software eine Abhängigkeit zur MCU entstehen. Eine gute PiL-Umgebung verfügt als Subset auch über alle Möglichkeiten einer SiL-Umgebung. Software, die interne MCU-Peripherie verwendet, kann leicht in einer PiL-Umgebung geprüft werden.

Firmware-Tests ohne Hardware: Zuvor wurde ein typischer HiL-Test für die Firmware vorgestellt. Aber ob es hierfür wirklich eine HiL-Umgebung braucht hängt stark vom Blickwinkel ab. Soll das Produkt bei Projektende getestet und freigegeben werden? Oder benötigt das Software-Team entwicklungsbegleitend eine Aussage darüber, ob die Firmware funktioniert? Im ersten Fall ist zwingend eine HiL-Umgebung nötig, da nur hier die Hardware ein Teil des Tests ist. Im zweiten Fall hingegen ist die Abhängigkeit zur Hardware teils sogar unerwünscht. Hardware steht als Leiterplatte oft erst spät im Projekt zur Verfügung. Das würde frühzeitige Tests blockieren.

Ein Blick in den Schaltplan hilft zur Einordnung, ob der Firmware Test auch in einer PiL-Umgebung stattfinden kann. Bild 4 zeigt die Anbindung des PT1000 Sensors (TH1). Analog0 ist mit einem Analogeingang des Mikrocontrollers verbunden. Über den Schaltplan und das Datenblatt des PT1000 Sensors kann zwischen Temperatur und Anlaog0 Spannung umgerechnet werden.

Die PiL-Umgebung kann ebenfalls den CAN TX Pins auswerten. Damit kann der oben skizzierte HiL-Test einer Firmware („werden CAN-Frames in der richtigen Zeit mit dem richtigen Temperatur-Inhalt gesendet") problemlos auch in der PiL-Umgebung durchgeführt werden!

Wann sind Simulationen nötig?

Allen Beispielen war gemein, dass die Test-Umgebung keine „Loop" erforderte. Alle Szenarien waren mit sogenannten „Open-Loop-Tests" durchführbar, das heißt es musste keine Simulation der Umgebung stattfinden. Die In-The-Loop Umgebungen dienten der Auswahl der richtigen Test-Schnittstelle auf Software, Pin oder Hardware-Ebene. Simulationen werden immer dann nötig, wenn die Ausgänge der Funktionen (SiL), der Pins (PiL) oder der System Ein- und Ausgänge (HiL) eine rückwirkende Auswirkung auf die Eingänge haben. Klassisch ist das Beispiel einer geregelten Motordrehzahl. Der Mikrocontroller steuert über PWM eine Leistungselektronik, die dann den Motor in Drehung versetzt. Ein Tachometer führt die Drehzahl auf einen Eingang des Mikrocontrollers zurück.

Das RedAlert-Beispiel zeigt eine weitere Rückwirkung. Der TestPulse aus Bild 3 ist ein Sicherheitsfeature und soll einen Selbsttest der Hardware ermöglichen. Schaltet die MCU diesen GPIO ein, sorgt der parallel geschaltete Mosfet Q1 dafür, dass der Strom durch TH1 kleiner und die Spannung Analog0 ebenfalls kleiner wird. Die Firmware kann für kurze Zeit den Testpuls einschalten und prüfen, ob der Analog0-Spannung in diesem Zeitraum um einen berechneten Wert abfällt. Ist dieser Mechanismus in der Firmware implementiert, muss eine PiL-Umgebung das TestPulse-Signal überwachen und die Analog0-Spannung entsprechend abfallen lassen. Die Simulation ist nötig, da sonst die Firmware einen Fehlerzustand detektieren und einen Fail-Safe-Zustand einnehmen würde.

Für HiL-Tests ist eine solche Simulation unnötig; die Schaltung aus Bild 3 gehört zur „internen Elektronik" aus Bild 1. Das heißt aber, dass ein Test dieser Überwachungslogik per PiL-Umgebung leichter realisierbar ist, da er direkte Kontrolle über die Simulation von Analog0 hat.

Nicht jedes Projekt erfordert eine aufwendige HiL-Umgebung. Gerade für komplexe Mikrocontroller-Projekte kann eine PiL-Umgebung einen sinnvollen Mix zwischen Testmöglichkeiten und Testaufwand bieten. *(sg)*

Ansatz	Fähigkeiten der Umgebung	Wo läuft zu testende Software?
SiL	Funktionen aufrufen und auswerten	PC
PiL	Pins setzen und auswerten	Mikrocontroller
HiL	Hardware-Eingänge setzen und auswerten	Mikrocontroller verbaut auf Hardware

Tabelle 1: Gegenüberstellung des SiL-, PiL- und HiL-Ansatzes.

Testfall	Loop nötig	SiL	PiL	HiL
Pure Funktionen	nein	✓	✓	X
Funktionen mit State/Gedächtnis (Algorithmus)	ja	✓	✓	X
Funktionen mit MCU-Abhängigkeit (DMA, CRC, ...)	nein	X	✓	X
HAL-Funktionen (inklusive Fault-Injection)	ja/nein	X	✓	X
Komplette Firmware	ja	X	✓	✓
Komplette Hardware	ja	X	X	✓

Tabelle 2: Eignung der verschiedenen In-The-Loop Umgebungen für typische Testfälle.

OPTISCHE ENCODER

Intelligente Sensorik für lange Wege und harte Einsätze

Kilometerlange Förderstrecken, dichte Hochregallager und hochautomatisierte AMHS-Systeme: Genau hier positioniert sich Luxcode. Der chinesische Spezialist für optische Sensorik kombiniert Infrarot-Optoelektronik mit Deep-Learning-Algorithmen und zielt damit direkt auf Anwendungen, in denen Präzision und Verfügbarkeit entscheidend sind.

Im Zentrum des Portfolios für Europa stehen der absolute Linearencoder LSMS-LF mit extrem großer Reichweite und das visuelle Positioniersystem LSMS-VDS. Der Linearencoder LSMS-LF erreicht eine Präzision von ±0,5 mm pro Meter über Messstrecken von bis zu 2,5 km, geschützt nach IP65/IP67. Damit eignet sich das System für Galvanik- und Beschichtungslinien, Automobilmontage, unbemannte Krane oder schwere Handhabungstechnik, in denen jeder Stillstand teuer wird. LSMS-VDS geht noch weiter: Bis zu 40 km Reichweite und eine Lückentoleranz von 75 mm sorgen dafür, dass selbst lange Linien mit Unterbrechungen zuverlässig erfasst bleiben, etwa in AMHS-Systemen der Halbleiterfertigung, automatischen Hochregallagern oder großflächigen Materialflüssen.

Mehr Robustheit, weniger Stillstand

Die Basis dieser Systeme bilden die optoelektronische Integration und speziell angepasste Auswertealgorithmen. Das Ziel: stabile Signale auch dort, wo starke Vibrationen, Staub, Feuchte oder elektromagnetische Störungen klassische Sensoren an ihre Grenzen bringen. In der Praxis heißt das für Betreiber: konstante Messqualität, weniger Rekalibrierungen und ein geringerer Total Cost of Ownership über den gesamten Lebenszyklus. Oder wie Luxcode es formuliert: „Wahre Zuverlässigkeit kommt aus cleverer Innovation, nicht aus hohen Kosten." Luxcode unterzieht seine Produkte internen Testreihen, die elektromagnetische Verträglichkeit, Hoch- und Tieftemperatur, Unterspannung und weitere Belastungen abdecken. Aktuell erfüllen die Sensoren Richtlinien wie CE und RoHS; funktionale Sicherheitsanforderungen bis SIL3 stehen auf der Roadmap. Für Anwender bedeutet das eine technische Basis, die auf anspruchsvolle Industrieumgebungen ausgelegt ist und sich zugleich in gängige Normenwelten einfügt.

Servicepaket mit Risiko-Puffer

Neben der Technik setzt Luxcode auf ein klares Serviceversprechen: Standardprodukte sollen innerhalb von sieben Arbeitstagen nach Auftragsbestätigung produziert und versandt sein. Hinzu kommt eine bis zu sechsmonatige kostenlose Testphase, damit Anwender die Sensoren im realen Betrieb ohne Risiko evaluieren können. Perspektivisch plant das Unternehmen lokale Support-Zentren in Deutschland, kombiniert mit Remote-Support und gemeinsamer Entwicklung kundenspezifischer Lösungen, von der Auswahl der Sensorik über die Inbetriebnahme bis zur Fehlerdiagnose.

So positioniert sich Luxcode in Europa weniger als reiner Komponentenlieferant, sondern als Sensorpartner für lange Wege, raue Umgebungen und hochautomatisierte Fabriken, mit dem Anspruch, zuverlässige Messwerte und kalkulierbare Betriebskosten zusammenzubringen. ■

Bild: Manuel Christa - VCG

Constantin Radjapaksa von Luxcode im Interview mit Manuel Christa, Redakteur von Elektronikpraxis.

KONTAKT

Luxcode Future Technology Co., Ltd
Room 320-22, Taihu Science and Innovation Center
Suzhou, China (215000)
sales@luxcode-future.com
www.luxcode-future.com

EDGE-ARCHITEKTUR FÜR AUTONOME SYSTEME

Hochverfügbarkeit im Dauerbetrieb

Automatisierte Verkaufsumgebungen, Kiosk-Terminals und Micromarkets stellen hohe Anforderungen an Rechenleistung und Zuverlässigkeit. Eine Herausforderung.

Bild: Kontron

Mini-STX K3921-N: Das Motherboard meistert Intels Core-i3- und N-Series-Prozessoren und kann mehrere Monitore mit Full-HD anbinden.

Die eingesetzte Hardware bei automatisierten Verkaufsumgebungen muss gleichzeitig Sensordaten erfassen, Bildanalysen ausführen, Transaktionen verarbeiten, mit Cloud-Plattformen kommunizieren – und das unter Bedingungen wie Dauerlast, wechselnden Temperaturen und durchgängigem Betrieb, die für klassische IT-Systeme kaum beherrschbar sind. Zentrale Rolle spielt der Edge-Server, der sämtliche lokalen Prozesse koordiniert und Daten mit der Unternehmensinfrastruktur synchronisiert. Plattformen wie das µATX-Motherboard K3881-C mit Intels Xeon-E-2400- oder Xeon-6300-Prozessoren bilden hier das technische Rückgrat. Mehrere redundante Netzwerkinterfaces sichern die Kommunikation zwischen Peripherie und Cloud, der integrierte Intel-Chipsatz C266 stellt hohe Datenbandbreiten bereit. Der 5G-Support ermöglicht synchrone Datenübertragung selbst bei Ausfall kabelgebundener Verbindungen.

Dauerbetrieb und Zutrittskontrolle

Edge-Systeme dieser Klasse sind für den Dauerbetrieb mit Verfügbarkeiten im Carrier-Grade-Bereich ausgelegt. Werte bis 99,9999 Prozent bedeuten Ausfallzeiten von nur wenigen Minuten oder Sekunden pro Jahr. Diese Hochverfügbarkeit wird durch redundante Netzwerkschnittstellen, robuste Stromversorgungen und ausfallsichere Firmware erreicht. On-Premises-Cloud-Systeme (Fogs), können zusätzlich als lokale Sicherungsschicht dienen, falls die Verbindung zur zentralen Cloud unterbrochen ist.

Die Überwachung unbemannter Umgebungen erfordert Systeme wie das Micro-ATX-Motherboard K3841, die hochauflösende Bilddaten in Echtzeit erfassen und KI-gestützt auswerten. Das Board unterstützt bis zu drei LAN- und sechs USB-Anschlüsse für gleichzeitigen Kamerabetrieb, nutzt Intels Core-Prozessoren Gen. 12 bis 14 und ist mit dedizierten KI-Beschleunigern erweiterbar. Diese Architektur ermöglicht Videoanalyse und Zutrittskontrolle unabhängig von zentralen Servern. Ereigniserkennung, Bewegungsanalyse oder biometrische Authentifizierung erfolgen unmittelbar am Ort der Datenerfassung. Zusätzlich bietet das System Optionen für redundante Speicheranbindung und Failover-Betrieb, um auch bei Teilausfällen der Infrastruktur eine lückenlose Aufzeichnung sicherzustellen.

Für raue Umgebungen sind Boards dieser Klasse auf Temperaturschwankungen, Staub und Vibrationen vorbereitet. Langlebige Bauelemente, validierte Spannungsregler und beschichtete Leiterplatten sichern eine konstante Leistung, auch in Kälte- oder Eingangsbereichen mit hoher Luftfeuchtigkeit. Hersteller garantieren Langzeitverfügbarkeit und erweiterten Support, um Integratoren planungssichere Produktzyklen zu bieten.

Computing im Point of Interaction

Kompakte Kiosk-Systeme erfordern platzsparende, energieeffiziente Lösungen. Die Mini-ITX-Plattform K3931-N lässt sich lüfterlos betreiben, ist für den 24/7-Betrieb konzipiert und unterstützt serielle und USB-Schnittstellen für Peripheriegeräte. Die Rechenleistung geht über reaktive Benutzeroberflächen, Echtzeit-Transaktionsverarbeitung und parallele Aufgaben wie Ticketdruck oder Zahlungsabgleich hinaus und bietet somit Erweiterungsmöglichkeiten in der Zukunft. Die Integration von LVDS oder eDP ermöglicht die direkte Anbindung eingebetteter Displays ohne zusätzliche Adapter. Firmware und BIOS-Optionen sind auf langfristige Produktzyklen ausgelegt, was Migration und Ersatzteilstrategie vereinfacht. Das K3931-N bietet zusätzlich die ccTALK-Schnittstelle für den Zahlungsverkehr. Damit lassen sich Kassensysteme und Geldverarbeitungsmodule direkt anbinden, ohne dass proprietäre Zusatzhardware erforderlich ist. Regelmäßige Sicherheitsupdates sichern den Manipulationsschutz.

Digital Signage und Steuerungssysteme

Das Mini-STX-Motherboard K3921-N eignet sich für die Ansteuerung mehrerer Displays oder interaktiver Infor-

mationssysteme. Es unterstützt Intels Core-i3- und N-Series-Prozessoren, bietet USB-C- und DisplayPort-Schnittstellen sowie die Möglichkeit zum Dual-Display-Betrieb in Full-HD. Dank geringer Bauhöhe lässt sich das Board direkt hinter Bildschirmen oder in kompakten Gehäusen, beispielsweise dem Smartcase S501, verbauen. In Kombination mit Edge-Servern können diese Systeme dynamische Inhalte verarbeiten, Werbedaten zeitabhängig austauschen oder Sensorinformationen zur Anpassung von Helligkeit und Energieverbrauch auswerten. Damit bilden sie die unterste Ebene einer mehrstufigen Edge-Architektur, die bis hin zur Cloud skalierbar bleibt.

Standardisierte Hardwarebasis

Die Integration verschiedener Systeme erfordert homogene Plattformen mit kompatiblen BIOS-Konfigurationen, Board-Support-Packages und APIs. Über Monitoring-Tools lassen sich etwa Temperatur und Netzwerkstatus permanent überwachen. Watchdog-Timer ermöglichen einen automatischen Neustart und Remote-Management-Funktionen für Fernwartung und Updates.

Diese Kombination aus industrietauglicher Hardware und Remote-Management schafft eine Infrastruktur, die sich ohne physischen Eingriff betreiben und warten lässt. Bei erhöhtem Sicherheitsbedarf lassen sich zusätzliche Schutzmechanismen wie TPM-Module oder Secure Boot implementieren. Ein weiterer Vorteil der Standardisierung liegt in der Skalierbarkeit über unterschiedliche Applikationen hinweg. Systeme für Videoüberwachung, Digital Signage oder Checkout können mit identischen Komponenten ausgerüstet werden, wodurch Wartung, Ersatzteilhaltung und Zertifizierung erheblich vereinfacht werden.

VERFASST VON
Thomas Stanik
Senior Sales & Business Development Manager
Kontron

Robotik, Hybrid-Cloud und Trends

Neben stationären Geräten rücken zunehmend Smart Robots und intelligente Regale in den Fokus. Sie erfassen Bestände, identifizieren Fehlmengen und melden Nachlieferbedarf in Echtzeit. Die Verbindung dieser Daten mit Verkaufs- und Checkout-Systemen ermöglicht eine präzise Steuerung des Warenflusses. Zukunftsfähige Architekturen kombinieren lokale Edge-Systeme mit zentralen Cloud-Plattformen. Diese Hybrid-Cloud-Struktur ermöglicht die Verteilung von Workloads nach Bedarf: zeitkritische Prozesse laufen lokal, datenintensive Analysen zentral.

Edge-Systeme dienen dabei als Brückenschicht zwischen den physischen Komponenten und den Cloud-Diensten. Sie übernehmen Echtzeitverarbeitung, Datenselektion und Synchronisation. Diese Architektur minimiert Latenzzeiten, reduziert Kosten und erlaubt den Einsatz auch in netzwerkkritischen Umgebungen. *(mk)*

CODICO®

Qualcomm Dragonwing™ IQ9 (IQ-9075) für energieeffiziente High-Performance Anwendungen

- Entwickelt für anspruchsvolle Einsatzbereiche wie Fabrik- und Industrieautomation
- Interoperabilität von KI-Anwendungen
- Hochleistungs-Multi-Core ARM und Qualcomm NPU
- Langzeitverfügbarkeit bis 2038
- Betriebstemperatur -40°C bis +115°C

©AdobeStock/ Digital Design & Shutter2U

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

EMBEDDED-MODULE

Ausleuchten kritischer Straßenbereiche

Zebrastreifen und andere kritische Straßenbereiche sind für Kommunen und Infrastrukturanbieter eine große Herausforderung: Jährlich kommt es an Fußgängerüberwegen zu Tausenden Unfällen.

Insbesondere an kritischen Straßenbereichen gilt es, die Sicherheit zu erhöhen – besonders bei Dunkelheit oder schlechtem Wetter. Gleichzeitig ist Dauerbeleuchtung im Hinblick auf hohe Energiekosten und Lichtverschmutzung zu vermeiden. Gefragt sind deshalb Lösungen, die Licht nur dann bereitstellen, wenn es wirklich gebraucht wird. Beleuchtungssysteme mit integrierter Kameraauswertung, Bewegungsanalyse und KI-gestützter Objektklassifizierung ermöglichen genau das. Das Embedded-Modul TQMa67xxL von TQ ist dieser Aufgabe gewachsen. Mit leistungsstarker Bildverarbeitung, KI-Unterstützung und flexiblen Schnittstellen lassen sich nicht nur die Beleuchtung an Zebrastreifen intelligent steuern, sondern auch eine Vielzahl weiterer Smart-City-Anwendungen realisieren wie intelligente Ampeln oder Verkehrsflussanalysen.

Eine smarte Warnbeleuchtung muss bei kompakter Baugröße auch anspruchsvollen Umweltbedienungen genügen. Da die Verkehrsteilnehmer aus vier Himmelsrichtungen auf einen Übergang zustreben, sind mehrere Kamera-Eingänge – mindestens vier – notwendig, um die Umgebungssituation vollständig zu erfassen. Die so ankommenden Bilddatenströme müssen in Echtzeit aufbereitet und ausgewertet werden, um die Beleuchtungselemente steuern zu können. Für Verkehrsplaner kann es zudem hilfreich sein, wenn der smarte Zebrastreifen auch die entsprechenden statistischen Daten ermittelt. Im Hinblick auf den Datenschutz sollte die Bildverarbeitung ohne Speicherung oder Datenübertragung erfolgen.

Bild: TQ-Group

Embedded-Modul TQMa67xxL: leistungsstarke Bildverarbeitung, KI-Unterstützung und flexible Schnittstellen ermöglichen zahlreiche Smart-City-Anwendungen.

Die Lösung: Die CPU-Familie AM67x

Ein anspruchsvolles Aufgabenprofil für das neue, einlötbare Prozessormodul TQMa67xxL mit AM67x-Prozessor von Texas Instruments. Die skalierbare AM67x-Prozessorfamilie enthält bis zu vier Arm-Cortex-53-Cores (64-Bit-Architektur), einen Vision Pre-Processing Accelerator (VPAC) mit Image Signal Processor (ISP) und mehreren Vision Assist Accelerators, Deep Learning (DL), Dense-Optical-Flow- (DOF) Video- und 3D-Grafikbeschleuniger, einen Cortex-R5F MCU-Insel-Core und zwei Cortex-R5F-Cores für das Geräte- und Laufzeitmanagement. Der VPAC bietet Bildverarbeitungsfunktionen wie Farbverbesserung, Rauschfilterung, Wide-Dynamic-Range (WDR)-Verarbeitung, Korrektur von Linsenverzerrungen, De-Warping, Bild-Skalierung in Echtzeit und die Erzeugung von Bildpyramiden. Der VPAC übernimmt spezielle Pixelverarbeitungsaufgaben und entlastet die Haupt-Cores spürbar.

Das TQMa67xxL-Modul bietet all diese Funktionen und erweitert den Prozessor mit Komponenten wie Speicher und Power-Management zu einem lauffähigen System. Damit stehen an Speicher bis zu 8 GB LPDDR4, bis zu 256 MB NOR-Flash, bis zu 256 GB 3D NAND eMMC und 0/64-Kbit-EEPROM zur Verfügung. Alle Schnittstellen des Prozessors werden herausgeführt. So verarbeitet die siebte Generation der TI ISPs ein breites Spektrum an Sensoren, einschließlich RGB-Infrarot (RGB-IR) und unterstützt größere Bit-Tiefen (12-Bit RGB-IR und bis zu 16-Bit-Input-RAW-Format) und Funktionen für Analyseanwendungen. Damit steht dem Einsatz in der Nacht, zur Dämmerung und am Tag nichts im Weg. Mit vier MIPI-CSI2.0-Schnittstellen (v1.3 Compliant) finden ausreichend Kameras Anschluss, um auch die kompliziertesten Fußgängerübergänge zu erfassen. Hier punktet besonders der integrierte Depth and Motion Perception Accelerator (DMPAC), ein energieeffizienter Hardwarebeschleuniger zur Tiefenberechnung mittels Stereo-Bild-Auswertung und optischen Flussvektoren (Bewegung).

3D-Tiefe mit optischem Flussvektor

Eine robuste Methode zur Gewinnung der 3D-Tiefe aus Bildern ist die Verwendung von zwei Kameras in einem

Stereo-Setup. Anhand der beiden Bilder einer gleichen Szene, die aus zwei verschiedenen Kamerapositionen aufgenommen wurden, lassen sich Unterschiede zwischen den einzelnen Pixelpositionen in den Bildern finden. Die Disparitätswerte jedes Pixels eignen sich, um die 3D-Positionen des Objekts/Raums, zu dem sie gehören, durch Triangulation zu bestimmen. Andererseits zeigt die Analyse von zwei Bildern einer einzelnen Kamera, die zu zwei verschiedenen Zeitpunkten aufgenommen wurden, wohin sich jedes Pixel in den Frames bewegt hat. So lässt sich etwa erkennen, ob ein Fußgänger sich dem Zebrastreifen nähert oder an ihm vorbeigeht. Abgerundet wird das Vision-Paket mit zwei integrierten C7x-DSPs mit Skalar- und Vektorkernen, ein dedizierter MMA-Beschleuniger für Deep Learning in Kombination mit einem großen 2,25-MB-L2-Speicher, der bis zu 4 TOPS ermöglicht.

Zukunfts- und betriebssicher

Ebenso bietet der AM67x Hochgeschwindigkeits-IOs, darunter PCIe Gen3 (eine Lane) und einen 3-Port-Gigabit-Ethernet-Switch mit einem internen Port und zwei externen Ports mit TSN-Unterstützung. Dieses Modul-Feature eignet sich, um den künftigen Kommunikationsbedarf in Smart Citys zu begegnen: Von der Ermittlung der Verkehrsdichte bis hin zur Bedarfserkennung einer Straßenreinigung oder Schneeräumung, oder sogar direkter Kommunikation mit Kraftfahrzeugen (V2X). Zudem sind zusätzliche Unterstützungsfunktionen für Sehbehinderte denkbar. Diese Erweiterungsfunktionen unterstützt der TQMa67xxL mit umfangreichen Peripherie-Funktionen wie USB, MMC/SD, OSPI, CAN-FD und GPMC für parallele Host-Schnittstellen zu einem externen ASIC/FPGA. Bis zu 140 GPIOs geben viel Freiheit bei der Realisierung der Matrix-LED-Steuereinheit. Alternativ können auch bis zu 2 x SDIO, 6 x I^2C, 5 x SPI, 1x OSPI oder 3 x PWM zum Einsatz kommen. Wenn auch nicht für den laufenden Betrieb erforderlich, so sind Display-Ausgänge für die Einrichtung/Einmessung des Zebrastreifens eine hilfreiche Funktion. So stehen 1 x LVDS, 1 x RGB (24 Bit) und 1 x DSI zur Verfügung, unterstützt von einer 3D-GPU.

Das TQMa67xxL-Modul unterstützt auch Secure Boot für IP-Schutz mit dem eingebauten HSM (Hardware Security Module). Für einen noch weiter erhöhten Security-Bedarf lässt sich das Secure Element SE050 zusätzlich bestücken. Mit den Maßen 44 mm x 44 mm, einer Verlustleistung von 3 bis 5 W und einem Standard-Temperaturbereich von –25 bis 85 °C bzw. im erweiterten Temperaturbereich von –40 bis 85 °C bietet das Modul die perfekte Antwort auf die hier anspruchsvollen Einbau- und Umweltsituationen. Als einlötbares Modul ist das TQMa67xxL unempfindlich gegen Vibrationen durch den (Schwerlast-)Verkehr.

Sicher an Fußgängerüberwegen

Das TQMa67xxL ist folglich eine hervorragende Plattform für smarte Licht- und Verkehrslösungen, die mehr Sicherheit und Effizienz versprechen. Mit leistungsstarker Bildverarbeitung, KI-Unterstützung und flexiblen Schnittstellen lässt sich nicht nur die Beleuchtung an Zebrastreifen intelligent steuern, sondern auch eine Vielzahl weiterer Smart-City-Anwendungen realisieren wie intelligente Ampeln oder Verkehrsflussanalysen. So entsteht eine moderne Infrastruktur, die den Verkehrsfluss verbessert und Unfallzahlen nachhaltig reduziert. *(mk)*

VERFASST VON
Andreas Willig
Produkt Manager
TQ-Group

ROBOTIK

Langstreckenkommunikation für Robotik und Drohnen

Robonode ist eine Qualcomm-Dragonwing-Lösung für Langstrecken-, Niedriglatenz- und missionskritische Kommunikation in Robotik, Drohnen und Industrieanlagen.

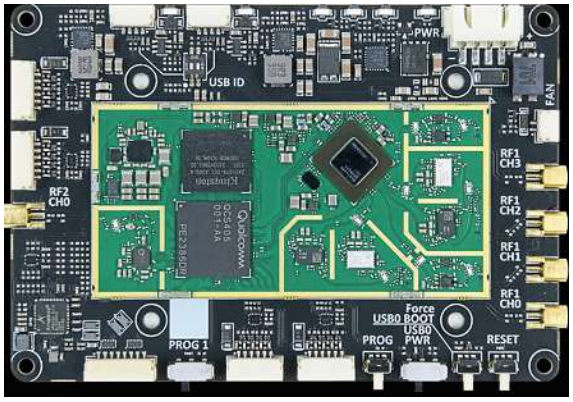


Bild: 8DEVICES

Robonode von Qualcomm: Das All-in-One-Plug-and-Play-Kommunikationssystem eignet sich etwa für Drohnen, autonome Roboter und Fahrzeuge.

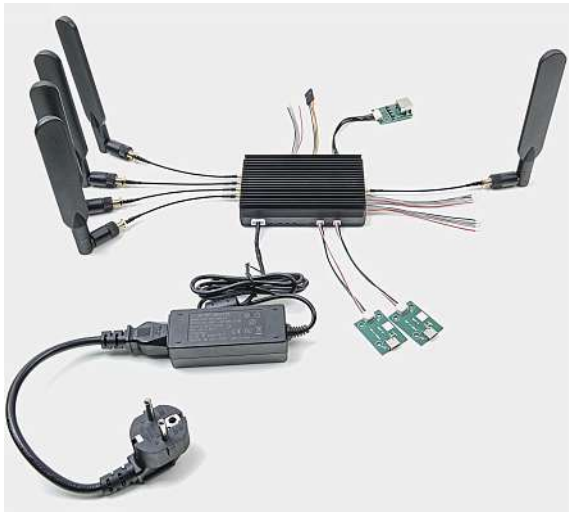


Bild: 8DEVICES

Robonodes DVK-Entwicklungskit: Dieses ist über den Sample Shop von Codico erhältlich.

Bild: Codico

VERFASST VON
Thomas Carmody
Product Manager
Codico

Bei Qualcomms Robonode handelt es sich um ein All-in-One-Plug-and-Play-Kommunikationssystem mit leistungsstarker CPU- und DSP-Verarbeitung sowie robuster, latenzarmer Wi-Fi-Übertragung für große Distanzen. Die Robonode-Lösung ist das neueste, vollständig zertifizierte Plug-and-Play-Kommunikationssystem des Codico-Partners 8DEVICES.

Technische Daten der Robonode

Robonode basiert auf neuester SoC- und Wi-Fi-Technologie von Qualcomm und integriert alle wesentlichen Komponenten für Kommunikations-Subsysteme in Drohnen, mobilen und stationären Robotersystemen sowie Industrieanlagen.

Herzstück ist der leistungsstarke Quad-Core-ARM-SoC, der Qualcomm QCS405, mit DSP-Verarbeitung für Codecs, einer dedizierten GPU für Video und Grafik sowie zahlreichen Schnittstellen. Ergänzt wird die Rechenleistung durch Qualcomms aktuelles MU-MIMO-Wi-Fi6-Modul WNC9074, das speziell für Langstrecken-Wi-Fi entwickelt wurde. Zusätzlich ist das MU-MIMO-Wi-Fi5-Modul WCN9380 integriert, um Hochgeschwindigkeits-Peripherie im Nahbereich anzubinden. Das einsatzbereite System ist in ein robustes Aluminiumgehäuse mit integriertem Lüfter für effiziente Kühlung eingebettet – für extreme Einsatzbedingungen sind zusätzliche Lüfterhalterungen enthalten.

Mehr Reichweite, Robustheit, Sicherheit

Als Kommunikationsexperte hat 8DEVICES die Architektur so optimiert, dass Reichweite und Robustheit der Wi-Fi-Verbindungen deutlich gesteigert werden. Robonode unterstützt Dual-Band-Wi-Fi und bietet eine beeindruckende Ausgangsleistung von 28 dBm pro Antennenkette (2,4 GHz) bzw. 27 dBm (5 GHz). Zusätzlich werden 5-MHz- und 10-MHz-Kanalbreiten unterstützt, um stabile Langstreckenverbindungen zu gewährleisten.

Weitere Verbesserungen umfassen beispielsweise Forward Error Correction, erweiterte Frequenzbereiche sowie die Nutzung nicht-standardisierter Mittenfrequenzen zur Minimierung von Störungen. Praxistests haben Reichweiten von über 15 km bestätigt, wobei mit künftigen Software-Updates weitere Verbesserungen zu erwarten sind.

Die Rechen- und Kommunikationsfunktionen sind über das Robonode SDK (basierend auf Open Embedded/Yocto mit LTS Kernel v4.14) zugänglich. Nach Installation stehen beide Wi-Fi-Module über API-Schnittstellen zur Verfügung.

Zu den Kernfunktionen gehören beispielsweise Wi-Fi-Broadcast mit Forward Error Correction in verschiedenen Modi für Audio-, Video- und Telemetrieübertragung zwischen Robonodes in Drohnen, Robotern und Bodenstationen. *(mk)*

MEDICAL-PANEL-PCS

Lüfterlose Klinik-PCs mit Intels Core Ultra 5 für hygienekritische Bereiche

Bild: Ico

Die Medical-Panel-PCs Onyx VENUS 224P und VENUS 244P von Ico sind für den dauerhaften Einsatz in Krankenhäusern und Kliniken ausgelegt. Beide Modelle sind lüfterlos mit einem flachen 22 beziehungsweise 24 Zoll Full HD Display im 16 zu 9 Format und kapazitivem Multitouch mit Antiglare-Oberfläche. Die Frontseite ist nach IP65 geschützt, das Gesamtsystem erfüllt EN60601 1 und erreicht Schutzklasse IPX1. Damit eignen sich die Panel-PCs für hygienekritische Bereiche. Basis ist Intels Prozessor Core Ultra 5 225U, 32 Gigabyte RAM und eine SSD mit 512 Gigabyte, sowie Intels Wi Fi 6E. Desweiteren für Peripherie USB 2.0, USB 3.2 Gen 2 Typ A und USB-Typ-C-Anschlüsse sowie ein HDMI-Ausgang. Beide Panel-PCs bieten serielle Schnittstellen, einen RFID-Reader mit Imprivata-Kompatibilität sowie einen Smartcard-Leser für die Benutzer-Authentifizierung. Die Orion-Lizenz ist enthalten und unterstützt zentrale Verwaltungskonzepte. Die Geräte werden über das interne Netzteil mit klassischem Netzstecker versorgt und können optional mit zwei Hot-Swap-Akkus ergänzt werden, die im Bedarfsfall separat erhältlich sind.

Mit dieser Ausstattung adressieren die Onyx-VENUS-Medical-Panel-PCs typische Aufgaben der Krankenhaus-IT wie mobile und stationäre Arbeitsplätze am Patientenbett, die Darstellung elektronischer Patientenakten sowie die Anbindung an KIS, PACS oder Fachanwendungen.

MIKROCONTROLLER

32-Bit-Allzweck-Mikrocontroller

Die Mikrocontroller-Serie GD32C231xx von GigaDevice (Vertrieb: Endrich) richtet sich gezielt an kostensensitive Anwendungen mit hohem Anspruch. GigaDevice adressiert damit den Einstieg in die 32-Bit-MCU-Welt. Bei der GD32C231xx-Serie handelt es sich um einen 32-Bit-Mikrocontroller, der auf dem Arm-Cortex-M23-Kern mit bis zu 48 MHz Taktfrequenz basiert. Der Mikrocontroller in den kompakten Gehäusen TSSOP20/LGA20, QFN28/32/48 und LQFP32/48 bietet eine hohe Energieeffizienz mit Funktionen wie einem Ein-Zyklus-Multiplikator und einem 17-Zyklus-Teiler. Er umfasst ein bis 64 KB Flash und 12 KB SRAM, die beide vollständig mit ECC-Fehlerkorrektur abgesichert sind. Die umfangreiche Peripherie besteht aus einem 12-Bit-ADC, zwei Komparatoren, 4 allgemeine Timer, einen fortschrittlichen PWM-Timer und Schnittstellen wie SPI, I²C, USART und I²S. Die Betriebsspannungsbereich beträgt 1,8 V bis 5,5 V und der Umgebungstemperaturbereich erstreckt sich von –40 °C bis 85 °C. Der GD32C231xx unterstützt mehrere Sparmodi zur Energieoptimierung.

Bild: GigaDevice

Gründungssponsor
PHOENIX CONTACT

Anwenderkongress
Steckverbinder

29.06.-01.07.2026
Vogel Convention Center
Würzburg

Praxisorientierte Lösungen für den Einsatz moderner Steckverbinder

Jetzt Frühbucher-preis sichern!

