



Bild: iStockphoto - Alamy

Befeuern der DC-Ladeinfrastruktur

Leistungsbausteine für schnelles Laden

Geringe Reichweiten, lange Ladezeiten und eine ungeeignete Lade-Infrastruktur schränken das Aufkommen von Elektrofahrzeugen ein. Infineon hat für die Realisierung von effizienten DC-Schnell-Ladesystemen mit großer Leistungsdichte integrierte Powermodule und Controller-Bausteine entwickelt und stellt einige dieser Familien im folgenden Beitrag vor.

Autoren: Pradip Chatterjee und Markus Hermwille

KEYWORDS

DC-Ladesysteme / Schnellladen / Powermodule / Controller / Topologien

— Gesetzliche Regelungen erhöhen den Druck auf die Automobilhersteller weltweit, den Kohlendioxid-Ausstoß ihrer Fahrzeuge zu reduzieren. Damit wächst auch das Interesse an batteriebetriebenen elektrischen Fahrzeugen (BEV, Battery Electric Vehicle) als wesentlicher Teil der Problemlösung. Der Markt für elektrische Fahrzeuge bietet immer mehr Alternativen bei zunehmend attraktiveren Kosten. Allerdings haben die Kunden immer noch Bedenken aufgrund der begrenzten Reichweite. Das alles dominierende Thema Reichweite bedingt auch ein Überdenken der unterschiedlichen Konzepte für das Aufladen. Ist das

Fahrzeug während der Arbeitszeit geparkt, so wäre das eine gute Gelegenheit, die Batterie zu laden. Allerdings führt die fehlende Infrastruktur dazu, dass viele Nutzer sich genötigt sehen, das Fahrzeug zu Hause aufzuladen. Bei längeren Fahrten, wie zum Beispiel in den Urlaub, erwarten die Nutzer einen möglichst schnellen Ladevorgang, der idealerweise nicht viel mehr Zeit erfordert, als das Auftanken von Fahrzeugen mit Verbrennungsmotoren.

DERZEITIGE LADEOPTIONEN

Die meisten Fahrzeuge unterstützen das Batterieaufladen zu Hause über eine haushaltsübliche einphasige Wechselspannungsversorgung (AC). Das ermöglicht eine Ladung über Nacht. Die Anschlussvarianten reichen von einem einfachen Kabel, um das Fahrzeug an die Steckdose anzuschließen, über Kabel mit

