

Von Silizium-Leistungshalbleitern zu SiC und GaN

Herausforderungen von On-Board-Ladesystemen in Elektrofahrzeugen

Aufgabe des internen Ladegeräts eines elektrischen Fahrzeuges ist es, die Traktionsbatterie aus dem Netz zu laden. Bei der Entwicklung müssen die Ingenieure unterschiedlichste Anforderungen von Infrastruktur und Herstellern gegeneinander abwägen.

VON DANIEL MAKUS,
APPLIKATION MARKETING, UND
LISA HOLZMANN, APPLICATION ENGINEER,
BEIDE BEI INFINEON TECHNOLOGIES

In reinen Batteriefahrzeugen und Plug-in-Hybriden verbaute On-Board-Ladesysteme stellen ein zentrales Element des KFZ dar. Dafür zuständig, die Wechselspannung des Stromnetzes in die Ladegleichspannung für die Batterie umzuwandeln, muss der On-Board Charger auf der Infrastrukturseite den Ansprüchen des Netzes und auf der Fahrzeugseite denen der Hersteller gerecht werden.

So sollte das integrierte Ladegerät, abhängig vom jeweiligen Landesnetz, mit den unterschiedlichen Leistungsniveaus und Spannungen ebenso zurechtkommen wie mit ein- und dreiphasigen Netzanschlüssen. In vielen Fällen wird auch ein bidirektionales System gefordert.

Derzeit hauptsächlich für den direkten Anschluss eines Verbrauchers angewandt, werden solche Systeme in Zukunft auch bei Anwendungen wie der Rückspeisung vom Fahrzeug ins Netz zur Netzstabilisierung oder zum Betrieb des Heimnetzes zum Einsatz kommen.

Zusätzlich wünschen sich die OEMs eine möglichst große Leistungs- und Integrationsdichte, um viel Platz für die Batterie zur Verfügung zu haben und um eine größtmögliche Flexibilität bei der Freiraumgestaltung und der Integration mit weiteren Komponenten zu besitzen. Eine hohe Effizienz und hohe Batteriespannungen zum schnellen Aufladen stehen ebenfalls ganz oben auf der Wunschliste.



Bild 1: Blockdiagramm eines On-Board Chargers für elektrische Fahrzeuge und Plug-in-Hybride

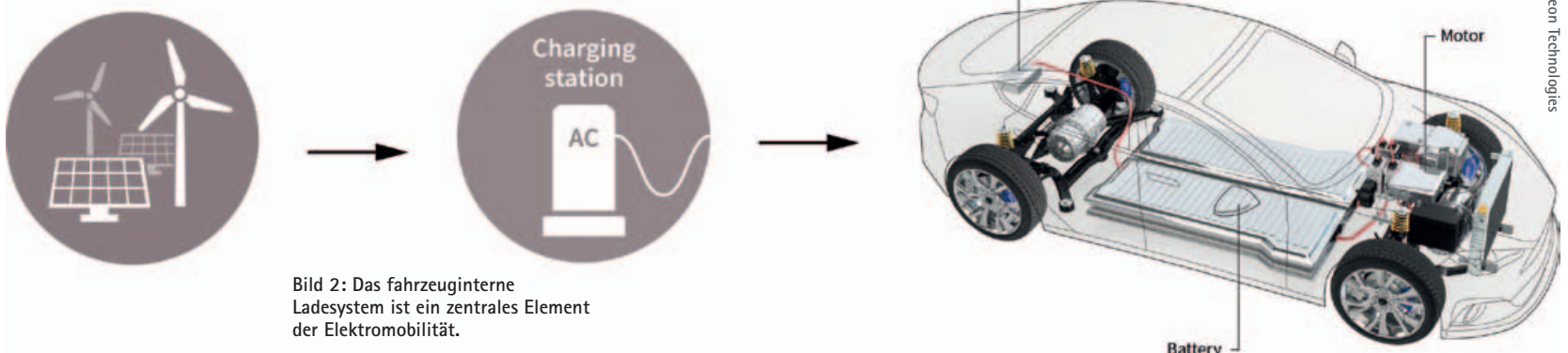
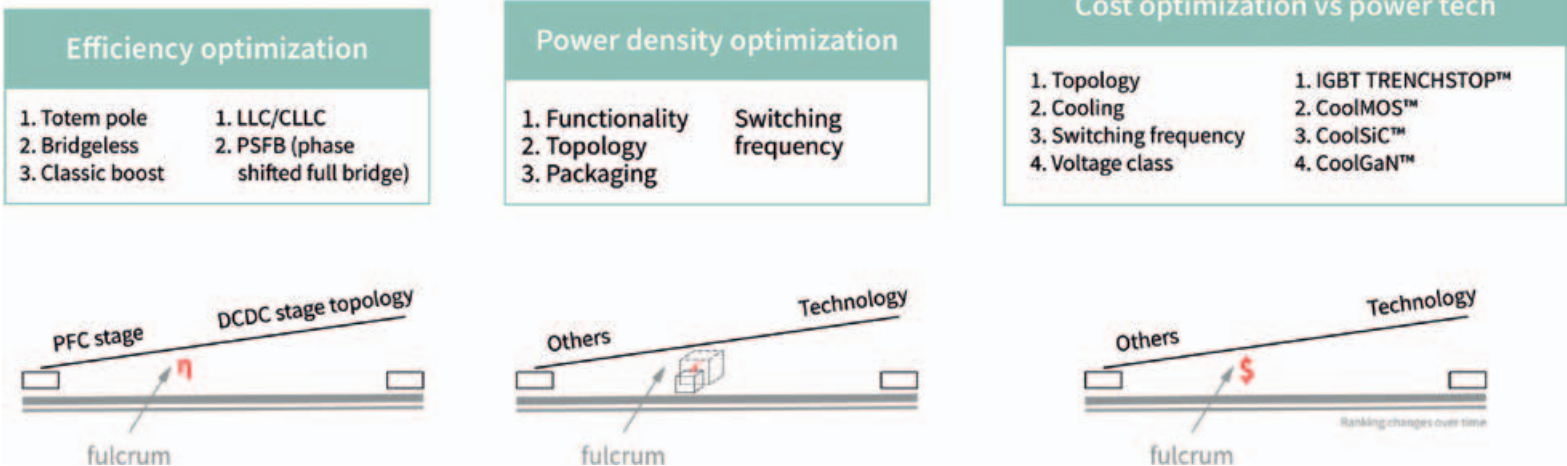


