



FASZINATION ELEKTRONIK

AUSGABE 3 | APRIL 2019 | 19. JAHRGANG | WWW.INDUSTR.COM

SPEEDBOOST FÜRS DC-LADEN

In 15 Minuten fit für 200 Kilometer

Seite 12

FOKUS: POWER

Geräte effizienter mit Strom versorgen ab Seite 16

BAUTEILEVERKNAPPUNG

Wie Hersteller die Situation meistern können Seite 40

TIPPS & TOOLS

Embedded-Linux in Schuss halten Seite 58

**publish
industry
verlag**

IN 15 MINUTEN FIT FÜR 200 KM

GESCHWINDIGKEITSBOOST FÜRS DC-LADEN

Damit sich Elektrofahrzeuge auch für längere Strecken eignen, müssen sie schneller geladen werden. Erreicht werden kann das mit DC-Ladegeräten mit 150 kW Leistung. Besonders gut umsetzen lassen sich diese durch einen modularen Ansatz und mit Hilfe von SiC-Bauelementen.

TEXT: Omar Harmon, Francesco Di Domenico und Srivatsa Raghunath, Infineon

BILDER: Infineon; iStock, Sanchesnet1



Es ist nicht zu übersehen, dass sich Straßen und Parkplätze auf dem Weg ins Zeitalter des Elektrofahrzeugs befinden. Da Elektrofahrzeuge immer beliebter werden, entsteht eine wachsende Ladeinfrastruktur. Bisher können die meisten Elektroautos bei der Reichweite noch nicht mit Fahrzeugen mit Verbrennungsmotoren mithalten. Dennoch wäre die Reichweite kein Problem, wenn das Laden von E-Cars ähnlich schnell verlaufen würde, wie ein gängiger Tankstellenbesuch.

Das Aufladen zu Hause erfolgt bei den meisten Elektrofahrzeugen entweder über das heimische Stromnetz oder über ein an der Wand montiertes Ladegerät. Typischerweise mit bis zu 22 kW veranschlagt, sorgen solche Lösungen in etwa 120 Minuten für genügend Ladung für ungefähr 200 km. Das ist ideal für das Aufladen über Nacht. Um die gleiche Reichweite in 15 Minuten zu erreichen, ist ein DC-Ladegerät mit einer Leistung von 150 kW erforderlich. Diese Leistung kann nur an geeigneten Standorten geliefert werden, an denen die erforderliche elektrische Infrastruktur vorhanden ist. Raststätten, Taxistände und bestehende Tankstellen sind dafür zum Beispiel gut geeignet.

Regionale Standards für Ladegeräte sind bereits etabliert. Organisationen wie CharIN in Europa, CHAdeMO in Japan und GB/T in China haben alles von den Steckverbindern und Kabeln bis hin zu Ladespannungen und -strömen definiert. Darüber hinaus gelten weitere Normen, die allgemeine Aspekte der elektrischen Sicherheit (IEC 60950), der optischen Isolierung (UL1577) sowie der magnetischen und kapazitiven (VDE V 0844-11) Kopplungskomponenten umfassen. Das gibt den Entwicklern die Freiheit zu wählen, wie sie die Implementierung des DC-Ladegeräts am besten angehen.

Viele Aspekte des Designs werden von Themen wie Formfaktor, Umgebungsbedingungen, Ästhetik und Preis beeinflusst. Unabhängig von diesen Vorgaben erfordern DC-Ladegeräte im Bereich von 50 bis 150 kW einen modularen Ansatz.

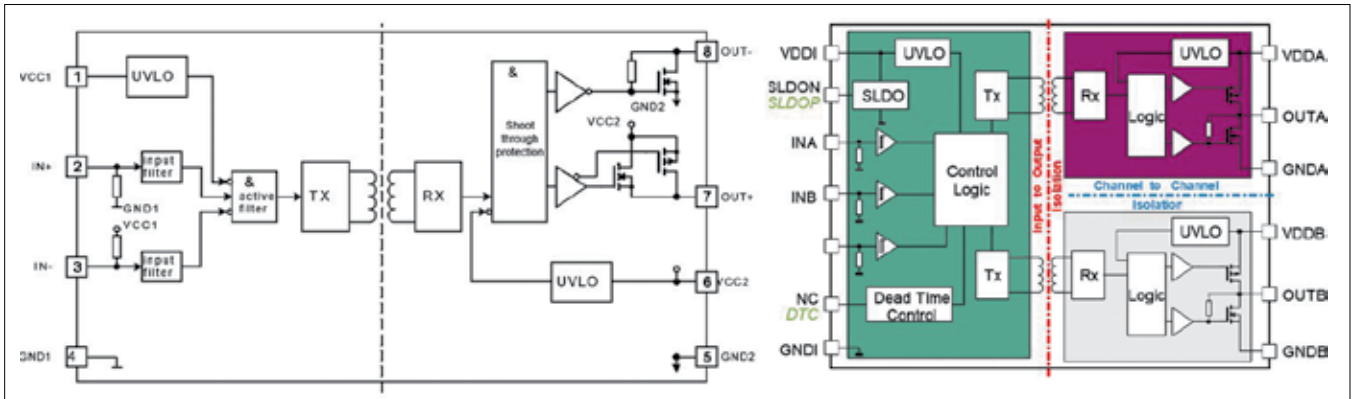
Die einzelnen Module sind dabei über einen Datenbus mit einem zentralen Steuerungssystem verbunden, das die Abrechnung übernimmt. Außerdem sorgt es für die Authentifizierung bei externen Datennetzen und stellt die Authentizität aller am Ladegerät angebrachten Ersatzmodule sicher.

