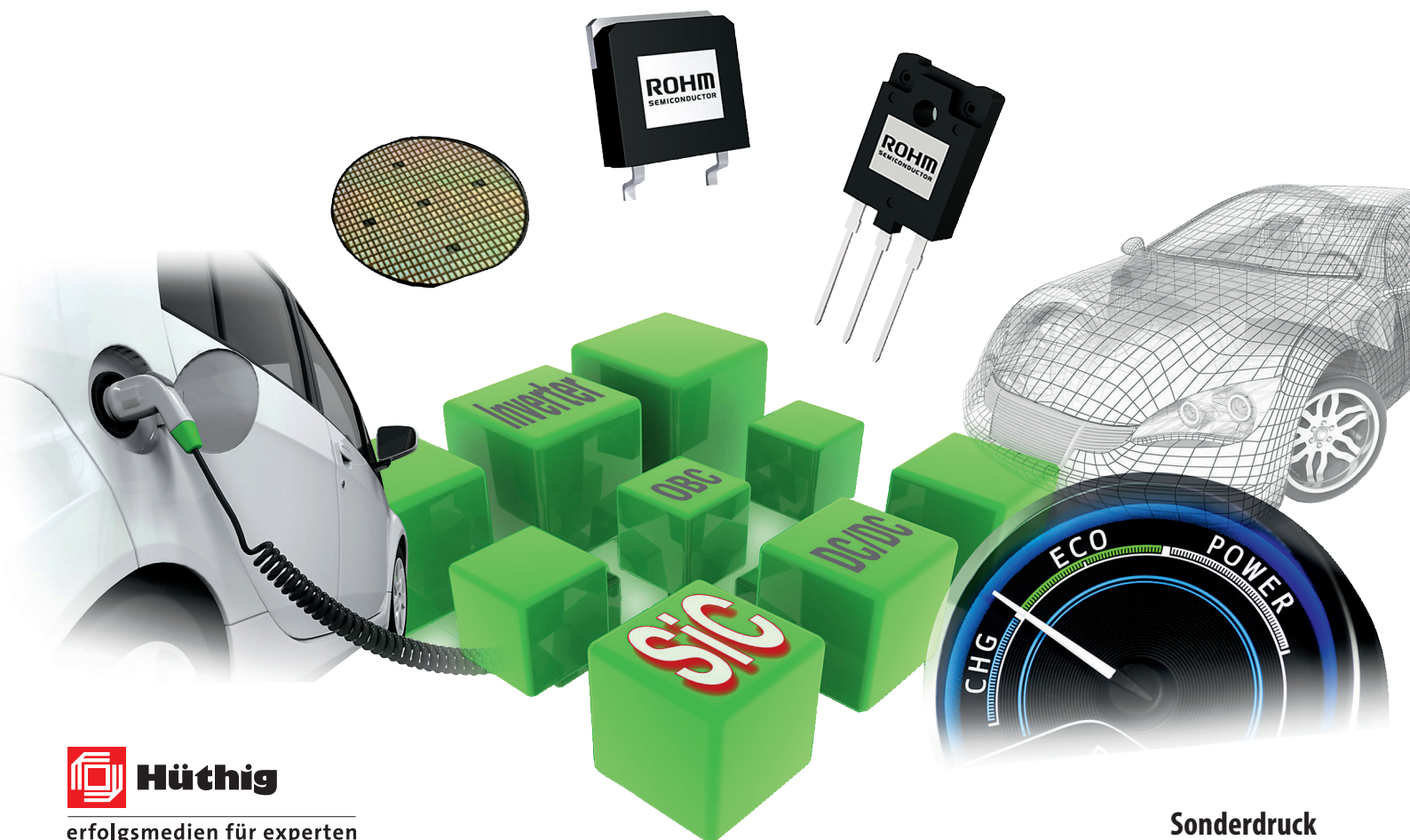


E-MOBILITÄT MIT SIC RASANT IN DIE ZUKUNFT



Hüthig

erfolgsmedien für experten

Sonderdruck

Leistungselektronik für die Elektromobilität

Mit SiC rasant in Richtung Zukunft

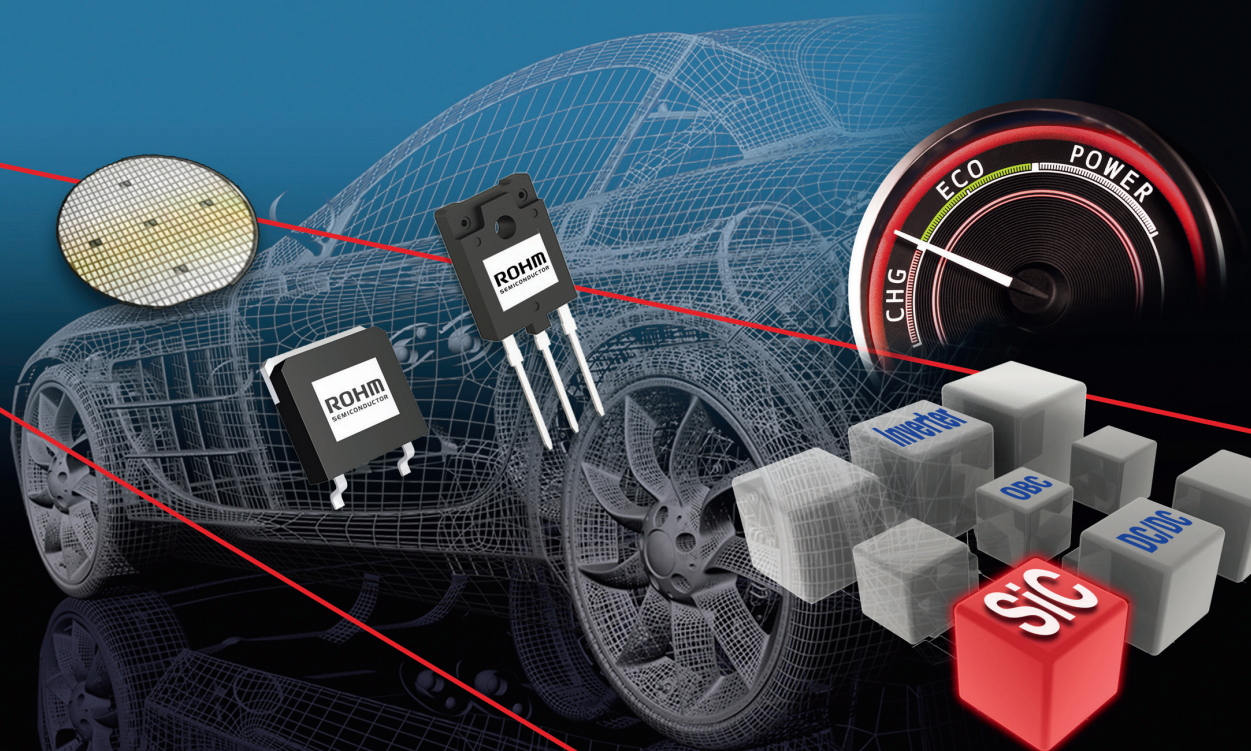
Egal ob im Elektrofahrzeug selbst oder in der Ladestation – Leistungselektronik ist mittlerweile allgegenwärtig. Platzbedarf, Gewicht und Wirkungsgrad sind Schlüsselgrößen bei der Entwicklung leistungselektronischer Systeme. Gerade im Hinblick auf die Wärmeleitfähigkeit und mögliche Schaltgeschwindigkeiten kommen Bauelemente auf Siliziumbasis an ihre Grenzen – aber SiC ist bereit, die Führung zu übernehmen. *Autor: Aly Mashaly*

KEYWORDS

SiC / Leistungselektronik / Schnellladen / Batterien

Nachdem der anfängliche Hype um Elektrofahrzeuge vorbei war und die Problematik der geringen Batteriereichweite und fehlenden Infrastruktur in den Fokus rückte, hielt sich die zunächst große Begeisterung in Grenzen und die Zukunft der Elektromobilität stand auf wackeligen Beinen. Durch den Abgasskandal in der jüngeren Vergangenheit kam der Elektromobilität jedoch erneut große Bedeutung zu und sie erfuhr einen Aufschwung. Die Aussichten für Elektrofahrzeuge haben sich

wesentlich verbessert und machen die Elektromobilität nun zu einem brandaktuellen Thema. Automobilhersteller, Industrieunternehmen und Forschungseinrichtungen arbeiten hier Hand in Hand, um die geplante Massenproduktion von Hybrid- und Elektrofahrzeugen zu verwirklichen. In den vergangenen Jahren haben verschiedene Unternehmen neue Antriebskonzepte erforscht und erprobt, sodass erste Modelle von Hybrid- und Elektrofahrzeugen mittlerweile am Markt erhältlich sind. Dabei werden jetzt Komponenten wie Leistungselektroniksysteme im Auto integriert, die in den herkömmlichen Diesel- und Benzinfahrzeugen nicht vorhanden waren. Dazu gehören Antriebswechselrichter zur Ansteuerung des Motors von bis zu 300 kW,