Bild 2: Das fahrzeuginterne Ladesystem ist ein zentrales Element der Elektromobilität.

Bilder: Infineon Technologies

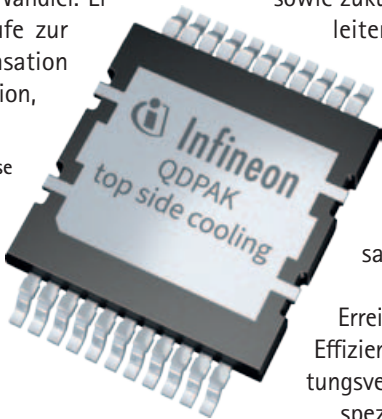
Bild 3: Um eine für den jeweiligen Anwendungsfall optimale Implementation zu erreichen, ist immer eine Abwägung der verschiedenen Faktoren notwendig.



Diesen Ansprüchen müssen die Hersteller von Baugruppen und Leistungshalbleitern für das On-Board-Ladegerät gerecht werden. Hierbei sind verschiedene Ansätze möglich. So kann die Leistungsdichte beispielsweise über eine höhere Wandlungsfrequenz oder durch die Integration des Ladesystems mit dem DC/DC-Wandler erhöht werden. Beides bedingt hocheffiziente Leistungsbaulemente, neue Gehäuseoptionen, intelligente Regelungen und optimierte Topologien.

Im Prinzip handelt es sich beim On-Board Charger um einen AC/DC-Wandler. Er besteht aus einer Stufe zur Blindleistungskompensation (Power Factor Correction,

Bild 4: Das QDPAK-Gehäuse von Infineon erlaubt die Kühlung der Leistungshalbleiter über die Oberseite des Gehäuses und vereinfacht damit die Leiterplatte.



PFC), dem Gleichstromzwischenkreis und einem galvanisch getrennten DC/DC-Wandler (Bild 1).

Um die Forderung nach höheren Batteriespannungen erfüllen zu können, muss für das Ladegerät eine Topologie gewählt werden, die für hohe Spannungen geeignet ist. Hierfür sind Hochspannungs-Leistungsschalter erforderlich, deren Durchbruchspannung deutlich höher als die Batteriespannung sein muss, um Spitzen abfangen zu können. Für 400-V-Batterien bieten sich Superjunction-MOSFETs, Leistungshalbleiter auf Siliziumkarbid-Basis sowie zukünftige Galliumnitrid-(GaN-) Halbleiterprodukte mit einer Durchbruchspannung von 650 V an. Bei den im Premiumsegment verwendeten 800-V-Batterien kommen hingegen bevorzugt SiC-Leistungshalbleiter mit Durchbruchspannungen von 1200 V zum Einsatz.