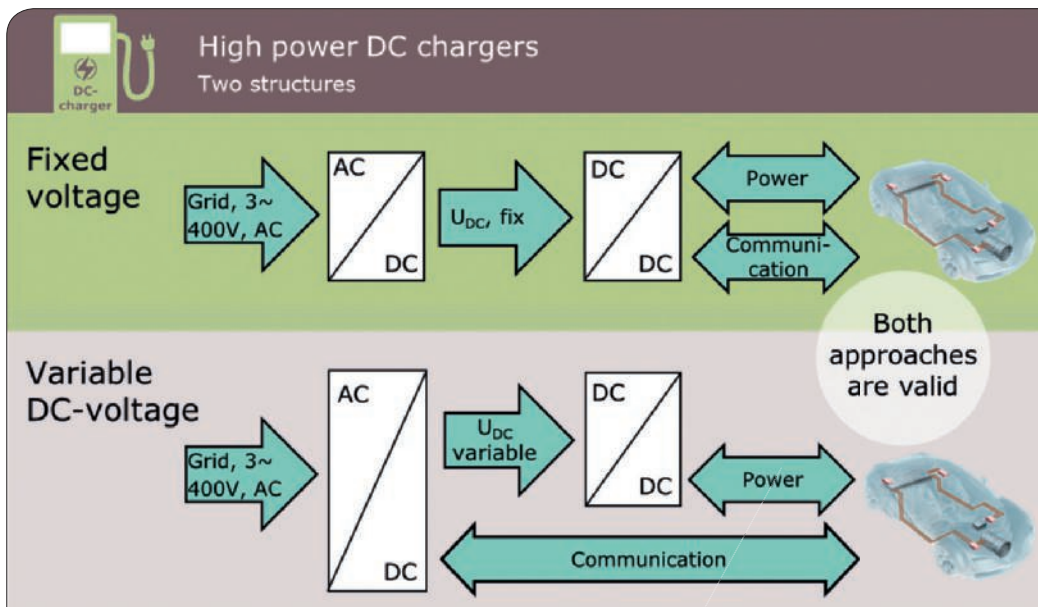


Bild 1: Blockdiagramme für zwei der möglichen Architekturen für Hochleistungs-DC-Ladesysteme.

integrierten Kontroll- und Schutzelementen (IC-CPD) bis hin zu komplexeren Ladeeinrichtungen für die Wandmontage. Diese ermöglichen zum Teil auch die Kommunikation zwischen dem Fahrzeug und der Stromversorgung sowie die Erdung und weitere Schutzfunktionen.

Die Batterien selbst benötigen eine Gleichspannungsversorgung (DC) und damit eine AC/DC-Umwandlung mit entsprechender Ladeelektronik im Fahrzeug (OBC). Das bedeutet wiederum, dass das Fahrzeug über eine Ladefunktion verfügen muss, die alle Aspekte wie Kühlung, Effizienz oder Gewicht berücksichtigt – alles Faktoren, die die Ladeleistung und damit die Ladegeschwindigkeit limitieren. Vor diesem Hintergrund ist die Entwicklung eines universellen externen DC-Ladesystems erforderlich.

ANSÄTZE FÜR SCHNELLE DC-LADUNG

Ein typisches 22-kW-DC-Ladesystem kann in rund 120 Minuten das Fahrzeug für eine Reichweite von zusätzlichen 200 km aufladen. Das ist mehr als ausreichend für das Laden während der Arbeit. Um aber die Ladezeit für die 200 km Reichweite auf nur 16 Minuten zu verkürzen, ist bereits eine DC-Ladestation mit 150 kW erforderlich. Mit 350 kW Leistung reduziert sich der Ladevorgang auf nur noch sieben Minuten, und erreicht damit die Nähe der Zeit, die für das Auftanken konventioneller Fahrzeuge benötigt wird. Diese Zahlenbeispiele setzen natürlich voraus, dass die Batterie diese Laderaten auch unterstützen kann. Neben der Möglichkeit, das Elektrofahrzeug schnell zu laden, wünschen sich Kunden darüber hinaus – wie an der Zapfsäule – ein standardisiertes Verfahren, egal wo die Batterie geladen wird.

In Europa hat sich die Organisation Charin auf die Fahnen geschrieben, die Entwicklung und Verbreitung des Combined Charging System (CCS) voranzutreiben. Die Spezifikationen definieren den Ladestecker, die Ladesequenz und auch die Datenkommunikation. Andere Regionen wie Japan und China haben mit Chademo oder GB/T vergleichbare Organisationen, während Tesla ein eigenes proprietäres System nutzt.

Die Charin-Spezifikationen unterstützen sowohl das AC- als auch das DC-Laden über ihre Stecker-Implementierung. Außerdem ist ein maximaler Konstantstrom-Ausgang von 500 A bei 700 VDC, mit Unterstützung bis zu 920 VDC definiert. Derzeit ist der Wirkungsgrad mit 95 Prozent angegeben, er soll aber künftig auf 98 Prozent steigen. Hier ist anzumerken, dass ein um ein Prozent geringerer Wirkungsgrad bei einem 150-kW-Ladesystem immerhin 1,5 kW entspricht. Daher gilt es, die Verluste bei einem schnellen DC-Ladesystem auf ein absolutes Minimum zu reduzieren.