Professionals aus der Branche treffen sich hier

Besuchen auch Sie Europas größten Fachkongress zu Trends und Einsatz moderner Steckverbinder!

www.steckverbinderkongress.de

Eine Veranstaltung von ELEKTRONIK PRAXIS – einer Marke der VOGEL COMMUNICATIONS GROUP

TRACE-BASIERTE MCU-ANALYSE

Laufzeitfehler-Untersuchung

Bild: PLS

Die aktuelle Version UDE 2025 der Universal Debug Engine von PLS Programmierbare Logik & Systeme erweitert die bestehenden Debug- und Trace-Funktionen um Verbesserungen in Bedienung, Analyse und Tool-Integration. Ein überarbeitetes Startfenster bietet direkten Zugriff auf zuletzt verwendete Workspaces und erleichtert das Anlegen neuer Debug-Sitzungen. Die Trace-basierte Analyse wurde insbesondere im Execution Sequence Chart ausgebaut: Funktionen lassen sich gezielt suchen, Navigationsschritte entlang der Zeitachse sind präziser, Funktionsaufrufe und Rücksprünge können effizient verfolgt werden. Mehrere Darstellungen wie Sequence Chart, Trace-Liste und Call-Graph lassen sich zeitlich synchronisieren, was einen schnellen Wechsel zwischen verschiedenen Analyseperspektiven ermöglicht. Zusätzlich wurden interne RTOS-Analysefunktionen erweitert, etwa zur statistischen Ermittlung der CPU-Last einzelner Tasks auf Basis von Trace-Daten. Ergänzende Updates betreffen den Hardware-Trace-Support sowie das neu gestaltete Memtool zur Flash-Programmierung. Die Markteinführung ist ab Mai geplant.

SUPPORT FÜR ÜBER 150 MIKROARCHITEKTUREN

Schneller Debug-Controller

Bild: Lauterbach

Das Debug-Tool PowerDebug E50 von Lauterbach knüpft funktional an den PowerDebug E40 an und erweitert diesen um höhere Performance und zusätzliche Schnittstellen. Es unterstützt mehr als 15.000 Mikrocontroller und SoCs aus über 150 Mikroarchitekturen. Das Multicore-Debugging erlaubt gleichzeitiges Debuggen aller Kerne eines SoC unabhängig von Architektur. Breakpoints und Laufzeitkontrolle lassen sich über alle Kerne hinweg synchronisieren. Der Debug-Controller arbeitet im Vergleich zum Vorgänger bis zu dreimal schneller. Neben USB 3.0 steht optional eine Gigabit-Ethernet-Schnittstelle zur Verfügung, die auch den sicheren Fernzugriff über IPv4 und IPv6 ermöglicht. Der Betrieb ist zudem mit 12-V-Stromversorgung möglich, etwa in Automotive-Umgebungen.

PowerDebug E50 kann für Trace-Funktionen erweitert werden, einschließlich Aufzeichnung von Programmabläufen und Datenzugriffen. Entwicklungen, die mit Emulatoren, Simulatoren oder virtuellen Targets unter PowerView begonnen wurden, lassen sich ohne Anpassungen auf reale Hardware übertragen. Das Tool ist seit Januar 2026 erhältlich.

USB-2.0-PERIPHERIECONTROLLER

USB-Konnektivität in Embedded-Systemen

Der USB-2.0-Peripheriecontroller EZ-USB FX2G3 von Infineon. Er baut auf der etablierten EZ-USB-FX2LP-Plattform auf und richtet sich an Entwickler, die robuste, sichere und energieeffiziente USB-Konnektivität in Embedded-Systemen benötigen.

Der Controller unterstützt USB Hi-Speed bis 480 Mbit/s und verfügt über ein leistungsfähiges Datensubsystem mit DMA-fähigen Transfers vom LVCMOS-Interface zum USB-Port. Ein integrierter 1024-KB-SRAM dient als Puffer für kontinuierliche Datenströme und erleichtert die Anbindung datenintensiver Peripherie. Serielle Kommunikationsblöcke ermöglichen flexible Schnittstellenkonzepte, während eine integrierte Krypto-Engine Sicherheitsfunktionen auf Geräteebene unterstützt.

Der EZ-USB FX2G3 eignet sich für Anwendungen in Industrie, Medizintechnik, Biometrie, Robotik und Consumer-Elektronik, etwa zur schnellen Datenerfassung, Sensoranbindung oder sicheren Gerätekommunikation. Durch seine Architektur lässt er sich in bestehende Designs integrieren, die bislang auf USB-2.0-Lösungen basieren. Der Baustein ist in einem 104-Pin-LGA-Gehäuse mit 8 × 8 mm² verfügbar. Muster, Dokumentation und Entwicklungsunterstützung stehen bereits zur Verfügung, die Serienproduktion ist vorgesehen.

Bild: Infineon

WI-FI-/BLUETOOTH-LE-COMBO-MCUS

Für IoT und Smart Home

Renesas erweitert seine RA-Familie um die Serien RA6W1 und RA6W2 für energieeffiziente, dauerhaft vernetzte IoT-Anwendungen. RA6W1 integriert Dualband Wi-Fi 6, RA6W2 kombiniert Wi-Fi 6 und Bluetooth LE. Beide richten sich an Smart-Home-, Industrie-, Medizin- und Consumer-Anwendungen und sind auch als vorvalidierte Module mit integrierter Antenne erhältlich. Die MCUs basieren auf einem Arm Cortex-M33 mit 160 MHz, 704 KB SRAM sowie integrierter Analog- und Kommunikationsperipherie. Sie ermöglichen eigenständige IoT-Designs ohne externe Host-MCU oder lassen sich als Connectivity-Add-on in bestehende RA-Systeme einbinden. Der Stromverbrauch ist auf Always-Connected-Szenarien ausgelegt, mit sehr niedriger Leistungsaufnahme im Sleep- und DTIM-Betrieb. Das Dualband-Wi-Fi 6 mit 2,4 und 5 GHz unterstützt OFDMA und Target Wake Time. Sicherheitsfunktionen wie Secure Boot, AES-256, TRNG und geschützter Schlüsselspeicher und Matter-Zertifizierung runden die Plattform ab.

LADECONTROLLER IN DER ZONENARCHITEKTUR

Ladekommunikation meets SDV

Effiziente Ladekommunikation ist die Basis für zentrale Funktionen von Elektrofahrzeugen. Mit dem Aufkommen des Software-definierten Fahrzeug stellt sich die Frage: Wie lässt sich Ladekommunikation zuverlässig und performant in komplexe E/E-Architekturen integrieren?

Das Fahrzeug-seitige Ladekommunikationssteuergerät (Electric Vehicle Communication Controller, EVCC) ist häufig zentraler Bestandteil eines Mikrocontroller-basierten Onboard-Ladegeräts. Dieses übernimmt neben der Ladekommunikation auch die Steuerung und Überwachung elektrischer Schaltkreise. Dazu zählen unter anderem die Signalleitungen, zum Beispiel Control Pilot und der Verriegelungsmotor der Ladedose des Combined Charging System (CCS). Die für diese Aufgaben vorgesehenen Software-Anteile eines EVCC werden nach Vorgaben der ISO 26262 für funktionale Sicherheit entwickelt. In CCS-basierten Ladesystemen spielt außerdem die Cybersicherheit eine wichtige Rolle. Weil die Ladekommunikation eine Schnittstelle zur Außenwelt darstellt, kann sie von Angreifern als potenzielles Einfallstor genutzt werden, um sich Zugriff auf das fahrzeuginterne Netzwerk zu verschaffen. Als führender Standard für die Ladekommunikation spezifiziert die ISO 15118 daher wichtige Sicherheitsvorkehrungen für Authentizität, Integrität und Vertraulichkeit. Dazu zählen die Verschlüsselung der Ladekommunikation mittels Transport Layer Security (TLS) sowie die Nutzung von Public Key Infrastructure (PKI) zur Authentifizierung und Autorisierung von Fahrzeug und Ladestation. Diese Sicherheitsmechanismen bringen aufgrund von kryptographischen Operationen sowie der Zertifikatsverwaltung einen zusätzlichen Ressourcenbedarf mit sich. Dabei kann sich insbesondere die erhöhte Laufzeit negativ auf das Nutzererlebnis auswirken, da es vom Start der Ladekommunikation bis zum eigentlichen Energietransfer zu Wartezeiten kommen kann. Die schnelle Durchführung der kryptographischen Operationen in der Software stellt für herkömmliche Mi-

Software-definiertes Fahrzeug: Wie lässt sich Ladekommunikation zuverlässig und performant in komplexe E/E-Architekturen integrieren?

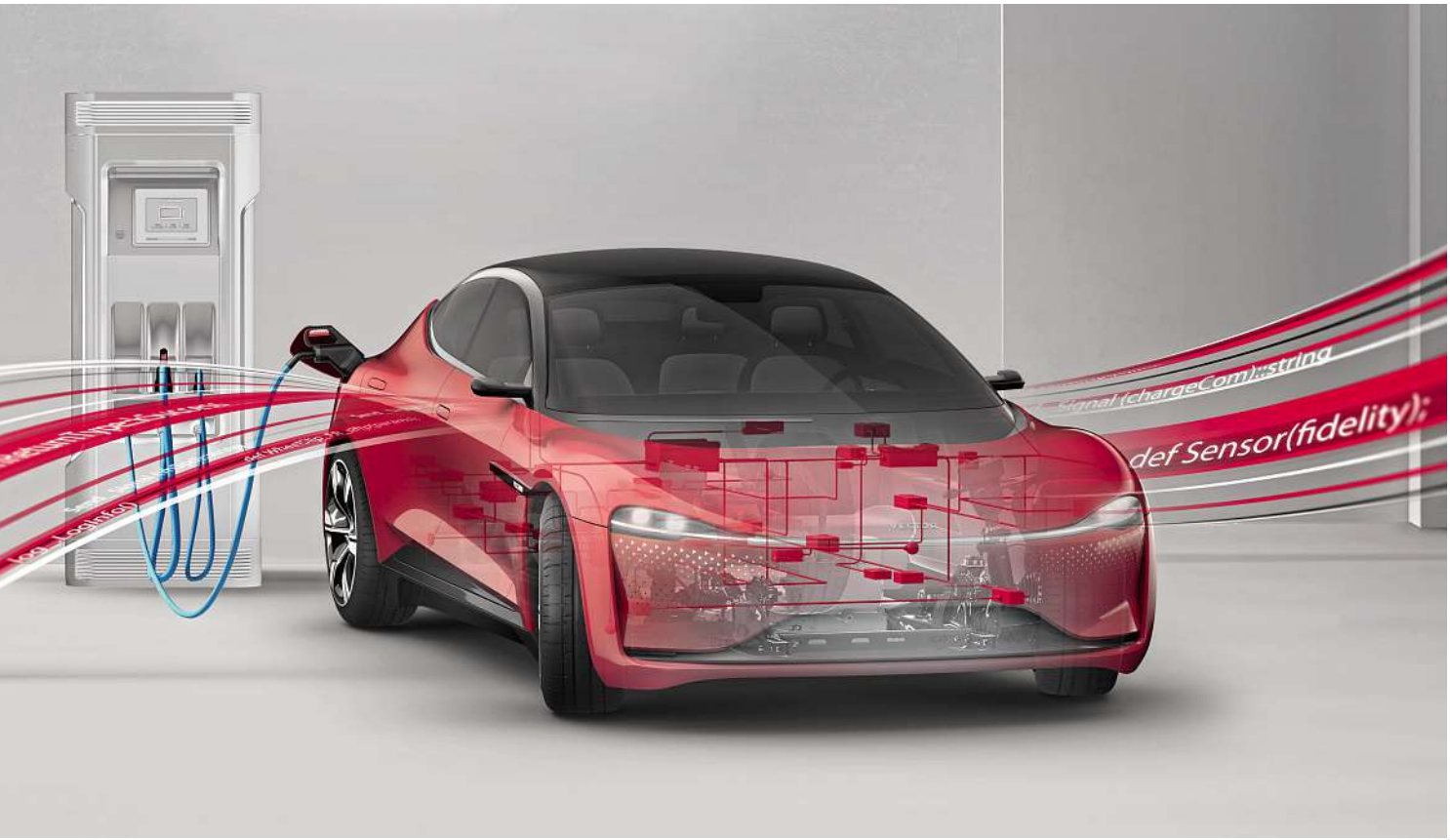


Bild: Vector Informatik

krocontroller aufgrund der Verwendung moderner elliptischer Kurven allerdings eine große Herausforderung dar.

Neue Möglichkeiten durch das SDV

Der Trend zum Software-definierten Fahrzeug (Software-defined Vehicle, SDV) zeigt sich u.a. durch die Struktur moderner E/E-Architekturen. Diese sind häufig als Zonenarchitektur aufgebaut. Das Fahrzeug ist dabei in geographische Zonen unterteilt. Neben den Mikrocontroller-basierten Zonen- und Sensor/Aktuator-Steuergeräten sind die zentralen High-Performance Computer (HPC) fester Bestandteil im SDV. Sie werden häufig als System-on-Chip (SoC) mit leistungsstarken Prozessoren und POSIX-basierten Betriebssystemen ausgeführt. Für die Realisierung eines EVCC in der Zonenarchitektur ergeben sich verschiedene Ansätze. Eine Möglichkeit ist das bereits genannte Onboard-Ladegerät. Es wird als separates Bauteil in eine Zone der E/E-Architektur integriert (Bild 1, 1). Eine weitere Variante ist die Integration des EVCC in einem Zonensteuergerät (Bild 2). Dafür bietet sich ein Zonensteuergerät an, das in der Nähe der CCS-Ladedose installiert wird, um die Distanz für die Powerline Communication (PLC) möglichst gering zu halten. Der dritte Ansatz ist die Umsetzung des EVCC als verteiltes System, wobei die einzelnen Software-Funktionen in Abhängigkeit der Eigenschaften vorhandener Steuergeräte verteilt werden (Bild 1, 3).

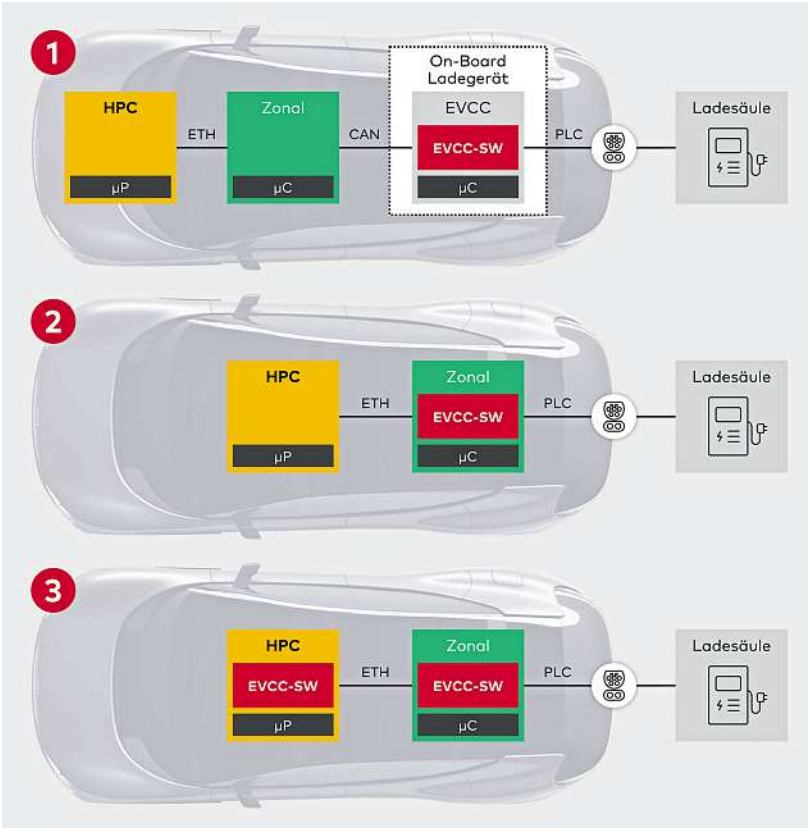


Bild: Vector Informatik

Bild 1: Unterschiedliche Ansätze für die Realisierung eines EVCC in der Zonenarchitektur.

Lösung eines verteilten EVCC

Dieser dritte Ansatz wurde im Rahmen eines Vorentwicklungsprojekts bei Vector untersucht. Dabei erfolgt die Verteilung der Software vorwiegend gemäß den Anforderungen der funktionalen Sicherheit und der Cybersicherheit. Die EVCC-Software wird dabei auf zwei Steuergeräte aufgeteilt. Die sicherheitsrelevanten Applikationen zur Steuerung elektrischer Schaltkreise werden in einem Mikrocontroller-basierten Gateway mit der Vector Basissoftware Microsar Classic ausgeführt, um von der Echtzeitfähigkeit zu profitieren. Das Gateway kann innerhalb eines Zonensteuergerätes (Bild 1,2) oder als eigenständiges Sensor-/Aktuator-Steuergerät umgesetzt werden. Im Gegensatz dazu wird die Ladekommunikation mit den Ressourcenintensiven Software-Anteilen für die Cybersicherheit weitestgehend auf einem HPC ausgeführt. Mit leistungsstarker Prozessoren können so kürzere Laufzeiten für kryptographische Operationen erzielt werden. Der HPC wird mit Android Automotive OS (AAOS) betrieben (Bild 2).

Das Gateway übernimmt die Kommunikation mit der Ladestation via Powerline Communication und mit dem Batterie-Management-System (BMS) über das interne Fahrzeugnetzwerk. Es integriert den PLC-Chip und steuert die Hardware-I/Os der Ladedose. Die ersten Schritte der Ladesequenz, wie Signal-Level Attenuation Characterization (SLAC) und SECC Discovery Protocol (SDP), laufen ebenfalls dort ab. Das Gateway leitet zudem Nachrichten von der Ladestation an das Android-System im HPC weiter. Das erfolgt über einen Network-Address-Translation-ähnlichen (NAT-ähnlich) Router innerhalb des Gateways, der nur Nachrichten des Ladeprotokolls in das Fahrzeugnetz durchlässt. Unerwünschte oder unbekannte Nachrichten werden herausgefiltert. Der NAT-ähnliche Router schützt das interne Netz und die nach außen gerichtete PLC-Schnittstelle. Er unterstützt dabei die Anforderungen aus ISO 21434. Das Gateway und der HPC sind per Ethernet über zwei Kanäle verbunden. Einer dient dem Ladeprotokoll, der andere der Synchronisierung der Zustände zwischen dem Android-System und dem Gateway. Weil das Gateway schneller startet, können einzelne Ladeschritte bereits vor der Verfügbarkeit des HPC initiiert werden. SLAC und SDP laufen ohne Eingaben des Android-Systems an, was die Zeit bis zum tatsächlichen Ladebeginn verkürzt. Im Android Automotive OS des HPC wird ein Großteil der Ladekommunikation verarbeitet. Zudem werden kryptographische Operationen ausgeführt und benötigte Zertifikate sowie Schlüssel verwaltet, was unter anderem für Plug & Charge essenziell ist. Die Ladekommunikation wird in AAOS als Charge-Service umgesetzt. Er basiert auf der bekannten Ladekommunikationssoftware Microsar Charge von Vector und enthält die protokollspezifische Implementierung inklusive der Zustandsmaschinen, den Efficient-XML-Interchange-Encoder/Decoder (EXI) sowie XML-Security für die Applikationsnachrichten. Die Architektur ist modular aufgebaut. Externe Komponenten wie die Crypto-Bibliothek oder die Zertifikats- und Schlüsselverwaltung lassen sich austauschbar integrieren. Der Charge-Service wird als nativer Service in das Android-Framework integriert. Dadurch werden ein schneller Start sowie die Überwachung durch den Service-Manager sichergestellt. Letzterer startet den Dienst, überwacht ihn und startet ihn bei Bedarf neu. Zudem kann der Charge-Service mit Hilfe des Vendor Native Development Kit (VNDK) entwickelt und gepflegt werden. Die Allokation des Charge-Services innerhalb von AAOS ist wichtig, weil Android-Systeme über mehrere Partitionen mit unterschiedlichen Zwecken und Berechtigungen verfügen (Bild 3). Die System-Partition mit den Komponenten des Android-Kernsystems besitzt die höchsten Privilegien und uneingeschränkten API-Zugriff. Sie ist

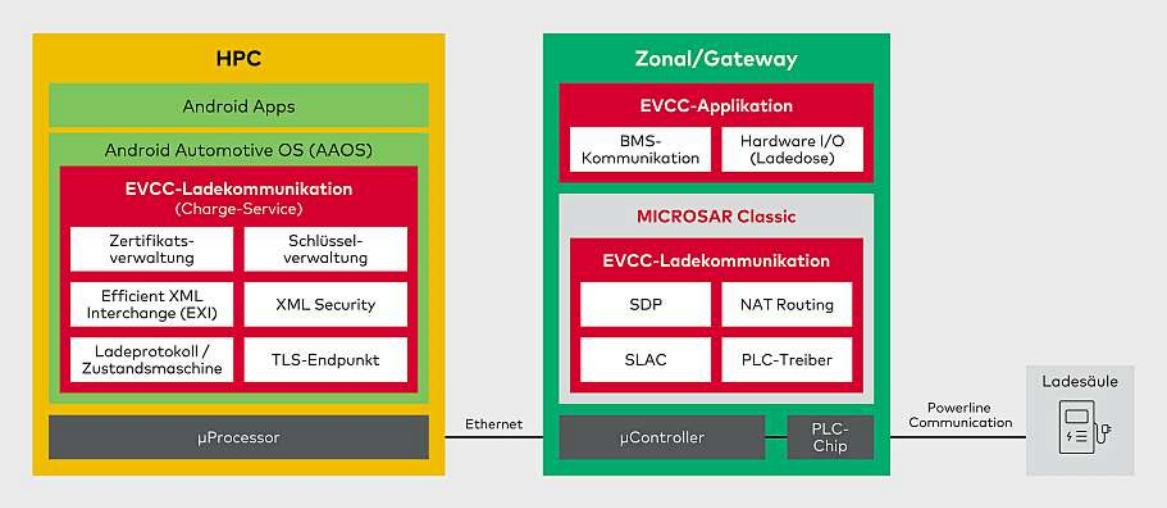


Bild 2: Verteilung verschiedener Softwarefunktionen innerhalb eines Systems.

Bild: Vector Informatik

jedoch nicht für nutzerspezifische Erweiterungen vorgesehen. Der Charge-Service wird in der Vendor-Partition gehalten, da diese den Zugriff auf alle notwendigen System-APIs besitzt und Schutzmechanismen gegen unbefugte Änderungen der Daten bietet.

Bewertung

Eine verteilte EVCC-Lösung wirkt sich besonders positiv auf das Laufzeitverhalten aus. In realen Testszenarien konnte die Laufzeit eines TLS 1.3-Handshakes mit Client- und Server-Authentifizierung gemäß ISO 15118-20 um den Faktor 8-10 im Vergleich zu einem Mikrocontroller-basierten System verbessert werden. Zudem wurden alle im Standard geforderten Zeitlimits während der gesamten Ladesequenz eingehalten.

Der Speicherbedarf für die Zertifikatsketten fällt weniger stark ins Gewicht, weil SoC-Plattformen über deutlich größere Speicherressourcen als herkömmliche Mikrocontroller verfügen. Zudem kann der Mikrocontroller zur Ansteuerung der Ladedose wesentlich kleiner ausgelegt werden, da die Ladekommunikation in den HPC verlagert wird. Das führt zu einer signifikanten Kostenersparnis. Des Weiteren sind die Update-Fähigkeit und Aufstartzeit wichtige Eigenschaften eines EVCC. Die Update-Strategie ist häufig herstellerspezifisch und hängt von den technischen Eigenschaften eines Steuergeräts ab. Die oben aufgeführte Software-Verteilung bietet die Möglichkeit, das Ladeprotokoll zentral im HPC zu aktualisieren, was insbesondere bei der Verwendung mehrerer Ladedosen vorteilhaft ist. Ein Beispiel hierfür sind elektrisch betriebene LKW mit mehreren Ladedosen für das Combined Charging System (CCS) und Megawatt Charging System (MCS). Darüber hinaus lässt sich das Variantenmanagement durch dynamisches Konfigurieren von Funktionen im Charge-Service vereinfachen.

Eine schnelle Aufstartzeit führt durch eine kurze Wartezeit beim Ladevorgang zu einem positiven Nutzererlebnis. Mikrocontroller-basierte Systeme ermöglichen Aufstartzeiten im Millisekunden-Bereich, wohingegen HPCs oft mehrere Sekunden benötigen. Bei einer verteilten EVCC-Lösung muss das Aufstartverhalten so gestaltet sein, dass die Ladekommunikation unmittelbar beginnen kann, sobald das Ladekabel eingesteckt wird. Daher führt der Mikrocontroller die ersten Schritte der Ladesequenz aus. Neben den positiven Aspekten führt die verteilte EVCC-Lösung jedoch zu erhöhter Komplexität. So nimmt die Anzahl der Kommunikationspfade innerhalb des Fahrzeugs zu. In den Ladeablauf sind außerdem unterschiedliche Hardware-Plattformen und Software-Ökosysteme involviert. Dadurch erhöht sich der Aufwand für den Test des Gesamtsystems, da der Testaufbau durch die Beteiligung mehrerer Steuergeräte komplexer wird und die Anzahl der Testfälle steigt.

Bild: Vector Informatik

VERFASST VON
Tobias Schneider
Projektleiter in der Vorentwicklung
Vector Informatik

Bild: Vector Informatik

Michael Vick
Solution Manager für die Ladekommunikations-Software Microsar Charge
Vector Informatik

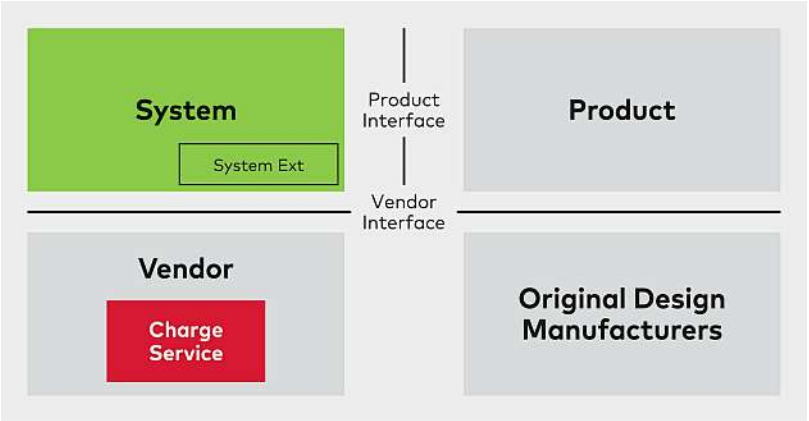
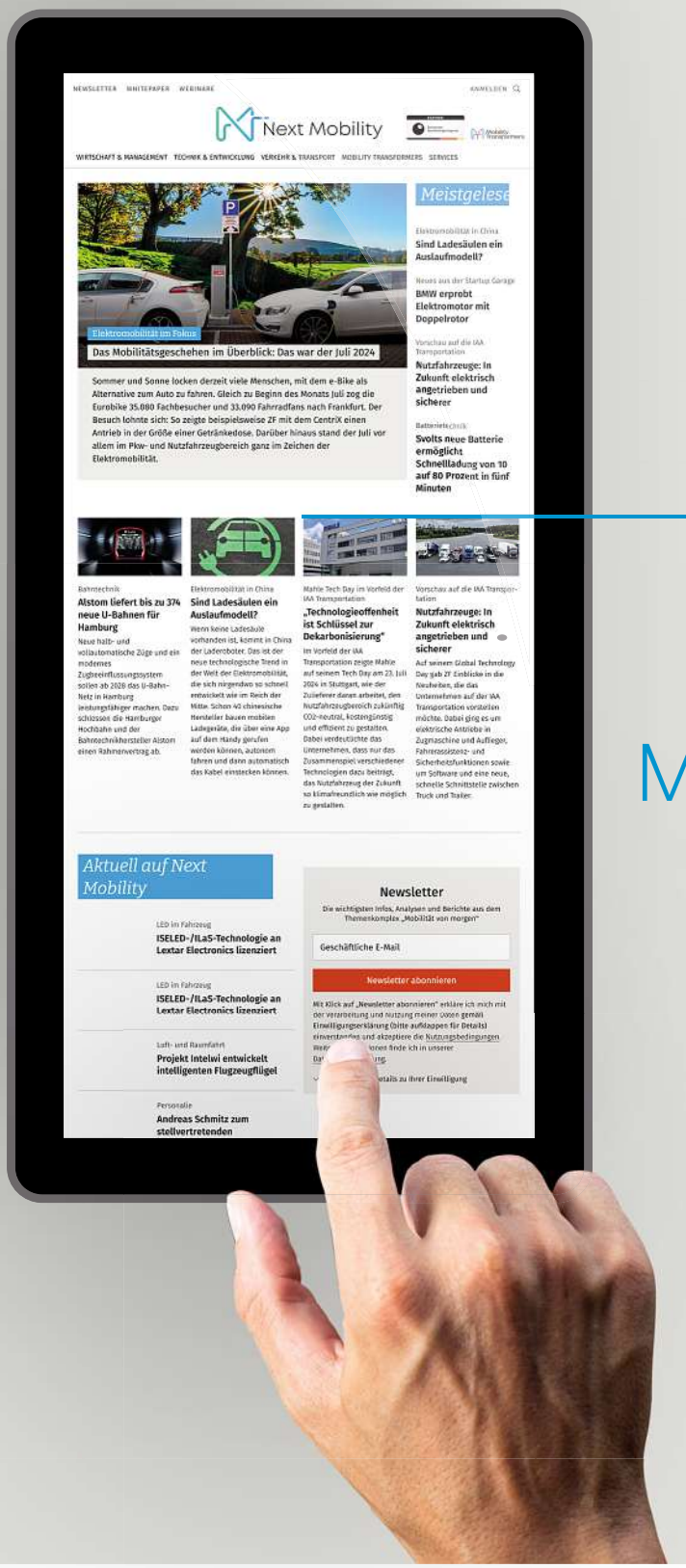


Bild: Vector Informatik

Bild 3: Übersicht der Partitionen in Android Automotive OS

Schlussfolgerungen

Das Vorentwicklungsprojekt von Vector verdeutlicht die Vor- und Nachteile verschiedener Integrationsansätze eines EVCC. Die Auswahl des Ansatzes sollte sich an der verfügbaren Hardware und der Software-Verteilung innerhalb der Zonenarchitektur orientieren. Zudem können sich durch zukünftige Hardware-Plattformen mit leistungsfähigeren Prozessoren und Hardware-Beschleunigern neue Integrationsszenarien ergeben. Eine geeignete Ladekommunikations-Software muss dafür jedoch flexibel und portierbar sein. Im SDV sind mehr denn je ökonomische und projektspezifische Faktoren der Steuergeräteentwicklung zu berücksichtigen. Aus technischer Sicht steht der Umsetzung einer effizienten Ladekommunikation im SDV jedenfalls nichts mehr im Wege. *(se)*



Next Mobility

Startklar für ein neues Mobilitätszeitalter

Abonnieren Sie die „Mobilität von morgen"

Registrieren Sie sich kostenfrei, nutzen Sie unser exklusives E-Paper-Angebot, weiterführende Whitepaper, Webinare oder Dossiers und bleiben Sie mit unserem Newsletter immer auf dem Laufenden. Jetzt Vorteile nutzen unter:

www.next-mobility.de/anmelden

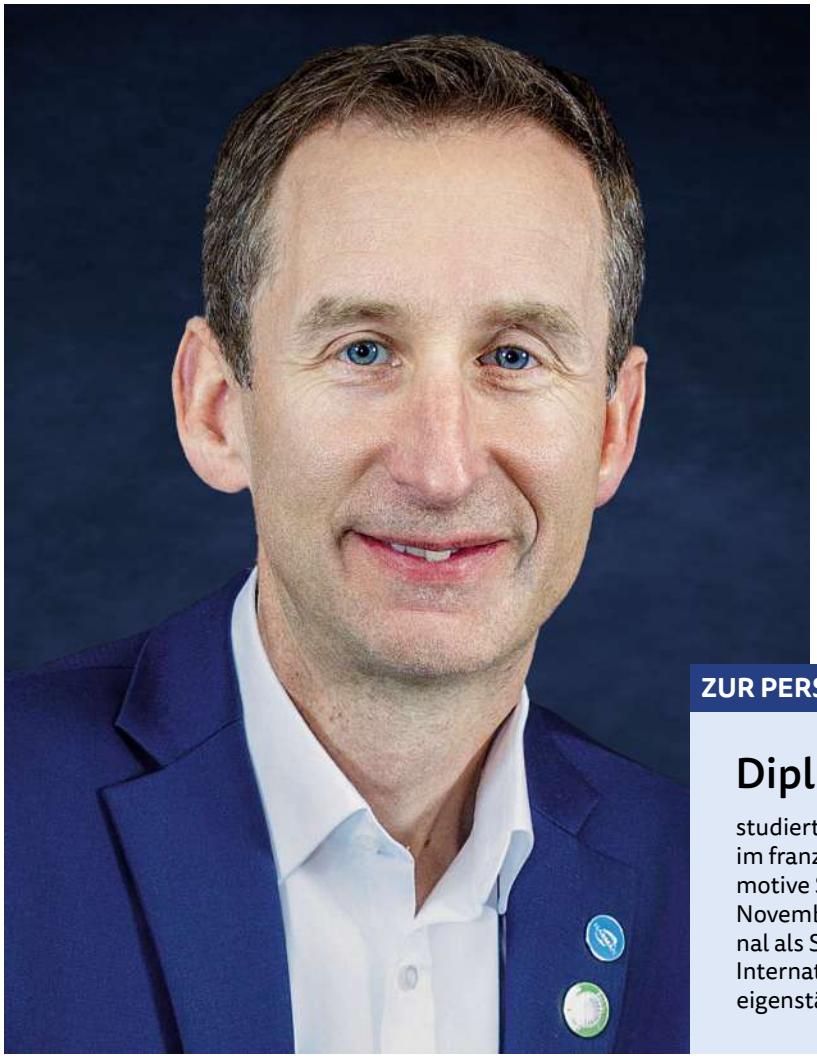
Next Mobility ist eine Marke der VOGEL COMMUNICATIONS GROUP

INTERVIEW MIT PASCAL PEGURET, SENIOR VICE PRESIDENT CONNECTIVITY BEI HARMAN

„Das Auto wird zum digitalen Lebensraum“

Pascal Peguret von Harman erklärt, wie Fahrzeuge zu digitalen Lebensräumen werden, welche Technologien der flächendeckenden Vernetzung zum Durchbruch verhelfen und warum Satellitenkommunikation dabei eine entscheidende Rolle spielt.

Die Mobilität verändert sich schneller als je zuvor: Elektromobilität, vernetzte Fahrzeuge und autonome Technologien – Automobilhersteller und ihre Zulieferer müssen viele Dinge unter einen Hut bringen, um wettbewerbsfähig zu sein und zu bleiben. Vernetzte Fahrzeuge sind beileibe keine Zukunftsmusik mehr, aber nach wie vor eine Herausforderung.



Wie wird sich die Konnektivität im Automobilsektor in den nächsten Jahren entwickeln? Wird es dabei regionale Unterschiede geben?