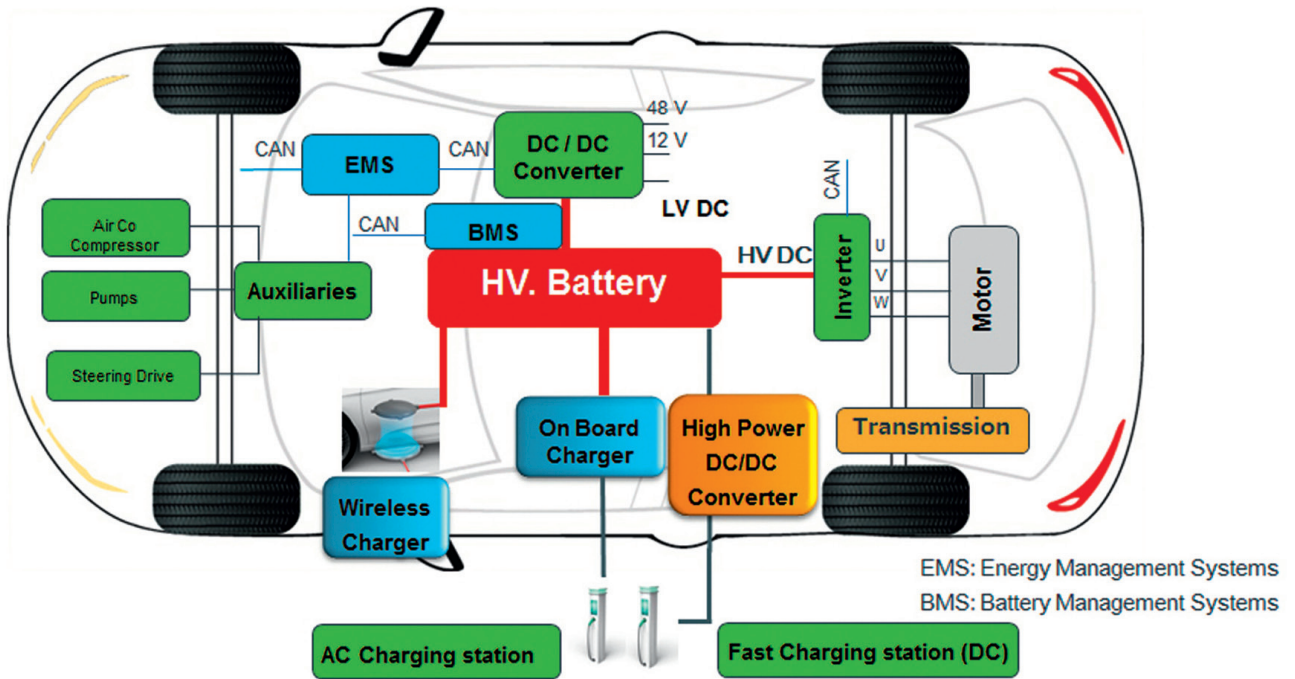


Bild 1: Leistungselektronik spielt in der Elektromobilität sowohl im Fahrzeug selbst als auch in Ladestationen eine entscheidende Rolle.

Batterie-Ladegeräte und induktive Ladesysteme von 3,6 kW bis 22 kW, DC/DC-Wandler bis 5 kW, Hochleistungs-on-Board-Wandler oder Wechselrichter für Nebenaggregate wie Klimaanlage, Lenkunterstützung und Wasserpumpen (Bild 1). Darüber hinaus kommen Systeme der Leistungselektronik auch zum Einsatz, um die notwendige Ladeinfrastruktur für Elektrofahrzeuge zu ermöglichen.

