

Ladegeräte-Topologien für Elektrofahrzeuge

# Hohe Leistung für schnelles Laden

*E-Mobilität erfordert schnelles und effizientes Laden, um die Akzeptanz von Elektrofahrzeugen zu erhöhen. Die über EBV Elektronik erhältlichen neuen Hochspannungs-MOSFETs von Infineon Technologies auf Basis von Siliziumkarbid können hierzu einen wesentlichen Beitrag leisten.*

VON MARTIN SCHULZ, PRINCIPAL APPLICATION ENGINEER BEI INFINEON TECHNOLOGIES,  
UND KARL LEHNHOFF, DIRECTOR SMART GRID BEI EBV ELEKTRONIK

Nicht nur in Ballungsräumen und an Autobahnen, sondern auch in Wohngebieten werden unzählige Ladestationen benötigt. Es sind deshalb enorme Investitionen zu tätigen. Die Anforderungen sind dabei nicht trivial: So müssen die mit den Ladestationen verbundenen Abrechnungssysteme ausgereift und sicher sein. Jedes Fahrzeug muss zudem identifiziert werden können, damit die bezogene Energie korrekt abgerechnet werden kann. Ein weiterer wichtiger Aspekt ist die Standardisierung der Ladesteckervorrichtungen. Organisationen wie CharIN ([www.charinev.org](http://www.charinev.org)) arbeiten daran, nicht nur die Anschlüsse, sondern auch die Kommunikationsprotokolle, über die das Fahrzeug mit der Ladestation kommuniziert, zu standardisieren.

## Stoßzeiten produzieren Spitzenlasten

Netzbetreiber müssen zudem die Herausforderung potenzieller Nachfragespitzen meistern. Die Einführung von Elektrofahrzeugen – die zu Stoßzeiten erhebliche Mengen an Strom fordern können – ist deshalb kein triviales Unterfangen. Der Lastausgleich ist dabei eine der größten Herausforderungen für EVUs. Doch innerhalb des Problems liegt auch die Lösung. Fahrzeuge, die über vollgeladene Batterien verfügen, aber nur für kurze Fahrten genutzt werden, haben im Grunde immer überschüssige Energie. Diese kann bei Implementierung entsprechender Logik bei Bedarfs-  
spitzen auch wieder ins Netz zurückgespeist werden, während noch immer genügend Ener-

gie für den Heimweg zur Verfügung bleibt. Solche Lösungen erscheinen aktuell jedoch noch in ferner Zukunft, haben Hersteller doch noch mit ganz anderen Problemen zu kämpfen.

## Die Angst vor dem leeren Akku

Mit Elektrofahrzeugen, die aktuell eine Reichweite von mehreren hundert Kilometern pro Ladung erreichen, ist der ganztägige Einsatz ein realistisches Einsatzszenario geworden. Doch bleibt die Angst vor längeren Fahrten eine Hürde, die viele Kunden daran hindert, die neue Technologie einzusetzen. Potenzielle Anwender, die zudem keine dedizierte Lademöglichkeit über Nacht haben, haben zudem Angst, keinen Zugang zur Elektrizität zu finden. Ihnen muss deshalb die Sicherheit vermittelt werden, dass sie jederzeit den Energiespeicher ihres Fahrzeugs in einem akzeptablen Zeitrahmen wieder auffüllen können. Erst danach kann man sie auch von einer Entladetechnologie überzeugen, die beispielsweise über Rückvergütungen attraktiv gestaltet werden könnte. Doch es gibt aktuell deutlich dringendere Herausforderungen zu bewältigen.

## Ladezeiten verkürzen

Typische Ladegeräte, die derzeit im öffentlichen Raum installiert sind, bieten zwar schon heute eine Stromabgabe von bis zu 50 kW. Das ist eine beträchtliche Leistung. Diese Leis-



Karl Lehnhoff,  
EBV Elektronik



Martin Schulz,  
Infineon Technologies

alle Bilder: Infineon

tung ist aber nicht wirklich vergleichbar mit dem Stopp an der Benzintankstelle. Das Laden des EV für weitere 100 km dauert etwa eine halbe Stunde, wenn man von einem Bedarf von 25 kWh/100 km ausgeht. Das Laden einer leeren 100-kWh-Batterie würde sogar länger als zwei Stunden dauern. Das wird von sehr vielen potenziellen Anwendern als extrem zeitaufwändig empfunden.

Von Ladesäulen, die sich auf Autobahnen befinden, wird erwartet, dass das Aufladen in wenigen Minuten statt in Stunden abgeschlossen ist. Die Kombination aus größeren Akkus zur Erhöhung der Ladekapazität und der Wunsch, die Ladezeiten zu verkürzen, führte deshalb zu einer neuen Generation von Ladegeräten, die bis zu 350 kW Leistung liefern können.