Peguret: Die Konnektivität im Automobilsektor entwickelt sich rasant weiter – wir sehen eine sehr starke Dynamik nach oben, auch wenn bislang nur ein kleiner Teil der Fahrzeuge tatsächlich vernetzt ist. Viele Hersteller haben jahrelang daraufgesetzt, dass die Nutzer ihr Smartphone als Verbindungselement ins Auto mitbringen. Doch der Markt verlangt heute etwas anderes: Fahrzeuge sollen eigenständig mit dem Internet verbunden sein – mit integrierter Telematikplattform und direkter Cloud-Anbindung. Ohne Umweg über das Smartphone. Die Take-Rate der ab Werk vernetzten Fahrzeuge steigt in praktisch allen Regionen deutlich an.

Für Anbieter im Connectivity-Bereich ist das ein enormes Wachstumsfeld. V2V- oder V2X- Vernetzung sind hingegen noch immer Nischenmärkte. Die Entwicklung verläuft deutlich langsamer, als man früher angenommen hat. Der Nutzen dieser Technik entsteht erst durch eine kritische Masse – wenn ein gewisser Prozentsatz der Fahrzeuge und Infrastrukturen dieselben Kommunikationsstandards einsetzet. Deshalb bräuchte es hier klare politische Signale und Vorgaben, um den Durchbruch zu schaffen. In China ist man damit weiter, in Europa und Nord-

ZUR PERSON

Dipl.-Ing. Pascal Peguret

studierte Wirtschaftsingenieurwesen an der ECAM LaSalle im französischen Lyon. Bevor er bei Harman Becker Automotive Systems eintrat, war Peguret für Molex tätig. Seit November 2023 ist Pascal Peguret bei Harman International als Senior Vice President Connectivity tätig. Harman International ist seit März 2017 eine hundertprozentige, eigenständige Tochter von Samsung Electronics.

Bild: SGStudio

amerika zögern die Gesetzgeber noch. Aus technischer Sicht ist V2X eine hervorragende Sicherheitslösung, um Unfälle zu reduzieren oder auch Rettungseinsätze im Verkehrsraum effizienter zu machen, und deshalb sind wir ein großer Unterstützer dieser Technologie.

Welche Bereiche im Automobilsektor werden sich durch die zunehmenden technischen Möglichkeiten verändern – und warum?
Peguret: Die größte Veränderung findet gerade in der Wahrnehmung des Autos selbst statt. Heute entwickelt sich das Fahrzeug zu einem digitalen Consumer-Produkt, das den Nutzer in seinem vernetzten Alltag begleitet – mit nahtloser Verbindung zu Home- und Office-Umgebungen.

Parallel dazu nimmt die Autonomie der Fahrzeuge zu. Je stärker die Fahrfunktionen automatisiert werden, desto stärker verschiebt sich der Fokus auf das Erlebnis im Innenraum. Passagiere wollen ihre Zeit im Fahrzeug sinnvoll nutzen, ob für Arbeit, Unterhaltung oder Entspannung. Das verändert die Erwartungen grundlegend. Studien wie die McKinsey Consumer Pulse Mobility Survey 2025 zeigen, dass gerade Käufer von Elektrofahrzeugen heute viel mehr auf das Nutzererlebnis, auf Konnektivität, Komfort und digitale Funktionen achten. Damit verschieben sich auch die Schwerpunkte in der Industrie. Neue Felder wie Connectivity, E/E-Architektur, Software und zentrale Rechenplattformen gewinnen an Gewicht und dort spielt sich die technologische Differenzierung zwischen den Herstellern ab.

Für Unternehmen wie Harman liegt der Fokus auf dem Fahrerlebnis im Innenraum, das durch Software-definierte Architektur und Konnektivität ermöglicht wird. Das sind die Faktoren, die darüber entscheiden, wie relevant ein Auto im digitalen Alltag seiner Nutzer bleibt. Anstelle von isolierten Infotainment-Modulen gestalten wir ganzheitliche digitale Plattformen mit skalierbarer Software-Integration, die auf die individuellen Bedürfnisse der Menschen zugeschnitten sind und ein nahtloses, unterbrechungsfreies digitales Erlebnis ermöglichen.

Was muss getan werden, um eine vernetzte Mobilität schnell und flächendeckend zu erreichen?
Peguret: Wenn wir über Geschwindigkeit reden, müssen wir zwei Dinge unterscheiden: Bandbreite und Latenz. Bandbreite beschreibt, wie viele Daten gleichzeitig übertragen werden können – etwa beim parallelen Streaming oder bei Software-basierten Over-the-Air-Updates. Latenz hingegen ist die Reaktionszeit des Netzes, also wie lange ein Signal braucht, bis es beim Empfänger ankommt. Sie ist vor allem für sicherheitsrelevante Anwendungen, Cloud-basierte Fahrassistenzsysteme oder Videokonferenzen entscheidend.

Die gute Nachricht ist: 5G kann beides – sowohl hohe Datenraten im Gigabitbereich als auch niedrige Latenzen im Millisekundenbereich. Technologisch sind damit schon heute viele der Szenarien möglich, über die wir im Kontext vernetzter Mobilität sprechen. Das Problem liegt weniger in der Technologie selbst, sondern in ihrer flächendeckenden Verfügbarkeit. In Deutschland ist die 5G-Abdeckung mit rund 93,2 Prozent der Landesfläche mittlerweile deutlich besser als viele denken. In großflächigen Märkten wie den USA oder Australien stellt sich jedoch die Frage, wie Fahrzeuge auch außerhalb terrestrischer Netze verbunden bleiben können.

Welche Lösungsmöglichkeit gibt es für diese Herausforderung?
Peguret: Ein vielversprechender Ansatz ist die Satellitenkommunikation, also SatCom oder Non-Terrestrial Networks, abgekürzt NTN. Wir sehen hier enormes Potenzial, insbesondere für Märkte mit geringer Mobilnetzdichte. Anbieter wie Starlink zeigen schon heute, dass stabile und schnelle Verbindungen über Satelliten möglich sind und profitabel angeboten werden können. Im Heimbereich ist SatCom längst Realität, und wir sind überzeugt, dass diese Technologie auch im Fahrzeugbereich bald ihren Durchbruch erleben wird. Gerade dort, wo 5G an seine Grenzen stößt, wird SatCom künftig zur entscheidenden Ergänzung. *(se)*

Coilcraft

AEC Q200 +125°C

Serie XGL3014
Leistungsinduktivitäten mit sehr geringen Verlusten

- Derzeit niedrigster DC-Widerstand auf dem Markt – bis zu 50% niedriger als andere
- Nennstromstärken bis 16,1 Ampere mit weicher Sättigung
- Fünfzehn Induktivitätswerte von 0,082 bis 1,8 µH
- Geeignet für DC-DC Wandler mit großem Eingangsspannungsbereich

e-mail: sales@coilcraft-europe.com

Kostenlose Muster bei coilcraft.com

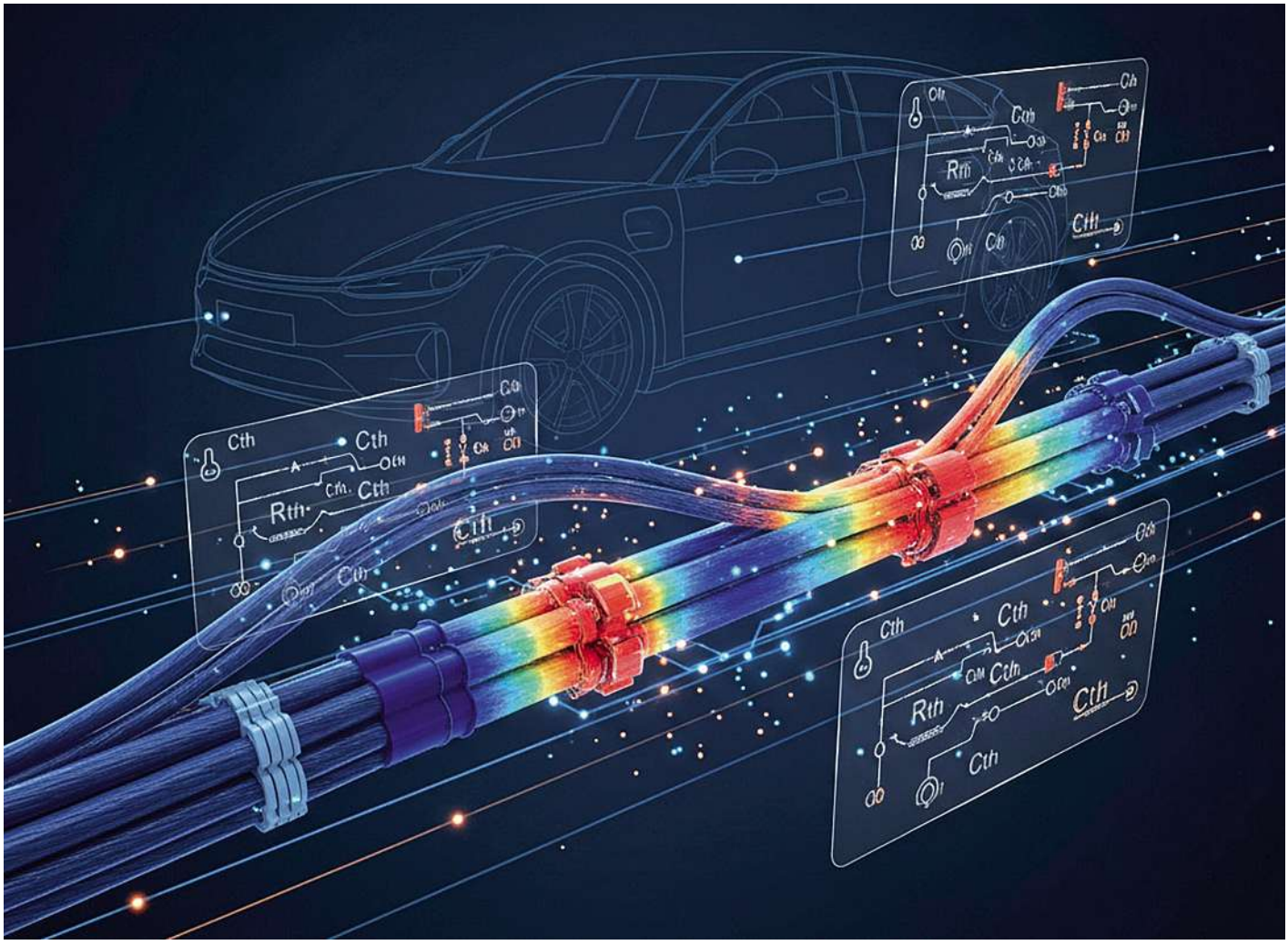


Bild: Physical Software Solutions

Thermische Netzanalyse: Eine vielseitige und effiziente Methode zur Simulation des Temperaturverlaufs in elektrischen Netzwerken unter Last.

TEMPERATURVERLAUF IN ELEKTRISCHEN NETZWERKEN

Thermische Netzanalyse als Schlüsseltechnologie

Die Bestimmung der Lebensdauer und Zuverlässigkeit von Bordnetz-Komponenten gewinnt immer mehr an Bedeutung. Nun gelang es, eine kosteneffiziente Methode zur Simulation des Temperaturverlaufs in elektrischen Netzwerken unter Last zu entwickeln.

Elektrischer Strom setzt auf seinem Weg durch leitende Bauteile Energie in Form von Wärme frei. In den betroffenen Leitern steigt dadurch die Temperatur. Es entsteht eine Temperaturdifferenz zur Umgebung und es setzen ausgleichende Wärmeströme in Richtung kühlerer Zonen ein.

In Netzwerken mit mehreren elektrisch belasteten Komponenten stellt sich nach kurzer Zeit ein charakteristisches Temperaturprofil ein. Dieses passt sich fortlaufend an die Stromstärke und deren zeitlichen Verlauf an.

Da das örtlich und zeitlich veränderliche Temperaturprofil für die Auslegung elektrischer Netzwerke – und

damit für Funktionsfähigkeit und Langzeitzuverlässigkeit – entscheidend ist, wurden auf Basis von Erfahrungen aus der Zusammenarbeit mit der Automobilindustrie besondere Rechenalgorithmen entwickelt, mit deren Hilfe sich das thermische Verhalten für die Dimensionierung eines Bordnetzes präzise vorab berechnen lässt.

Grundlagen: Von der Komponente zum thermischen Netzwerk

Der Grundgedanke der hier realisierten thermischen Netzanalyse (TNA) beruht auf der Möglichkeit, die eingesetzten unterschiedlichen physikalischen Bauteile in ein vereinfachtes Netzwerk aus thermischen Widerständen (R_{th}) und Kapazitäten (C_{th}) zu überführen. Völlig analog zu einem elektrischen Schaltkreis beschreiben diese thermischen $R_{th}C_{th}$-Elemente, wie die Wärme anstelle von elektrischem Strom durch ein System fließt, gespeichert und abgeleitet wird. Dabei werden Wärmequellen, wie die Verlustleistung in einem Kabel, als thermische Stromquellen (I_{th}) modelliert, während Temperaturdifferenzen (U_{th}) den elektrischen Spannungen entsprechen.

Dieser Ansatz ermöglicht es, das thermische Verhalten von beliebigen Komponenten, wie etwa von Leitungen, Steckverbindern oder Kühlkörpern mit geringem Rechenaufwand zu beschreiben. Um den Datenaustausch zwischen Komponenten-Herstellern und Anwendern zu vereinheitlichen und damit die Modellerstellung zu vereinfachen, werden im Augenblick allgemein gültige Standards zur Thermosimulation geschaffen, wie die ZVEI Technical Guideline und die DIN/TS 70101. Mit diesen Richtlinien wird es möglich, für jedes Bordnetz ein thermisches Ersatzschaltbild zu erstellen (Bild 1) und mit den Parametern für die gewählten Komponenten allgemein gültige System-Simulationen und Optimierungen durchzuführen. Auf diese Weise können Funktionsmuster aller Arten von Komponenten, etwa von Leitungen, Steckverbindern und dergleichen in Zusammenarbeit von Herstellern und Anwendern gemeinsam entwickelt und von allen potenziellen Interessenten genutzt werden.

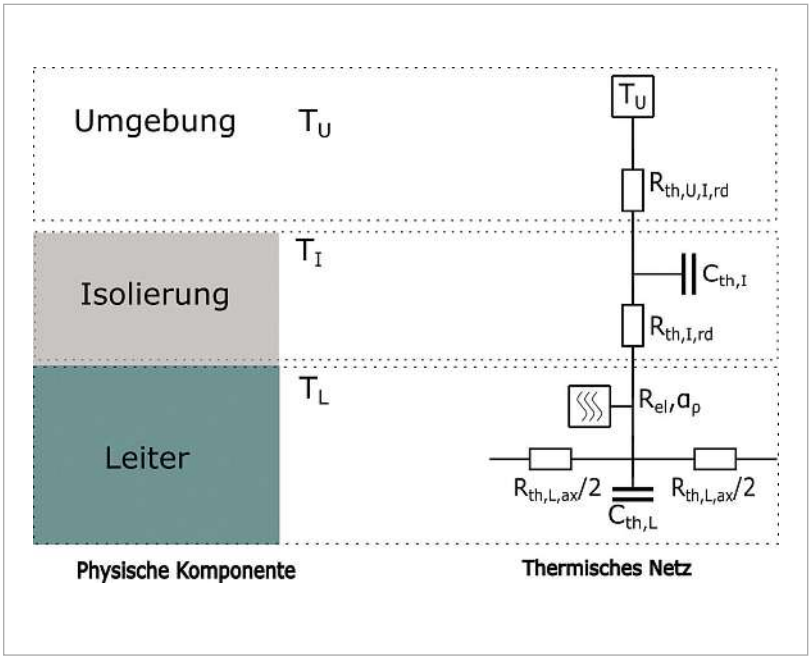


Bild: Physical Software Solutions

Bild 1: Eine physische Komponente mit Leiter und Isolierung (links) wird in ein thermisches Ersatzschaltbild (rechts) übersetzt. Dieses $R_{th}C_{th}$-Netzwerk, standardisiert nach ZVEI bzw. DIN/VDA, bildet die Basis für effiziente thermische Simulationen.

Gesteigerte Präzision durch nichtlineare Interpolation

Die standardisierten, linearen $R_{th}C_{th}$-Modelle bieten bereits eine hervorragende Grundlage für viele Anwendungsfälle, insbesondere für die Analyse stationärer Zustände. Doch die realen Anforderungen – insbesondere bei Elektrofahrzeugen – sind oft dynamischer Natur:

- Schnellladevorgänge,
- Lastspitzen beim Beschleunigen und
- variierende Umgebungsbedingungen

erfordern eine präzisere Betrachtung. Hier stoßen einfache Modelle an ihre Grenzen. Um die Genauigkeit zu erhöhen, müsste die Anzahl der $R_{th}C_{th}$-Glieder, also der Knoten, im Netzwerk erheblich erhöht werden, was den Geschwindigkeitsvorteil des linearen Modells zunichte machen würde.

Moderne TNA-Ansätze gehen daher einen entscheidenden Schritt weiter. Anstatt die Temperatur zwischen den einzelnen Netzknoten nur linear zu interpolieren, nutzen sie höherwertigere, nichtlineare Interpolationsfunktionen. Durch einen solchen vielseitigeren Ansatz kann die Temperaturverteilung entlang eines Wärmepfades, beispielsweise entlang eines Kabels, mit nur wenigen Knotenpunkten sehr viel präziser berechnet werden (Bild 2). Das Ergebnis ist eine höhere Genauigkeit, die nahe an die von rechenintensiven FEM-Modellen heranreicht, jedoch mit Simulationszeiten, die um Größenordnungen kürzer sind.

Anwendungsfelder und Ergebnisse in der Praxis

Die Stärke der TNA liegt in der Analyse komplexer, miteinander verbundener Systeme. So lässt sich das thermische Verhalten eines gesamten Kabelbaums simulieren, der durch verschiedene Temperaturzonen im Fahrzeug verläuft. Dabei werden nicht nur die Selbsterwärmung der einzelnen Leitungen, sondern auch die thermischen Kopplungseffekte – also etwa das gegenseitige Aufheizen benachbarter Kabel – präziser erfasst.

Die Simulationsergebnisse liefern ein umfassendes Bild der thermischen Situation im System. Die Anwender können:

- Systemweite Temperaturkarten erstellen, die zu jedem Zeitpunkt die räumliche Temperaturverteilung zeigen.
- Hotspots frühzeitig lokalisieren und durch Designanpassungen entschärfen – lange bevor ein physischer Prototyp existiert.
- Dynamische Lastzyklen analysieren, um das Verhalten unter realitätsnahen Bedingungen, wie einem WLTP-Zyklus oder einem Ladevorgang, zu bewerten.
- Schnelle „Was-wäre-wenn"-Szenarien durchspielen, um den Einfluss von Materialänderungen, veränderten Querschnitten oder neuen Verlegewegen zu untersuchen.

Die Visualisierung der Ergebnisse erfolgt typischerweise über interaktive Netzwerkgrafiken, bei denen die Knoten und Kanten je nach Temperatur eingefärbt sind sowie durch detaillierte Zeitverlaufsdiagramme für kritische Punkte (Bild 3).

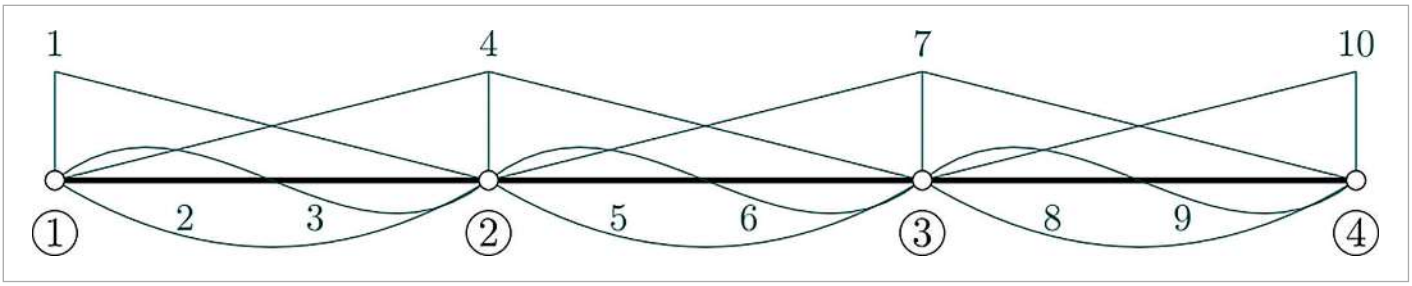


Bild: Physical Software Solutions

Bild 2: Anstelle einer einfachen linearen Verbindung berechnen TNA-Methoden den Temperaturverlauf zwischen den Knotenpunkten mithilfe (nicht)linearer Ansatzfunktionen (dunkelgrüne Linien). Das erhöht die Genauigkeit erheblich, ohne die Komplexität des Netzwerks zu steigern.

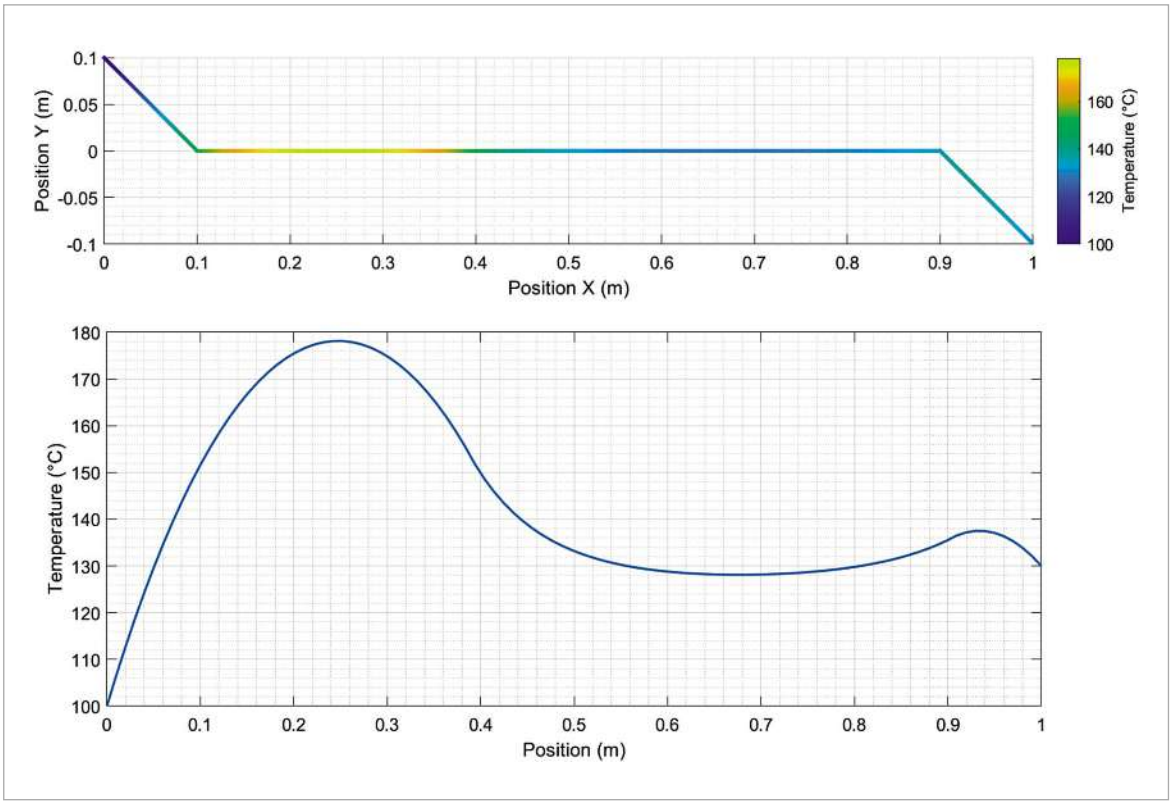


Bild: Physical Software Solutions

Bild 3: Typische Ergebnisausgabe einer TNA Simulation. Die Heatmap (oben) visualisiert die Temperaturverteilung im gesamten System und zeigt die Wirkung einer lokalen Kühlung (Wärmesenke). Das Diagramm (unten) stellt den detaillierten Temperaturverlauf entlang einer Projektion auf die x-Koordinate des analysierten Wärmepfades dar.

Bild: Physical Software Solutions

VERFASST VON

Prof. Dr.-Ing. Hans-Dieter Ließ

Erstberatung und Durchführung spezifischer Bedarfsanalysen

Physical Software Solutions

Bild: Physical Software Solutions

Dr.-Ing. Karl Dvorsky

Entwicklung von Berechnungsverfahren und Bearbeitung von Dienstleistungsanfragen

Physical Software Solutions

Bild: Physical Software Solutions

Dr. Sven-Joachim Kimmerle

Modellierung der Alterung elektrischer Komponenten und Dozent

Physical Software Solutions

TNA als Schlüsseltechnologie mit dem FTNA-Rechenprogramm

Die Thermische Netzanalyse ist keine rein akademische Methode mehr. Mit dem FTNA-Rechenprogramm (Fast Thermal Network Analysis), das von der Physical Software Solutions GmbH entwickelt wird, steht diese Technologie allen Bordnetz-Entwicklern als leistungsstarkes Software-Werkzeug zur Verfügung. Der implementierte, beschleunigte RC-Netzwerk-Solver in Kombination mit dem präzisen nichtlinearen Interpolationsverfahren ermöglicht auch äußerst kurze Simulationszeiten bei gleichzeitig hoher Genauigkeit. Damit können kostspielige und zeitaufwändige Tests durch effizientere Simulationen mit höherer Präzsion ersetzt werden.

Das Werkzeug ist speziell für die Komplexität moderner E/E-Architekturen ausgelegt und unterstützt die Modellierung von Kabelbündeln, Verzweigungen und variierenden Umgebungszonen. Durch die Konformität mit Industriestandards wie DIN/TS 70101 und dem ZVEI-Leitfaden zur Thermosimulation fügt sich das FTNA-Werkzeug auch nahtlos in bestehende Entwicklungsworkflows ein und fördert einen nachhaltigen, simulationsgestützten Designprozess. Die Physical Software Solutions GmbH bietet neben dem Rechenwerkzeug auch umfassende Dienstleistungen an, um Unternehmen bei der Implementierung und Nutzung der thermischen Netzanalyse zu unterstützen.

Da die thermische Beanspruchung der Komponenten entscheidend für die Leistungsfähigkeit und Zuverlässigkeit von Elektrofahrzeugen ist, dürfte eine TNA schon in der Entwurfsphase der schnellste und präziseste Weg sein, die notwendigen Informationen auf Systemebene über die optimale thermische Auslegung des Bordnetzes noch lange vor der Realisierung der ersten Prototypen zu erhalten. Diese Technologie dürfte damit als unverzichtbares Werkzeug mit dazu beitragen, die Mobilität der Zukunft schnell, sicher und effizient zu gestalten. *(se)*

ELEKTROMOTOR

Magnete ohne seltene Erden einsetzen

Bild: Astemo

Elektromotoren nutzen in der Regel im Rotor Permanentmagnete aus seltenen Erden, etwa Neodym, um starke Magnetfelder zu erzeugen. Verzichtet man aus geopolitischen Gründen auf diese, kommen in der Regel Ferritmagnete zum Einsatz. Diese besitzen jedoch nur etwa ein Drittel der magnetischen Kraft. Um die gleiche Leistung wie ihr Pendant mit Magneten aus selten Erden zu erreichen, müsste der Motor deshalb etwa dreimal so groß ausgelegt werden. Astemo hat daher einen neuen Synchronreluktanzmotor entwickelt. Der Motor erzeugt Rotationskraft, indem er Unterschiede im magnetischen Widerstand nutzt, die sich aus der Form des Rotorkerns ergeben. Durch die Entwicklung einer „Multi-Layer-Flux"-Struktur wird der Weg der magnetischen Kraftübertragung in mehrere Schichten aufgeteilt. Gleichzeitig lässt sich der Strom so präzise steuern, dass sich im Rotorkern gezielt magnetische Pole ausbilden. Auf diese Weise kann die starke Magnetkraft von Neodym-Magneten kompensiert werden. Die Bildung magnetischer Pole im Rotorkern erfordert einen höheren Stromfluss durch die Spulen des Stators. Das ist eine erhebliche Herausforderung, weil sich die Spulen dabei stärker erwärmen. Hierfür hat man im Unternehmen eine Struktur entwickelt, bei der die Nuten und Enden der Spulen in Kühlöl getaucht sind. Dadurch ließ sich die zusätzliche Wärmeentwicklung im Motor erheblich reduzieren.

TOOLS

UDE 2026: Mehr Bedienkomfort dank neuer Funktionen

Bild: PLS Programmierbare Logik & Systeme

Mit einer Reihe neuer Funktionen, die Entwicklern das Debugging und die Trace-basierte Analyse komplexer Microcontroller-Anwendungen erleichtern, wartet die neue Major-Release UDE 2026 des Tools auf. So wurden u.a. für die Laufzeitanalyse von RTOS- und Autosar-basierenden Applikationen die Funktion zur CPU-Auslastung erweitert. Ab sofort können die Daten für die Berechnung nicht nur durch das Trace-System des jeweiligen Microcontrollers ermittelt werden, sondern alternativ auch durch Abtastung über das Debug-Interface. Diese Methode ist zwar statistisch etwas ungenauer, bietet aber den Vorteil, dass die CPU-Auslastung auch für MCUs ohne Trace-Unterstützung ermittelt werden kann. Eine noch detailliertere Visualisierung des Laufzeitverhaltens von AUTOSAR-Applikationen ermöglichen zusätzliche Betriebssystem-Hooks, die im ARTI definiert sind.

Um die Entwicklung von Skripten für die Automatisierung von Debug-Aufgaben und Software-Tests mittels der Skriptsprache Python zu erleichtern, bietet die neue Release innerhalb der integrierten Python-Konsole künftig einen eigenen Script-Debugger an. Dieser erlaubt sowohl Breakpoints und Single-Stepping im Python-Code als auch die Anzeige von Python-Variablen über ein eigenes Watch-Fenster. Zudem erfolgten bei der UDE 2026 spezielle Erweiterungen und Anpassungen für einzelne MCU-Familien und Bausteine.

ELEKTROMOBILITÄT

Testlösungen für Hochleistungs- und Megawattladen

Bild: Keysight Technologies

Die zunehmende Elektrifizierung zieht eine wachsende Nachfrage nach entsprechender Ladeinfrastruktur nach sich. Vor diesem Hintergrund hat Keysight Technologies zwei Testlösungen für das Laden von Elektrofahrzeugen entwickelt, die Hochleistungs- und Megawatt-Ladestationen unterstützen. Das Megawatt Charging Discovery System SL2600A ermöglicht die Validierung von Megawatt-Ladesystemen der nächsten Generation für Schwerlastanwendungen und unterstützt Spannungen bis zu 1.500 V und Ströme bis zu 1.500 A. Dank seiner modularen, erweiterbaren Architektur können Entwickler sowohl Elektrofahrzeuge als auch Ladestationen in einem einzigen System testen, was die Flexibilität erhöht und die Gesamtbetriebskosten senkt. Das SL2600A wurde mit Blick auf zukünftige Standards wie NACS und CCS entwickelt und trägt dazu bei, die Bereitschaft für sich weiterentwickelnde Ladeökosysteme sicherzustellen und gleichzeitig langfristige Investitionen in die Testinfrastruktur zu schützen.

Ergänzend dazu bietet das verbesserte Scienlab Charging Discovery System SL1047A – High-Power Series eine Softwareskalierbare Leistung ab 400 A und 1.000 V, die ohne Hardware-Austausch auf bis zu 800 A und 1.500 V erweitert werden kann. Mit Unterstützung für alle globalen Ladestandards, einschließlich der vollständigen Konformität mit GB/T 2024, ermöglicht das System umfassende Konformitäts- und Interoperabilitätstests für weltweite EV-Ladeökosysteme. Es bietet außerdem verbesserte Testfunktionen für die Ladekommunikation mit erheblichen Verbesserungen und erweiterten Funktionen, um den immer komplexer werdenden Anforderungen an das Laden von Elektrofahrzeugen gerecht zu werden.

THERMISCHE WIDERSTÄNDE

Mikrothermografie für dünne Schichten

Sinterverbindungen sind eine vielversprechende Alternative zu herkömmlichen Verbindungstechniken in der Mikro- und Leistungselektronik. Das ZFW hat eine neue Methode entwickelt, um thermische Widerstände an derartigen dünnen, thermisch hochleitfähigen Verbindungen reproduzierbar zu messen.

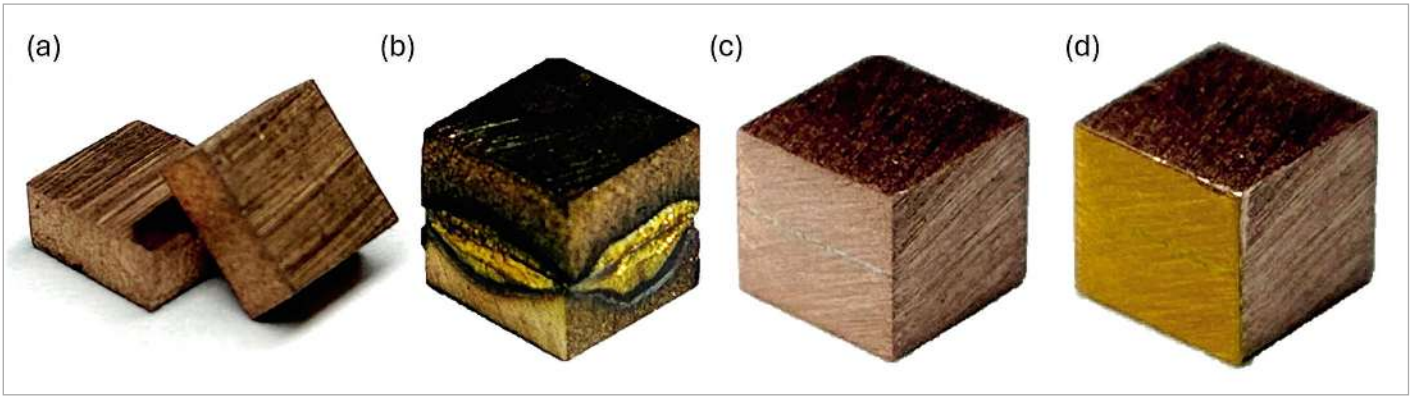


Bild: ZFW

Bild 1: Einzelne Kupfersubstrate (a) sowie mit Lötpaste verbundene Kupfersubstrate in rohem (b), geschliffenem (c) und mit Polymerfolie beschichtetem (d) Zustand.

VERFASST VON
Oliver Roser
Projektleiter F&E
Zentrum für Wärmemanagement

Nikica Jurcevic
Simulationsingenieur
Zentrum für Wärmemanagement

Zur Bestimmung thermischer Widerstände und Wärmeleitfähigkeiten existieren zahlreiche etablierte und standardisierte Verfahren [1]. Für die Untersuchung thermischer Interfacematerialien (TIMs), wie Wärmeleitpads oder Wärmeleitpasten, hat sich die stationäre Zylindermethode nach ASTM D5470-17 [2] etabliert. Verbindungstechniken auf Chip-Ebene werden meist mit dem thermischen Transientenverfahren (JEDEC-Standards der JESD51-Serie) untersucht.

Bei der systematischen Untersuchung von sehr dünnen, hochleitfähigen Verbindungsschichten kommen beide Verfahren an ihre Grenzen. Die bei der stationären Zylindermethode notwendigen Adaptionen hin zu den verbundenen Substraten führen zu erhöhten Unsicherheiten und lassen eine Bestimmung des Temperaturabfalls direkt am zu untersuchenden Interface nicht zu.