ARCHITEKTUREN FÜR DC-LADESYSTEME

Das Design von DC-Ladesystemen für das Schnellladen basiert typischerweise auf zwei verschiedenen Ansätzen. Die erste Architektur konvertiert eine dreiphasige AC-Versorgung in einen variablen DC-Ausgang, der einen DC/DC-Wandler speist. Eine genaue DC-Spannung wird mittels Kommunikation mit dem zu ladenden Fahrzeug ermittelt (Bild 1, untere Hälfte). Beim alternativen Ansatz erfolgt die Umwandlung der anliegenden AC-Spannung in eine fixierte DC-Spannung, wobei dann der DC/DC-Wandler die Ausgangsspannung für die Fahrzeug-Batterie anpasst (Bild 1, obere Hälfte).

Beide Architekturen haben Vor- und Nachteile, sodass letztlich die Systemanforderungen den optimalen Ansatz bestimmen. Für derartige Hochleistungslösungen kommt keine monolithische Umsetzung auf der Halbleiterebene in Frage. Vielmehr erreicht eine Kombination mehrerer Lade-Subsysteme mit Leistungen von jeweils 15 bis 60 kW die gewünschte Ausgangsleistung. Wichtige Anforderungen dabei sind ein geringer Kühlaufwand und eine hohe Leistungsdichte bei möglichst geringen Abmessungen.

Die Effizienz eines Designs wie in Bild 2 beginnt am Frontend mit der AC/DC-Umsetzungsstufe. Die Implementierung der Blindleistungskompensation nutzt üblicherweise eine Topologie mit Vienna-Gleichrichter. Der Einsatz von aktiven 600-V-Bau-

Typical solutions for 30 kW to 150 kW chargers: discrete devices

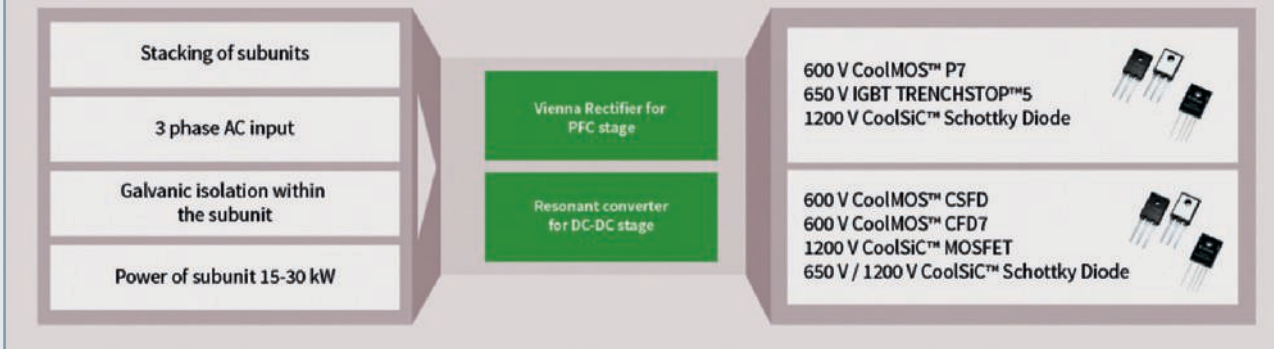


Bild 2: Typische Topologie für ein DC-Ladesystem.

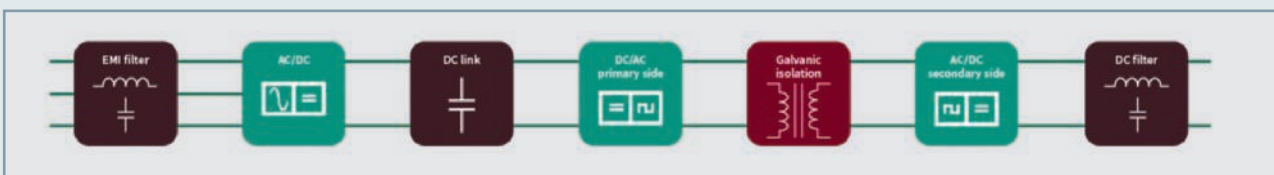


Bild 3: Subsysteme mit Leistungen von 15 bis 30 kW sind besser über diskrete Komponenten realisierbar.