HOCHEFFIZIENTES SILIZIUMKARBID

Die Anforderungen der Automotive-OEMs an Leistungselektroniksysteme stellen die Entwickler der Systeme vor große Herausforderungen. Dabei spielen Platzbedarf, Gewicht und Wirkungsgrad eine erhebliche Rolle. Die Effizienz der herkömmlichen Leistungselektronik basiert auf Halbleitertechnologien auf Siliziumbasis und variiert in der Regel zwischen 85 und 95 Prozent. Im Umkehrschluss bedeutet dies, dass etwa 10 Prozent der elektrischen Energie bei jeder Leistungsumwandlung als Wärme verloren gehen. Im Allgemeinen beschränken hauptsächlich die Leistungsmerkmale der Halbleiterbauelemente den Wirkungsgrad der Leistungselektronik. Das Halbleitermaterial SiC hat aufgrund seiner physikalischen Eigenschaften großes Potenzial, die Anforderung kommender Markttrends zu erfüllen. Im Vergleich zu Silizium (0,3 MV/cm) ist die elektrische Feldstärke von Siliziumkarbid mit 2,8 MW/cm um knapp das Zehnfache höher. Die höhere elektrische Feldstärke des sehr harten SiC-Substrats ermöglicht die Erzeugung einer dünneren Schichtstruktur auf dem SiC-Substrat. Damit verringert sich der Oberflächenwiderstand (R_{onA}) des Bauteils, was zu einer beträchtlichen Reduzierung der Durchlassverluste führt. Darüber hinaus erzeugen Bauelemente

auf SiC-Basis geringere Schaltverluste, was ihre Gesamtverlustleistung verringert und somit den Wirkungsgrad deutlich erhöht. Die thermische Auslegung spielt bei Leistungselektroniksystemen eine entscheidende Rolle, um eine hohe Leistungsdichte und somit kompakte Systeme herstellen zu können. SiC ist als Halbleitermaterial für diese Anwendungen besonders gut geeignet, da seine thermische Leitfähigkeit um fast das Dreifache höher liegt als bei Silizium. Darüber hinaus ist Siliziumkarbid für höhere Betriebstemperaturen als Silizium geeignet.

SIC GEWINNT BEIM LASTSTROM

Grundsätzlich entstehen Schaltverluste durch einen Einzelschaltvorgang, beispielsweise beim Ein- oder Ausschalten der Bauelemente. Eine Erhöhung der Schaltfrequenz führt zur Zunahme der gesamten Schaltverluste, was wiederum die Gesamtverlustleistung des Systems stark beeinflusst. Einige leistungselektronische Systeme im Fahrzeug bevorzugen eine hohe

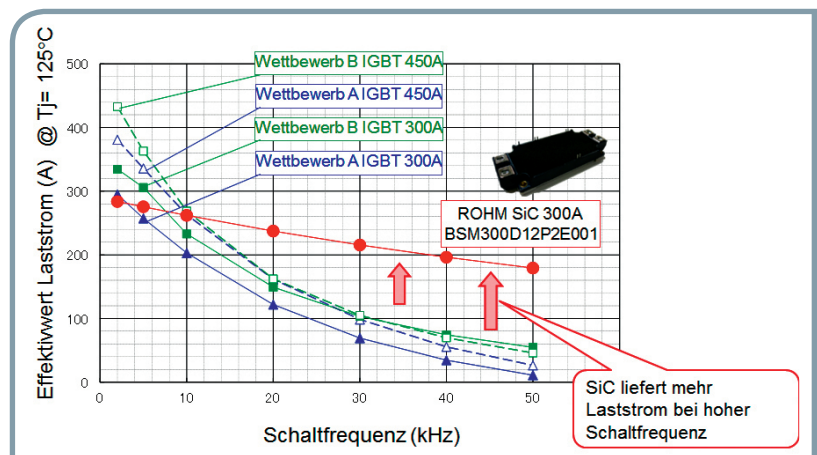


Bild 2: Bei hoher Schaltfrequenz ist bei der Verwendung von SiC-Bauelementen eine hohe Leistung erreichbar.

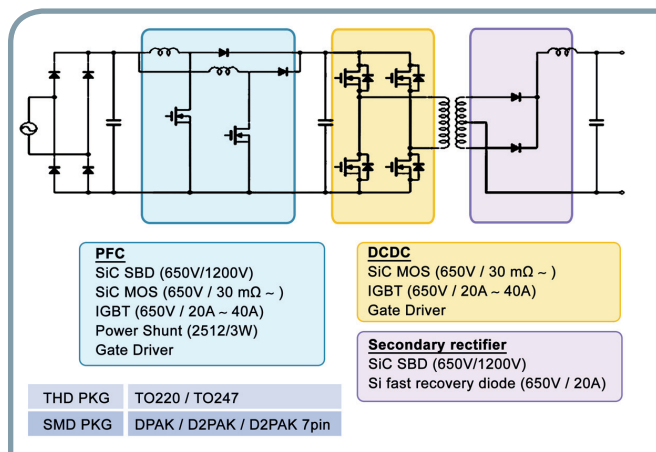


Bild 3: Topologie für ein Batterieladesystem mit 7,2 kW Leistung, das von Rohm als komplette Systemlösung im Angebot ist.