Beim thermischen Transientenverfahren wird das zu kühlende Elektronikbauteil als Sensor eingesetzt. Dies ermöglicht sehr applikationsnahe Untersuchungen. Für systematische und anwendungsunabhängige Untersuchungen von Material- und Verbindungseigenschaften ist dies jedoch ein Nachteil, da die Bauteileigenschaften die Messung beeinflussen können. Mit anderen Messverfahren kann oft nur die Wärmeleitfähigkeit des Substratmaterials bestimmt werden. Verbindungen und andere relevante Übergänge werden vernachlässigt.

Eine an die stationäre Zylindermethode angelehnte Neuentwicklung nutzt Infrarotthermografie mit einer Auflösung im Bereich weniger Mikrometer – auch Mikrothermografie genannt – und schließt die Lücke zwischen den etablierten Verfahren. Mikrothermografische Untersuchungen an den Übergängen von TIMs zu Festkörperoberflächen haben in der Vergangenheit bereits zu vielversprechenden Ergebnisse geführt [3].

Lösungen bei Messungen an dünnen Schichten

Messungen bei stationären Randbedingungen erlauben einfache und robuste Auswertungen. Die kontaktlose Messung der Temperaturdifferenzen direkt an den zu untersuchenden Schichten erweitert das Anwendungsspektrum für stationäre Messungen und kompensiert die sonst mit der normalen Temperaturmessung verbundenen Nachteile bei dünnen Materialschichten.

Für die Messungen wird der TIM-Tester des Instituts eingesetzt und mit einer neuen Mikrothermografie-Apparatur ergänzt. Zentrale Komponente ist eine Infrarot-Kamera mit Mikroskop-Objektiv. Je nach geforderter Auflösung kommen unterschiedliche Kamera-Objektiv-Kombinationen in Frage. Auflösungen <4 µm sind möglich. Die im weiteren Verlauf vorgestellten Ergebnisse stammen von einem Kamerasystem mit ca. 15 µm je Pixel.

Gemessen werden kann der thermische Widerstand einer Verbindung zwischen zwei beliebigen Substraten. Proben können unabhängig vom Package im Labor präpa-

riert werden. Das ermöglicht die systematische Untersuchung zahlreicher Materialkombinationen und Prozessparameter sowie den direkten Vergleich verschiedener Verbindungstechnologien. Die Ergebnisse können auf verschiedene AVT-Situationen übertragen oder direkt als Input für thermische Simulationen verwendet werden. Für die nachfolgend vorgestellte Studie wurden Kupfersubstrate mit einer Grundfläche von 4 mm x 4 mm und einer Dicke von 2 mm eingesetzt (Bild 1).

In Bild 1 sind zwei präparierte Kupfersubstrate vor dem Fügen (a) dargestellt sowie ein Probenkörper nach dem Fügen mit Lötpaste (b), nach dem allseitigen Schleifen (c) und nach einer Beschichtung mit Polymerfolie (d). Die Beschichtung sorgt für einen hohen und gleichmäßigen Emissionsgrad an den Probenoberflächen, was für die spätere Thermografie notwendig ist.

Für die mikrothermografische Untersuchung werden die präparierten Proben mit zwei aus Kupfer gefertigten Adapterkegeln in den TIM-Tester eingesetzt (Bilder 2 und 3). Die elektrohydraulische Hubeinheit des TIM-Testers erlaubt es, eine definierte Kraft auf die Probe auszuüben und druckabhängige Messungen durchzuführen.

Die obere Einheit des TIM-Testers wird elektrisch beheizt, die untere fluidisch gekühlt (Bild 3). Es wird eine stationäre Temperaturdifferenz entlang der Messstrecke und über die Probe eingestellt. Es fließt ein konstanter, näherungsweise eindimensionaler Wärmestrom in negative z-Richtung durch die Probe.

Für die Auswertung der thermischen Widerstände in der Messstrecke und damit auch des thermischen Widerstands der Verbindung muss der Temperaturverlauf entlang der z-Richtung, also entlang des Wärmestroms ermittelt werden. Was bei der stationären Zylindermethode nach ASTM D5470-17 [4] an einigen wenigen Positionen mittels Temperatursensoren erfolgt, wird in der neuen Methode durch Thermografie mit feiner örtlicher Auflösung durchgeführt (Bild 3).

Aufgenommen wird das Temperaturfeld T(x,z) auf der Oberfläche der Probe und der angrenzenden Adapterkegel. Bei zu vernachlässigenden Wärmeverlusten, was durch moderate Temperaturunterschiede hin zu Umgebung und die hohe Wärmeleitfähigkeit der Proben erreicht wird, sind die ermittelten Temperaturen auch repräsentativ für das Innere der Probenkörper. Extrahiert wird der für die Messung relevante Bereich auf der Probenoberfläche. Eine Mittelung der Temperaturwerte entlang der x-Achse liefert den gesuchten Temperaturverlauf T(z).

Möglichkeiten der verschiedenen Auswerteverfahren

Aus dem mikrothermografisch gemessenen Temperaturverlauf T(z) über die Probe können die thermischen Widerstände der einzelnen Schichten bestimmt werden. Jede kleine Temperaturdifferenz ΔT(z) zwischen zwei Pixelreihen im Wärmebild steht mit

$$\Delta r(x) = \frac{\Delta T(x)}{q}$$

für den lokalen Beitrag Δr(z) zum spezifischen thermischen Widerstand r der Probe. Die durch die Probe fließende Wärmestromdichte q erhält man entweder direkt aus der Wärmestrombestimmung des TIM-Testers oder alternativ aus einer Kalibrierung anhand der verwendeten Kupfersubstrate.

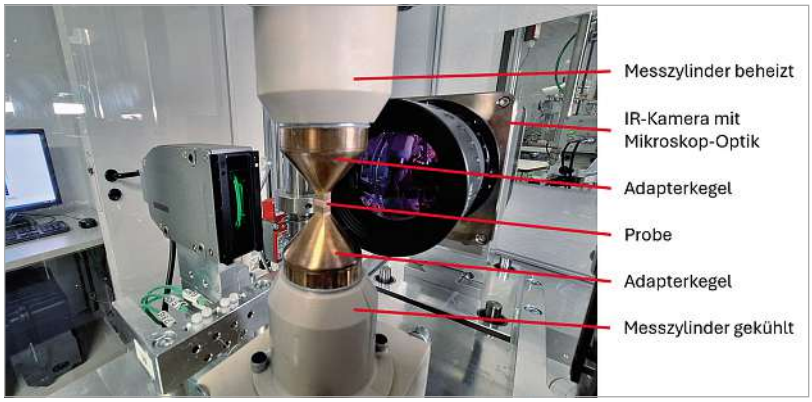


Bild: ZFW

Bild 2: Der TIM-Tester des ZFWs mit Mikrothermografie-Integration und eingelegter Probe zwischen zwei Adapterkegeln.

Ist deren Wärmeleitfähigkeit λ_{Cu}, z. B. aus seiner Laser-Flash-Analyse nach ASTM E1461-13 [4] gut bekannt, kann die Wärmestromdichte auch mit

$$q = \lambda_{Cu}\left(\frac{dT}{dz}\right)_{Cu}$$

aus dem Temperaturgradienten $(dT/dz)_{Cu}$ im Bereich der Kupfersubstrate bestimmt werden.

Diese Methode ist beim Einsatz gut bekannter Substratmaterialien grundsätzlich zu bevorzugen, da durch Wärmeverluste hervorgerufene Messunsicherheiten sowie optische Fehler reduziert werden. Summiert man alle lokalen thermischen Widerstände Δr bis zur Stelle z, erhält man mit r(z) den kumulierten spezifischen thermischen Widerstand über die Probe (Bild 4).

Im Bild dargestellt sind der gemittelte Temperaturverlauf T(z), die berechneten lokalen Widerstandsbeiträge Δr(z) sowie der kumulierte spezifische thermische Widerstand r(z). Dieser steigt im Bereich der beiden Substrate linear an. In der Verbindungszone dazwischen ist eine deutliche Abweichung von diesem linearen Verlauf zu erkennen. Der deutliche Widerstandsanstieg in diesem Bereich ist der gesuchte spezifische thermische Widerstand der Verbindungsschicht, welcher anschließend ausgewertet werden kann.

Mittels linearer Regression wird der Verlauf Δr(z) in den Bereichen der beiden Substrate S1 und S2 angenähert. Sind wie hier beide Substrate aus dem gleichen Material gefertigt und weisen zumindest unter Vernachlässigung der Temperaturabhängigkeit die gleiche Wärmeleitfähigkeit auf, wird der spezifische thermische Widerstand der Verbindung mit $r_v = r_{S2}(0) - r_{S1}(0)$ als der vertikale Abstand der beiden beschriebenen Geraden berechnet.

Haben die beiden Substrate der präparierten Probe unterschiedliche Wärmeleitfähigkeiten, kann bei dicken

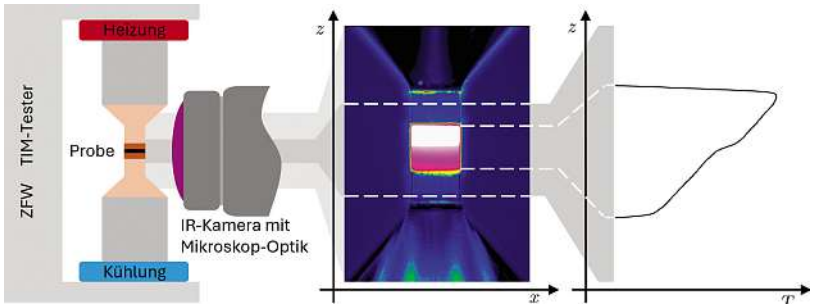


Bild: ZFW

Bild 3: Schematische Darstellung der Mikrothermografie-Apparatur (links) und Bestimmung des mittleren Temperaturverlaufs über die zu untersuchende Verbindung aus Wärmebilddaten (rechts).

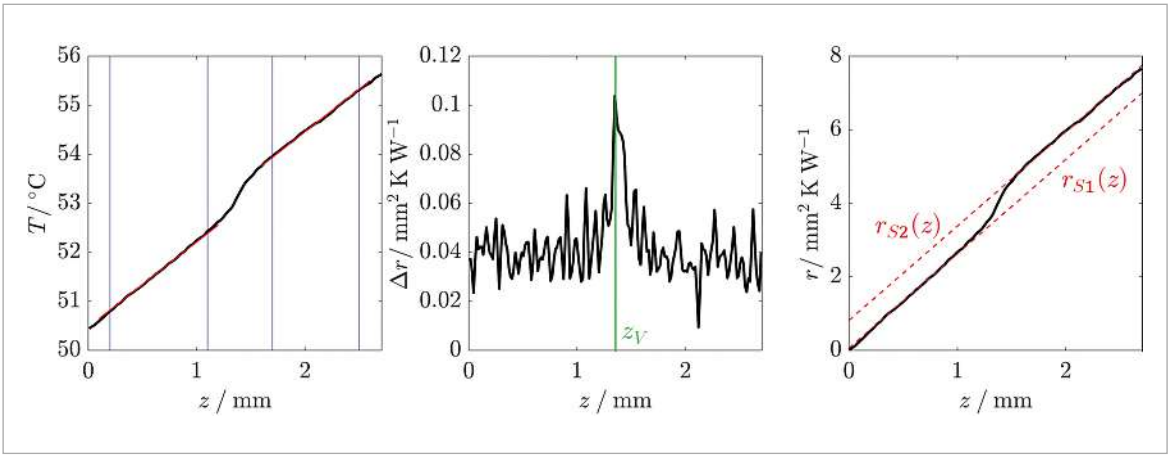


Bild: ZFW

Bild 4: Mikrothermografisch gemessener Temperaturverlauf über die Probe und ausgewerteter kumulierter spezifischer Widerstand.

Verbindungsschichten der Start- und Endpunkt der Verbindung gesucht werden und bei dünnen Schichten die Mittelposition z_v über den Hochpunkt der Kurve Δr(z) abgeleitet werden (Bild 4). Weitere Auswertungsstrategien und Interpretationsmöglichkeiten für die Ergebnisse, speziell bei dicken, inhomogenen Verbindungsschichten, werden in [3] diskutiert.

Vergleich unterschiedlicher Verbindungstechniken

Im Rahmen der hier vorgestellten Studie wurden drei Verbindungstechnologien untersucht und verglichen. Ausgewählt wurden ein wärmeleitfähiger Klebstoff, eine Lötpaste sowie eine drucklos anzuwendende Silber-Sinterpaste. Alle Materialien sind kommerziell verfügbar. Alle Materialien wurden nach Herstelleranweisung auf die zuvor geschliffenen und mit Isopropanol gereinigten Kupfersubstrate aufgetragen und ausgehärtet, bzw. gefügt. Bild 5 vergleicht die gemessenen spezifischen thermischen Widerstände und effektiven Wärmeleitfähigkeiten der Verbindungsschichten.

Der spezifische thermische Widerstand der geklebten Verbindung ist mit $r_v \approx 33{,}4$ mm² K W⁻¹ deutlich höher als die der gelöteten und gesinterten Verbindungen, die mit 0,75 mm² K W⁻¹ und 0,57 mm² K W⁻¹ gemessen wurden. Die effektiven Wärmeleitfähigkeiten der Verbindungsschichten wurden mit $\lambda_{eff} = d\ r_v^{-1}$ aus den spezifischen thermischen Widerständen und den aus Schliffbildern ermittelten Schichtdicken d der Verbindungen berechnet.

Für den Klebstoff wurde $\lambda_{eff} = 2{,}8$ Wm⁻¹ K⁻¹ ermittelt, für das Lot $\lambda_{eff} = 26{,}5$ Wm⁻¹ K⁻¹ und für die gesinterte Schicht $\lambda_{eff} = 66{,}1$ Wm⁻¹ K⁻¹. Alle effektiven Wärmeleitfähigkeiten sind deutlich niedriger als die in den Datenblättern angegebenen Materialwärmeleitfähigkeiten von 5, 50 und 200 Wm⁻¹ K⁻¹, was auf die bei den dünnen untersuchten Schichten dominierenden thermischen Übergangswiderstände hin zu den Kupfersubstraten zurückzuführen ist. Dieses Ergebnis unterstreicht die Notwendigkeit eines Charakterisierungsverfahrens für die Verbindungstechnologien im Verbund mit den zu fügenden Substraten, wie es hier mit der Mikrothermografie erfolgreich implementiert werden konnte.

Potenziale der Mikrothermografie bei der Messung dünner Schichten

Die Ergänzung der stationären Zylindermethode mit einer Mikrothermografie-Einrichtung ermöglicht erstmals die präzise Bestimmung und systematische Untersuchung thermischer Widerstände dünner Verbindungsschichten, wie sie beim Kleben, Löten oder Sintern von Substraten in elektronischen Systemen entstehen. Eine genaue Kenntnis der thermischen Widerstände von Verbindungsschichten sowie der effektiven Wärmeleitfähigkeiten der Verbindungsmaterialien im Schichtverbund ist für die

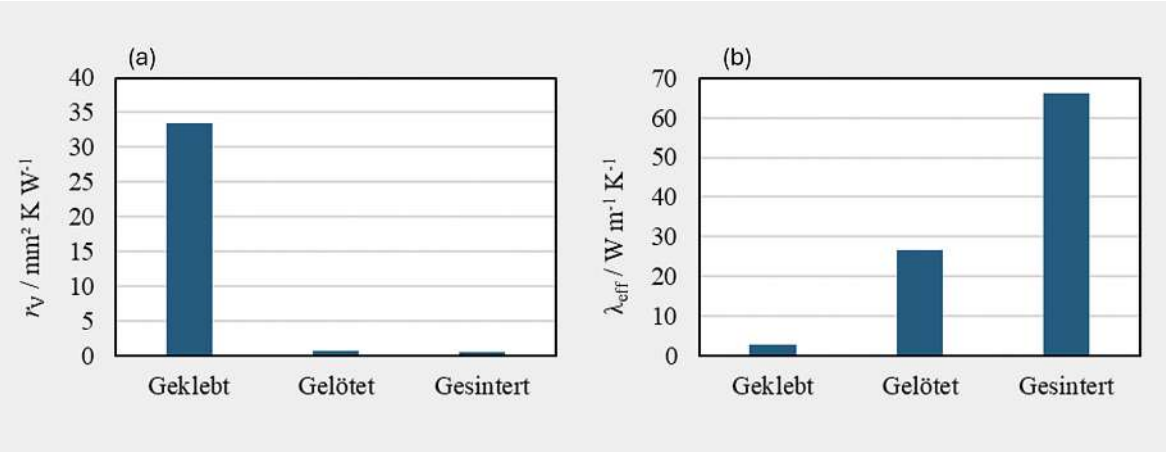


Bild: ZFW

Bild 5: Gemessene spezifische thermische Widerstände (a) und effektive Wärmeleitfähigkeiten (b) der untersuchten Verbindungsschichten mit thermisch leitfähigem Klebstoff, Lötpaste und Silber-Sinterpaste.

gezielte Materialauswahl sowie als Input für thermische Simulationen von hoher Bedeutung.

Aufwand und Kosten für Messungen mit dem neuen Verfahren sind nur geringfügig höher als mit der stationären Zylindermethode und weiterhin deutlich unter denen einer Laser-Flash-Analyse, deren Auswertung zusätzlich die Bestimmung von Wärmekapazität und Dichte erfordert.

Vergleich von drei kommerziell verfügbaren Verbindungsmaterialien

Im Rahmen der vorgestellten Studie wurden drei kommerziell verfügbare Verbindungsmaterialien verglichen. Die Ergebnisse zeigen deutliche Abweichungen zwischen den effektiven Wärmeleitfähigkeiten im Schichtverbund und den idealisierten Datenblattwerten der Materialien. Thermische Übergangswiderstände im Schichtverbund beeinflussen die Gesamtperformance erheblich.

Mit Lötpaste und Silber-Sinterpaste konnten dennoch Verbindungen hergestellt werden, die mit spezifischen thermischen Widerständen von <1 $mm^2\ K\ W^{-1}$ hochleitfähig sind und großes Potential für die Optimierung der thermischen Performance leistungselektronischer Systeme bieten. In zukünftigen Studien können weitere Verbindungstechnologien untersucht sowie der Einfluss von Prozess- und Fügeparametern ermittelt werden. Darüber hinaus eignet sich die vorgestellte Methode auch für die Auflösung thermischer Widerstände anderer dünner Schichten, von Festkörperkontakten oder an besonders kleinen Probenkörpern, bei denen konventionelle Messverfahren an ihre Grenzen stoßen.

Konkrete Anwendungsbeispiele sind Leistungshalbleiter, DCB- oder AMB-Substrate, Die-Attach-Schichten zwischen Chip und Substrat, TIM-Schichten zwischen Modulen und Kühlkörpern, metallische oder keramische Beschichtungen sowie Underfill-Materialien.

Herausforderungen bei der Anwendung des Verfahrens

Die Herausforderungen bei der Anwendung des Verfahrens liegen in der Probepräparation und der thermischen Anbindung der Probenkörper im TIM-Tester. Die mikrothermografische Untersuchung verlangt eine ideal eindimensionale Wärmeleitung durch die Probe. Dies kann nur gewährleistet werden, wenn die Probenkörper beidseitig eben und planparallel gefertigt und durch ein geeignetes Interfacematerial vollflächig an die Messzylinder des TIM-Testers angebunden werden. Bereits kleinste Unebenheiten und Fehlstellen können das Messergebnis deutlich beeinflussen.

Meist ist eine mechanische Bearbeitung der Proben notwendig. Dabei auftretende Scherkräfte können die zu untersuchende Verbindung bereits verändern und das Messergebnis verfälschen. Werden Probenkörper aus größeren Bauteilen oder Baugruppen entnommen, muss sichergestellt werden, dass repräsentative Stellen ausgewählt und potenzielle Richtungsabhängigkeiten berücksichtigt werden. *(kr)*

Das Literaturverzeichnis ist in der Online-Variante zu finden unter www.elektronikpraxis.de oder mit dem Shortlink https://voge.ly/vgl3VmD/.

Wärme-

Management

In unserem umfangreichen Standardsortiment für das Wärmemanagement finden Sie stets die passende Lösung.

Ob Sie ein bewährtes Standardbauteil oder eine individuelle, nach Ihren Spezifikationen gefertigte Lösung benötigen – wir sind Ihr zuverlässiger Partner für die Wärmeableitung in der Elektronik.

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

fischer elektronik
kühlen schützen verbinden

LEITERPLATTEN-KÜHLKÖRPER

Leiterplatten-Kühlkörper und Montagemittel aus einer Hand

Trends wie die Digitalisierung wären ohne die Miniaturisierung und hohe Bauteildichte auf Leiterplatten kaum denkbar. Damit einher geht eine effiziente Entwärmung. CTX Thermal Solutions realisiert dies mit einer großen Bandbreite an Kühlkörpern für Leiterplatten. Das Standard-Portfolio umfasst mehrere hundert verschiedene Modelle. Damit deckt der Hersteller aus Nettetal nicht nur eine große Spannweite an Rth-Werten von 6 bis 72 °C/W ab. Mit einer breiten Varianz der Bauarten können die unterschiedlichsten elektronischen Bauteile gekühlt werden. Dazu gehören u.a. clipbare Kühlkörper für die Halbleitergehäusetypen TO-220 und TO-218, extrudierte SMD-Kühlkörper, gestanzte Niedrigprofil-Kühlkörper für die Bauformen D-PAK (TO-252), D^2PAK (TO-263) und D^3PAK (TO-268), Profilkühlkörper mit integrierten Lötpins zum Schwalllöten auf der Leiterplatte und löt-, clip- oder schraubbare Finger-, Aufsteck- oder Kleinkühlkörper für TO-5 oder TO-18. Fingerkühlkörper versieht der Hersteller mit Lötfahnen, zu verschraubende Kühlkörper mit Gewinden. Die häufigste Befestigungsart für extrudierte Leiterplatten-Kühlkörper stellen Montageclips und Federn dar, da sie das schnelle Bestücken auch großer Stückzahlen erleichtern. Das Unternehmen nutzt ein eigenes Programm an Clips und Federn, das sich durch Rohmaterialien von zertifizierten Herstellern und eine hauseigene Härtung auszeichnet.

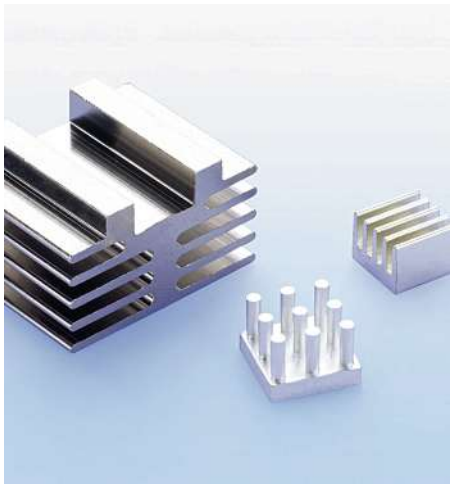


Bild: Detmar Schmoll/ CTX

WÄRMELEITPASTEN

Für Anwendungen, die dünne Verbindungsschichten erfordern

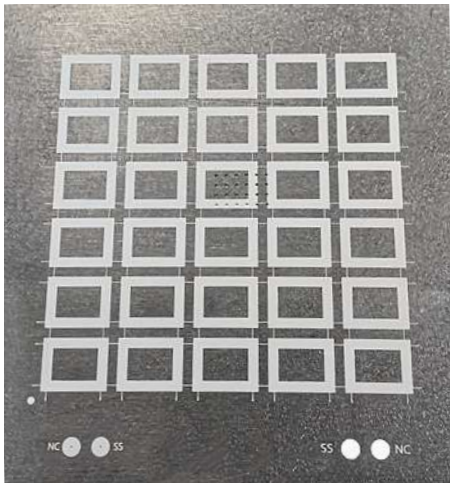


Bild: Parker Chomerics

Die Chomerics Division der Parker Hannifin Corporation bringt mit THERM-A-GREASE eine neuen Serie hochleistungsfähiger Wärmeleitpasten auf den Markt. Dabei handelt es sich um eine Paste mit einem wärmeleitenden Füllstoff, der die Wärme von wärmeerzeugenden Leiterplattenkomponenten abzieht und gleichzeitig sehr dünne Verbindungsschichten füllt. Die Serie umfasst vier äußerst zuverlässige Materialien auf Silikonbasis mit einer thermischen Leitfähigkeit von 1,5 W/mK (THERM-A-GREASE 15), 3,0 W/mK (THERM-A-GREASE 30), 5,0 W/mK (THERM-A -GREASE 50) und 7,0 W/mK (THERM-A-GREASE 70) für zahlreiche Elektronikanwendungen. Die minimale Verbindungsdicke von 0,025 mm stellt sicher, dass die Produkte für Anwendungen mit engen Fertigungs- und Montagetoleranzen geeignet sind. Die Paste arbeitet effektiv bei niedrigem Druck und erfüllt Wärmeübertragungsaufgaben, bei denen empfindliche oder dicht gepackte Leiterplattenkomponenten zum Einsatz kommen. Die Pasten Nr. 15 und 30 bieten eine niedrige thermische Impedanz von 0,097 °C-cm^2/W bei 2,75 bar und 0,084 °C-cm^2/W bei 6,89 bar (bei einer minimalen Verbindungsdicke von 0,025 mm). Nr. 50 offeriert eine thermische Impedanz von 0,084 °C-cm^2/W bei 2,75 bar und 0,071 °C-cm^2/W bei 6,89 bar und Nr. 70 0,065 °C-cm^2/W bei 2,75 bar und 0,045 °C-cm^2/W bei 6,89 bar. Alle Zahlen entsprechen der Testmethode ASTM D5470.

LÜFTER

Kabelkonfektionierung direkt durch den Lüfterexperten

Sepa Europe, Spezialist für individuelle Elektronikkühlung mit Lüftern, bietet eine Kabelkonfektionierung seiner Lüfter direkt im Hause an. Damit wird der gesamte Prozess – von der Lüfter-Anfrage bis hin zur maßgeschneiderten Kabelkonfektionierung – aus einer Hand angeboten. Anwender sollen laut Hersteller dabei von einer schnellen und kostengünstigen Lösung profitieren.

Angeboten wird eine breite Auswahl an Optionen. Bereits im Entwicklungsstadium kann der Kunde seine Wünsche hinsichtlich der Kabelkonfektionierung einbringen. Die Konfektionierung kann mit verschiedenen Steckverbindertypen, Litzenlängen, Pinbelegungen und Materialien erfolgen. Dabei kommen ausschließlich Steckverbinder von

Bild: Sepa Europe

namhaften Herstellen wie Molex oder JST zum Einsatz, um eine hohe Lebensdauer und Zuverlässigkeit der Produkte sicherzustellen. Zudem können Anwender ihre spezifischen Anforderungen wie Schrumpfschläuche, Schutzschläuche und Etikettierungen umsetzen lassen.

Um den hohen Anforderungen gerecht zu werden, durchlaufen die konfektionierten Kabelstränge umfangreiche Prüfverfahren. Stichprobenartig werden eine Schliffbildanalyse und eine Zugfestigkeitsprüfung durchgeführt.

Außerdem durchläuft jede Konfektionierung einen elektrischen Funktionstest, bei dem auch auf sensorische Auffälligkeiten geachtet wird.

embeddedworld
Exhibition&Conference

HALLE 1-277

DISPLAY
INDUSTRIAL SOLUTIONS
VISIONS

Brillante Displays - einfach angebunden

SPI - LVDS - RGB - I²C - RS232 - RS485 - HDMI - LAN - WiFi - USB

Wir machen es einfach.

Brillante Displays und standardisierte Lösungen in LCD, TFT, OLED, TOUCH.
Inklusive Support direkt von Entwickler zu Entwickler.
Sie erhalten bei uns Produkte aus eigener Entwicklung und regulärer Bauart -
ausgezeichnet durch lange Verfügbarkeiten und einen hohen Qualitätsstandard.

www.lcd-module.de

DISPLAY
INDUSTRIAL SOLUTIONS
VISIONS

DISPLAY VISIONS GmbH · Zeppelinstrasse 19 · D-82205 Gilching bei München · Fon 08105-778090 · Fax 08105-778099

Hochspezialisiert.

Ihr Design-In Partner.

Eine gute Bauteilentscheidung ist kein Datenblatt-Match. Sie ist eine Weichenstellung: für Performance, Kosten, Verfügbarkeit – und dafür, ob Ihre Stückliste morgen noch genauso belastbar ist wie heute.

WDI unterstützt Sie dabei, diese Entscheidungen früh, sicher und ohne böse Überraschungen zu treffen. Seit mehr als 35 Jahren verbinden wir technischen Vertrieb mit einer klaren Arbeitsweise: Wir hören zu, analysieren Anforderungen im Kontext Ihrer Anwendung und liefern Optionen, die technisch passen – und zugleich lieferfähig, wirtschaftlich sinnvoll und über den Lifecycle tragfähig sind.

Im Mittelpunkt steht ein Support, der mehr bietet als reine Bauteilauswahl nach Datenblatt. Wir identifizieren geeignete Komponenten, bewerten Alternativen und gängige Spezifikationen, prüfen Second-Source-Optionen und machen Risiken sichtbar – bevor sie in Re-Designs, Qualifikationen oder ungeplanten Beschaffungsaufwand münden. So entstehen Entscheidungen, die im Prototyp überzeugen und in der Serie bestehen.

Unser Fundament ist ein breites, autorisiertes Portfolio: Im Bereich Frequency Control Products

The Design-In Company.

☎ +49 4103 1800-0 ✉ info@wdi.ag 🌐 www.wdi.ag
WDI AG · Industriestrasse 21 · 22880 Wedel (Holstein)

arbeiten wir mit 31 international etablierten Herstellern zusammen – von Quarzen und Oszillatoren über programmierbare Lösungen bis hin zu RTCs sowie Filtern (u. a. Quarz-, SAW-, LC- und Keramikfilter). Gleichzeitig bauen wir unseren Bereich Passive & Electromechanical Components (PEMCO) konsequent aus: von Widerständen und Kondensatoren über magnetische Bauelemente, Schaltkreisschutz und Dioden, HF-/Mikrowellenprodukte und Steckverbinder bis hin zu Schaltern, Sensorik sowie Batterien, Akkus und Supercaps – getragen von einer stetig wachsenden Zahl starker Franchises.

Auch für anspruchsvolle Umfelder unterstützen wir Sie entlang relevanter Qualitätsanforderungen und Qualifikationsumfelder – beispielsweise im Kontext MIL/QPL/Space/Automotive (inkl. IATF/ISO/TS sowie AEC-Q-Standards).

Und weil die richtige Empfehlung erst dann zählt, wenn sie in der Praxis funktioniert, sorgen wir für Distribution, die im Alltag entlastet: individuelle Logistikkonzepte, Konsignations- und Sicherheitslager, EDI, Kanban und JIT sowie kundenoptimierte Kennzeichnung und Barcodierung – abgestimmt auf Ihre Prozesse und Ihre Supply-Chain-Realität.

Was Sie von WDI erwarten dürfen: klare Antworten, belastbare Alternativen und eine Kommunikation, die offen bleibt – auch wenn es kompliziert wird. Denn am Ende geht es um eines: Planungssicherheit.

Wo andere Komponenten liefern, liefern wir Lösungen: WDI – die erste Adresse für robuste Stücklisten.

Was dürfen wir für Sie tun?

WDI-Logistikzentrum in Wedel (Holstein) bei Hamburg

Frequenzbestimmende Produkte (FCP)

Passive und elektromechanische Bauelemente (PEMCO)

wdi ag

Spezialist für Präzisionswiderstände

SSM SUSUMU
Thin Film Specialist and Innovator
since 1964

Seit 1964 bietet Susumu (SSM) innovative und hochqualitative Dünnschichtwiderstände für alle Bereiche der Elektronikindustrie an. Als Spezialist in der Dünnschichttechnologie und einer der weltweit größten Hersteller bietet das Unternehmen eine große Bandbreite hochwertiger Bauteile an, u.a. Chipwiderstände, Chipnetzwerke, Präzisionswiderstandsnetzwerke, HF-Dämpfungsglieder, HF-Abschlusswiderstände oder Stromsensoren.

MSR-Serie: Präzise Strommessung in extremen Umgebungen

Wenn Präzision und Temperaturstabilität zählen, sind die neuen MSR-Shunts von Susumu die richtige Wahl. Entwickelt für anspruchsvolle Anwendungen, garantieren sie höchste Messgenauigkeit bei gleichzeitig minimalen Verlusten – auch bei Strömen bis 200 A.

Durch Elektronenstrahl-Schweißung wird eine Toleranz von ±0,5 % erreicht, ganz ohne Trimmung. Das verhindert thermische Hotspots und verbessert die Stromtragfähigkeit. Die eingesetzten Widerstandslegierungen sorgen für eine Temperaturstabilität von ±25 ppm/°C über den Bereich von –55 bis +170 °C.

Typische Einsatzbereiche sind Batteriemanagementsysteme, Motor-Inverter, präzise Stromversorgungen sowie Anwendungen in der Industrie und Medizintechnik. Die Bauteile sind AEC-Q200-konform und in kundenspezifischen Werten von 0,2 bis 1000 mΩ erhältlich.

Kurzum: MSR-Shunts liefern präzise Messergebnisse – selbst unter härtesten Bedingungen.

MSR-Serie

MSRPF

Präzise Strommessungen mit Hightech-Shunts MSRPF

Die neuen Shunt-Modelle MSRPF2726 und MSRPF4026 von Susumu bieten hohe Messgenauigkeit für anspruchsvolle Anwendungen. Mit einer Toleranz von bis zu ±0,5 % gewährleisten sie exakte Messungen ohne Feinjustierung. Dank des Elektronenstrahl-Schweißverfahrens und innovativer Legierungen entfallen thermische Hotspots und Einschränkungen bei der Stromtragfähigkeit. Die Shunts bieten eine hohe Temperaturstabilität: Der Temperaturkoeffizient liegt bei maximal ±75 ppm für Widerstände von 3 bis 5 mΩ und bei ±50 ppm für Widerstände von 1 bis 2 mΩ.

Mit vier Terminals für Stromanschluss und Messwertabgriff eignen sich die Modelle sowohl für Automotive-Anwendungen (AEC-Q200-konform) wie auch für Elektromobilität, BMS, Inverter und DC/DC-Wandler. Weitere Einsatzgebiete sind Instrumentierung, Medizintechnik und Präzisions-Stromversorgungen.

RGV-Serie für Hochspannungs-Anwendungen: Präzision und Langzeitstabilität für Elektromobilität und Robotik

Elektromobilität, Robotik, Präzisionsmessgeräte – das sind nur drei Beispiele für Anwendungsgebiete, bei denen Komponenten mit hoher Genauigkeit, Robustheit und Langzeitstabilität unabdingbar sind. Für diese und ähnliche Einsatzgebiete sind die Präzisionswiderstände der Serie RGV bestens geeignet.

Die Metallfilm-Chipwiderstände der RGV-Familie überdecken den Widerstandsbereich von 120 bis 3 MΩ (Ausführungen für 0,25 Watt) beziehungsweise 120 bis 4,3 MΩ (Ausführungen für 0,33 Watt). Dabei eignen sie sich für Hochspannungsanwendungen mit maximal 700 Volt beziehungsweise 1000 Volt.