Typical solutions for 50 kW to 350 kW chargers: power modules



Bild 4: Topologien für Hochleistungs-Ladesysteme auf Basis von Powermodulen.

Bilder: Infineon

elementen mit den Vorteilen des Drei-Stufen-Gleichrichters ermöglicht eine optimale Balance zwischen Kosten und Leistungsfähigkeit. Mit der Verfügbarkeit von Hochvolt-Bauelementen auf Basis von Siliziumkarbid (SiC) ist aber auch eine AC/DC-Konvertierungsstufe mit gängiger Zwei-Stufen-PWM-Topologie in Bereichen von 50 kW und höher einsetzbar.

LAST AUF MEHRERE PHASEN VERTEILEN

Beide Ansätze erreichen bei einem sinusförmigen Eingangsstrom eine kontrollierte Ausgangsspannung mit einem Leistungsfaktor von über 0,95 sowie einer Verzerrung (THD, Total Harmonic Distortion) von weniger als 5 Prozent und einem Wirkungsgrad von über 97 Prozent. In Anwendungen, in denen eine Isolierung gegenüber dem Stromnetz mit einem Umsetzer mittlerer Spannung möglich ist, lassen sich auch Multipuls-Gleichrichter-Topologien mit einer Diode und einem Thyristor

verwenden. Diese sind einfach einzusetzen, zuverlässig und bieten eine höhere Effizienz.

Aufgrund ihrer Effizienz und galvanischen Isolierung kommen in der DC/DC-Stufe Resonanz-Topologien bevorzugt zum Einsatz. Derartige Schaltungen erfüllen die Anforderungen nach hoher Leistungsdichte mit kompakten Abmessungen, während das spannungslose Schalten der Leistungstransistoren die Schaltverluste reduziert und so die Systemeffizienz erhöht. Die mehrphasige Vollbrückentopologie mit SiC-Bauelementen stellt eine alternative Lösung für isolierte Designs dar. In Architekturen mit Isolierung zum Stromnetz sind phasenversetzt arbeitende Abwärtsrichter (multi interleaved buck converter) die bevorzugte DC/DC-Topologie. Der Vorteil hierbei ist, dass sich die Last über alle Phasen verteilen lässt, was eine reduzierte Restwelligkeit (Ripple) und kleinere Filter bedeutet. Nachteilig ist dabei allerdings der größere Umfang an Bauteilen.

Im Leistungsbereich von 15 bis 30 kW sind die Subsysteme am besten mit diskreten Komponenten realisierbar (Bild 3). So bietet der Einsatz von Trenchstop-5-IGBTs zusammen mit Cool-SiC-Schottky-Dioden in einem Vienna-Gleichrichter eine gute Kombination für kostensensitive Anwendungen. SJ-MOSFETs der Reihe Cool-MOS P7 anstelle der IGBTs können die Effizienz nochmals geringfügig steigern. Für den DC/DC-Wandler erreicht man mit einem Resonanzwandler und MOSFETs des Typs CoolMOS CFD7 einen guten Wirkungsgrad. MOSFETs aus dem CoolSiC-Portfolio empfehlen sich, wenn höchste Effizienz das Ziel ist.

SPEZIALISIERTE LEISTUNGSBAUSTEINE

Für die Entwicklung von Subsystemen, die in schnellen DC-Ladesystemen zum Einsatz kommen, bieten sich Leistungsmodule an. Systeme mit höherem Leistungsniveau bevorzugen in der Regel Flüssigkeitskühlung, obwohl auch Luftkühlung möglich ist. Der Vienna-Gleichrichter ist mit Leistungsmodulen der Familie Cool-SiC Easy 2B bei einer Schaltfrequenz von 40 kHz realisierbar. Im DC/DC-Bereich bietet ein auf mehreren Phasen arbeitender Abwärtswandler Vorteile, der mit einigen hundert Kilohertz schalten kann. Hierfür stellen die Module der Reihe Cool-SiC Easy 1B und Cool-SiC-Dioden eine effiziente Kombination dar.