Erreichen lässt sich die gewünschte hohe Effizienz durch die Reduzierung von Leistungsverlusten im System. Hier bieten sich speziell Wide-Bandgap-Halbleiter aus SiC oder GaN an. Diese sind speziell bei

hart schaltenden Topologien wesentlich effizienter als rein auf Silizium basierende Leistungshalbleiter und zeigen daher eine höhere Leistungsdichte. SiC-Baulemente können zudem aufgrund ihrer Charakteristiken flexibler in verschiedenen Spannungsbereichen und Topologien eingesetzt werden und erlauben eine bessere Wiederverwendbarkeit von Entwicklungen.

Durch eine abgestimmte Topologie lässt sich die oftmals geforderte Bidirektionalität des Energieflusses erreichen. Nicht zuletzt steht über allem noch der Wunsch nach einer kostengünstigen Implementierung. Hier spielen in erster Linie ein optimiertes Systemdesign, die Wiederverwendung bereits entwickelter Baugruppen und die Mischung der Technologien Silizium, Siliziumkarbid und Galliumnitrid der Leistungsbaulemente als Trade-off zwischen Effizienz und Kosten eine Rolle (Bild 3).

Unterschiedliche Topologien sind möglich

Aufgrund der vielen unterschiedlichen Anforderungen werden für die diversen Bereiche in-

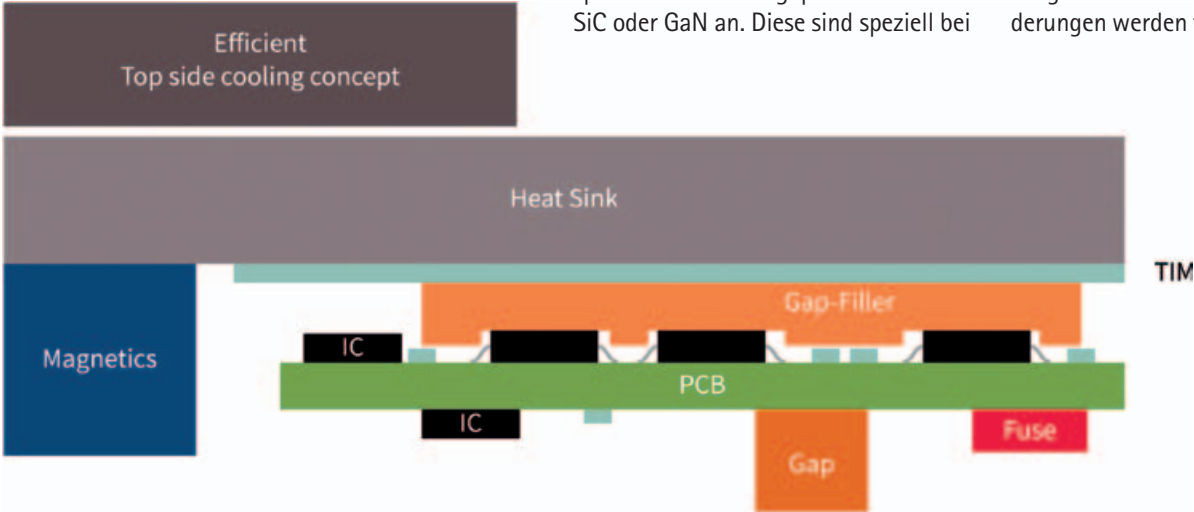


Bild 5: Das Einfügen eines wärmeleitfähigen Lückenfüllers zum Ausgleich der verschiedenen Bauteilhöhen und einer isolierenden Folie stellt die Wärmeabfuhr sicher und gewährleistet die Isolation der Leistungshalbleiter gegenüber dem Kühlkörper.