Die anorganische Passivierung sorgt für ausgezeichnete Langzeitstabilität. Die hohe Präzision dieser Widerstände wird durch ihre extrem enge Toleranz von nur ±0,1 % verdeutlicht. Ihr äußerst niedriger Temperaturkoeffizient von ±25 ppm/°C zeigt, dass der Widerstandswert auch unter höheren Temperaturen stabil bleibt. Ihr Betriebstemperaturbereich von -55 bis 155 °C qualifiziert die RGV-Widerstände zum Einsatz auch unter rauen Umgebungsbedingungen.

- Für den Einsatz im Automobil-Umfeld sind die Widerstände der Baureihe RGV natürlich nach dem Standard AEC-Q200 zertifiziert.
- Aufgrund der Summe dieser Eigenschaften eignen sich die RGV-Chipwiderstände perfekt zum Einsatz im Antriebsstrang und in Batteriemanagementsystemen von Elektrofahrzeugen, in industriellen und Robotik Anwendungen, Messinstrumenten und in Hochspannungsausrüstungen.

RGV-Serie

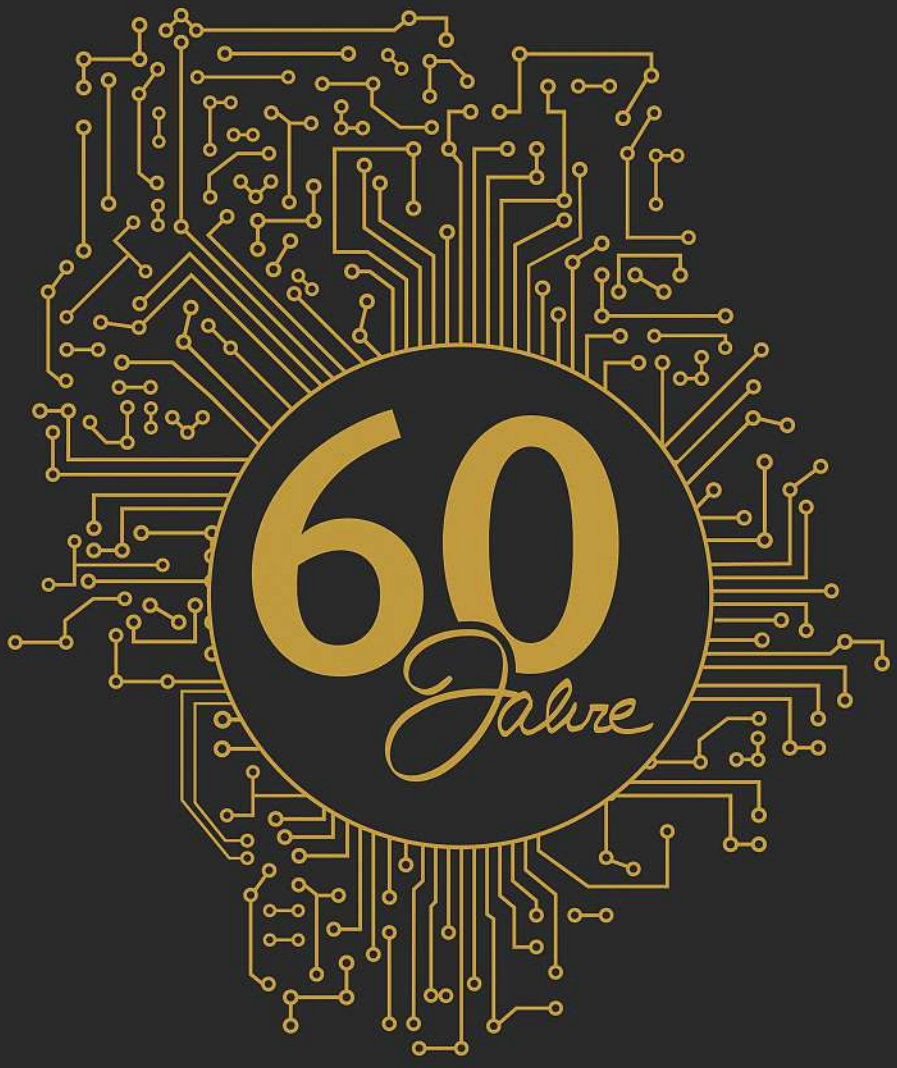
Susumu Deutschland GmbH | Rahmannstraße 11 | 65760 Eschborn | +49 (0) 6196 / 96 98 407 | **www.susumu.de**

UNSER JUBILÄUM: 60 JAHRE ELEKTRONIKPRAXIS

ELEKTRONIK PRAXIS 60

www.elektronikpraxis.de

Wissen.
Impulse.
Kontakte.



Die Pioniere der Elektronik – Geschichten und Anekdoten

Die ELEKTRONIKPRAXIS startete im Jahr 1966 als Supplement der Fachzeitschrift elektrotechnik in das Abenteuer Elektronik. Die Welt ist damals noch weitgehend analog und das Transistorradio der Vorbote einer neuen Zeit. Was hat sich seitdem alles verändert! Und welche Disruptionen stehen bevor! Die Zukunft kann nur gestalten, wer seine Wurzeln kennt. Deswegen blicken wir im Jahr 2026 in jeder Ausgabe in die Vergangenheit. Tauchen Sie mit uns ein in spannende Geschichten aus den Anfängen der Elektronik, über Elektronik-Pioniere und Elektronik-Unternehmen sowie bahnbrechende Erfindungen. Alle Geschichten sammeln wir in einem Sonderheft, das zur electronica 2026 erscheint.

VOGEL COMMUNICATIONS GROUP

FUNDSTÜCKE

1952: Der Transistor Nr. 9 gelangt nach Deutschland

Im Mai 1952 waren vier Mitarbeiter der Siemens & Halske AG (Prof. Günther, Dr. Henninger, Dr. Siebertz, Prof. Welker) Teil des ausgewählten Kreises von etwa 160 Wissenschaftlern, die zum Transistoren-Symposium in Murray Hill / USA eingeladen waren – gegen eine Gebühr von 25.000 US-Dollar. Die Teilnehmer waren zur strikten Geheimhaltung verpflichtet, es herrschte kalter Krieg. Interessierte Firmen aus Westeuropa und Japan wollte man allerdings als Lizenznehmer am Wissen teilhaben lassen. Auf diese Weise gelangte auch Siemens 1952 in den Besitz der neuesten Forschungsergebnisse aus den Bell-Laboratorien und einiger Muster von Bell-Transistoren, unter anderem einem Transistor mit der handgeschriebenen Nummer 9. Dieser schlummerte bis 2006 in einer roten, französischen Streichholzschachtel beim pensionierten Mitarbeiter Josef Blieninger. Zu sehen ist der Transistor heute als Leihgabe des Historischen Archivs von Infineon im Deutschen Museum München. (kr)

Bild: © Kristin Rinortner

WAS WURDE AUS ... FIRMEN DER ERSTAUSGABE?

Mentor: Fabrik für Elektrotechnik und Feinmechanik

Bild: VCG

Ein Blick in die erste eigenständige Ausgabe der ELEKTRONIKPRAXIS zeigt, dass das Printgeschäft vor mehr als sechs Jahrzehnten noch deutlich anders funktionierte als heute. Jedes Unternehmen, das in der Elektrotechnik und Elektronikentwicklung Rang und Namen hatte, wollte in dem neuen Fachmagazin mit einer Anzeige vertreten sein, denn Fachmedien galten als zentraler Zugang zur potenziellen Kundschaft. Gleichzeitig spiegelten die Anzeigen jener Zeit die technologischen Schwerpunkte und Trends der damaligen Industrie wider. Zu den Unternehmen der ersten Stunde gehörte auch die von Ing. Dr. Paul Mozar am 1. Juli 1920 gegründete Fabrik für Elektrotechnik und Feinmechanik, aus der die heutige Mentor GmbH & Co. Präzisions-Bauteile KG hervorging. Mozar führte das Unternehmen über mehr als vier Jahrzehnte und prägte in dieser Zeit den Markennamen Mentor. Ab den 1960er-Jahren entwickelte sich Mentor zu einem führenden deutschen Hersteller elektronischer Komponenten. Nach dem ursprünglichen Standort in Düsseldorf-Gerresheim zog das Unternehmen in den 1970er-Jahren nach Erkrath um und errichtete dort unter anderem die ersten eigenen Kunststoff-Fertigungskapazitäten. Mit dem Einstieg in die SMD-Technologie wurde das Produktportfolio systematisch erweitert. Es folgten der Ausbau der Aktivitäten im Bereich optoelektronischer Komponenten sowie der Einstieg in OEM-Systemlösungen für die Automobilindustrie. Seit 2003 wird Mentor in dritter Generation geführt und damit hat sich das Unternehmen seither weiter internationalisiert und technologisch diversifiziert. Mehr als 100 Jahre nach der Gründung liegt der Fokus weiter auf optischen, mechanischen und elektronischen Bauelementen – ergänzt um das Ziel, Umwelt- und Ressourcenschutz sowie gesellschaftliche Verantwortung stärker in die Unternehmenspraxis zu integrieren. *(sb)*

„Da unten in Texas haben sie einen Silizium-Transistor!“

Ingenieur von Raytheon an seinen Chef, 1954

Die frühen Germanium-Bipolar-Transistoren aus den Bell Labs hatten aufgrund ihres stark eingeschränkten Temperaturbereichs wenig Anwendungsfelder. Die Alternative ab den 1950-er Jahren hieß Silizium. Allerdings gelang die Züchtung von Einkristallen entsprechend hoher Reinheit noch nicht. Einen Durchbruch erzielten Wissenschaftler um den Forschungsleiter Gordon K. Teal bei Texas Instruments am 14. April 1954 mit einem hochreinem Silizium-Einkristall der Firma DuPont. Diesen Silizium-Transistor stellte Teal auf der Konferenz „National Conference on Airborne Electronics“ am 10. Mai 1954 in Dayton / USA vor. Ein Redner nach dem anderen erklärte, wie schwierig es sei, Silizium-Transistoren herzustellen und warum es noch Jahre dauern würde. Als letzter Referent verkündete Teal, dass Texas Instruments zwei Typen von Silizium-Transistoren fertige und er das Vortragsmanuskript verteilen würde. Es begann ein Wettlauf zum Manuskript und an die Telefone. Überliefert ist der Anruf des Raytheon-Ingenieurs an seinen Chef oben. (kr)

HISTORISCHE PERSON

William B. Shockley

William B. Shockley arbeitete in den 1940er-Jahren bei Bell Laboratories an neuen Halbleiterbauelementen, um die Elektronenröhre zu ersetzen. Gemeinsam mit John Bardeen und Walter Brattain entstand 1947 der erste funktionierende Transistor, der elektrische Signale verstärkten und schaltete. Die Erfindung gilt als Start der Halbleitertechnik. *(sb)*

Bild: William Shockley - U.S. Army maps (Bp463by2692) / William Shockley personal archive / CC BY / Wikimedia Commons

FRAGEN AN DIE „URGESTEINE“

„Der technische Fortschritt wird nie enden“

Johann Wiesböck berichtet seit 40 Jahren über Elektronik. Wir sprachen mit ihm über die Leidenschaft für Mikrochips und Megaflops – und über Journalismus.

Bild: VCG

Johann Wiesböck: Der technische Fortschritt wird nie enden. Jedenfalls nicht in der Elektronik und ihren Anwendungen.

Nach dem Studium der Elektrotechnik startete Johann Wiesböck 1987 als Fachredakteur bei Design & Elektronik und übernahm von 1998 bis 2023 die Chefredaktion von ELEKTRONIKPRAXIS.

Wenn du auf die Anfänge deiner Karriere zurückblickst: Was war der Moment, in dem du zum ersten Mal gespürt hast, dass Elektronik die Welt grundlegend verändern wird?
Dass Elektronik die Zukunftstechnologie schlechthin ist, wurde mir schon im E-Technik-Studium klar. Vielleicht habe ich aus diesem Grund dann den Weg in die Fachredaktion gewählt, anstatt bei der SPINNER GmbH als HF-Ingenieur anzufangen. Bei der Einarbeitung als Elektronikredakteur verdichtete sich dann schnell, dass Mikroelektronik die „Enabling Technology“ für fast alle Branchen und Industrien war und bis heute ist.

Gab es ein frühes Projekt, ein Gespräch oder ein Gerät, das dich nachhaltig geprägt hat?
Als ich nach zwei Jahren die redaktionelle Leitung der Fachzeitschrift Design & Elektronik übernehmen durfte, rief ich als erstes unsere zu dem Zeitpunkt eingestellten Entwicklerforen wieder ins Leben. Der Gedanke, dass man über neue Technologien und Verfahren nicht nur schreibt, sondern als logischen nächsten Schritt die Hersteller direkt mit den Anwendern zusammenbringt, wurde mir schnell klar und hat mich nachhaltig geprägt. Daraus entsprang z.B. die Idee für die Embedded World und viele andere Events, bis hin zu unseren Onlinekonferenzen während der Coronazeit.

Gab es in deiner Laufbahn einen Moment, in dem dir klar wurde, hier geht es nicht mehr nur um Technik, sondern um Verantwortung?
Verantwortungsbewusstsein ist ein Wesenszug, den praktisch alle Entwicklerinnen und Entwickler in sich tragen. Das habe ich in all den Jahren in unserer Leserschaft immer gespürt. Über Verantwortung, Nachhaltigkeit und Ethik habe ich so manches Editorial verfasst. Jeder ist in der Pflicht, Sinn und Zweck seines Tuns zu bedenken und gegebenenfalls auch mal „Stopp“ zu rufen.

Wo endet für dich technischer Fortschritt und wo beginnt die Pflicht zum Innehalten?
Der technische Fortschritt wird nie enden – jedenfalls nicht in der Elektronik und ihren Anwendungen. Die Dinge werden so intelligent und klein werden, dass man sich

das heute kaum vorstellen kann. Auf dem Weg dahin muss es Transparenz und Regeln geben, um die Menschen aufzuklären und zu schützen.

Eine Pflicht zum Innehalten sehe ich bei der Gentechnik. Krankheiten und Hunger zu bekämpfen ist die eine Seite der Gen- und Bio-Medaille. Menschen genetisch verändern oder gar neue Lebewesen erschaffen, geht dagegen gar nicht. Das ist die dunkle Seite der Macht. Ich hoffe die Menschheit schafft es, hier Konsens zu erzielen.

An welchem Punkt deiner Karriere hast du ernsthaft gezweifelt, ob die Richtung noch die richtige ist?
Ich habe nie gezweifelt. Chefredakteur war mein Traumjob. Ich habe immer wieder neue Möglichkeiten entdeckt, wie wir Fachmedien nützlich für die Branche sein können und dabei auch das nötige Geld verdienen. Mit etwa 40 Jahren dachte ich einige Zeit darüber nach, mich selbständig zu machen. Es wäre sicher spannend gewesen. Vielleicht wäre ich reich geworden oder schnell pleite gegangen. Wer weiß das?

Gab es eine technologische Entwicklung, der du lange skeptisch gegenüberstandest und die du heute anders bewertest?
Skeptisch war ich früher in Bezug auf Neuronale Netze. Das war so Ende der 80er Jahre. Aber nicht aus Angst vor KI, sondern weil ich es zunächst nicht verstand. Ich besuchte dann ein Seminar über künstliche Neuronale Netze und mein mangelndes Verständnis schlug um in Faszination. Bis heute.

Was war für dich als Chefredakteur der Moment, in dem dir bewusst wurde, dieses Magazin prägt eine Branche?
Mein Magazin war immer das Beste. Smiley. Zunächst fütterten wir mit Design & Elektronik die Hard- und Softwareentwickler mit derart tiefgehenden Artikeln und Projekten wie kein anderes Magazin. Ziel war damals, praxisnäher und nützlicher als die Elektronik von Franzis zu sein. Später war es dann die ELEKTRONIKPRAXIS, mit der wir wiederum alles für die Arbeitspraxis lieferten. Dieses Mal aber über die ganze Breite der Elektronikwertschöpfung – von der Entwicklung bis zur Fertigung.

Welche Geschichte hättest du im Rückblick gern noch erzählt, und warum ist sie nie erschienen?
Ich hätte gerne noch erzählt, dass ein deutsches Startup einen überragenden KI-Prozessor entwickelte und mit Millionen an Venture Capital den Weltmarkt eroberte. Nvidia-gleich stieg es auf zum Börsenstar und brachte viele tausend junge Menschen in unsere Branche. Das Unternehmen erzeugte einen mächtigen Impuls für die deutsche Halbleiterindustrie und trug die Faszination Mikroelektronik in die Köpfe der Menschen. Die Story ist leider nie erschienen, weil mich die Redaktionsassistentin aus dem Mittagsschlaf riss. Vielleicht ist die Geschichte auch nie erschienen, weil wir zwar viele kluge Köpfe haben – gerade in der KI – aber nicht genügend Unternehmergeist und Risikofreude besitzen.

Wie viel Haltung darf, wie viel Haltung muss Fachjournalismus aus deiner Sicht haben?
Wer keine Haltung hat, wird weder im Fachjournalismus noch sonst im Leben auf Dauer erfolgreich sein. Gerade das werbefinanzierte Geschäft, wie es auch EP in vielen Feldern betreibt, braucht journalistische Werte und unabhängiges Handeln. Das merken und honorieren sowohl die Leserinnen und Leser als auch die Kunden. Ich habe hier immer versucht, ein gutes Gleichgewicht zu halten. Schräge Geschäftspraktiken habe ich immer abgelehnt. Das kann ich nur jedem raten.

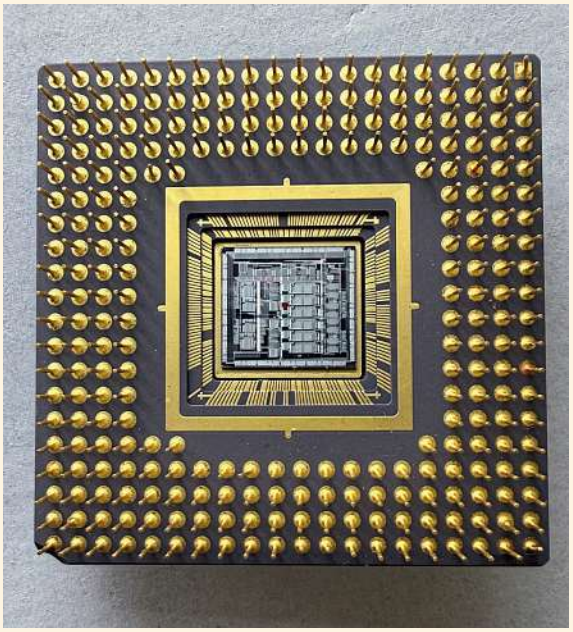


Bild: Sharp

Sharp-DSP: Die Butterfly-Familie hob 1990 mit dem Modell LH9124 ab, das von einem DSP-Designteam entwickelt wurde, das Honeywell verlassen hatte und zu Sharp wechselte.

Welche Eigenschaften sind bei Ingenieuren zeitlos? Was unterscheidet einen guten Entwickler von damals von einem aus dem Jahr 2026?
Erfindergeist und die Lust die auf kreative Lösung von technischen Fragestellungen macht Ingenieur aus. Dabei denken sie systemisch und nachhaltig. Das ist zeitlos. Neu sind der Zeitmangel und die Komplexität, die verhindern, alles selbst verstehen und lösen zu können. Damit müssen junge Ingenieurinnen und Ingenieure heute umgehen.

Wer war der beeindruckendste Ingenieur oder Entwickler, dem du je begegnet bist – und was machte ihn besonders?
Stellvertretend für die vielen großartigen Elektronikexperten, die ich in meinem Leben treffen durfte, möchte ich Manfred Helzle nennen. Der Gründer von hema electronic war ein Prozessorexperte von Feinsten. Der legendäre Transputer war sein Steckenpferd und hatte für ihn wegweisende Architekturmerkmale. Manfred inspirierte mich vor allem während meiner Anfangszeit als Redakteur. Er wurde ein guter Freund. Noch im Ruhestand begeisterte er jahrelang Kinder für Elektronik und teilte mit ihnen seine Leidenschaft.

Was ist im Laufe der Jahrzehnte in der Elektronik verloren gegangen und was ist neu hinzugekommen, das du wirklich schätzt?
Was die Mikroelektronikbranche etwas verloren hat, ist der Wagemut. Früher wurde schon mal eine neue Technologie entwickelt und mit Elan und Risiko auf den Markt geworfen. Waren die Kunden begeistert, hatte man den nötigen Marktvorsprung, um richtig Geld zu verdienen. Wenn nicht: dann auf ein Neues. Heute wird überwiegend kunden- bzw. applikationsspezifisch entwickelt. Das mindert das Risiko, begrenzt aber auch die Margen.

Bild: Johann Wiesböck

Manfred Helzle: Der Gründer von hema electronic war ein Prozessorexperte und nutzte frühzeitig den legendäre Transputer.

Gut gefällt mir, dass Toptechnologien der Hard- und Software viel breiter verfügbar sind. Open Source ist das Zauberwort. Communities bringen ihr Wissen zusammen, um bessere und effizientere Systeme zu schaffen. Das wird bleiben und sich weiter ausbreiten.

Wenn du jungen Ingenieurinnen und Ingenieuren heute zuhörst: Was klingt vertraut und was ist dir fremd?
Junge Ingenieurinnen und Ingenieure gehen lockerer an die Aufgaben heran, als ich das von früher kenne. Sie wollen natürlich mit KI arbeiten und machen sich weniger Gedanken über das notwendige Grundlagenwissen. Das werden die Tools schon hergeben, denkt man sich. Und wenn nicht, muss man es sich erarbeiten. Das ist ein gesunder Pragmatismus.

Welcher berufliche Irrtum hat dich im Nachhinein am meisten weitergebracht?
Es war kein Irrtum, sondern die ständige wirtschaftliche Bedrohung, die mich in meinen jungen Jahren als Chefredakteur geprägt hat. Krise war normal damals. Das hat mich standfest und emotional resilient gemacht. So konnte ich später in kritischen Situationen die Ruhe bewahren, was meinen Kolleginnen und Kollegen Sicherheit gab.

Gibt es eine Entscheidung, die du damals getroffen hast und heute anders fällen würdest?
Ja. Ich würde mich heute selbständig machen. Wenn man das Geschäftsfeld und seine Besonderheiten ausreichend verstanden hat, klappt das in der Regel. Man ist sein eigener Herr und verdient später auch mehr.

Welchen Rat, den man dir zu Beginn deiner Karriere gegeben hat, hast du ignoriert und bist froh darüber?
Meine Mutter hat immer gesagt, mit deiner aufmüpfigen Art wirst du im Leben viel anecken und es nicht weit bringen. Sie war eine kluge Frau, aber da irrte sie. Ich habe immer gesagt, wenn mir etwas nicht passte, und bin damit gut gefahren. Außerdem wäre es gegen mein Naturell gewesen, mit dem Strom zu schwimmen.

Was möchtest du der nächsten Generation mitgeben – nicht als Rat, sondern als Erfahrung?
Ich habe mir nie Ziele gesetzt, sondern mich einfach 100-prozentig engagiert und die Projekte zu meinen eigenen gemacht. Das hat meiner Karriere sehr gutgetan. Die Dinge kamen einfach auf mich zu. Denn Engagement und Leistung werden von den Menschen gesehen und respektiert.

Wenn man deine Zeit als Chefredakteur in einem Satz zusammenfassen müsste: Welcher wäre das?
Ich hatte immer Freude an der Arbeit und mochte meine Kolleginnen und Kollegen.

Welches ungelöste Problem der Elektronik wird uns auch in den kommenden Jahren noch beschäftigen?
Die Batterieentwicklung wird noch für Jahre nicht mit dem Leistungszuwachs bei Halbleitern mithalten können. Ein echter Quantensprung ist nicht in Sicht. Aber die Entwicklungen bei Feststoffakkus lassen hoffen. Dieses Problem begrenzt nicht nur den Bau leichter Elektromobile, sondern auch die Entwicklung autonomer Hochleistungssysteme. Seien es Mikroroboter, die unsere Adern reinigen, oder Terminatoren á la Arnold Schwarzenegger. Die dafür nötigen kognitiven Fähigkeiten wird die Elektronik schon bald bereitstellen – eine adäquate Batterietechnik so schnell noch nicht.

DAS INTERVIEW FÜHRTE
Maria Beyer-Fistrich
Chefredakteurin
ELEKTRONIKPRAXIS

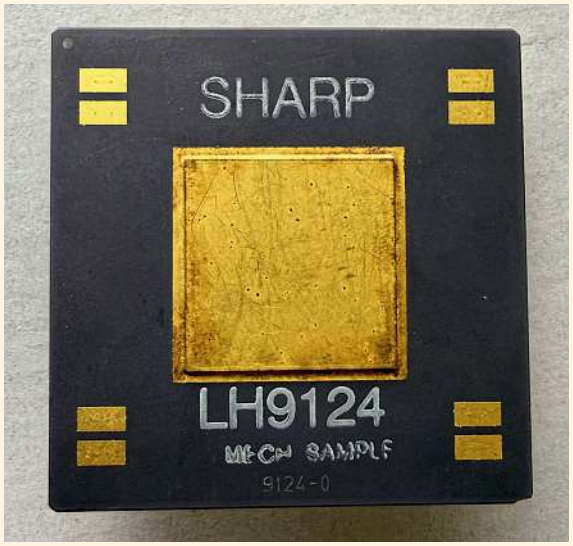


Bild: Sharp

LH9124: Obwohl der Butterfly die schnellste FFT-Leistungen bot, migrierten die Kunden im Laufe der Zeit zu PowerPCs und Sharcs etc. mit besserer Softwareunterstützung.

Welches elektronische Gerät aus deiner Laufbahn steht heute noch bei dir zu Hause – einfach, weil es eine Seele hat?
Seit 35 Jahren liegt eine DSP von Sharp auf meinem Schreibtisch. Solche Signalprozessoren haben mich immer fasziniert. Sharps Butterfly-Familie hob 1990 mit dem LH9124 ab, der die damals höchste verfügbare FFT-Leistungen bot. Ich hatte damals sogar eine DSP-Messe organisiert, die mehrere Jahre erfolgreich stattfand.

Wann hat dir die Elektronik zuletzt wieder dieses alte Kribbeln beschert?
Auf der letzten electronica war ich wieder einmal begeistert. Nicht wegen technischer Höchstleistungen, sondern von der unglaublichen Vielfalt und den unzähligen Neuigkeiten. Hinzu kam die konstruktive Stimmung der Besucher und Aussteller. Das war und ist meine Welt. Ehrlich gesagt freue ich mich jetzt schon wieder auf München im November dieses Jahres. *(mbf)*

EUROPEAN DEFENCE SUPPLY

28 – 29 April 2026 | Munich, Germany

Connecting Industry and Defence in Europe

Find out more and **REGISTER NOW!**

A roadmap to the European defence industry

As defence budgets rise and EU programmes expand, civil technology providers are becoming vital contributors to Europe's strategic autonomy. The event will act as a neutral platform for dialogue between technology suppliers, integrators, and decision-makers shaping the next generation of European defence capabilities.

www.european-defence-supply.com

An event by AEROSPACE & DEFENCE – a brand of VOGEL COMMUNICATIONS GROUP

60 JAHRE ELEKTRONIKPRAXIS

Das junge Pflänzchen aus der alten Blumenzwiebel

Bild: ELEKTRONIKPRAXIS

VERFASST VON
Thomas Kuther
freier Fachjournalist
Kuther Media Service

Als 1966 die erste ELEKTRONIKPRAXIS als neue Sonderreihe der elektrotechnik erschien, ahnte noch niemand, was die nächsten 60 Jahre dem neuen Titel bringen würden. Blicken Sie mit uns zurück!

Bild: ELEKTRONIKPRAXIS

Nichts ist beständiger als die Veränderung: Die Titelseite der ELEKTRONIKPRAXIS wurde im Laufe der letzten 60 Jahre immer wieder dem sich ändernden Zeitgeist angepasst.

Einen völlig untechnischen Text fanden die Leser der Fachzeitschrift elektrotechnik in der Ausgabe vom 2. Februar 1966: „In diesen Tagen werden uns bald in Gärten und Anlagen, in Wald und Flur die ersten blühenden Boten des Frühlings begrüßen; im warmen Zimmer getrieben, erfreuen sie uns ja schon jetzt und vielleicht gar seit Weihnachten. Jeder Naturfreund – und deren Zahl ist groß gerade unter den Technikern! – weiß, dass es sich dabei hauptsächlich um Vertreter der großen Gruppe der Zwiebelgewächse handelt. Unscheinbar ist das Äußere dieser kompakten, knolligen Organismen in ihrer Hülle aus trockenen, schuppigen Blättern; aber wenn ihre Zeit gekommen ist, eine Zeit, zu der der Boden in dem sie ruhen, kaum viel an Nahrung und Wärme bietet, dann treibt aus dieser trockenen Hülle plötzlich ein saftiges Grün hervor, und oft in wenigen Tagen entfalten sich daraus prächtige, farbenfrohe Blüten. Zugleich jedoch beginnt im geheimnisvollen Laboratorium des Blattgrüns unter den ersten Strahlen der Frühlingssonne eifrige Produktion. Aus den gewonnenen Nahrungsreserven bilden sich im Innern der alten Zwiebel neue Ansätze, die bald deren Hülle sprengen, um als neue Zwiebeln im nächsten Frühjahr abermals das Dasein des Stammes fortzusetzen und zu mehren.“

Mit diesen blumigen Worten kündigte Wolfgang May, der damalige Schriftleiter der elektrotechnik, die neue Sonderreihe ELEKTRONIKPRAXIS (EP) an, die gleich einem frischen Pflänzchen aus der knolligen Zwiebel elektrotechnik entsprungen ist und nun im zweimonatigen Turnus im Mantel der elektrotechnik erscheinen soll. Zuständig für die EP-Themenhefte waren die Redakteure Wolfgang Schmidt und Werner Schulz.

Die wichtigsten Highlights zu dieser Zeit waren Berichte über Messen wie die ein Jahr junge electronica und den Bauelementesalon in Paris. Aktuelle Themen waren Elektronenrechner, Magnetkernspeicher, Plastik-Transistoren

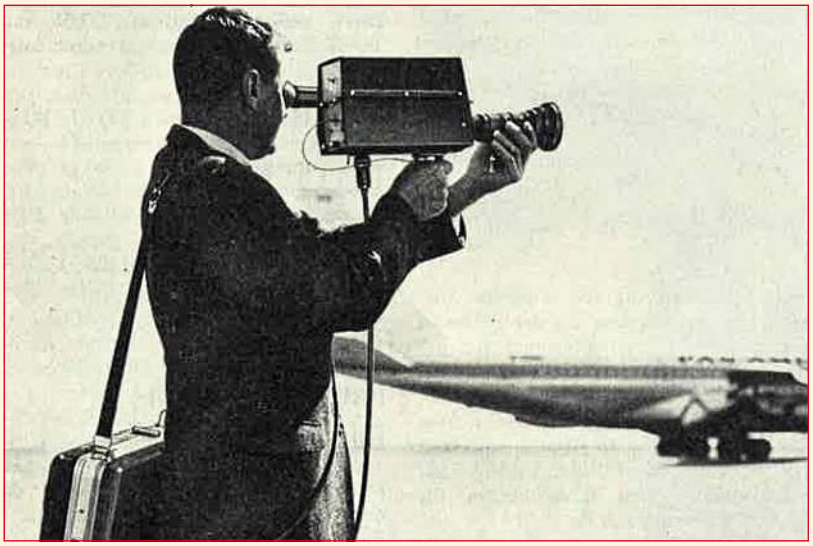


Bild: Westel

Eine Sensation im Jahre 1966: die batteriebetriebene, tragbare Video-Aufzeichnungsanlage WRC-150 wiegt „nur" 13 kg, wobei die Kamera mit gerade einmal 3 kg zu Buche schlägt.

und eine revolutionäre Technologie zum Herstellen von Galliumarsenid-Halbleitern.

Das zarte Pflänzchen wird selbstständig

Ab Januar 1968 erschien die EP als eigenständige Zeitschrift mit einer Auflage von 12.000 Exemplaren und zehn Ausgaben pro Jahr. In Ausgabe 2/1968 wurde berichtet, dass das Illinois Institute of Technology Research eine Methode entwickelt hat, mit der sich Gaszähler fernablesen lassen. Dazu fährt ein mit Sender und Empfänger ausgestatteter Werkswagen die Straßenzüge ab und fragt an den Gasuhren angebrachte Transponder über Funk ab. Ebenfalls beschrieben wird der Einsatz von Elektronenrechnern im Auto zu Diagnosezwecken. Die Fahrzeugdaten werden über eine Lochkarte eingelesen und die Diagnose soll laut Hersteller Allen Electric in 7 bis 15 Minuten abgeschlossen sein.

Neues in Sachen Medizinelektronik kam von der japanischen Firma Hayakawa Electric, die ein Gerät auf den Markt gebracht hat, mit dem sich Farbenblindheit in 3 bis 6 Monaten heilen lässt. Der Trick: Kopfhörerförmige Stimulatoren, die mit den Frequenzen 77 und 42,5 Hz arbeiten. Höhepunkte zu Beginn der 1970er Jahre waren u. a. der komplette MOS/LSI-Baustein TMS 1802 NC von Texas Instruments, die ersten optischen Speicher, die RCA für die NASA entwickelt hatte und die ersten Schaltnetzteile.

Im Juni 1974 verabschiedet sich Wolfgang Schmidt als Schriftleiter der EP und übergibt die Redaktion in die Hände seines Nachfolgers Werner Schulz, der vom Redakteur Karlheinz Thesen unterstützt wird. Weitere wichtige Themen Mitte der 70er Jahre waren die ersten Taschenrechner, die dank der neu vorgestellten „Microcomputer auf einem Chip" erschwinglich werden. Die Elektronik dringt weiter ins Auto vor: der erste elektronische Tacho wird vorgestellt und Teldix präsentiert ein mit Unterstützung von Daimler-Benz entwickeltes ABS auf Basis von Siemens-Schichtschaltungen.

Im September 1977 geht die Leitung der EP-Redaktion an Henning Wriedt, der vom späteren Chefredakteur Günter Weeth unterstützt wird. Ab 1979 erscheint die EP bei unveränderter Auflage 12-mal pro Jahr.

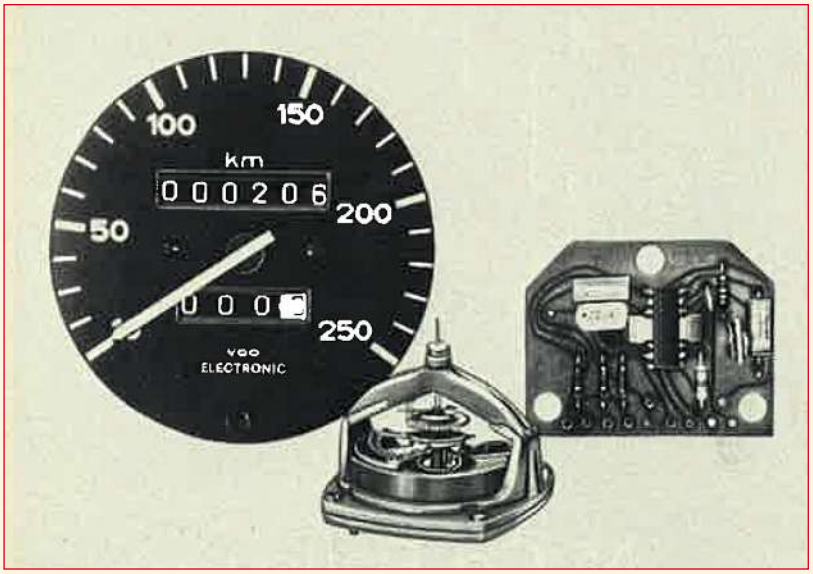


Bild: VDO

Der erste serienreife elektronische Tachometer von 1974: „Der Elektronik gehört die Zukunft, auch bei den Tachometern" erfuhr der eifrige EP-Leser.