Schaltfrequenz, um System-Anforderungen und Spezifikationen zu erfüllen. Hier übernehmen die Schaltverluste einen Großteil der gesamten Verlustleistung im System. Bei der Verwendung von Si-Bauelementen für derartige Anwendungen, zwingen die hohe Verlustleistung und die daraus entstehende Wärme die Systementwickler zur Begrenzung des Laststroms, um Funktionalität und Zuverlässigkeit des Systems sicherzustellen. Im Klartext bedeutet dies, dass eine hohe Schaltfrequenz zu weniger Leistung führt. Kann die Anwendung nicht auf hohe Lastströme verzichten, muss der Entwickler das Bauvolumen des Systems vergrößern oder eine komplizierte und kostenintensive Kühlung einplanen. Diese notwendigen Maßnahmen entsprechen jedoch nicht der Erwartung der Endanwender. Damit wird schnell klar, warum Leistungsbauelemente auf Silizium-Basis scheinbar ihre Grenzen erreicht haben.

Ein Vergleich eines SiC-MOSFETs mit einem Si-IGBT für Anwendungen mit hoher Schaltfrequenz zeigt, dass aufgrund der hohen Schaltverluste und der daraus entstehenden Wärme beim Si-IGBT eine Reduzierung der Ausgangsströme nötig ist. Nur auf diesem Weg ist es möglich, die maximale Chip-Temperatur zu unterschreiten und nicht die Funktion des Halbleiterbauelements zu gefährden. Ein SiC-MOSFET weist ein besseres Schaltverhalten auf als ein Si-IGBT und verursacht weniger Schaltverluste bei hoher Schaltfrequenz, und lässt deshalb höhere Lastströme zu. Bild 2 zeigt einen Vergleich zwischen dem SiC-Halbbrückenmodul BSM300D12P2E001 von Rohm und vier

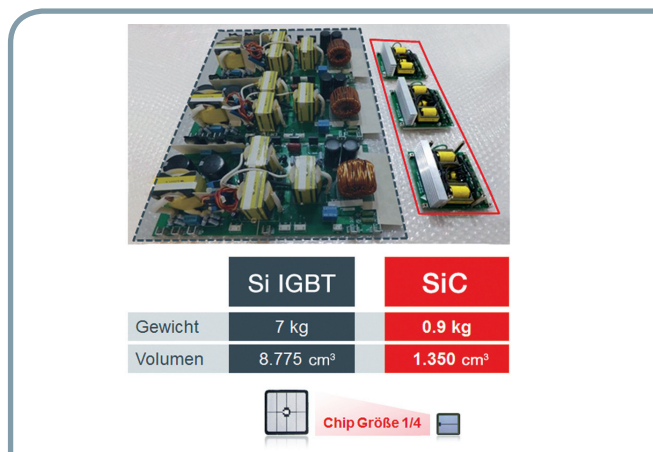


Bild 4: Größenvergleich: Durch die Verwendung eines SiC-MOSFET anstelle eines Si-IGBT können Systeme deutlich kleiner gestaltet werden.

unterschiedlichen IGBT-Modulen anderer Marktteilnehmer. Bei hoher Schaltfrequenz ist der SiC-MOSFET effizienter als die Si-IGBTs. Ein IGBT-Modul mit 300 A lieferte bei einer Schaltfrequenz von 40 kHz nur noch einen Effektivlaststrom von 80 A, während das SiC-Bauelement mit 300 A von Rohm es noch auf 200 A effektiven Laststrom brachte.

LEISTUNGSELEKTRONIK MINIATURISIEREN

Aus den Anwendungsszenarien eines Elektrofahrzeugs heraus stellen Automobilhersteller eine Vielzahl von Anforderungen an Systeme der Leistungselektronik. Diese beinhalten unter anderem die Beständigkeit gegenüber Temperaturwechsel, Vibrationsfestigkeit, Betriebsbereitschaft bei unterschiedlichen Temperaturen sowie eine lange Lebensdauer. Darüber hinaus betrachten Automobilhersteller mittlerweile eine Anforderung wie hohe Leistungsdichten als selbstverständlich, was sich als eine große Herausforderung an leistungselektronische Systeme herausstellt. Die Reichweite der Hochvoltbatterie ist eine der größten Hürden für die Verbreitung von Hybrid- und Elektrofahrzeugen. Mehrere Autohersteller setzen aktuell auf Ladesysteme mit geringer Ladezeit, um die Praktikabilität von E-Fahrzeugen zu erhöhen und damit den Endkunden von der Elektromobilität zu überzeugen. Schnelles Laden erfordert jedoch eine höhere Ladeleistung innerhalb kurzer Zeit. Da das Volumen des verfügbaren Raums innerhalb des Fahrzeugs immer begrenzt ist, muss das Batterieladesystem eine hohe Leistungs-