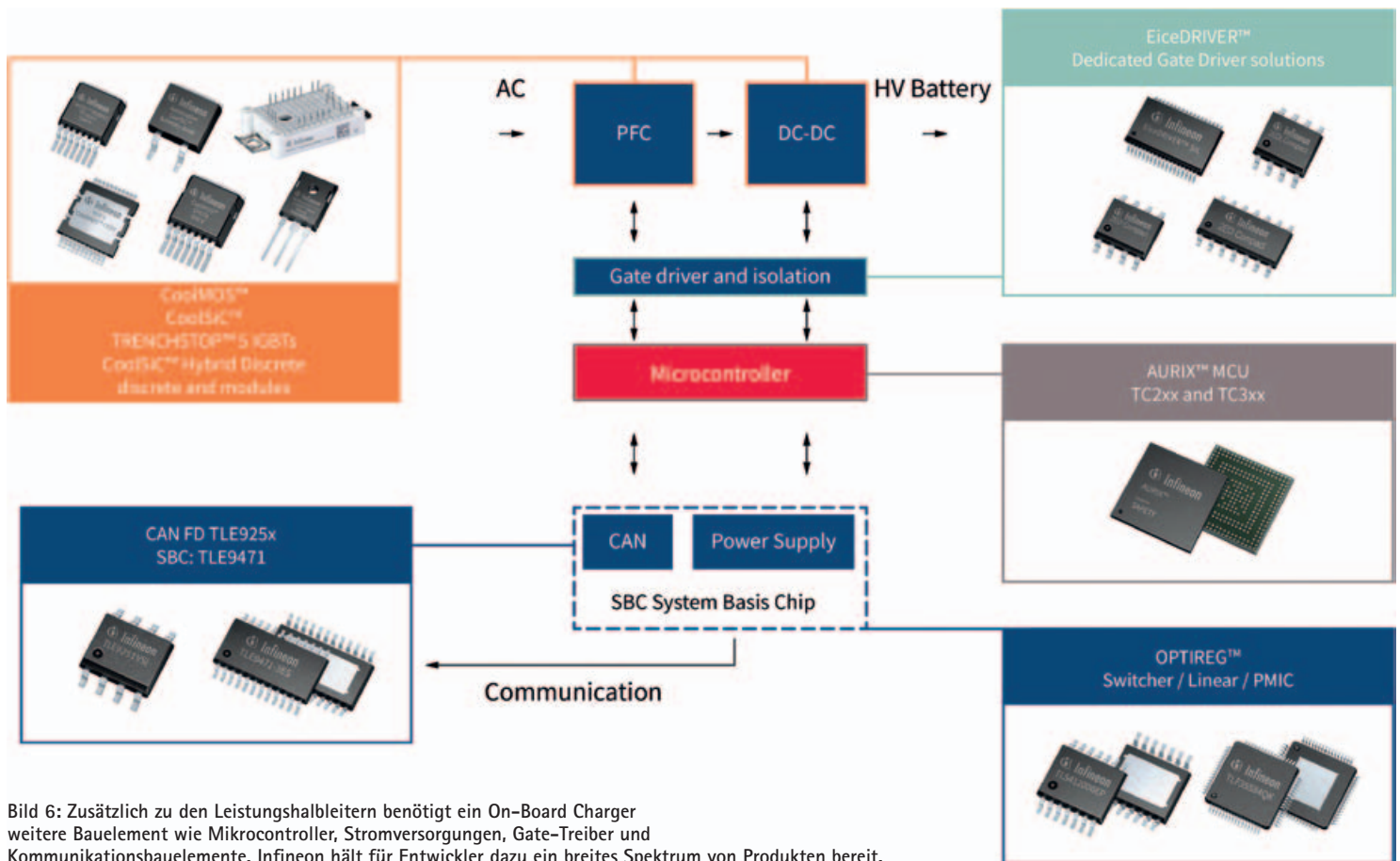


Bild 6: Zusätzlich zu den Leistungshalbleitern benötigt ein On-Board Charger weitere Bauelemente wie Mikrocontroller, Stromversorgungen, Gate-Treiber und Kommunikationsbauelemente. Infineon hält für Entwickler dazu ein breites Spektrum von Produkten bereit.

nerhalb des Ladesystems verschiedenste Topologien eingesetzt, die sich nicht zuletzt in ihrer Effizienz unterscheiden. Es ist daher Aufgabe des Entwicklers, sich für diejenige zu entscheiden, die den Ansprüchen an sein Gesamtsystem am besten entspricht.

Im Allgemeinen werden die meisten Blindleistungskompensationen im Dauerstrommodus (Continuous Current Mode, CCM) betrieben. Hierzu werden Halbleiter wie die CoolSiC-MOSFETs von Infineon oder schnellschaltende IGBTs in Kombination mit CoolSiC-Dioden benötigt, die widerstandsfähig gegen eine harte Kommutierung an ihrer Body-Diode sind.