Der PET2001 mit 8 KByte RAM

Die folgenden Jahre waren geprägt von zahlreichen Innovationen wie der Vorstellung des Tischcomputers Commodore PET2001 mit 8 KByte RAM, der für 2.900 DM über den Ladentisch ging. Eine Sensation war 1980 die Vorstellung des 16-Bit-Mikroprozessors MC68000 von Motorola. Mit diesen neuen Entwicklungen stieg die Zahl der Bildschirmarbeitsplätze in Büro und Industrie ständig weiter an – ein Thema, dessen ergonomische Aspekte Henning Wriedt in einem Editorial kommentiert.

Ein Thema, das auch derzeit aktuell ist, kam ebenfalls im Jahr 1980 auf: AEG stellte ein Auto-Notfunk-System vor, das auf Knopfdruck einen Notruf absendet und dessen Position anschließend über Peilstationen ermittelt wird.

Im September 1980 endet die Ära Wriedt, und Günter Weeth wird Chefredakteur der EP. Seine erste große Aktion ist eine Neukonzeption der EP mit einem Relaunch im Januar 1981: Neue Themen werden aufgenommen, Farbe hält Einzug und die Titelseite wurde völlig neu gestaltet.

Ab Januar 1982 verstärken Gundel Hahn und Peter Stichaner als Redakteure die EP.

Die turbulenten 80er Jahre

Mitte der 80er Jahre überschlägt sich die Branche fast – eine Innovation folgt der nächsten:

Die Post testet im Rahmen des Projekts „Bigfon" Glasfasern zur Informationsübertragung, Apple stellt den Macintosh vor, die Elektronik revolutioniert die Motorsteuerung im Auto, HP stellt den Personal Computer HP 150 „mit Zeigefinger-Steuerung" vor: den ersten Touchscreen. In industriellen Systemen ist das LAN immer weiter auf dem Vormarsch, der PC wird immer häufiger auch als Entwicklungssystem genutzt und auch in der Medizintechnik werden immer mehr computergesteuerte Systeme eingesetzt.

1984 stellt Hitachi ein 256-KBit-DRAM vor und Motorola präsentiert den 32-Bit-Mikroprozessor MC68020, mit 2 bis 3 MIPS – damals das leistungsstärkste Mitglied der MC68000-CPU-Familie. Eine weitere Sensation 1984 war die von Siemens entwickelte erste blaue LED.

In den 80er Jahren wird auch das Thema „programmierbare Logik" immer wichtiger und die EP berichtet über

den aktuellen „Stand und Ausblick bei Semikunden-IC“. Ebenfalls ein Trendthema Mitte der 80er Jahre: Künstliche Intelligenz.

Smart Home automatisiert den Haushalt

Im Mai 1986 prophezeit Chefredakteur Weeth in seinem Editorial „Home sweet home“ ein Thema, das auch heute wieder in aller Munde ist: „Smart Home“: „Neben dem Büro und der Fabrikhalle haben Marketingfachleute nun ein drittes Feld ausgemacht, das es gilt zu automatisieren: den privaten Haushalt ... Wegbereiter dieses Trends ist einmal mehr die Mikroelektronik. Diese und der aus ihr resultierende allgegenwärtige Computer schaffen die Basis für die zur Automatisierung des privaten Bereichs nötigen „intelligenten“ Produkte. Ebenfalls auf dem Vormarsch sind Galliumarsenid-Bauelemente: „GaAs: Der Stoff, aus dem die Mikrowellen-Träume sind“ titelte die EP.

Frequenz und Mannschaft verdoppelt

Die nächste große Änderung bei der EP folgt im Januar 1989: Die Erscheinungsweise wird auf vierzehntägig mit einer Auflage von 40.000 Exemplaren umgestellt. Um die neuen Aufgaben stemmen zu können, wird die Redaktionsmannschaft verdoppelt. Erstmals erscheint 1989 der Gehaltsreport der EP. Ein Relaunch im neuen Gewande und vor allem mit einer neuen Titelseitengestaltung folgt 1990. Den Titel prägen nun bekannte Köpfe aus der Branche in Schwarzweiß und Runzelkorn-Technik.

Gundel Hahn löst Ende 1990 Chefredakteur Günter Weeth ab. Zwischen 1993 und 1997 ist Weeth nochmals Chef der EP-Redaktion.

Die Ära Johann Wiesböck

Im Januar 1998 tritt Johann Wiesböck als Chefredakteur die Nachfolge von Günter Weeth an. Mit einem großen Relaunch bringt er die ELEKTRONIKPRAXIS 1999 auf Rekordkurs. Im selben Jahr werden auch Sonderhefte eingeführt und der Titelseitenverkauf gestartet.

Doch um wirklich zukunftsfähig zu sein, ist mehr nötig, wie Chefredakteur Johann Wiesböck schnell erkennt. Und so entsteht ein zweites Standbein: Events. Schon 2003 startete der EMS-Tag als Learning des E²MS-Awards – der Durchbruch lässt allerdings 17 Jahre auf sich warten. Man sieht wieder einmal: gut Ding will Weile haben!

Ein Trendthema zu dieser Zeit war Embedded Software Engineering. Johann Wiesböck erkennt das schnell und startet 2006 zunächst mit dem Embedded Software Engineering Report und rief 2008 den ESE Kongress ins Leben – die heute erfolgreichste Veranstaltung der Medienmarke.

Im Laufe der Jahre initiiert Johann Wiesböck eine ganze Reihe von weiteren Events., u. a. Steckverbinderkongress, EMS-Tag, Power of Electronics und FPGA-Tagung, um nur einige zu nennen, die sehr erfolgreich sind.

Online wird immer wichtiger

Bis zur Jahrtausendwende ist die ELEKTRONIKPRAXIS als reines Printmedium unterwegs. Angesichts der zunehmenden Bedeutung des Internets erscheinen immer mehr Beiträge auch online. Ab 2005 und in den Folgejahren investiert Vogel Millionen in Online. So werden neben der gedruckten Auflage und den Events der Internet-Auftritt das dritte Standbein der EP.

Phönix aus der Asche

Die Lehmankrise bringt der ELEKTRONIKPRAXIS in den Jahren 2008 und 2009 einen enormen Einbruch von 35 Prozent. Doch bereits ein Jahr später ersteht die ELEKTRONIKPRAXIS wieder wie der Phoenix aus der Asche mit einem starken inhaltlichen Relaunch.

Immer wieder mal was Neues: Johann Wiesböck initiiert 2011 die Aktion „Elektronik hilft“ – bis heute wurden im Rahmen dieser Aktion über 400.000 € an die Aktion Deutschland hilft gespendet.

Bis 2020 erscheinen jährlich 24 Ausgaben der ELEKTRONIKPRAXIS sowie besonders wichtige Themenbereiche in 18 Sonderheften und vier Digital-Kompendien. Mit www.elektronikpraxis.de, Online-Akademie, Mediathek, Blogs, Apps und Fachforen ist die ELEKTRONIKPRAXIS eine enorm erfolgreiche Plattform für den Wissenstransfer zwischen Elektronik-Professionals in der Industrie. Die redaktionellen Inhalte werden von Whitepaper und Webcasts ergänzt.

Corona und die Folgen

Die Erfolgsgeschichte der ELEKTRONIKPRAXIS findet aufgrund der Corona-Krise 2020 einen vorläufigen Einbruch. Aufgrund des staatlich angeordneten Lock-Downs ist die Arbeit im Home-Office obligatorisch – und somit sind auch neue Formen der Kommunikation gefordert. Die regelmäßigen Redaktionskonferenzen finden nun per Videokonferenz statt.

„Im Schatten der Riesen“:
Die EP untersuchte in ihrer Aprilausgabe 1984, wie weit der PC in die Entwicklungsumgebung eindringt.

Im Schatten der Riesen

Wie weit dringt der PC in die Entwicklungsumgebung ein?

Die neue Masche: Der PC als Entwicklungshelfer

Bild: ELEKTRONIKPRAXIS

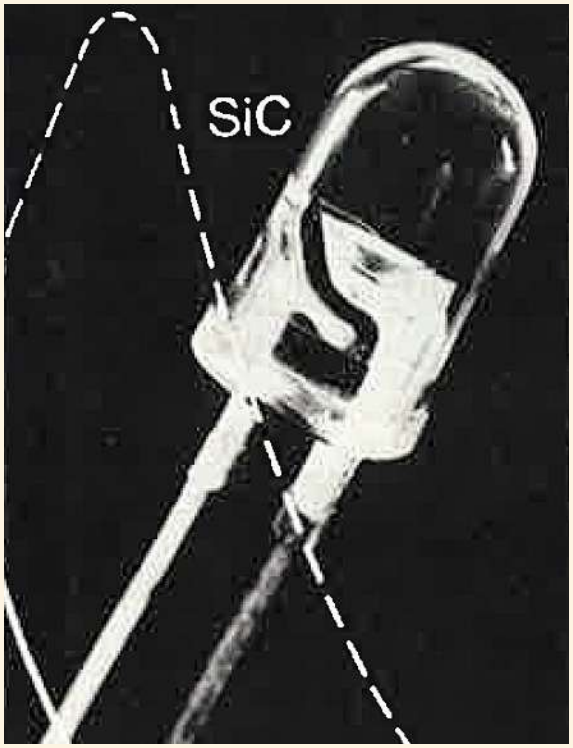


Bild: Siemens

Die Sensation des Jahres 1984: Siemens stellt die erste blaue LED vor.

Auch auf Events hat Corona massive Auswirkungen, da Präsenzveranstaltungen nicht möglich sind. Doch die ELEKTRONIKPRAXIS minimiert den wirtschaftlichen Schaden, indem sie Events als Videokonferenzen anbietet.

Die Folgen von Corona treffen auch immer mehr Unternehmen: Betriebsschließungen oder Kurzarbeit und die damit verbundenen Umsatzeinbußen lassen auch das Werbebudget vieler Anzeigenkunden schrumpfen, was auch für die ELEKTRONIKPRAXIS Umsatzeinbußen zur Folge hat. Doch auch in dieser schweren Zeit steuert Kapitän Johann Wiesböck sein Schiff sicher durch die unruhige See. So baut er beispielsweise die redaktionellen Inhalte durch anbieterspezifischen Content in Form von Whitepapern und Webcasts weiter aus. Zusätzlich werden dem User attraktive Tools wie eine Firmendatenbank, eine Design Corner und eine Mediathek angeboten.

Putins Krieg und seine Auswirkungen

Ende Februar 2022 überfallen russische Truppen die Ukraine. Auch dieser Angriffskrieg hat erhebliche Auswirkungen auf die Berichte der EP-Redaktion. So nehmen die Lieferengpässe bei Halbleitern und anderen elektronischen Komponenten und Systemen drastisch zu, was die Wirtschaft bremst und Produktionsengpässe in verschiedenen Industriezweigen zur Folge hat.

Aufgrund der kriselnden Automobilindustrie werden andere Geschäftsfelder für die Zulieferindustrie immer interessanter. Die Verteidigungsindustrie boomt und will beliefert werden. Auch entstehen neue Geschäftszweige: Drohnen etwa werden immer interessanter für Startups und Cobots erobern nicht nur die Industrie, sondern etwa auch den Gesundheitssektor.

Maria Beyer-Fistrich übernimmt das Ruder

Die Ära Wiesböck endet im April 2023 nach 25 äußerst erfolgreichen Jahren. Im März 2023 übergibt Chefredakteur Johann Wiesböck das EP-Ruder an seine Nachfolgerin Maria Beyer-Fistrich. Sie führt nicht nur das Wirken Johann Wiesböcks erfolgreich weiter, sondern bringt auch frischen Wind in die Redaktion. So schaut die Redaktion zuversichtlich in die Zukunft. Unter anderem sind Podcasts und Videos mit Fokus auf Nachwuchs und Employer Branding geplant. Auch entsteht der neue EP-Ableger Aerospace & Defence – ein Themenbereich, der angesichts der russischen Bedrohung Europas nur darauf wartet, endlich auch redaktionell bedient zu werden.

Heute berichtet die EP in 15 Hauptausgaben pro Jahr über das aktuelle Geschehen in der Elektronikbranche sowie über Produkte, Technologien und Entwicklungsverfahren. Zusätzlich zu den Inhalten der Hauptausgaben verdichtet die EP besonders wichtige Themenbereiche in sechs Sonderheften sowie Digital-Kompendien. Mit www.elektronikpraxis.de, Online-Akademie, Mediathek, Blogs, Apps und Fachforen ist der ELEKTRONIKPRAXIS-Webauftritt die Plattform für den Wissenstransfer zwischen Elek-

1966

Bild: ELEKTRONIKPRAXIS

EP-Schriftleiter Wolfgang Schmidt (1966 bis 1974) prophezeite in seinem Editorial zum Pariser Bauelemente-Salon 1967: „Für die nächsten fünf Jahre wird ein steiles Ansteigen der Produktions- und Verbrauchsziffern für Transistoren im Plastikgehäuse vorausgesagt."

1974

Bild: ELEKTRONIKPRAXIS

EP-Schriftleiter Werner Schulz (1974 bis 1977) in seinem Antritts-Editorial 1974: „Auch in der Elektronik könnte die Zeit der leichten Erfolge nun (vorerst?) vorüber sein. Dabei hat sich Kostendruck in Form des Rationalisierungszwangs immer als Motor der Innovation erwiesen."

1977

Bild: ELEKTRONIKPRAXIS

EP-Redaktionsleiter Henning Wriedt (1977 bis 1980) schrieb 1980: „Für Berufstätige kommt immer schneller und unaufhaltsam ein neues Werkzeug – der Bildschirmarbeitsplatz. Schreibblock und Bleistift sind oft nur noch flankierende Hilfsmittel im Dialog Mensch-Computer."

BERUF UND KARRIERE

Die Elektronikbranche hat auch weiterhin ein überdurchschnittliches Gehaltsniveau. Was zur Zeit verdient wird, zeigt diese Umfrage unter Personen aus verschiedenen Bereichen der Elektronik. Berücksichtigt wurden die Altersgruppe und der Familienstand ebenso wie die Region, in der das Arbeitsfeld liegt. Neben Werdegang, Tätigkeitsbereich und Bruttojahresgehalt äußern sich die Betreffenden selbst über ihren Job.

Gehälter in der Elektronik '89

Was in der Branche verdient wird

GEBIETS-VERKAUFSLEITER

43 Jahre
geschieden, zwei Kinder
Raum Düsseldorf
Werdegang: Mittlere Reife, kaufmännische Lehre, in der Markenartikel-Industrie begonnen, seit sechs Jahren in der Computerbranche tätig, seit vier Jahren im Bereich Software.
Meinung: „Wir leiden alle darunter, daß die Entwicklungsabteilungen zum Teil nicht die Wünsche der Anwender erfüllen. Allerdings können auch Anwender den enormen Entwicklungsaufwand nicht vorstellen."
Jahreseinkommen:
121 000 DM

TECHNISCHER SUPPORT

27 Jahre
ledig
Raum Hamburg
Werdegang: Volksschule, Lehre Maschinenbau, Abendschule, Studium Informatik, kurze Einarbeitungszeit in der jetzigen Firma, mit dem technischen Support eines Software-Unternehmens beauftragt.
Meinung: „Das Studium alleine bringt es nicht mehr. Wer sich als Freak an der Computerei begeistern kann, findet sich schneller mit seiner Aufgabe zurecht."
Jahreseinkommen:
84 000 DM

NIEDERLASSUNGS-LEITER

48 Jahre
verheiratet, drei Kinder
Raum München
Werdegang: Mittlere Reife, kaufmännische Lehre. Viele Jahre in der kaufmännischen Verwaltung eines Unternehmens tätig gewesen. Seit Niederlassungsleiter eines deutschen Niederlassung einer US-Computerfirma.
Meinung: „Ich bin nur machen, wenn man genügend Entfaltungen mit amerikanischen Firmen hat. Ehrgeizig sein muß man sowieso, sonst ist man verloren."
Jahreseinkommen:
117 600 DM

VERTRIEBS-INGENIEUR

42 Jahre
verheiratet, zwei Kinder
Raum Bremen
Werdegang: Abitur, Studium Elektrotechnik, zwei Jahre in der Entwicklung tätig gewesen, seit über zehn Jahren mehrere Stationen des Vertriebs durchlaufen. Schließlich Verkauf von elektronischen Bauteilen, seit drei Jahren in der jetzigen Position.
Meinung: „Die Tätigkeit im Vertrieb bringt einen wesentlich höheren Gehaltssprung gegenüber Tätigkeiten in der Verwaltung. Allerdings wird ständig Hochleistung verlangt."
Jahreseinkommen:
114 000 DM

SERVICE-TECHNIKER

28 Jahre
ledig
Raum Frankfurt
Werdegang: Volksschule, Lehre Elektrotechnik, in einem Großkonzern tätig gewesen. Seit zwei Jahren beim jetzigen Arbeitgeber, der sein Schwerpunkt Meßgeräte und Mehrsysteme abdeckt.
Meinung: „Im Gegensatz zu vielen anderen Berufen müssen wir in unserer Branche ständig dazulernen. Die Entwicklung ist hier besonders schnell."
Jahreseinkommen:
56 400 DM

DESIGN-INGENIEUR

28 Jahre
verheiratet, ein Kind
Raum Stuttgart
Werdegang: Abitur, Studium Maschinenbau, die Berufskarriere in einer Entwicklungsabteilung begonnen. Heute mit dem Design elektronischer Bauteile beschäftigt, wobei auch der Schwerpunkt immer mehr auf Auto verlagert.
Meinung: „Diese neue Technologie läßt noch viel Spielraum, um auch in den nächsten Jahren Karrierechancen zu haben."
Jahreseinkommen:
64 000 DM

GESCHÄFTSFÜHRER

42 Jahre
verheiratet, ein Kind
Raum München
Werdegang: Mittlere Reife, kaufmännische Lehre, seit vielen Jahren in leitenden Stellungen von zwei mittelständischen Unternehmen, dabei hauptsächlich vertriebsorientiert tätig gewesen. Seit vier Jahren beim Unternehmen, der Tochtergesellschaft eines größeren amerikanischen Konzerns.
Meinung: „An das exakte Budget- und Forecast-Denken der Amerikaner muß man sich als Deutscher erst gewöhnen."
Jahreseinkommen:
212 000 DM

LEITER SYSTEMTECHNIK

46 Jahre
verheiratet
Raum Essen
Werdegang: Mittlere Reife, Facharbeiter, bei sich in Kursen und privat in der EDV weitergebildet. War zuerst Programmierer, später Systemprogrammierer und schließlich Systemanalyst.
Jahreseinkommen:
134 400 DM

SOFTWARE-ENTWICKLER

45 Jahre
verheiratet, ein Kind
Raum München
Werdegang: Abitur, Studium des Maschinenbaus, frühzeitig beruflich mit der EDV in Berührung gekommen. In der Privatleben ein „Computer-Freak". In seiner letzten Position war er hauptsächlich mit der Anpassung von Software beschäftigt. Arbeitet jetzt in einem großen Softwarehaus.
Meinung: „Dieser Beruf bringt immer wieder neue Überraschungen. Er wird auch noch in vielen Jahren Spaß machen."
Jahreseinkommen:
83 000 DM

FIELD APPLIKATION INGENIEUR

31 Jahre
verheiratet
Raum München
Werdegang: Mittlere Reife, Studium der Elektrotechnik, in der Semiconabteilung eines mittleren Unternehmens tätig gewesen, seit zwei Jahren bei einem amerikanischen Unternehmen für Computerperipherie.
Meinung: „Wir stehen ständig unter Zeitdruck, der von den Kunden kommt. Ich sehe durchaus noch Möglichkeiten, mein Gehalt zu verbessern."
Jahreseinkommen:
78 800 DM

PRODUKTMARKETING-MANAGER

45 Jahre
geschieden, zwei Kinder
Raum Düsseldorf
Werdegang: Mittlere Reife, Studium der Betriebswirtschaft, begann seine Karriere in einem mittelständischen Betrieb des Maschinenbaus, war später für einen großen Elektronikkonzern tätig. Ist seit sieben Jahren in der deutschen Niederlassung einer japanischen Konzerns im Bereich aktiver Bauelemente beschäftigt.
Meinung: „Als japanischer Anbieter gerät man immer wieder in Versuch, die Preismarktpreise unterlaufen zu wollen."
Jahreseinkommen:
141 300 DM

GEBIETS-VERKAUFSLEITER

37 Jahre
verheiratet, keine Kinder
Raum Bremen
Werdegang: Kaufmännische Lehre, verschiedene Stationen in einem großen Kaufhaus durchlaufen, in der Außendienst eines großen Büromaschinenherstellers gewechselt. Seit vier Jahren bei einem Unternehmen der Audio- und Videobranche im Vertrieb tätig. Durch überdurchschnittliche Umsatzzahlen in die heutige Position befördert worden.
Meinung: „Wir kämpfen zur Zeit in einem wettbewerbsbetonten Markt um den Erhalt der bisher erreichten Marktanteile."
Jahreseinkommen:
108 000 DM

GRUPPENLEITER RECHENZENTRUM

34 Jahre
geschieden, zwei Kinder
Raum Wetzlar
Werdegang: Abitur, kaufmännische Lehre, Organisationsprogrammierer, Teamleiter (Prozeßsteuerer), Systemprogrammierer. Seit 13 Jahren beim Unternehmen.
Meinung: „Ich werde mich damit kaum mehr auf der Karriereleiter nach oben boxen können. Mein Alter wird zum Problem."
Jahreseinkommen:
113 600 DM

PRODUKT-MARKETING

34 Jahre
ledig
Raum Frankfurt
Werdegang: Mittlere Reife, kaufmännische Lehre, alle wichtigen Marketingstationen in einem Unternehmen der Konsumgüter-Industrie durchlaufen. Seit vier Jahren im Bereich Bereich tätig.
Meinung: „Die Elektronik hier noch ein weites Feld für interessierte im Produktmarketing."
Jahreseinkommen:
101 300 DM

Spitzenreiter im Branchenvergleich

John Sculley, Präsident von Pepsi-Cola, wechselte vor einigen Jahren in die boomende Elektronik- und Computerbranche. Der Marketingprofi wählte jene Firma, deren Gründer in den Zwanzigern standen und deren Unternehmen von einem Turnschuh-Image geprägt war. Die Rede ist von der Apple Computer Inc. Das vom kalifornischen Cupertino aus wirkende Unternehmen brachte es in nur einem Jahrzehnt auf stolze 1 Mrd. $ Jahresumsatz.

Sculley verdrängte mit seinem Managementstil und mit seinem Auftreten das unkonventionelle Turnschuh-Image. Er hat seinen Schritt sicher nicht bereut. Eine Auflistung der amerikanischen Fachzeitschrift „Electronic Business" weist ihn bei den Jahresgehältern in der Elektronikindustrie auf Platz eins mit 2,14 Mio. $ aus.

Gehälter in solchen Höhenlagen werden in der Bundesrepublik Deutschland nicht bezahlt. Aber: Die Elektronikindustrie nimmt mit ihren Gehältern im Branchenvergleich zum großen Teil einen Spitzenplatz ein.

Wichtig zu wissen: Nicht alle Bereiche der Elektronik- und Computerindustrie sind gleichermaßen von dem günstigen Gehaltsklima betroffen. Es gibt Unterschiede. Nach Meinung des Münchner Personalberaters Hans-Jürgen Gerhard ist es vor allem der Vertrieb, der mit hohen Gehältern lockt. Und speziell in diesem Jahr haben CAD und CAM sowie CIM einen großen Nachholbedarf an marketing- und verkaufsorientierten Spezialisten.

Bei einer Auswertung des Stellenmarktes von überregionalen Tageszeitungen nehmen bereits seit Jahren die Ausschreibungen für Ingenieure etwa ein Drittel des Gesamtangebots für Fach- und Führungskräfte ein. Deutlich zu erkennen ist dabei, daß durch die immer erklärungsbedürftiger werdenden technischen Produkte vor allem die Nachfrage nach Ingenieuren für den Verkaufs- und Vertriebsbereich wächst. Dabei fallen über 30% auf Ingenieure und über 10% auf EDV-Spezialisten. Die meisten Angebote kommen aus den Industriezweigen Elektronik und Elektrotechnik, gefolgt vom Maschinenbau.

Bild: ELEKTRONIKPRAXIS

Ein echter Klassiker: 1989 verglich die EP in ihrem Gehaltsspiegel die Gehälter in den verschiedenen Bereichen der Elektronik.

tronik-Professionals in der Industrie. In fachspezifischen Themenkanälen findet der Nutzer Nachrichten, Fachwissen, Produktneuheiten und konkrete Lösungen für seine täglichen Aufgaben und Herausforderungen.

Neue Themen für die Trends der Zukunft

Die Zeit steht nicht still, und so poppen immer wieder neue Themengebiete auf, welche die EP aufbereitet. Waren es gestern etwa Internet der Dinge, Elektromobilität und autonomes Fahren, so weisen heute Themen wie Künstliche Intelligenz, Big Data, Vernetzung, Quantencomputing, Cobots und Biocomputing den Weg in die Zukunft. *(tk)*

2023

Bild: Sebastian Bienert

Die derzeitige Chefredakteurin Maria Beyer-Fistrich schrieb 2024: „Die Stärke Deutschlands war schon immer die Fähigkeit, große Umwälzungen als Chance zu begreifen. In dieser Tradition müssen Unternehmen vorangehen und eine führende Rolle bei der Förderung von Toleranz, Vielfalt und Inklusion einnehmen."

1980

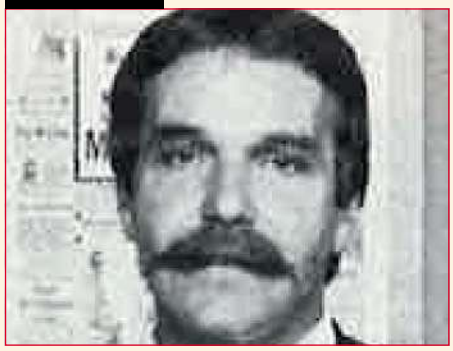


Bild: ELEKTRONIKPRAXIS

EP-Chefredakteur Günter Weeth (1980 bis 1990 und 1993 bis 1997) sagte bereits 1986 das Smart Home voraus: „Neben dem Büro und der Fabrikhalle haben Marketingfachleute nun ein drittes Feld ausgemacht, das es gilt zu automatisieren: den privaten Haushalt."

1990

Bild: ELEKTRONIKPRAXIS

Die spätere EP-Chefredakteurin Gundel Hahn (1990 bis 1993) schrieb 1987: „Während sich die analogen GaAs-Bauelemente schon ihren Platz vorzugsweise in der Optoelektronik erobern konnten, kämpfen ihre digitalen Kollegen immer noch um ihre Daseinsberechtigung."

1998

Bild: ELEKTRONIKPRAXIS

EP-Chefredakter Johann Wiesböck (1998 bis 2023) mahnte in seinem Antritts-Editorial: „Unsere Politiker sollen sich ernsthaft überlegen, wie lange wir uns noch eine Bildungspolitik leisten können, die einem Hightech-Land wie Deutschland die Zukunft raubt."

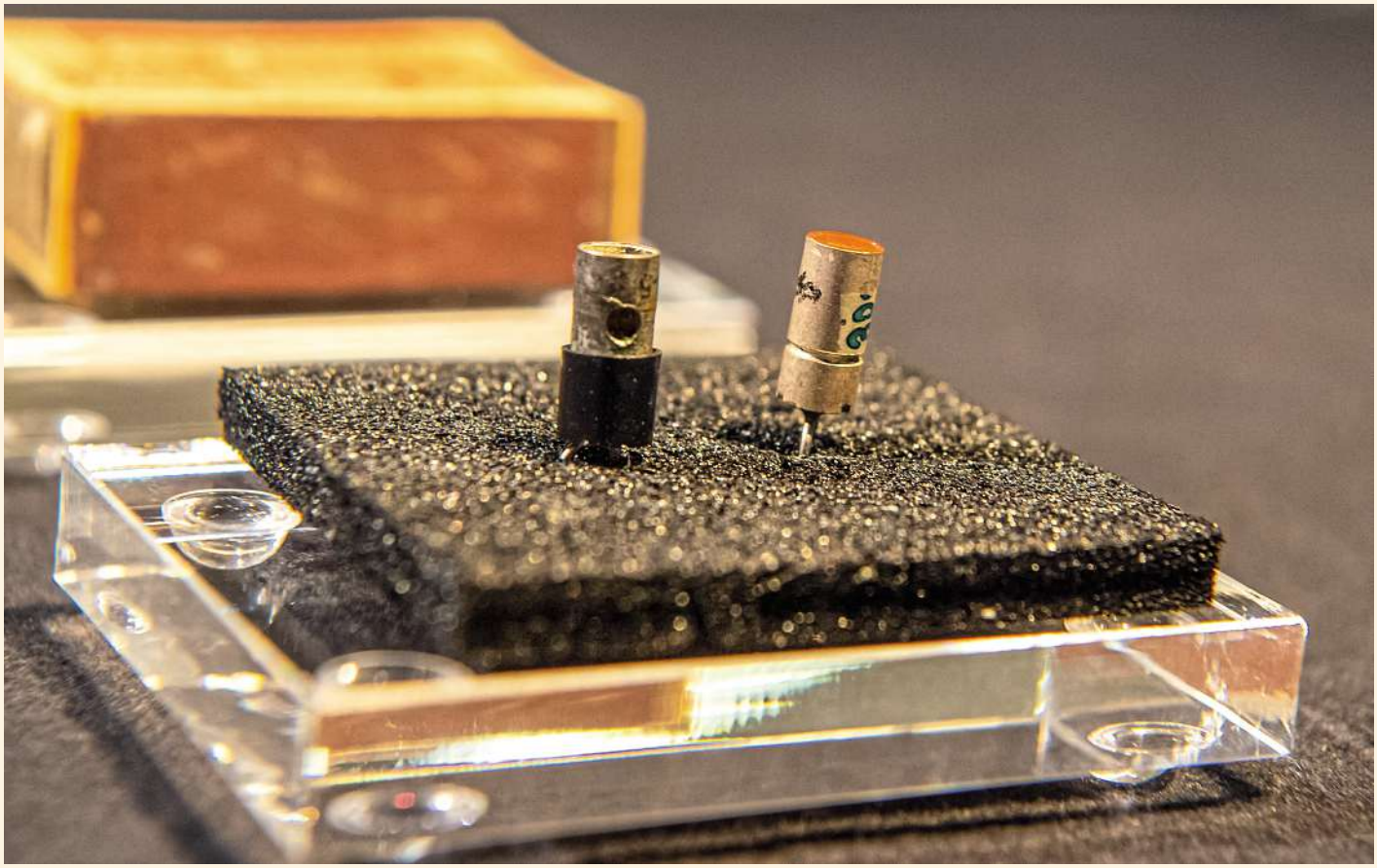


Bild: © Kristin Rinortner

Erste Transistoren: Nach dem zweiten Weltkrieg begann die Ära der Elektronik mit der Erfindung des Transistors. Das Bild zeigt den Bell-Transistor Nr. 9, der 1952 nach München kam (links), und den Siemens-Nachbau.

DAS VERGESSENE FRANZÖSISCHE TRANSISTRON

Warum der Transistor zweimal erfunden wurde

Der Transistor gilt als „die Erfindung des 20. Jahrhunderts". Und er wurde zweimal unabhängig voneinander entwickelt: von Forschern in den USA mit dem „Transistor" und in Frankreich mit dem „Transistron". In der Rubrik *Der Blick zurück* tauchen wir in diese Geschichte ein.

Im Dezember 1947 nahmen die amerikanischen Physiker John Bardeen und Walter Brattain den Germanium-Spitzentransistor an den Bell Telephone Labs in Betrieb, hielten die Entwicklung aber noch sechs Monate lang geheim.

Zur gleichen Zeit bauten die beiden deutschen Ingenieure Herbert Mataré und Heinrich Welker (der spätere Siemens-Forschungschef) im Auftrag des französischen Postministeriums einen funktionierenden, fast identischen Germanium-Halbleiterverstärker, der unter dem Namen „Transistron" oder „Französischer Transistor" in die Geschichte einging.

Obwohl das Transistron bessere Rauschwerte und eine höhere Lebensdauer sowie Stabilität als das amerikanische Pendent aufwies, gelang es der französischen Regierung in der nachfolgenden Zeit nicht, das europäische Transistron kommerziell zu verwerten. Und so geriet das eigentlich bessere Bauelement auch in Frankreich und Deutschland in Vergessenheit.

Die in Europa hergestellten französischen Transistoren der ersten Serie (1950 bis 1952), die alle Produktionsstufen durchlaufen haben, sind durch dreistellige Seriennummern gekennzeichnet, die sowohl auf der Verpackung, als auch auf dem individuellen Datenblatt angegeben sind. Es

handelte sich um PNP-Germanium-Spitzentransistoren mit dem Namen „Kristall-Triode“.

Laut dem französischen Archiv „Service Historique de l'Armée de l'Air“ war eine Serie von eintausend Stück für die französischen staatlichen Forschungsdienste geplant. Diese Transistrons wurden von der Compagnie Des Freins et Signaux WESTINGHOUSE (CFSW) in Frankreich hergestellt. Aber, wie schon erwähnt, später nie vermarktet.

Aus dem Nachlass seines Vaters Oskar Walter, der damals in der Gruppe um Mataré und Welker in Frankreich forschte, stiftete Oskar Walter Jr. das Exemplar Nr. 810 im Jahr 2019 dem Deutschen Museum in München. Dieses Exemplar trägt die höchste heute bekannte Nummer und belegt, dass mindestens 810 französische Transistrons produziert wurden.

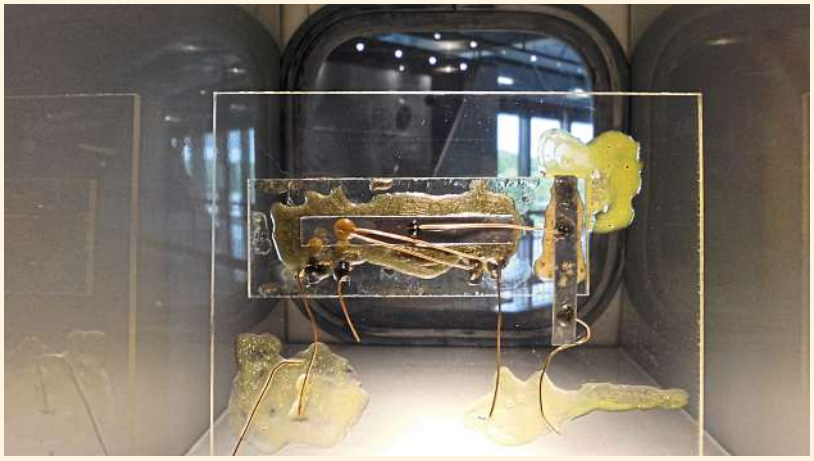


Bild: Christian Hart

Bild 1: Replica des ersten Transistors von 1947 im Heinz-Nixdorf-Museum in Paderborn.