Diese neuen Designs werden auch das Aufladen von Elektrobussen und E-Trucks erleichtern, die derzeit in der Entwicklung sind. Die

erforderliche Batteriekapazität für diese Fahrzeuge wird auf etwa 250–400 kWh geschätzt, um einen angemessenen Mobilitätswert pro Ladung zu ermöglichen, während die Ladezeit unter einer Stunde bleiben soll.

### Anforderungen an Hochleistungsladegeräte

Beim Design solcher Hochleistungsladegeräte sind mehrere Herausforderungen zu meistern. Aufgrund des begrenzten Platzes für eine zusätzliche Kühlung ist insbesondere die Effizienz des Ladesystems zu nennen. 350 kW Ausgangsleistung bei einem Wirkungsgrad von 97 % führen immerhin zu Verlusten von rund 10 kW, was das thermische Design zu einer großen Herausforderung macht. Bei Strömen bis 500 A trägt dabei jeder Halbleiter auf dem Leistungspfad zu Systemverlusten bei.

Unterschieden werden müssen dabei bipolare und unipolare Bauelemente, da sie sich unterschiedlich verhalten: Bei bipolaren Bauelementen wie IGBTs definiert deren Durchlassspannung die statischen Verluste, während bei unipolaren Bauelementen wie MOSFETs hauptsächlich der Kanalwiderstand die Verluste erzeugt. Kann man diesen reduzieren, wird das Gesamtsystem effizienter – und das ist möglich.

### IGBTs oder MOSFETs?

Wegen der zur Verfügung zu stellenden hohen Leistung werden Ladestationen häufig über kleinere Einheiten im Parallelbetrieb ausgelegt. Kommen dabei IGBTs zum Einsatz, führt dies jedoch zu keiner Effizienzsteigerung. Sind jedoch MOSFETs im Einsatz, reduziert sich der Kanalwiderstand durch Parallelschaltung, sodass sich der Wirkungsgrad insgesamt erhöht. Daher sind MOSFETs die bessere Wahl für Ladestationen mit mehreren Subsystemen.

Der Aufbau eines modularen Ladegeräts mit mehreren parallelen Untereinheiten und individuellen Leistungsstufen zwischen 15 und 30 kW ist der Schlüssel für solche Ladestationen, die man je nach Marktnachfrage und den technischen Trends auch noch weiter aufbauen kann, um ihre Kapazitäten weiter zu erhöhen. So wird es zukünftig auch Designs geben, bei denen sich die Leistung der Untereinheiten auf beispielsweise 60 kW erhöhen lässt, ohne dabei den Platzbedarf zu erhöhen, wodurch man die aktuelle Leistungsdichte sogar mehr als verdoppeln kann – vorausgesetzt, man nutzt die richtigen Technologien.

### Evolution der Leistungswandler

Ein bislang gängiger Ansatz bei der Auslegung von Ladegeräten besteht im Einsatz einer Eingangsstufe mit Netzfilter und PFC-Stufe sowie einem Zwischenkreis und einem transformatorbasierten DC-DC-Wandler mit galvanischer Trennung – ähnlich wie in Bild 1 dargestellt.

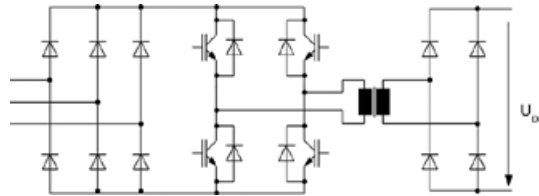


Bild 1: Grundlegendes Schema eines Leistungsteils für DC-Ladegeräte

Dieser rudimentäre Ansatz hat einige Nachteile, da es keine Kontrolle über die Gleichspannung gibt und rechteckförmige Ströme das Netz stören. Positiv ist jedoch, dass dies ein vergleichsweise einfacher Ansatz ist, der zudem Kostenvorteile bietet – vor allem durch die begrenzte Anzahl von Komponenten. Die in Bild 2 dargestellte Lösung ist fortschrittlicher und deshalb mittlerweile auch gängiger.

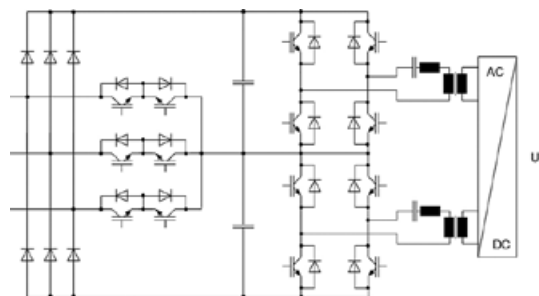


Bild 2: DC-Ladeendstufe mit Vienna-Rectifier und Resonanzwandler in Serienschaltung (Series Connected LLC)

In dieser Topologie erzwingt der Vienna-Rectifier am Eingang sinusförmige Netzströme und steuert die Zwischenkreisspannung im Boost-Modus. Darüber hinaus können einige der Halbleiter mit niedrigeren Sperrspannungen gewählt werden, sodass 650-V-Bauteile zum Einsatz kommen und so den Wirkungsgrad verbessern. Der Wechsel von einem hart schaltenden Ansatz zu resonanten DC-DC-Wandlern als Endstufe trägt zusätzlich zur Verlustreduzierung bei.