Um die einfachste Topologie für eine PFC handelt es sich beim Aufwärtswandler, der einen einphasigen unidirektionalen Leistungsfluss vom Wechselstromeingang zum Gleichstromausgang ermöglicht. Hierbei findet aber eine harte Kommutierung des Stroms zwischen Diode und Schalter statt.

Bei ähnlichem Arbeitsprinzip bietet die aus zwei Aufwärtswandlern bestehende Dual-Boost-Topologie eine höhere Effizienz. Bei ihr ist die Diodenbrücke auf der Wechselstromseite durch Halbleiterschalter ersetzt. Jede Halbwelle verwendet hier also eine dedizierte Halbbrücke ohne vorhergehende Gleichrichtung.

Noch effizienter ist die Totem-Pole-Schaltung, die sich auch für bidirektionale Blindleistungskompensationen eignet. Hierbei werden alle Dioden durch aktive Leistungsschalter ersetzt und somit ein Leistungsfluss in beide Richtungen ermöglicht.

Topologien der DC/DC-Wandler

Bei den DC/DC-Wandlern werden oftmals Wandler mit einer phasenverschobenen Vollbrücke oder ein LLC-Wandler eingesetzt. Vorteile der phasenverschobenen Vollbrücke ist ihre hohe Effizienz, da sie bis auf sehr niedrige Lasten über einen weiten Lastbereich im resonant schaltenden Modus betrieben werden kann und gegenüber dem LLC-Wandler ein größeres Wandlungsverhältnis erreicht. Wird die Sekundärseite zudem aktiv geschaltet und eine geeignete Regelstrategie angewendet, ist die phasenverschobene Vollbrücke auch für den bidirektionalen Betrieb geeignet.

Dagegen bietet der LLC-Wandler eine weiter gesteigerte Effizienz und damit höhere Leistungsdichte. Über den gesamten Lastbereich ist eine Nullspannungsschaltung möglich. Allerdings tritt beim Anlauf und bei einigen kritischen Bedingungen weiterhin ein hartes Schalten auf, weswegen hier MOSFETs mit

einer schnellen Body-Diode zum Einsatz kommen sollten. Wird der LLC-Wandler durch zusätzliche passive Bauelemente auf der Sekundärseite dahingehend modifiziert, dass der Resonanzkreis symmetrisch ausfällt, ist ein bidirektionaler Betrieb machbar, beispielsweise in Form einer CLLC-Topologie.

Ist das eingangsseitige Netz dreiphasig ausgelegt, so sind für die Leistungsfaktorkorrektur ebenfalls verschiedene Topologien möglich. Zum einen ist das die Verwendung von je einem einphasigen Modul oder eine dreiphasige Vollbrückenschaltung. Beide Ansätze ermöglichen durch geringe Modifikationen auch einen Einsatz in einem Einphasennetz. Für eine reine Dreiphasen-Anwendung kann ein Vienna-Gleichrichter oder auch eine B6-Topologie eingesetzt werden.

Leistungshalbleiter auf Siliziumkarbid-Basis bieten mit ihrer schnellen Body-Diode eine breite Anwendung für alle funktionalen Blöcke des internen Ladesystems, von der Blindleistungskompensation bis zu den DC/DC-Wandlern.

Kühlung und Gehäuse sind wichtig

Für eine große Leistungsdichte ist auch die Kühlung der Leistungsbaulemente und damit

deren Gehäuse zu beachten. Aktuell die beste Lösung stellt derzeit das sogenannte Top Side Cooling, also die Kühlung auf der Oberseite, dar, wie sie von Infineon beispielsweise in Form des QDPAK-Gehäuses unterstützt wird. Diese Technik gestattet eine bessere Ausnutzung des Platzes auf der Leiterplatte. Zudem können die Leistungskreise optimiert werden, und die Entkopplung der Abwärme vom Substrat erlaubt höhere Sperrschichttemperaturen, welche nicht von der maximal zulässigen Temperatur des PCB limitiert wird.

Die Kühlung durch die Chipoberseite ermöglicht einen einfacheren Aufbau des Systems. Dabei sind mehrere Ausführungen denkbar. Eine Möglichkeit ist, zwischen Bauelemente und Kühlkörper einen wärmeleitfähigen Lückenfüller zum Ausgleich der verschiedenen Bauteilhöhen und eine Isolationsfolie zur Erfüllung der Anforderungen von OEMs einzufügen (Bild 5).