Transistor: Die theoretischen Vorarbeiten und Werkstoffe

Wesentliche theoretische Vorarbeiten zum Transistor erfolgten in Österreich und Deutschland bereits in den 1920er- und 1930er-Jahren. In dieser Zeit versuchten Forscher eine Alternative zur Elektronenröhre (Triode) zu finden.

Den Halbleiter Pyrit verwendete man in europäischen Radio-Empfängern damals schon als preiswerten Gleichrichter. Die Physiker in Europa untersuchten in den 1930er-Jahren darüber hinaus die chemischen Elemente Germanium und Silizium auf ihre Eignung. Auch in den US-amerikanischen Bell-Laboratorien begann eine Gruppe von Wissenschaftlern 1936 diese Werkstoffe zu analysieren. Der Leiter war der Brite William Shockley. Im Jahr 1945 kamen John Bardeen als theoretischer Physiker und der Experimentalphysiker Walter Brattain dazu.

Ein erstes Patent zu einem Transistor, der dem heutigen Feldeffekttransistor gleicht, meldete der Physiker Julius Edgar Lilienfeld 1928 in Deutschland an. Damals war die Werkstoffforschung allerdings noch nicht so weit vorangeschritten, dass man diesen Transistor bauen konnte.

Die theoretischen Grundlagen erdachte der damals bei Siemens angestellte Ingenieur Walter Schottky. Oskar Heil (der Erfinder des Klystrons) meldete 1934 ein Patent an, in dem er kapazitiv wirkende Steuerelektroden an Halbleitern vorschlug, heute als Feldeffekt-Transistor bekannt. Durch den zweiten Weltkrieg wurde die Transistorforschung in Europa und Amerika unterbrochen.

Die Geburt des Spitzentransistors in den Bell-Labs

In den USA suchte die Telefongesellschaft Bell nach der Kriegspause weiter nach elektronischen Schaltern, die die elektromechanischen Schalter in den Telefonzentralen ablösen konnten. Auf der Grundlage der existierenden Transistor-Patentschriften experimentierten Bardeen und Brattain in den Bell Labs wieder mit den pn-Übergängen, bis ihnen kurz vor Weihnachten 1947 zufällig der Durchbruch mit einer pnp-Folge gelang. Sie fanden heraus, dass bei einer Widerstandsänderung in einer Grenzschicht auch der Widerstand in der anderen Grenzschicht beeinflusst wurde.

Bei ihrem Experiment brachten sie zwei Stromleiter (zu zwei Stromkreisen gehörend) aus Goldfolie an den Seiten einer V-förmigen Platte an. An der Spitze war die Folie durchtrennt. So konnten sie die Spitzen der beiden Leiter im Abstand von etwa 50 µm in einen n-dotierten Germanium-Kristall pressen. Auf der Rückseite des Kristalls brachten sie einen dritten (Steuer-)Kontakt an, die sogenannte Basis.

Das Prinzip ist einfach: Im Halbleiter werden von der einen Spitze, dem Emitter, positive Ladungsträger (Minoritätsladungsträger, Löcher) in den Germanium-Kristall mit der negativen Dotierung injiziert und zur zweiten Spitze, dem Kollektor, transportiert. Die Basis schließt den Stromkreis. Der elektrische Strom, der zwischen Emitter und Kollektor fließt, ließ sich durch eine Änderung des elektrischen Potenzials am Emitter modulieren. Die Stromverstärkung lag bei rund 40 und die Spannungsverstärkung bei etwa 100.

Der Durchbruch mit dem Feldeffekttransistor

Bardeen und Brattain veröffentlichten ihr Resultat am 25. Juni 1948 in der Zeitschrift Physical Review.

Firmenintern hatte man sich auf den von John R. Pierce vorgeschlagenen Namen des neuen Verstärkers geeinigt: Transistor. Am 30. Juni 1948 stellten die Bell Labs den

Bild: © Kristin Rinortner

Bild 2: Das Transistron mit der Nummer N A266 aus der Produktion von Westinghouse, Compagnie des Freins et Signaux (CFS) aus der Privatsammlung von Oskar Walter.

Bild: © Kristin Rinortner

Bild 3: Der Transistor GSN 2, Nr. 282 von Intermetall, der Firma von Herbert Mataré. Der Kollektoranschluss ist gelb, der Emitteranschluss rot. Privatsammlung Oskar Walter.

Transistor in New York der Presse vor. Shockley entwickelte danach einen zweiten Transistor-Typ, den Flächentransistor, der auf zwei pn-Übergängen basierte. Ein pn-Übergang diente als Emitter, der andere in umgekehrter Polung als Kollektor. Der Flächentransistor wurde in den 1950er-Jahren zur Standardversion des amerikanischen Transistors und machte der voluminösen Elektronenröhre erstmals Konkurrenz.

Ab den 1960er-Jahren setzte sich dann der Feldeffekttransistor durch, dessen hochohmiger Eingangswiderstand im Tera-Ohm-Bereich ähnliche Eigenschaften wie die Elektronenröhre aufwies. Der Ausgangswiderstand von fast 0 Ohm im leitenden Zustand war für Audioanwendungen ideal geeignet.

Bild 4: Germanium-Leistungshalbleiter G10 der Firma General Electric. Sammlung Oskar Walter.

Bild: © Kristin Rinortner

Vom Transistor zum Transistorradio im Hemdtaschenformat

Der in Aachen geborene Mataré gründete 1952 in Düsseldorf die Firma Intermetall, die Halbleiterdioden und -transistoren vertrieb. Auf Mataré geht nach einigen Quellen auch das erste Transistorradio zurück, das er Ende 1953 auf der Düsseldorfer Funkausstellung präsentierte. Später verkaufte der deutsche Ingenieur sein Unternehmen und ging in die USA, wo er u.a. als Berater für verschiedene US-Forschungseinrichtungen und Firmen agierte.

In den USA wurde von Regency (der Produktabteilung des Bauelemente-Herstellers IDEA [Industrial Development Engineering Associates] mit Radio-Knowhow) mit starker finanzieller Unterstützung von Texas Instruments, einem damals aufstrebenden Halbleiterunternehmen, im Dezember 1955 das Transistorradio Regency TR-1 auf den Markt gebracht. Das Regency TR-1 war das zur damaligen Zeit kleinste und preisgünstigste Radio.

„Ohne diese Technologie wären tragbare Media Player niemals entstanden, und ohne sie gäbe es heute keine iPhones" kommentierte Steve Wozniak, Mitbegründer von Apple, einmal diese wichtige Entwicklung.

Das japanische Unternehmen Tokyo Tsushin Kogyo (Totsuko) erkannte schnell das Potenzial des Transistorradios und kam 1956 mit einem konkurrenzfähigen Gerät auf den Markt. Das Nachfolgeprodukt von 1957 unter dem zu Sony geänderten Firmennamen, damit die Amerikaner es aussprechen konnten, wurde als „das kleinste Transistorradio der Welt im Hemdtaschenformat" vermarktet.

Vom einzelnen Transistor zum Integrierten Schaltkreis

Die ersten elektronischen Geräte enthielten einzelne Transistoren. Bald entdeckten die Elektronik-Ingenieure, wie man mehrere Transistoren integriert, was 1958 zum ersten Integrierten Schaltkreis (Jack Kilby, Texas Instruments) führte.

Mittlerweile hat der Transistor viele Evolutionsstufen durchlaufen, bei denen die Anzahl der Transistoren pro Chip jedes Jahr exponentiell anstieg. So enthielt 1971 der Intel i4004 17.000 Transistoren/cm², also einige 1.000; 2009 der Intel Yorkfield 390 Mio.Transistoren/cm² und der AMD Phenom II 290 Mio. Transistoren/cm², also bereits einige 100 Mio. Transistoren.

In aktuellen GPU-Modellen von Nvidia (Stand 2025/2026) variiert die Zahl zwischen etwa 92 Mrd. für Gaming-Flaggschiffe und 208 Mrd. Transistoren für spezialisierte KI-Beschleuniger. Aktuelle Speicherbausteine von Samsung weisen weit über hundert Milliarden Transistoren gestapelt in mehreren Schichten auf. Ein Ende der Integration ist heute allerdings abzusehen.

Interessant ist, dass in der Anfangszeit des Transistors die Anwendungen ausblieben. Erst zwei von den Bell Labs veranstaltete Symposien zur Transistortechnik mit internationaler Beteiligung in den Jahren 1951 und 1952 leiteten die Wende und den Siegeszug des Bauelements ein. Im Zuge dessen gelangte auch der Transistor Nummer 9 nach Deutschland, mit dessen Produktion Siemens sich profilierte.

Bardeen und Brattain erhielten 1956 gemeinsam mit Shockley den Nobelpreis für Physik „für ihre Untersuchungen über Halbleiter und ihre Entdeckung des Transistoreffekts". Lilienfeld, Heil, Mataré und Welker waren in Vergessenheit geraten und wurden nicht erwähnt. *(kr)*

DIE MESSE DES OPTIMISMUS

Electronica: Vom Verriss zur Mustermesse

Aller Anfang ist schwer. In der Rubrik *Legendäre Stories* werfen wir den Blick zurück auf bemerkenswerte Begebenheiten der Branche. Eine dieser Geschichten ist der von massiven Protesten und Widerständen begleitete Start der Messe Electronica.

Die Fachmesse electronica wurde von sieben bekannten Unternehmen aus der amerikanischen Elektronikindustrie (IEA) gemeinsam mit der amerikanischen Handelskammer in Frankfurt 1964 aus der Taufe gehoben. Die Firmen waren: Honeywell, Hewlett-Packard (HP), Hughes Aircraft, Amphenol Borg, Consolidated Electrodynamics, Harshaw Chemicals und Taylor Instruments.

Die Gründerväter wollten eine Alternative zur französischen „Salon des Composants" schaffen und einen zentralen Ort für die boomende Elektronikindustrie in Westdeutschland etablieren. Sie fanden in Gerd vom Hövel einen Partner, der das Konzept einer Fachmesse verstand, und der den amerikanischen Initiatoren in München eine Heimat bot. Er riskierte dabei den offenen Konflikt mit den mächtigen deutschen Verbänden.

„Eine solche Messe ist überflüssig"

Der Konflikt manifestierte sich im massiven Widerstand insbesondere durch die etablierten Messen und Messestandorte in Hannover und Frankfurt, die ihre Pfründe bedroht sahen. Aber auch Politik, Presse und Branchenverbände wie der ZVEI legten eine zögernde, ja ablehnende und blockierende Haltung an den Tag.

So titelte die FAZ am 21. Dezember 1963 nach Bekanntwerden der Messepläne: „Electronica bedroht den Messefrieden". Auch die Elektronik-Zeitung (EZ), in den 1960er-Jahren eine wichtige deutsche Fachpublikation für Elektronik, Komponenten und industrielle Anwendungen aus dem Verlag Kohlhammer Heywood & Co., stimmte in den Tenor ein: „Eine solche Messe ist überflüssig."

Die FAZ schreibt weiter: „Seitdem die ersten Nachrichten über die Electronica Anfang Dezember bekannt wurden, hagelt es Proteste. Die Informationen haben wie eine Bombe in der Messewirtschaft und in der Elektronikindustrie eingeschlagen. Der Ausstellungs- und Messeausschuss der deutschen Wirtschaft (AUMA) hat sich eingeschaltet. Die übereinstimmende Ansicht aller dieser deutschen Stellen ist, dass die Electronica völlig überflüssig sei und die bestehende deutsche Messeordnung aufs gröblichste verletze."

Später ist von propagandistischer Übertreibung der Teilnehmerzahlen an der ersten Electronica 1964 die Rede. Vor Ort waren tatsächlich 407 Ausstellerfirmen, knapp zwei Drittel aus dem Ausland.

Dieser Grundtenor ändert sich. Die EZ schreibt am 3. Januar 1964: „Es ist nicht alles Gold, was glänzt. Und es ist auch nicht alles gut, was aus Amerika kommt. Indes, selbst eifrige Warner vor dem deutschen Amerikanismus werden zugestehen müssen: Amerikas Elektronikindustrie ist das Musterkind. Nicht nur, dass dieser gewaltige Industriezweig über eine gezielte Organisation verfügt, lässt ihn zum Leitbild werden. Nein, auch die Tatsache, dass die Elektronikindustrie in den USA allen anderen amerikanischen Wirtschaftszweigen etwas vormacht, eine Expansionsrate ohnegleichen erreichte, macht sie zu ‚dem' guten Beispiel. Ein Beispiel, an dem sich die – offiziell noch nicht existente – deutsche Elektronikindustrie ruhigen Gewissens ausrichten, orientieren darf."

1966: Die Messe des Optimismus

Die zweite Version der vielumstrittenen Fachmesse schloss 1966 ihre Pforten mit einem Ergebnis, das alle optimistischen Erwartungen sowohl der Messeleitung als auch der 800 Aussteller übertraf. So haftete ihr der Makel einer Schaumesse nicht an und die Aussteller waren über die Gespräche mit einem wirklichen Fachpublikum sehr zufrieden (anders als das in Hannover der Fall war). Gelungen war auch die Verbindung zur 2. Internationalen Tagung Mikroelektronik auf dem Messegelände. *(kr)*

Bild: Messe München / Electronica

Electronica 1964: Zu ihrer Premiere wurde die Elektronikmesse sehr skeptisch betrachtet und in der Presse besprochen. Aber das Publikum staunte.

DIGITALER START EINER LEIDENSCHAFT

1982: Die Standardisierung der Digitalisierung

Im *Kaleidoskop* zum 60. Jubiläum der ELEKTRONIKPRAXIS werfen die Redakteure einen Blick in ihr Geburtsjahr und auf bemerkenswerte Entwicklungen, die hervorgebracht wurden. Susanne Braun schaut zurück ins Jahr 1982.

Bild: frei lizenziert

Compaq Presario: Diese Reihe richtete sich ab dem Jahr 1993 an die Konsumenten daheim. Compaq veröffentlichte Desktops, Laptops und mehr für den Heimgebrauch.

Sehr geehrter Leser, halten Sie sich fest! Sie wissen nun, wie alt ich bin! Aber wussten Sie, dass in dem Jahr, in dem ich geboren wurde, das Unternehmen gegründet wurde, das später einen spürbaren Einfluss auf die Bildung einer meiner größten Leidenschaften nehmen würde?

Der Name der Firma ist Compaq, die Abkürzung von Compatibility und Quality, und schon ziemlich zügig vertrieb sie für einen Preis, der heute hanebüchen erscheint, einen Luggable; einen IBM-PC-kompatiblen tragbaren Rechner. Damals kostete der Compaq Portable über 3.500 US-Dollar. Nach heutiger Kaufkraft wären das mehr als

11.000 US-Dollar, was für ein verrückter Wahnsinn! Compaq existierte lediglich 20 Jahre lang, dann wurde das Unternehmen von Hewlett-Packard geschluckt.

Compaqt

Aber warum genau sollte mich Compaq geprägt haben; irgendein US-amerikanisches Unternehmen, zu dem eine lütte Deern in Hamburg sicherlich keinen großen Bezug hat? Zur Firma vielleicht nicht. Doch zu Hause hatten wir Anfang der 90er-Jahre oft PCs stehen. Das ist einer der Vorteile, wenn man einen ITler in der Familie hat. Für mich war es normal, dass so ein grauer Kasten zu Hause rödelte. Entsprechend hatte ich schon in recht jungen Jahren Zugriff auf einen PC und etwas später sogar einen eigenen im Zimmer stehen, mit dem ich machen konnte, was ich wollte. Wenn ich mich recht entsinne, handelte es sich um einen 286er. Möglicherweise war es auch ein 386er. Ich dachte damals übrigens, das wäre die Bezeichnung für das gesamte Gerät. Ich dachte damals auch, dass ich die Ladegeschwindigkeit mit einem gezielten Tritt gegen das Gehäuse steigern könnte. Wie jung und … wenig intelligent ich damals war.

286 ist tatsächlich der Name des Prozessors von Intel, der, wie der Zufall so will, im Jahr 1982 als Intel 80286 veröffentlicht wurde. Dieser Prozessor legte mit dem Protected Mode die Grundlage für moderne Mehrbenutzer- und Multitasking-Betriebssysteme wie Windows und Unix.

286er, 386er, TNG

Freilich war mein 90er-Jahre-Kinderzimmer-PC, auf dem der rote Schriftzug Compaq leuchtete, schon seit der vorherigen Dekade aufgrund der Veröffentlichung des Nachfolge-Prozessors (der legendäre 386er) hoffnungslos veraltet. Ich glaube übrigens nicht, dass es sich um einen Presario handelte, sondern um einen ausrangierten Office-PC. Für richtig coole Spiele war der nur eingeschränkt geeignet.

Was ich allerdings damit immer tun konnte, war schreiben. Programme, die meine auf die vergilbtgraue Tastatur gehämmerten Buchstaben aufzeichneten, gab es da ja schon lange – die erste Version von MS Word für Windows erschien schließlich schon 1989. Hach, in dem Jahr, in dem ich das erste Mal Star Trek: The Next Generation im Programm des ZDFs sah … aber ich schweife ab.

Fingerübungen

Meine Leidenschaft fürs Schreiben spross früh mithilfe einer Schreibmaschine, erblühte unter der Verwendung der 286er und 386er, und sie ist bis heute, meines Erachtens nach, noch immer weit von Perfektion entfernt. Doch hätte damals nicht ein 286er auf dem Wohnzimmertisch gestanden, hätte ich nicht Tage mit Lemmings und Shanghai (ein Mahjong-artiges Spiel unter Windows) verbracht, hätte ich nicht im Dunkeln meines Souterrainzimmers vor dem flimmernden Röhrenbildschirm gehockt und meine erste Geschichte geschrieben, dann würden Sie heute vermutlich diese Worte nicht lesen können.

Was ich zu Hause übrigens niemals stehen hatte, war ein Commodore 64, den viele Menschen meiner Generation mit nostalgischer Bewunderung ihren ersten Heim-PC nennen. Ja, auch der C64 ist in meinem Geburtsjahr erschienen und es handelte sich dabei um eine der günstigsten Optionen für den Einstieg in die Heimprogrammierung und Spieleentwicklung. Der C64 wird als Keimzelle einer ganzen Generation von Software- und Hardware-Ingenieuren bezeichnet, und das zu Recht. Schätzungen der Verkaufszahlen bewegen sich der Wikipedia zufolge zwischen 12,5 und 30 Millionen Exemplaren.

Bild: CD-RW bottom / 高橋宗史/ CC BY-SA / de.wikipedia.org

Compact Disc: Das erste optische, digitale Speichermedium, das sich auf dem Massenmarkt richtig durchgesetzt hat.

Bild: KL Intel i286 / Konstantin Lanzet / CC BY-SA / de.wikipedia.org

Der 286er: Dieser Prozessor erblickte im selben Jahr wie ich das Licht der Welt.

Ohren voller Musik

Puh! Doch das ist vermutlich nur ein kleiner Silberstreif am Horizont im Vergleich zu den Verkaufszahlen eines weiteren Produkts, das seinen Markteintritt im Jahr 1982 feierte. Und weil ich in diesem Text viel über digitale Meilensteine und Erinnerungen schreibe, darf ich nicht vergessen, noch den ersten erfolgreichen digitalen optischen Datenträger zu erwähnen: die CD. Philips und Sony wollten der Schallplatte mit der Compact Disc den Kampf ansagen. Hat geklappt, würde ich sagen. Die ersten zwei CDs, die ich mir gekauft habe, sind auch heute noch zwei meiner Lieblingsalben und stehen in meinem Schrank. Daneben ist ein Plätzchen reserviert. Für den ersten Roman, den ich irgendwann mal drucken lasse. *(sb)*

DIE PHYSIK VON DAMALS

Feldeffekttransistoren in Leistungsverstärkern

60 Jahre Elektronikpraxis hinterlassen Spuren. Unser Archiv zeigt: Vieles kommt uns bekannt vor. Technologien erleben ein Comeback, Krisen folgen alten Mustern, und bewährtes Fachwissen bleibt relevant. In der Rubrik *Damals wie heute* schauen wir uns diese Parallelen an.

Im Jahr 1968 galten Feldeffekttransistoren bereits als besonders geeignet für Anwendungen mit geringer Ansteuerleistung. Doch ein entscheidender Nachteil bremste ihren Einsatz aus. Wirtschaftlich verfügbare Leistungs-FETs konnten nur Ströme im Bereich weniger hundert Milliampere führen. Ein Fachartikel aus dem Applikationslabor von Texas Instruments zeigte damals, wie sich diese Grenze mit cleveren Schaltungskombinationen umgehen ließ.

Mehr Leistung durch angepasste Schaltungstechnik

Die damaligen Einschränkungen zwangen Entwickler zu einem deutlich bewussteren Umgang mit den Bauelementen. Da die Stromtragfähigkeit begrenzt war, entschied nicht das Bauteil allein über die Leistungsfähigkeit der Schaltung, sondern vor allem dessen Beschaltung. Das Verständnis für Kennlinien, Arbeitspunkte und das Zusammenspiel mehrerer Transistoren war Voraussetzung für funktionierende Lösungen.

Auch wenn sich Bauelemente und Grenzwerte seitdem deutlich weiterentwickelt haben, ist die zugrunde liegende Schaltung unverändert geblieben.

Wo heute integrierte Leistungs-MOSFETs oder Treiber-ICs zum Einsatz kommen, wurde damals durch die Kombination diskreter Bauelemente ein vergleichbares Verhalten erreicht.

Die Lösung, die direkt aus dem Labor stammte

Im Applikationslabor von Texas Instruments löste man dieses Problem, indem man vorhandene Feldeffekttransistoren gezielt mit Leistungstransistoren kombinierte. Die so entstehende Schaltung verhielt sich funktional wie ein Leistungs-FET, obwohl kein entsprechendes Bauelement verfügbar war. Bild 1 zeigt diese Kombination aus

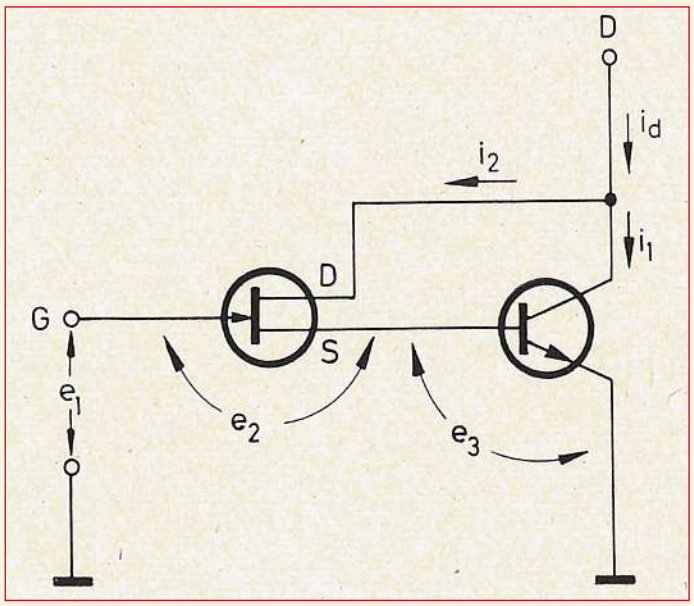


Bild: Texas Instruments

Bild 1: Die Kombination eines n-Kanal-FET mit einem npn-Leistungstransistor verhält sich wie ein zusammengesetzter n-Kanak-Leistungs-FET.

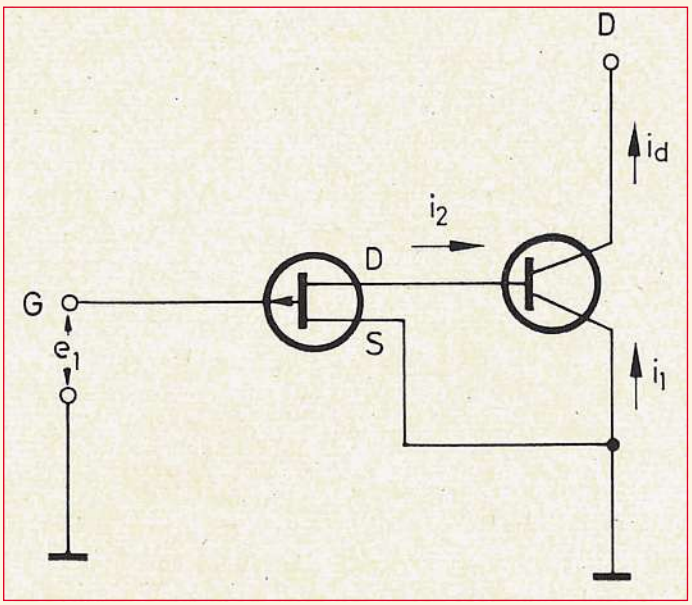


Bild: Texas Instruments

Bild 2: Auch mit einem p-Kanal-FET lässt sich eine Kombinationsschaltung analog zu Bild 1 aufbauen.

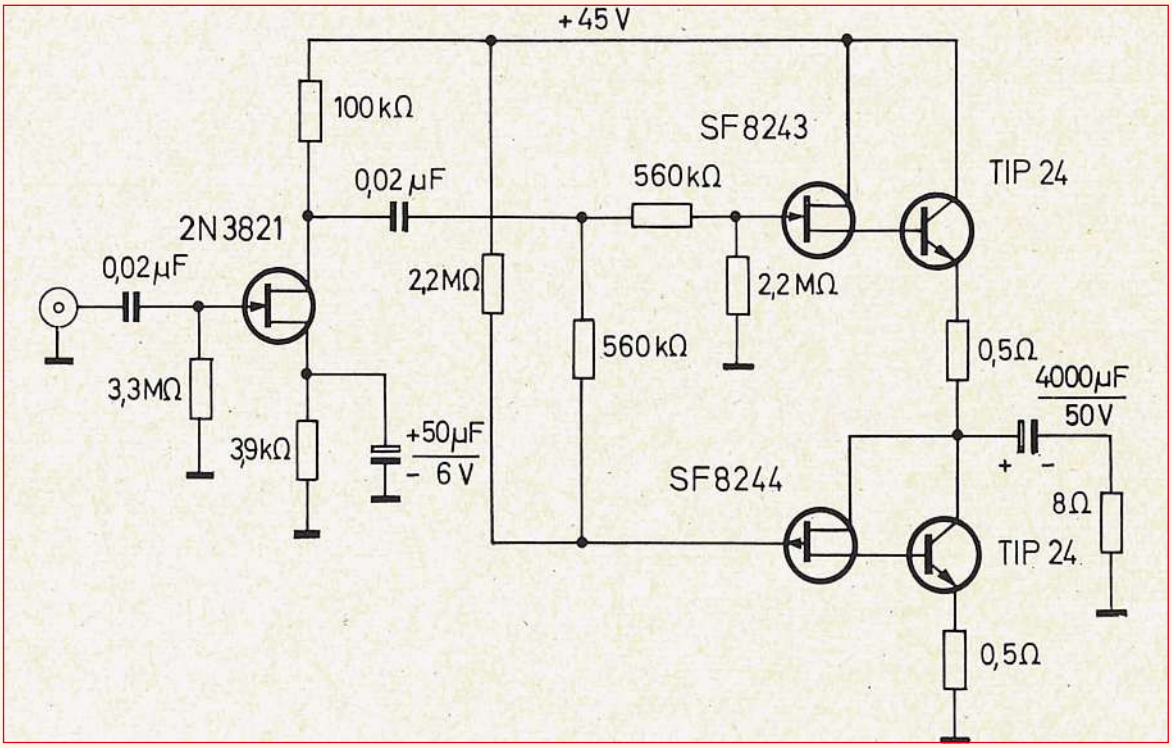


Bild: Texas Instruments

Bild 3: Pratisch aufgebauter NF-Leistungsverstärker für B-Betrieb mit Feldeffekttransistoren.

n-Kanal-FET und npn-Leistungstransistor. Der Feldeffekttransistor übernimmt dabei die Steuerfunktion und liefert den erforderlichen Basisstrom für den Leistungstransistor, der den eigentlichen Laststrom führt. Entscheidend ist das Zusammenspiel beider Halbleiter: Durch die gewählte Beschaltung entsteht eine Verstärkerstufe, welche von der Gesamtschaltung bestimmt werden.

Der Artikel vertiefte diesen Ansatz durch eine Kleinsignalbetrachtung. Ausgehend von der Aufteilung der Eingangsspannung auf FET und Leistungstransistor wird hergeleitet, wie sich der resultierende Drainstrom der Kombination zusammensetzt. Unter der Annahme, dass der Ableitungswiderstand des Leistungstransistors groß ist und die Stromverstärkung h_{fe} deutlich größer als eins, vereinfacht sich der Ausdruck für die resultierende Steilheit der Schaltung erheblich.

Die Kombination verhält sich dann wie ein zusammengesetzter Leistungs-FET mit einer effektiven Steilheit $G_m \approx h_{fe} \cdot g_m$

Damit zeigt sich exemplarisch, wie durch gezielte Schaltungstechnik aus zwei vergleichsweise einfachen Halbleitern ein neues, leistungsfähigeres Bauelement entsteht.

In analoger Weise lässt sich dieser Ansatz auch mit p-Kanal-Feldeffekttransistoren umsetzen, wie in Bild 2 dargestellt. Die Herleitung führt in diesem Fall zum gleichen Ergebnis, sodass die Ausdrücke für die Steilheit der zusammengesetzten n- und p-Kanal-Leistungs-FETs identisch sind.

Wenn theoretische Ansatz auf die Praxis trifft

Um den theoretischen Ansatz zu verifizieren, wurde im Applikationslabor ein NF-Leistungsverstärker für B-Betrieb aufgebaut, wie er in Bild 3 dargestellt ist. Die Schaltung zeigt exemplarisch, wie sich die zuvor hergeleitete Kombination aus Feldeffekttransistoren und Leistungstransistoren in einer praxisnahen Anwendung umsetzen lässt.

Die Ansteuerung der Endstufe übernehmen die beiden Feldeffekttransistoren SF 8243 und SF 8244. Ihre Aufgabe besteht darin, den für die TIP-24-Leistungstransistoren erforderlichen Basisstrom bereitzustellen, ohne die vorgelagerte Stufe nennenswert zu belasten. Aufgrund der gewählten Arbeitspunkte genügt ein Basisstrom von etwa 1 mA, um die Endtransistoren sicher auszusteuern.

Da die wirksamen Gate-Source-Spannungen der beiden Feldeffekttransistoren in Reihe liegen, ergibt sich eine erforderliche Gatespannung von rund 9 V. Diese wird über einen symmetrischen Spannungsteiler erzeugt, der zugleich eine stabile Vorspannung sicherstellt. Die Ansteuerung erfolgt in der Mitte dieses Teilers, wodurch sich eine definierte und temperaturstabile Arbeitspunktlage ergibt.

Die erreichbare Ausgangsleistung der Schaltung wird maßgeblich durch die Durchbruchspannung der eingesetzten Feldeffekttransistoren begrenzt. Im gezeigten Aufbau lag diese bei etwa 45 V, was eine maximale Ausgangsleistung von rund 5 W an 8 Ω erlaubte. Der Artikel weist darauf hin, dass mit höher spannungsfesten Feldeffekttransistoren entsprechend größere Ausgangsleistungen möglich wären.

Auffällig ist, dass die benötigte Versorgungsspannung im Vergleich zu rein bipolaren Leistungsverstärkern etwas höher ausfällt. Ursache hierfür ist der Spannungsverlust der FET-Ausgangsstufe, der zwischen Eingang und Ausgang etwa 4 bis 5 dB beträgt. Um diesen Verlust zu kompensieren, ist eine höhere Versorgungsspannung für die Treiberstufe erforderlich. Alternativ kann – bei getrennter Versorgung – die Spannung der Endstufe entsprechend reduziert werden.

Der Frequenzgang des Verstärkers (Bild 4) zeigt ein weitgehend lineares Verhalten über den relevanten NF-Bereich. Auch die in Bild 5 dargestellten Messungen der harmonischen Verzerrungen belegen, dass sich der kom-

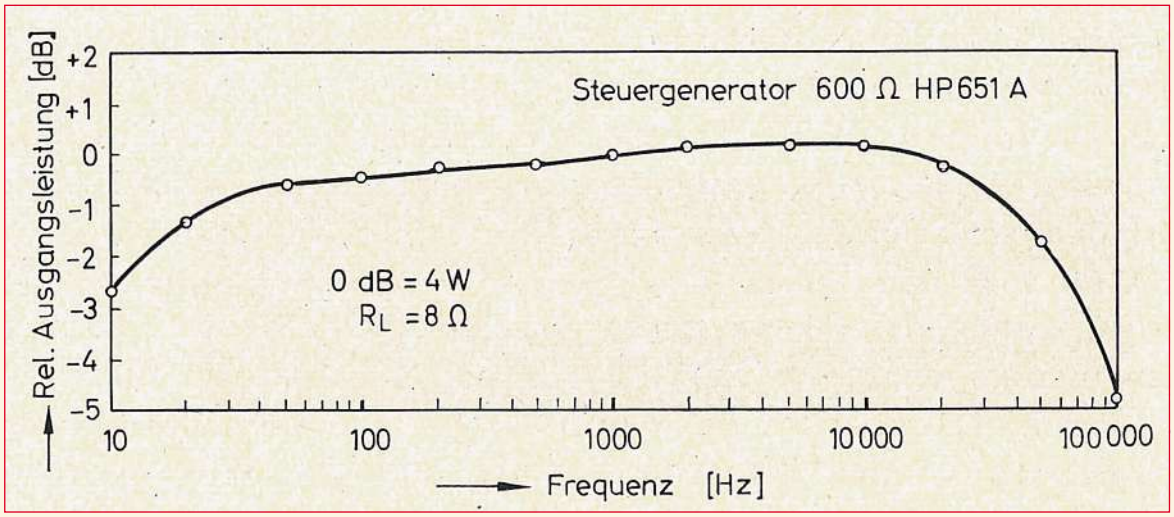


Bild: Texas Instruments

Bild 4: Frequenzgang des Leistungsverstärkers von Bild 3.

binierte Einsatz von Feldeffekttransistoren und Leistungstransistoren nicht nur theoretisch, sondern auch praktisch bewährt.

Einordnung der Messergebnisse aus dem Jahr 1968

Die im Artikel aufgeführten Messdaten zeigen, dass der kombinierte Ansatz nicht nur theoretisch funktioniert, sondern auch in der praktischen Umsetzung überzeugende Ergebnisse liefert. Mit einer 3-dB-Bandbreite von 10 Hz bis 60 kHz deckt der Verstärker den relevanten NF-Bereich vollständig ab. Die erzielbaren Verzerrungswerte liegen – abhängig von Ausgangsleistung und Frequenz – im für die damalige Zeit typischen Rahmen.

Bemerkenswert ist, dass diese Ergebnisse ohne umfangreiche Gegenkopplung erzielt wurden. Die harmonischen Verzerrungen betragen bei 1 W Ausgangsleistung rund 1 % und steigen bei 5 W auf etwa 5 %. Damit zeigt sich, dass ein erheblicher Teil der Linearität bereits durch die Wahl der Schaltungstopologie und der Arbeitspunkte bestimmt wird – nicht allein durch nachträgliche Korrekturmaßnahmen.