dichte aufweisen. Nur so lassen sich derartige Systeme in ein Fahrzeug integrieren, um die Marktanforderung erfüllen zu können. Batterieladegeräte im Fahrzeug (On Board Charger) sind komplexe Systeme aus unterschiedlichen Komponenten für die Leistungsumwandlung. Dies sind unter anderem Halbleiter-Bau-

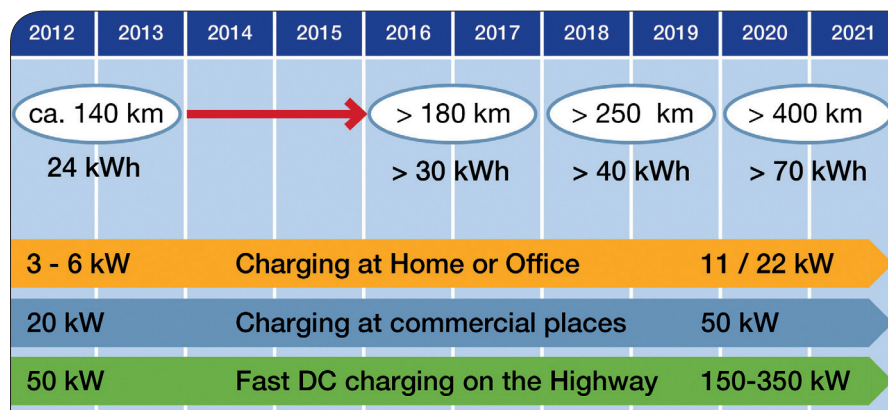


Bild 5: Die perspektivische Entwicklung der Batteriekapazitäten und Ladeleistungen: mehr Reichweite heißt auch mehr Kapazität.

elemente wie Dioden oder MOSFETs, passive Komponenten wie Induktivitäten und Kondensatoren sowie ein Transformator mit angepassten Übersetzungsverhältnissen, um die Batterie mit der erforderlichen Spannung aufzuladen. Darüber hinaus dient der Transformator dazu, die Hochvoltbatterie beim Ladevorgang galvanisch vom Netz zu entkoppeln. Bild 3 zeigt eine typische Topologie für ein 7,2 kW-Batterielade-System. Eine der potenziellen Möglichkeiten zur Miniaturisierung der Leistungselektronik ist die kompaktere Auslegung passiver Komponenten wie Induktivitäten und Transformatoren. Dies ist in der Regel nur möglich, wenn die verwendeten Halbleiterbauelemente im gleichen Schaltkreis mit hoher Schaltfrequenz angesteuert werden können. Bei Si-Bauelementen begrenzt die thermische Belastung bei hoher Schaltfrequenz diesen Ansatz. Durch sein hervorragendes Schaltverhalten eignet sich der SiC-MOSFET für solche Anwendungen jedoch sehr gut.

Bild 4 zeigt als Beispiel DC/DC-Wandler-Systeme mit Si-Bauelementen und mit SiC-Komponenten. Während bei den Komponenten auf Si-Basis die Schaltfrequenz auf 25 kHz begrenzt werden muss, arbeitet der SiC-MOSFET bei Schaltfrequenzen bis 160 kHz. Damit lässt sich die Wickelgüte im gesamten System verringern und trotz hoher Leistungsdichte das Gesamtgewicht des Systems verringern. Automobilhersteller haben die Vorteile von SiC-Halbleitern mittlerweile erkannt. Erste Produkte von Rohm SiC-Dioden sind bereits in Batterieladegeräten unterschiedlicher Leistungen in verschiedenen Fahrzeugen in Massenproduktion weltweit im Einsatz. Rohm bietet SiC-Bauelemente für Anwendungen wie DC/DC-Wandler oder Fahrtriebswechselrichter an und bringt in Kürze einen für den Automotive-Bereich qualifizierten SiC-MOSFET auf den Markt.