Damit wird die Wärmeabfuhr sichergestellt, die Isolation der Leistungshalbleiter gegenüber dem Kühlkörper gewährleistet und der Einfluss

der Kriechstrecke zwischen den Pins und dem Kühlkörper eliminiert.

Ebenso zur Erhöhung der Effizienz tragen Gehäuse bei, bei denen ein zusätzlicher Anschluss als „Kelvin-Source“ fungiert, um die negative Beeinflussung durch parasitäre Induktivitäten in der Source-Zuleitung des Leistungs-MOSFET zu reduzieren. Besonders hart schaltende Topologien profitieren davon.

Der Preis bestimmt die Technologie

Da der Markt für On-Board Charger stark kostengetrieben ist, dominieren ihn aktuell noch siliziumbasierte Leistungshalbleiter. In Zukunft ist aber damit zu rechnen, dass Bauelemente aus Siliziumkarbid aufgrund ihrer hohen Durchbruchspannung und der Möglichkeit zum harten Schalten ihre Marktanteile ausweiten können.

Obwohl Bauelemente aus Siliziumkarbid derzeit teurer sind als Silizium-Leistungshalbleiter, lassen sich dadurch die Systemkosten


senken. Mit SiC-MOSFETs und -Dioden sind Leiterplatten einfacher aufzubauen und die magnetischen Materialien können aufgrund der höheren Schaltgeschwindigkeiten kleiner und leichter ausgeführt werden, was zu geringeren Abmessungen und kostengünstigeren Gehäusen führt.

Allerdings ist bei Siliziumkarbid die maximale Leistungsdichte bald ausgereizt. Derzeit erfüllen die Si- und SiC-basierten Bauelemente die Anforderungen zwar noch – wobei Siliziumkarbid den größeren Anteil stellen wird. In Zukunft werden aber verstärkt Bauelemente aus Galliumnitrid zum Einsatz kommen, da sie aufgrund ihrer Schaltfrequenz eine nochmals höhere Leistungsdichte und Effizienz versprechen. Mit einem steigenden Marktanteil dieser Technologie ist nach derzeitigem Stand ab dem Jahr 2024 zu rechnen.

Infineon hält weitere Informationen zu innovativen Onboard-Ladesystemen auf seiner Website bereit. (eg)



Anzeige



29. - 30. Juni 2021

VIRTUELLES EVENT

Dieses Anwenderforum, das die Redaktionen **Markt&Technik** und **DESIGN&ELEKTRONIK** am **29. und 30. Juni 2021** veranstalten, wird auch in diesem Jahr virtuell über die Bühne gehen. Schaltungsentwicklern und technischen Einkäufern vermittelt diese zweitägige Veranstaltung viel Anwendungswissen, sodass Sie im Umgang mit Kondensator & Co. wieder sicherer und vertrauter werden.

Diese Vorteile bietet Ihnen die virtuelle Plattform:

- ✔ **Virtueller Branchentreff** mit hoher Interaktivität
- ✔ **Event-Feeling** – direkt und bequem vom PC oder über die App
- ✔ **Produktneuheiten und Premieren** der Aussteller
- ✔ **Live-Chats:** Sie können in Echtzeit mit den Ausstellern in Kontakt treten
- ✔ **Networking:** Treffpunkt in Lobby, während Sitzungen und bei Einzelgesprächen.
- ✔ **Matchmaking:** Verbindung zwischen Teilnehmer, Referenten und Aussteller
- ✔ **LIVE Vorträge** der Referenten
- ✔ **Virtuelle Bühne** mit spannenden und informativen Fachvorträgen
- ✔ **Austausch** von Teilnehmern zu Teilnehmern
- ✔ **Alle Vorträge** sind im Nachgang abrufbar

Diese spannenden Keynotes erwarten Sie!



Alexander Gerfer,
Würth Elektronik eiSos
Allokation – Strategien zur Vermeidung von Kopfschmerzen und Lieferverzug



Holger Krumme, HTV
Lösungen zur Qualitätssicherung und Langzeitlagerung von Bauteilen in Zeiten der Allokation

Silber Sponsor



Bronze Sponsoren



Sponsor



Powered by

Markt&Technik
Die unabhängige Wochenzeitung für Elektronik

DESIGN&ELEKTRONIK
KNOW-HOW FÜR ENTWICKLER

www.passive-anwenderforum.de