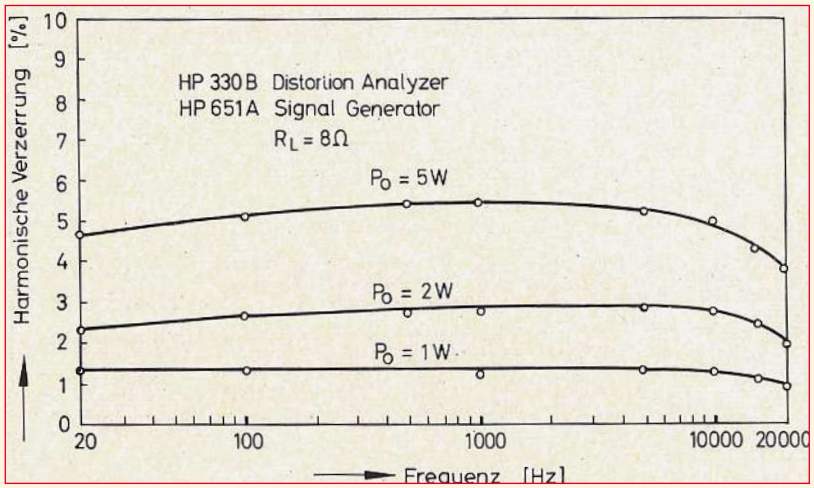


Bild: Texas Instruments

Bild 5: THD in Abhängigkeit von Ausgangsleistung und Frequenz des Verstärkers von Bild 3.

Auch die übrigen Kenndaten unterstreichen den praxisnahen Charakter des Aufbaus. Eine Eingangsempfindlichkeit von 120 mV bei einem Eingangswiderstand von 3 MΩ ermöglicht die direkte Ansteuerung aus hochohmigen Signalquellen, während der Ruhestrom von etwa 100 mA einen stabilen Betrieb sicherstellt. Die verwendeten Koppelkondensatoren von 20 nF zeigen zudem, dass sich der Schaltungsaufwand im Vergleich zu rein bipolaren Lösungen in Grenzen hält.

Der hier vorgestellte Verstärker ist damit weniger als fertiges Produkt zu verstehen, sondern als Demonstration eines Denkansatzes. Der Artikel macht deutlich, wie sich durch gezielte Kombination vorhandener Bauelemente neue funktionale Eigenschaften erschließen lassen. Eine Herangehensweise, die unabhängig von konkreten Bauteilgenerationen Bestand hat.

Die Brücke in die moderne Zeit – zwischen Experiment und technischem Durchbruch

Was 1968 aus der Not geboren wurde – die Kombination von FETs mit Bipolartransistoren wegen fehlender Leistungs-FETs – hat sich grundlegend gewandelt. Heute sind Leistungs-MOSFETs die erste Wahl in vielen Verstärkeranwendungen, besonders in der Schalttechnik und in Class-D-Verstärkern.

Die damaligen Nachteile haben sich in Vorteile verkehrt. Die geringe Ansteuerleistung, die 1968 bereits geschätzt wurde, ermöglicht heute extrem effiziente Schaltverstärker. Die kapazitive Ansteuerung des Gates – damals noch problematisch wegen begrenzter Stromtragfähigkeit – erlaubt heute MHz-Schaltfrequenzen ohne die Speichereffekte bipolarer Transistoren. Das lineare Übertragungsverhalten, das im gezeigten Verstärker bereits 1 % Klirrfaktor ohne aufwändige Gegenkopplung ermöglichte, macht moderne MOSFETs zu idealen Kandidaten für High-End-Audioverstärker.

Der Denkansatz jedoch bleibt: Auch heute entstehen leistungsfähige Schaltungen nicht aus einzelnen „Wunderbauteilen“, sondern aus dem durchdachten Zusammenspiel der Komponenten. Die Feldeffekttransistoren von 1968 brauchten Bipolartransistoren als Partner – moderne Gate-Treiber-ICs folgen demselben Prinzip, nur hochintegriert. Das grundlegende Schaltungsdenken, das der Artikel vermittelt, ist aktueller denn je. *(mr)*

Unsere Partner

Bürklin bringt's

DATA MODUL

TELEDYNE | LECROY

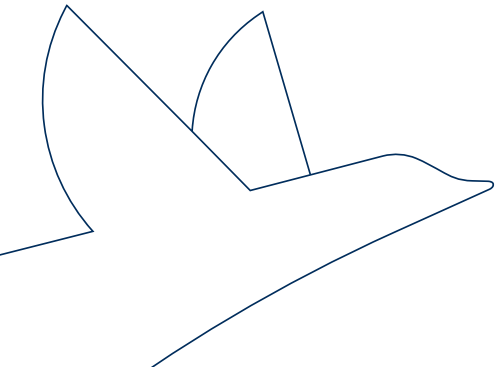
TQ

Zukunft braucht Herkunft

60 Jahre Geschichte der Pioniere der Elektronik

Spannende Geschichten zu Innovationen in der Elektronik
und ihren Pionieren aus 60 Jahren.
Werfen Sie schon jetzt mit uns einen Blick zurück:

wwww.elektronikpraxis.de

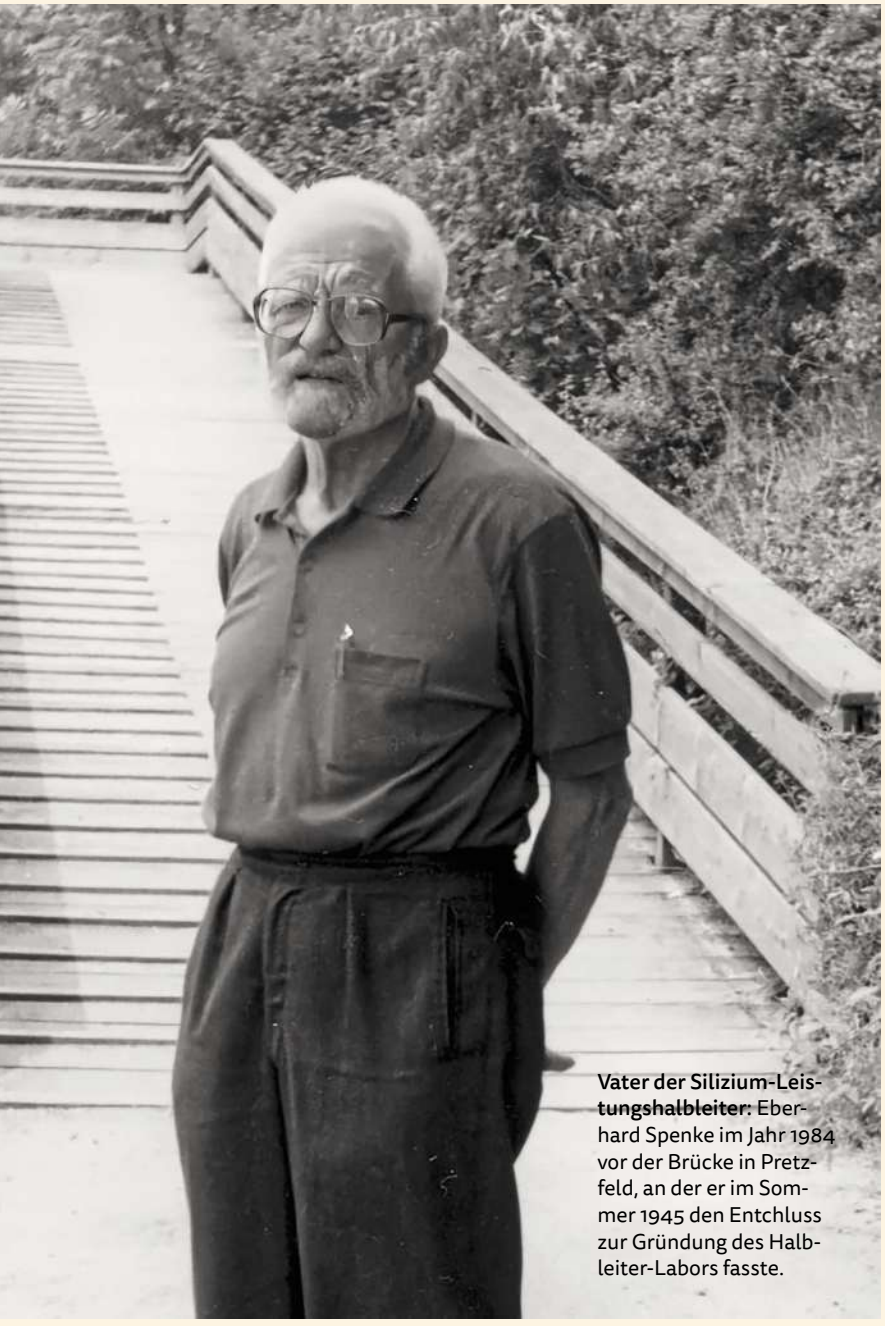


ELEKTRONIK PRAXIS ist eine Marke der VOGEL COMMUNICATIONS GROUP

VOM REINSTSILIZIUM ZUM LEISTUNGSHALBLEITER

Eberhard Spenke: Der Vater der Silizium-Leistungshalbleiter

Neben der Erfindung des Transistors war die Herstellung und Entwicklung von Silizium-Leistungshalbleitern prägend für die aufkommende Elektronikindustrie gewesen. In der Rubrik *Pioniere der Elektronik* werfen wir einen Blick auf Eberhard Spenke.



Vater der Silizium-Leistungshalbleiter: Eberhard Spenke im Jahr 1984 vor der Brücke in Pretzfeld, an der er im Sommer 1945 den Entchluss zur Gründung des Halbleiter-Labors fasste.

Bild: Infineon-Archiv

Eberhard Spenke gilt als der Vater der Silizium-Leistungshalbleiter. Unter seiner Leitung entstanden im Labor der Siemens-Schuckert-Werke im fränkischen Pretzfeld bahnbrechende Erfindungen, zu denen auch das Siemens-Verfahren zählt. Mit dem Siemens-Verfahren wurde es möglich, Reinstsilizium herzustellen, das die Basis für neue Leistungshalbleiter wie Silizium-Gleichrichterdioden, Silizium-Transistoren und Silizium-Thyristoren bildete.

Welchem Halbleiterwerkstoff gehört die Zukunft?

Das war Anfang der 1950er-Jahre eine entscheidende Frage. Hier wurden Bleiglanz, Selen und – bedingt durch die Erfindung des Transistors – Germanium diskutiert. Germanium schien um 1950 der Werkstoff der Zukunft für die Halbleitertechnik zu sein.

So wurden im Herbst 1952 auch in Pretzfeld erste Versuche mit dem Halbleiter Germanium durchgeführt. Dafür entwickelte Dr. Reimer Emeis ein tiegelfreies Ziehverfahren und Dr. Hubert Patalong stellte daraus die ersten legierten Leistungsgleichrichter her. Schon damals erkannten die Pretzfelder unter der Leitung von Spenke, dass Silizium wegen des größeren Bandabstands wesentlich besser für die Leistungselektronik geeignet ist und forschten auf diesem Gebiet.

Vom einkristallinen Silizium zum Reinstsilizium

Im Herbst 1953 gelang es Emeis, den ersten Silizium-Einkristall zu ziehen, was aufgrund der höheren Schmelztemperatur von Silizium (im Vergleich zu Germanium) damals eine Herausforderung war. Allerdings gab es noch kein Verfahren, um einkristallines Silizium in ausreichender Reinheit herzustellen. Aufbauend auf dem von F. Bischoff (Siemens Werkstoffhauptlaboratorium, WHL) entwickelten C-Verfahren ersann Emeis in Pretzfeld eine Praktik, die später unter dem Namen Siemens-Verfahren bekannt wurde. Dabei wird polykristallines Silizium aus der Gasphase an einen durch Stromfluss erhitzten dünnen Silizium-Stab abgeschieden.

Emeis reinigte den Silizium-Stab in einem tiegelfreien Ziehverfahren, bei dem der senkrecht angeordnete Silizium-Stab mit einer HF-Spule in einer schmalen Zone auf-

Bild: Infineon-Archiv

Bild 1: In Schloss Pretzfeld befand sich das Halbleiter-Labor der Siemens-Schuckert-Werke, das von Eberhard Spenke geleitet wurde.

geschmolzen wird. Durch gleichmäßiges Verfahren der Spule bewegt sich die aufgeschmolzene Zone entlang des Stabes. Verunreinigungen, die sich in der Schmelze sammeln, werden so zum Stabende transportiert.

Schließlich wird in einem weiteren tiegelfreien Ziehvorgang mithilfe eines einkristallinen Impfkristalls der gereinigte polykristalline Stab in einkristallines Silizium umgewandelt, das für die Herstellung von Halbleitern geeignet ist.

Das tiegelfreie Zonenschmelzverfahren wurde etwa gleichzeitig bei Siemens (Karl Siebertz, Heinz Henker, Reimer Emeis) und der Süddeutschen Apparate-Fabrik (Siegfried Müller) sowie bei Western Electric (Henry C. Theuerer) und der US-Army (P.H. Heck, M.J.E. Golay) entwickelt.

Das Siemens-Verfahren zur Herstellung von Reinstsilizium

Die Besonderheit des Siemens-Verfahrens bestand in der Kombination des senkrechten, tiegelfreien Zonenziehens mit der Silizium-Abscheidung aus der Gasphase nach dem C-Verfahren. Das Verfahren wurde durch eine Methode zum Ziehen von dünnen Silizium-Stäben mit einem Durchmesser von etwa 5 mm vervollständigt. Im Jahr 1955 konnte man in Pretzfeld Silizium-Stäbe mit einem Durchmesser von 12 mm, 1961 mit 25 mm und 1964 mit 33 mm herstellen.

Das Siemens-Verfahren wurde von Laborleiter Spenke 1956 auf einer Halbleitertagung in Garmisch der internationalen Fachwelt vorgestellt und in den folgenden Jahren von den Siemens-Schuckert-Werken weltweit lizenziert (an Merck, Dow Corning, Monsanto, Shin-Etsu, Wacker Chemie, Montecatini, Lonza). Im Jahr 1957 wurde die Serienfertigung von vollautomatischen Zonenziehanlagen aufgenommen. Die Zonenziehanlage VZA 2 ist in Bild 2 zu sehen.

Die Verlustleistung im Leistungsgleichrichter

Das mit dem Siemens-Verfahren hergestellte hochreine Silizium verwendeten die Preztfelder um Spenke zuerst für die Herstellung von Leistungsgleichrichtern (Dioden). Ziel war es, sowohl einen möglichst hohen Durchlassstrom als auch eine große Sperrspannung zu erreichen. 1956 präsentierte Spenke auf der Halbleitertagung in Gar-

RELAIS TECHNIK ANWENDERFORUM

29.–30. September 2026
Vogel Convention Center
Würzburg

Aktuelle Trends und Entwicklungen rund um den Technologietreiber Relais

CALL FOR PAPERS

14836

Jetzt Vortrag einreichen!

Wir diskutieren über das Relais als Technologietreiber in seinen vielfältigen Anwendungsmöglichkeiten.

www.relaisforum.de/callforpapers

Eine Veranstaltung von ELEKTRONIK PRAXIS – einer Marke der VOGEL COMMUNICATIONS GROUP

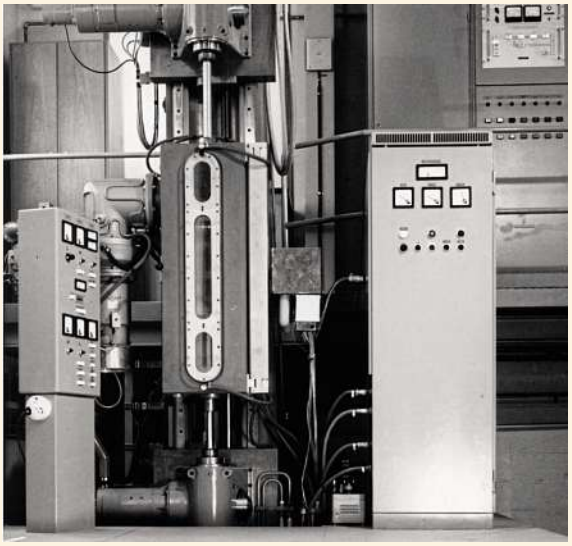


Bild: Infineon-Archiv

Bild 2: In Pretzfeld wurde das Verfahren und die Anlagentechnik zur Herstellung von Reinstsilizium entwickelt. Im Bild zu sehen ist die Zonenziehanlage VZA 2.

Bild: Infineon-Archiv

Bild 4: Der MUb20 war der erste Leistungstransistor von Siemens (Uc=250 V, Ic=10 A). Er wurde 1962 auf der Hannover Messe der Öffentlichkeit präsentiert.

misch Silizium-Gleichrichter mit einer Sperrspannung von 1000 V und einem Durchlassstrom von 200 A. Die höheren Ströme erreichte man über die Vergrößerung des Durchmessers des Silizium-Stabes und der daraus hergestellten sogenannten Diodentabletten.

Allerdings wurde die entstehenden Verlustleistung und deren Ableitung schnell zu einem schwerwiegenden Problem. Die beim Betrieb der Gleichrichter auftretenden Temperaturschwankungen führten zudem dazu, dass die weichgelötete Verbindung zwischen der Diodentablette und dem Diodengehäuse zermürbte, was zum Ausfall der Bauelemente führte. Über zwei Jahre andauernde Versuche, das Problem mit hartgelöteten Verbindungen zu lösen, blieben erfolglos.

Kontaktierung von Leistungsbauelementen: Der Druckkontakt

Spenke beauftragte daher Emeis mit der Suche nach einer grundsätzlich neuen Lösung. Der schlug vor, einen Druckkontakt zu verwenden. Dies stieß zunächst auf große Skepsis, da sich der Druckkontakt schon früher bei den Selen-Gleichrichtern nicht bewährt hatte. Allerdings zeigten schon die ersten Versuche nach dem Konzept von Emeis sehr gute Ergebnisse – die Gleichrichter erwiesen sich als temperaturwechselfest, selbst nach 100.000 Temperaturwechseln wurde keine Änderung der elektrischen Eigenschaften festgestellt.

Der Druckkontakt wurde nachfolgend auch bei den Thyristoren erfolgreich angewendet und schließlich von der amerikanischen Firma Westinghouse übernommen. Das Verfahren wurde bald zum Quasi-Standard für die Kontaktierung von Leistungsbauelementen.

Bild: Infinion-Archiv

Bild 3: Dieser Transistor in Scheibenform (2.000 V, 700 A) wurde von Siemens erstmals 1965 auf der Hannover Messe gezeigt. Auch hier wurde der Druckkontakt verwendet.

MUb20: Der Silizium-Leistungstransistor und die Spikes

Es war naheliegend, das neue Halbleitermaterial Silizium nicht nur für Leistungsgleichrichter, sondern auch für die Herstellung von Transistoren zu verwenden. 1955 wurde ein erster Silizium-Transistor im Labor realisiert. Emeis übernahm im Sommer 1955 die Aufgabe, einen legierten Silizium-Leistungstransistor zu entwickeln. Als problematisch erwies sich das Auftreten sogenannter Warzen (später „Spikes" genannt), die zu Kurzschlüssen im Transistor führten.

Nach langen, systematischen Versuchsreihen gelang es Herlet, Patalong und Schink ein „warzenfreies" Legierungsverfahren zu entwickeln. Verschiedene Transistorkonfigurationen und Transistorgehäuse wurden erprobt. Im Sommer 1957 wurde das neue Bauelement, das den Namen MUb20 erhielt, zur Fertigungsvorbereitung nach Berlin überführt. Allerdings lief die Serienproduktion nicht an, da die dortigen Kapazitäten mit der Produktion und Entwicklung von Gleichrichtern ausgelastet waren.

Westinghouse übernahm die Idee und produzierte diesen Transistor ab 1958. Ab 1962 wurde der MUb20 dann auch im Apparatewerk München hergestellt. 1965 wurden 300 Stück im Monat ausgeliefert. Auch in den folgenden Jahren wurde dieser Transistor (unter der neuen Bezeichnung BUZ 26/27/28) gefertigt, wenngleich er nicht den kommerziellen Erfolg der Silizium-Gleichrichter und Silizium-Thyristoren aus Pretzfeld erreichte.

Nach Unterlagen aus dem Historischen Archiv von Infineon / Jörg Berkner.

Präsentiert von
ELEKTRONIK PRAXIS

Steckverbinder Know-how für Entwickler und Anwender

SEMINAR

Referent: Herbert Endres

Steckverbinder, das Rückgrat der Elektronik

Dauer: 2 Tage
Preis: 1.290 EUR (zzgl. MwSt.)

Lernen Sie im Online-Seminar die ganze Bandbreite der Steckverbinderproblematik kennen – von der Auswahl der Basismaterialien über die Kontaktoberflächen bis zu den unterschiedlichen Einsatzfällen. Ein Muss für alle Steckverbinderanwender, um die verfügbaren Produkte analysieren und abwägen zu können.

- Gesamtüberblick zum Thema Steckverbinder
- Physikalische Grundlagen und Werkstoffe
- Auswahlsicherheit in Bezug auf Bauformen, Anschlussarten und Weiterverarbeitung

BUCH

Herbert Endres (Hrsg.)

Praxishandbuch Steckverbinder

3. Auflage 2024, 528 Seiten
ISBN: 978-3-8343-3537-1
89,80 EUR

Das Praxishandbuch Steckverbinder ist ein Nachschlagewerk für die Geräteentwicklung und den Einsatz von Steckverbindern. Neben einer Übersicht zu den technischen Grundlagen vertieft es in 23 Expertenbeiträgen spezielle Themen elektrischer Steckverbinder.

- Technische Grundlagen
- Steckverbinderauswahl
- Weiterverarbeitung im Fertigungsprozess
- Steckverbinder in der Leistungselektronik
- 23 Expertenbeiträge
- Deutsch-Englisch-Fachglossar

14729

Jetzt bestellen!

Weitere Informationen und versandkostenfreie Lieferung unter
www.vogel-professional-education.de/stecker

Ein Angebot von VOGEL PROFESSIONAL EDUCATION

NEUE PROJEKTE FÜR ALTE TECHNIK

Warum rennen wir immer wieder gegen dieselbe Wand?

Northvolt zieht sich zurück, Projekte werden eingefroren. Varta kämpft ums Überleben. Andere Zellfabriken sind gescheitert, bevor sie überhaupt nennenswert produziert haben. Die Ursachen sind bekannt: hohe Energiekosten, fehlende Skalierung, massive asiatische Konkurrenz, Jahrzehnte an Rückstand. Nichts davon ist neu. Trotzdem wird weiter investiert, als ließe sich ein strukturelles Problem mit noch mehr Geld lösen.

Europa versucht, ein industrielles Modell zu kopieren, das unter völlig anderen Bedingungen entstanden ist. In Asien treffen staatliche Industriepolitik, günstige Energie, kontrollierte Rohstoffketten und extreme Skaleneffekte aufeinander. Europa bringt davon kaum etwas mit, außer Förderprogrammen und Hoffnung.

„Jedes Projekt wird zum ‚Neuanfang', jede gescheiterte Fabrik zum Einzelfall."

Michael Richter, ELEKTRONIKPRAXIS

Bild: Nicolas Gradicsky

Natürlich lässt sich argumentieren, es gehe nicht um Gewinn, sondern um Know-how, Resilienz und strategische Absicherung. Doch diese Argumentation wird unglaubwürdig, wenn parallel immer wieder die Illusion genährt wird, man könne in absehbarer Zeit wettbewerbsfähige Massenproduktion aufbauen. Das ist kein Realismus, das ist Wunschdenken.

Die eigentliche Frage lautet daher nicht: Braucht Europa Batterietechnologie? Sondern: Warum klammert man sich ausgerechnet an die Zellfertigung als Symbol, obwohl sie der teuerste und riskanteste Teil der Wertschöpfung ist? Europa ist stark im Maschinenbau, in Prozessqualität, in Automatisierung, in Spezialchemie, im Recycling, in Normierung und Systemintegration. Genau dort lägen realistische Hebel. Stattdessen wird immer wieder versucht, den Endpunkt der Kette zu besetzen. Dort, wo der Preisdruck am höchsten und der Spielraum am geringsten ist. So auch in Münster. Dort weihte Dorothee Bär den ersten Bauabschnitt der Forschungsfabrik „FFB PreFab" ein. Dort wurde eine „durchgängige Prozesskette mit ausschließlich europäischer Anlagentechnik umgesetzt". Natürlich klingt das gut. Doch wenn der Strom für die Produktion nicht günstig ist und die Rohstoffe weiterhin aus China kommen, dann ist es fraglich, ob es jemals eine europäische Fabrik geben wird, die dem Preiskampf standhält.

Ein weiterer Punkt wird dabei oft ausgeblendet. Der systematische Preisverfall durch staatliche Subventionen in China. Dort wird Batteriezellfertigung nicht primär als betriebswirtschaftliches Projekt verstanden, sondern als industriepolitisches Instrument.

Das eigentliche Paradoxon

Paradoxerweise führt diese Erkenntnis zurück zum Ausgangspunkt. Ja, Europa braucht im Prinzip eigene Batterietechnologie und Produktionskompetenz. Aber nicht unter den aktuellen Bedingungen. Nicht mit Energiepreisen, die international nicht konkurrenzfähig sind. Nicht mit regulatorischen Hürden, die industrielle Skalierung bremsen. Und vor allem nicht mit einer Technologie, die womöglich bereits ihren Zenit überschritten hat.

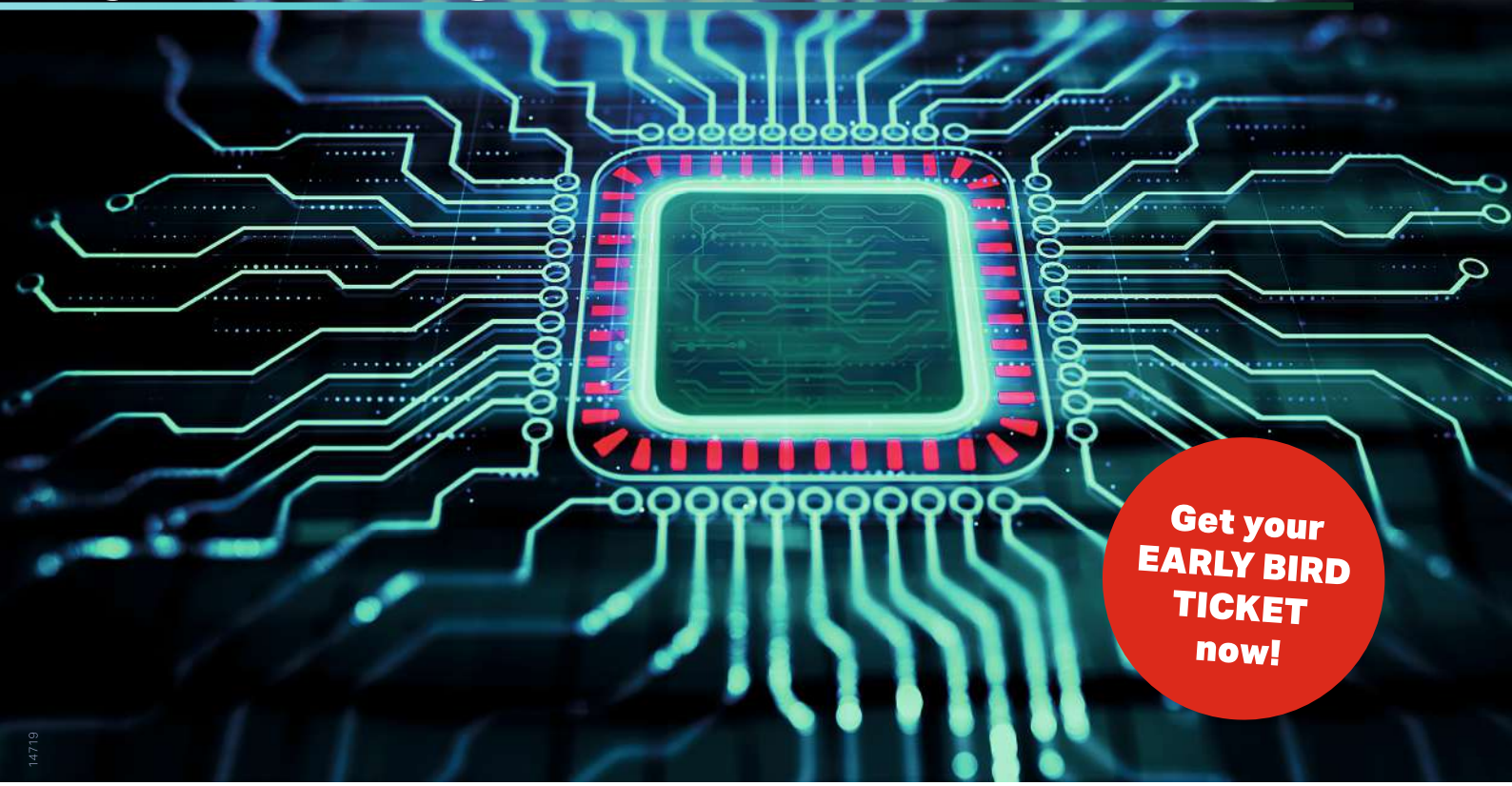
Denn während Europa versucht, Lithium-Ionen-Zellfertigung aufzuholen, gehen andernorts bereits erste Feststoffbatterien in die Serienproduktion. Wer heute Milliarden in klassische Zelltechnologie investiert, riskiert, morgen eine hochsubventionierte Infrastruktur für ein Übergangsprodukt zu betreiben.

Das Problem ist also nicht der Wille zur technologischen Souveränität, sondern der fehlende Mut zur strategischen Ehrlichkeit. Vielleicht wäre es an der Zeit, nicht nur zu fragen, ob wir Batterien selbst bauen wollen, sondern welche Rolle Europa in der nächsten Batteriegeneration überhaupt realistisch spielen kann. *(mr)*

FPGA Conference EUROPE

30 June – 2 July 2026 | Munich

Guidance to Accelerate your Programmable Solution



Get your EARLY BIRD TICKET now!

14719

Get access to know-how of leading FPGA experts

The FPGA Conference Europe is Europe's leading specialist conference for programmable logic devices and addresses the latest developments in the field of FPGA technology across all manufacturers. The focus is on user-oriented solutions, that can be quickly integrated into the developer's everyday work.

www.fpga-conference.eu

An event by brands and partners of VOGEL COMMUNICATIONS GROUP

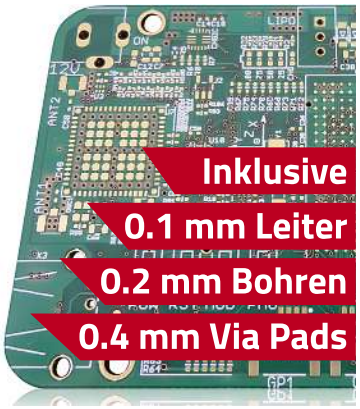
ELEKTRONIK PRAXIS PLC2

HIGHTECH zu LOWCOST

Leiterplatten-Preissenkung bis -48,2%

z.B. 1 Stück 80mm x 100mm:

HAL bleifrei	HAL bleifrei	chem. Gold
2 Lagen	4 Lagen	4 Lagen
€ 14,80 8AT	€ 25,80 9AT	€ 39,80 9AT
ab 1AT EXPRESS	ab 2AT EXPRESS	ab 2AT EXPRESS
€ 17,61*	€ 30,70*	€ 47,36*



Hightech immer inklusive:

FR4 1.55mm 35µm Cu außen, End-Oberfläche, 2x Lötstopp grün, 1x Positionsdruck weiß, E-Test, Design Rule Check, Fräsen innen/außen, DK-Schlitze, Tooling, Multilayer zusätzlich mit: FR4 Tg150, definierten Hightech-Lagenaufbauten, A.O.I. & X-Ray

*Bruttopreis: Spar-Service inklusive 19% MwSt. zzgl. Versandkosten ab €6,95 netto (€8,03 brutto).

Für Prototypen und Serien:

z.B. 2 Lagen, 80mm x 100mm im SPAR-Service

HAL bleifrei

ab 4AT Standard | ab 1AT Express

INFORMATIVER NEWSLETTER, CA. 8X JAHR

- Technische Neuheiten zu Leiterplatten und SMD-Schablonen
- Dauerhafte Preisverbesserungen und -beispiele
- Wichtige Updates für Layouter, Entwickler, Einkäufer
- Überschaubare Veröffentlichung, typisch 8 x im Jahr
- Hoher Treuefaktor, dank informativem Inhalt

Scannen & anmelden!

multi-cb

1-48 Lagen | ab 1AT | 30 Jahre

- Umfassendes, günstiges Pooling-Angebot
- Zahlreiche Sondertechnologien
- Intuitiver Online-Kalkulator (24/7)
- Auch per E-Mail & Fax bestellbar
- Kostenlose Nutzenmontage

- HDI-Boards & Ultra-Feinstleiter
- Filmlose Laser Direktbelichtung (LDI)
- Impedanzkontrolle, ab 4AT
- Hochfrequenz-Technik
- Blind & Buried Vias
- Microvias, auch gelasert
- Via Filling / Via in Pad metallisiert
- Stacked & Staggered Vias
- Kantenmetallisierung & Halfholes

- Kundenspezifischer Lagenaufbau
- Dünnlaminate für kleinen Lagenabstand
- Leiterplattendicke bis 7mm
- Backplanes, Backdrill
- Dickkupfer bis 560µm

- UL zertifiziert (E198312)
- IPC-A-600 Klasse 2 / 3

Oberflächen:
- HAL bleifrei ▪ chem. Gold (ENIG)
- Goldkontakte (Stecker)
- chem. Zinn
- chem. Silber ▪ HAL verbleit
- chem. Nickel-Palladium-Gold (ENEPIG / Bondgold)

Sondermaterial z.B.:
- Rogers ▪ Megtron6 ▪ Flex & Starrflex
- Hybridaufbau Rogers 4350B / FR4
- Alukern (2 - 7 W/mK)

SMD-Schablonen:
- für alle gängigen Schnellspannsysteme
- Edelstahl und Fine grain Material
- Stufenschablone (step up/down)
- Nanobeschichtung, Elektropolieren

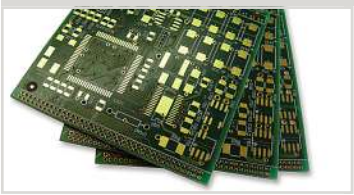
IPC Member | FED Fachverband für Design, Leiterplatten- & Elektronikfertigung

Kontakt: Multi Leiterplatten GmbH
Brunnthaler Str. 2, 85649 Brunnthal
Telefon: 08104 / 6280
info@multi-cb.de

Verkauf nur an Unternehmer und öffentliche Einrichtungen.

Benutzerfreundliche Online-Bestellung: www.multi-cb.de

Leiterplatten
HTg, HDI, HF, etc.



SMD-Schablonen
auch Spannsysteme

Zelflex, Quattroflex, VectorGuard, Paggen, Metz, Essemtec, etc.

Flex & Starr-Flex
bis zu 24 Lagen

Alukern (IMS)
1 & 2 Lagen DuKo

Direkt von Ihren Daten, z.B.: RS-274X extended GERBER | gbr x2 | AUTODESK EAGLE | TARGET 3001! | KiCad | OrCAD | ODB++ | Altium | IPC-2581