SCHELLES LADEN MIT SiC

In den kommenden Jahren ist mit einer ansteigenden Anzahl von Elektrofahrzeugen auf europäischen Straßen zu rechnen. Um die Reichweiten der Fahrzeuge zu erhöhen, ist auch ein Anstieg der Batteriekapazitäten zu erwarten. Damit auch Langstreckenfahrten ohne erhebliche Einschränkungen möglich sind, ist ein zügiges Aufladen der Batterien, beispielsweise bei Zwischenstopps an Autobahnraststätten, notwendig. Hierzu sind Ladeleistungen von deutlich mehr als 50 kW – der heute üblichen Schnellladeleistung – notwendig (Bild 5). In Asien, insbesondere in Japan, ist das Chademo-Schnelladesystem verbreitet.

Bei diesem System beträgt die bisher typische DC-Ladeleistung 50 kW, wobei die Erweiterung der Leistung auf 150 kW bereits 2016 angekündigt wurde. In Europa treibt die von Audi, BMW, Daimler, Mennekes, Opel, Phoenix Contact, Porsche, TÜV Süd und Volkswagen gegründete Charging Interface Initiative (Charin) das Combined-Charging-System (CCS) voran. CCS kombiniert ein- und dreiphasige AC-Ladefunktionen sowie eine DC-Schnellladefunktion in einem Stecker- und Protokollsystem (Combo 2). Als Ladeleistungen strebt CCS perspektivisch bis zu 350 kW an. Allen DC-Schnelladesystemen gemein ist die Anforderung, Ladestationen kompakt und effizient zu gestalten. Aktuelle SiC-Leistungsbaulemente ermöglichen es, diese Anforderungen an Systeme mit hohen Leistungsdichten zu erreichen.

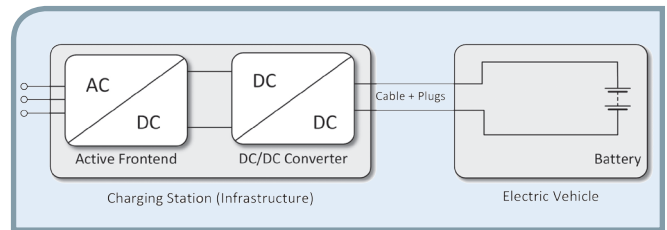


Bild 6: Konzept für die Architektur von Ladestationen: die Ladestation passt die Ausgangsspannung an die Batteriespannung an.

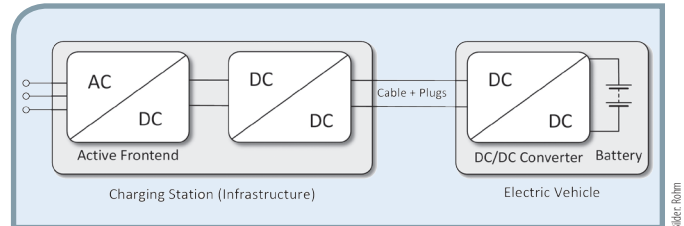


Bild 7: Beim zweiten Konzept für Ladestationen liefert die Station eine feste Ausgangsspannung; der On-Board-DC/DC-Wandler passt diese an die Batteriespannung an.

Wie genau zukünftige Systeme für die Ladeinfrastruktur aussehen werden, hängt unter anderem von der Abstimmung der Systemarchitektur von Fahrzeugen und Ladestationen aufeinander ab. In einem Ansatz passt die Ladestation die Ausgangsspannung an die Batteriespannung des Fahrzeugs an (Bild 6). Alternativ lässt sich die Energie auch zunächst mit einer hohen Spannung an das Fahrzeug übertragen, um die notwendigen Kabelquerschnitte gering zu halten (Bild 7). Zur Anpassung an die Batteriespannung ist in diesem Fall ein im Fahrzeug untergebrachter DC/DC-Wandler notwendig. Zusätzlich bedarf die Frage der galvanischen Trennung im System einer Klärung. Grundsätzlich besteht die Möglichkeit, auf der Eingangsseite der Ladestation eine Isolation mittels eines 50 Hz-Transformators zu realisieren. Eine Alternative stellt die Integration einer dem aktiven Frontend nachgelagerten HF-Isolationsstufe in Form eines isolierten DC/DC-Wandlers in die Ladestation dar. Auch das Design der Ladestation wird durch mögliche Anforderungen an die Modularität des Systems beeinflusst.