Zur Cool-SiC-Familie gehört der Baustein F3L15MR12WM1-B69 mit Vienna-Gleichrichter-Topologie in einem Easy-2B-Gehäuse. Mit einem Durchlasswiderstand $R_{DS(on)}$ von 15 mΩ bietet er eine hohe Leistungsdichte in einem Gehäuse, das eine einfache Design-Umsetzung erlaubt. Die mit Gel gefüllten und isolierten Keramikbauelemente haben eine geringe Kapazität und weisen temperaturunabhängige Schaltverluste auf. Halbbrücken-Topologien sind sowohl in Easy-2B- als auch den kleineren Easy-1B-Gehäusen verfügbar, mit $R_{DS(on)}$ Werten von nur 6 mΩ (Bild 4).

ANSTEUERUNG, REGELUNG, KOMMUNIKATION

Eine direkte Ansteuerung der Leistungsschalter nutzt in der Regel galvanisch isolierte Gatetreiber-ICs aus der Familie Eice-Driver. Diese eignen sich für IGBTs der Serie Trenchstop 5, SJ-MOSFETs des Typs CoolMOS P7 oder MOSFETs aus dem

Cool-SiC-Portfolio. Die Regelung von Leistungsstufen erfolgt üblicherweise per Mikrocontroller. Für den flexiblen Aufbau der Regelschleife von AC/DC-Wandlern bieten sich Controller der Serie XMC4000 mit konfigurierbaren Timer und PWM-Peripherie an. Eine CAN-Schnittstelle ermöglicht die Kommunikation unter den Teileinheiten und sorgt für die Übermittlung der Daten der verschiedenen Batterietypen. Serviceabrechnungen sowie die Authentifizierung von Softwareupdates und Hardwareupdates lassen sich über das Hardware-Security-Modul (HSM) in den Aurix-Mikrocontrollern sicher abwickeln. Diese Familie hat sich bereits in zahlreichen sicherheitsrelevanten Anwendungen der Automobilindustrie bewährt. Security-Chips wie der Optiga Trust B schützen im Falle einer Authentifizierung beim Austausch von Subsystemen vor Manipulation. Umfassendere Schutzmaßnahmen ermöglichen darüber hinaus die Trusted-Platform-Module Optiga TPM.

VORAUSSETZUNG FÜR KÜNFTIGE INFRASTRUKTUR

Die Verfügbarkeit einer schnellen DC-Lade-Infrastruktur ist ein wesentliches Kriterium für den Erfolg von batteriebetriebenen Elektrofahrzeugen und der Elektromobilität. Ohne ausreichende Möglichkeiten für das Schnellladen mit akzeptabler Dauer werden BEVs auf die Nutzung für kleinere Entfernungen begrenzt bleiben. Die Voraussetzungen wie die Spezifizierung von Ladeeinrichtungen und Steckverbindern sind mittlerweile gegeben. Darüber hinaus stehen innovative Halbleiterlösungen bereit. Diese reichen von Silizium-Leistungsbau-elementen bis zu SiC-Varianten, die auch gut bei höheren Schaltfrequenzen arbeiten und eine noch effizientere Leistungsumsetzung ermöglichen. Damit werden Ladesysteme effizient und zuverlässig. In Kombination mit entsprechenden Mikrocontrollern sowie ausgefeilten Authentifizierungs- und Security-Lösungen ist nun eine DC-Lade-Infrastruktur für zukünftige Verkehrsanforderungen realisierbar. (jwa) //

Autor

Pradip Chatterjee

Verantwortet Anwendung EV-Charging bei Infineon

Markus Hermwille

Director of Business Development bei Infineon