Wie immer ist eine solche Effizienzsteigerung nicht umsonst zu haben. Die größere Anzahl installierter Halbleiter, das komplexere Design der Gate-Treiber und die höhere Anzahl isolierter Stromversorgungen sind bei diesem Ansatz in Kauf zu nehmen. Auch die Regelalgorithmen sind ein wenig komplexer, was das Design anspruchsvoller macht.

*Effizienz rauf, Komplexität runter*

Seit der Verfügbarkeit von Siliziumkarbid-basierten Hochspannungs-MOSFETs ist die Reduzierung dieser Komplexität auch ohne Einbußen bei der Effizienz möglich. Bild 3 zeigt ein solches Ladegerät, das mit lediglich einer einzigen Sorte Baustein in Halbbrückentopologie auskommt.

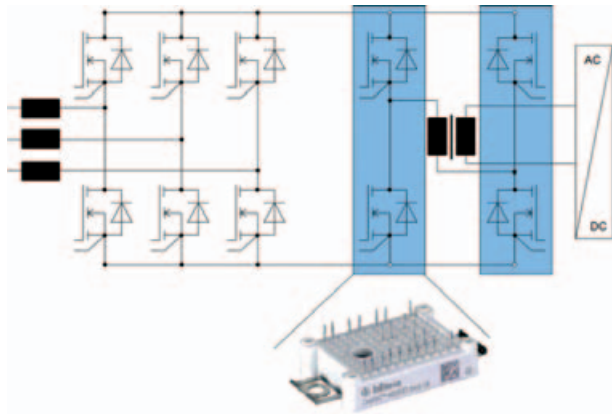


Bild 3: Leistungsteil mit SiC-MOSFETs in Halbbrückentopologie

Die blau schattierte Box in Bild 3 zeigt das bei EBV Elektronik erhältliche Easy1B-Leistungsmodul FF11MR12W1M1\_B11 von Infineon, das mehrere 1200-V-SiC-MOSFETs in einer Halbbrückenkonfiguration enthält, die einen

Durchlasswiderstand von bis zu 11 mΩ bei 25 °C bieten. Wo keine galvanische Trennung erforderlich ist, kann die Halbbrücke im Buck-Boost-Modus betrieben werden. Durch Kombination mehrerer Module ist auch das Handling einer höheren Leistung möglich.

*Technik für Ladegeräte-Topologien von morgen*

Kommen MOSFETs zudem als aktives Front-End zum Einsatz, kann das Design auch als PFC-Stufe betrieben werden und bietet damit die Möglichkeit, Energie auch wieder ins Netz zurück zu speisen. Dieser Ansatz kombiniert folglich eine geringe Bauteilezahl mit hoher Effizienz und hält zugleich auch die Komplexität des Gesamtsystems so gering wie möglich. Auch bietet er die Möglichkeit, das Ladegerät sowohl in Vehicle-to-Grid- (V2G) als auch in Vehicle-to-Home- (V2H) Anwendungen zu integrieren.

Mit den hohen Schaltfrequenzen, die mit SiC-MOSFET-basierten Designs möglich sind, können zudem Eingangsfilterkomponenten verkleinert werden, was wiederum zu kompakteren Designs führt. Techniken wie die Synchrongleichrichtung reduzieren darüber hinaus auch die Verluste und damit den Aufwand für das thermische Management. Der effizienten

Versorgung der Elektromobilität gelingt damit ein deutlicher Schritt nach vorne.

*Ganzheitliche Betrachtung*

Die einführend erwähnten hohen Anforderungen an die Ladesäuleninfrastruktur wird noch weitere Optimierung der Ladesäulenteknik erfordern und die hohe Marktdynamik wird dazu führen, dass auch neue Anbieter auf den Markt kommen werden, die bisweilen auch eine sehr intensive Beratung benötigen, da sie zum Teil aus komplett anderen Gerätebausegmenten kommen. Auf Distributoren wie EBV Elektronik zurückzugreifen ist hierfür ein probater Lösungsweg. Das Unternehmen ist u.a. bevorzugter Vertriebspartner von Infineon, sodass Entwickler eine umfassende Beratung und ausgereiften Design-in-Support für die neuen SiC-MOSFETs erwarten können. Das Unternehmen hilft Kunden auch dabei, weitere neue Building-Blocks für ihre smarte Ladesäulenteknologie der nächsten Generation zu evaluieren und einzudesignen. Support in sowohl technischer Tiefe als auch Breite ist ein herausragendes Leistungsmerkmal. Die Nähe der FAEs zu nutzen bietet sich für OEMs und ODMs zudem jederzeit an, denn ein persönliches Gespräch ist deutlich effizienter, als im Internet zu surfen oder auf Messen zu gehen, um zu sehen, was es Neues gibt. (zü) ■