Anstelle eines einzelnen Systems mit einer Leistung von bis zu 350 kW könnten beispielsweise auch Einzelmodule mit 50 kW bis 75 kW Leistung zum Einsatz kommen, um daraus ein System mit beliebiger Gesamtleistung konfigurieren zu können. Ladestationen für DC-Schnelladesysteme stellen für SiC-Bauelemente ein interessantes Anwendungsfeld dar. Um anspruchsvolle Ziele bezüglich der Leistungsdichte und des Wirkungsgrads zu erreichen, ist der Einsatz von Transistoren und Dioden auf Basis von Siliziumkarbid empfehlenswert. Klärungsbedarf besteht jedoch noch bei der Wahl des Systemansatzes, der Isolierung und galvanischen Trennung sowie der sinnvollen Auswahl der Modularitätsstufen des Ladesystems. (na) //

Autor

Aly Mashaly

Manager Power Systems bei Rohm Semiconductor

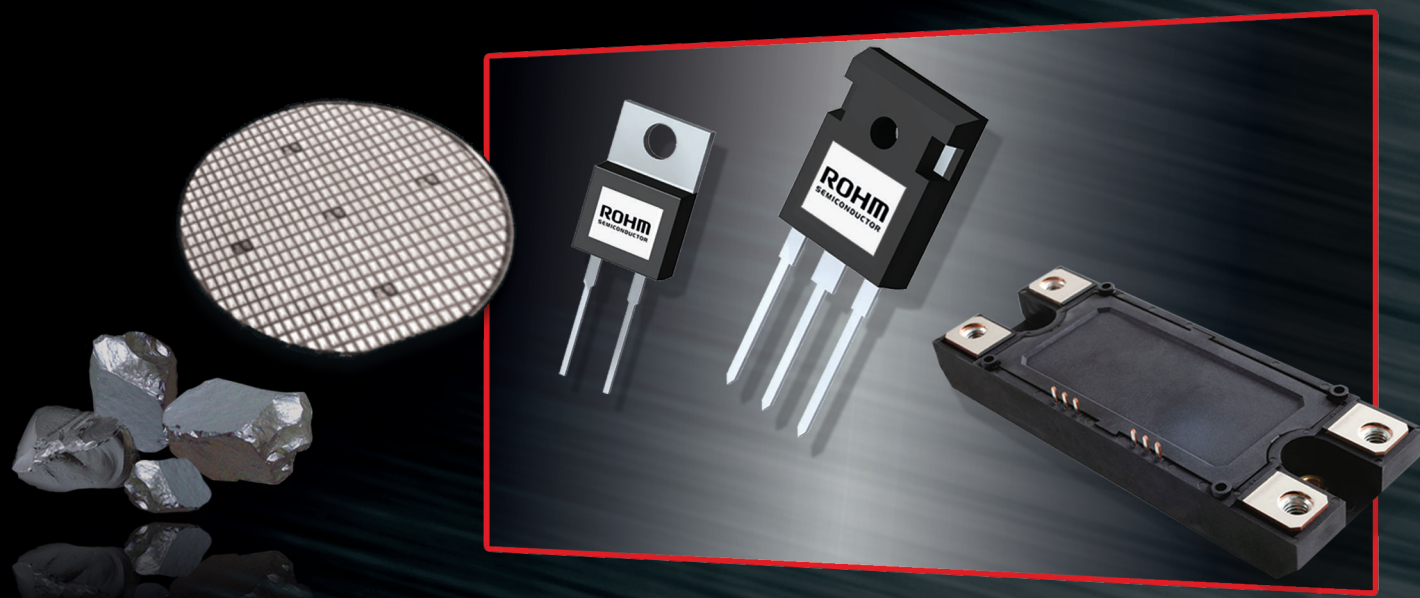


**SMALLER
STRONGER
FASTER**

ROHM
SEMICONDUCTOR

Energieeffiziente und nachhaltige Systeme mit SiC

ROHM Semiconductor als führender Anbieter für SiC hat sich über Jahre hinweg darauf konzentriert, SiC als Werkstoff für Leistungshalbleiter der nächsten Generation zu entwickeln. Dabei gelang es, die Leistungsaufnahme zu senken und den Wirkungsgrad zu steigern.



■ Umfangreiches Produktangebot

SiC-Wafer
Schottky-Dioden, MOSFETs
Diskrete Bauelemente und Module

■ Vollständige Qualitäts- und Supply-Chain-Kontrolle

Hauseigenes, integriertes Fertigungssystem vom Substrat bis zum Modul.

■ Führende Technologie

ROHM ist weltweit der erste Halbleiteranbieter, der SiC Trench MOSFETs in Massenproduktion fertigt.

■ Umfassender System-Support

System-Spezialisten stehen vor Ort mit umfassender Applikations-Unterstützung zur Verfügung.

Sign Up

ROHM E-Newsletter ▶▶▶



www.rohm.com/eu