Bisher wurden typische 50-kW-Ladegeräte durch die Kombination von drei separaten Hardware-Untereinheiten mit jeweils rund 16,5 kW realisiert. Die Untereinheiten bestanden wiederum aus drei 5,5-kW-Blöcken. Dieser modulare Ansatz ermöglicht es den Herstellern, Skaleneffekte zu erzielen, indem sie bestehende Untereinheiten und Design-Blöcke bei der Betreuung neuer Kunden wiederverwenden. Bei einem Ausfall vereinfacht der modulare Ansatz außerdem die Wartung und Reparatur.

Modular zu 150 kW

Sollen die Ladezeiten sinken, ist allerdings eine höhere Leistung erforderlich. Dafür muss die Leistung jeder Untereinheit und jedes Design-Blocks steigen, um ein Gleichgewicht zwischen Leistungsfähigkeit, Leistung und Benutzerfreundlichkeit herzustellen. Die Untereinheiten selbst basieren auf effizienten mehrstufigen und -phasigen Topologien. Sie ermöglichen eine Verteilung der Wärmeabfuhr auf das verfügbare Volumen und Skalierbarkeit. Der modulare Ansatz sorgt auch für allgemeine Skaleneffekte. Dadurch sind die Hersteller in der Lage, Ladegeräte mit einer Vielzahl von Ausgangsleistungen schnell zu implementieren, falls sich die Marktanforderungen weiterentwickeln.

Im Leistungsbereich von 15 bis 40 kW empfiehlt sich für Untereinheiten ein Designansatz mit diskreten Komponenten. Ziel ist es, Wirkungsgrade zwischen 93 und 95 Prozent zu erreichen und gleichzeitig einen Ausgangsspannungsbereich von 200 bis 920 V_{DC} zu unterstützen. Dieser ist notwendig für den Standard der CharIN. Die Eingangsversorgung, typischer-



Die Steuersignale von Mikrocontrollern werden über Gate-Treiber angebunden. Dafür eignen sich kernlose Transformatoren (CT) sehr gut. Ein Beispiel dafür ist der ein- und zweikanalige CT-Gate-Treiber EiceDriver von Infineon.

weise dreiphasig und mit 380 V_{AC} , wird mit einem dreiphasigen Vienna-Gleichrichter gleichgerichtet. Um den variablen DC-Ausgang zu liefern, werden isolierte DC/DC-LLC-Resonanzwandler mit Einzel-Vollbrückentopologie für 1.200 V oder gestapelte Vollbrücken-LLCs für 600 bis 650 V verwendet. Für das System bietet sich eine Luftkühlung an.

Kombination von Si- und SiC-Bauelementen

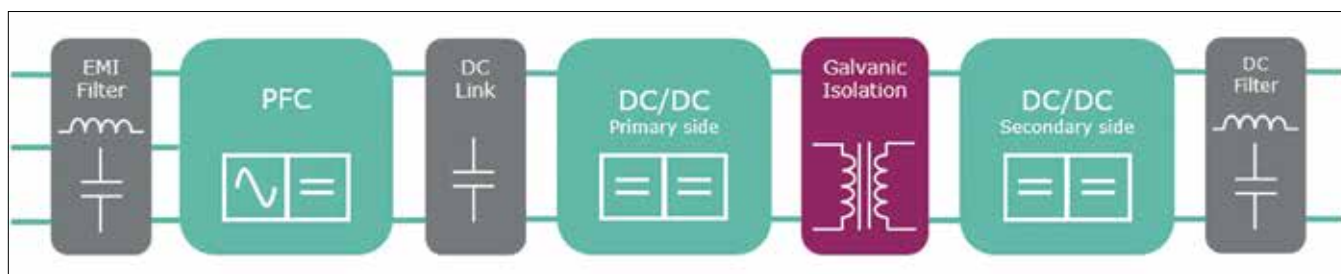
Solange DC-Ladegeräte keine Energie zurück ins Netz einspeisen müssen, ist der Vienna-Gleichrichter eine ausgezeichnete Wahl für die PFC-Stufe (power factor correction, Blindleistungskompensation). Dieser dreiphasige und -stufige PWM-Gleichrichter benötigt nur drei aktive Schalter. Die regelbare Ausgangsspannung bleibt auch bei unsymmetrischem Netz oder Ausfall einer Phase funktionsfähig. Der Gleichrichter ist robust, da bei einer Fehlfunktion des Steuerkreises kein Kurzschluss des Ausgangs oder des Frontends auftritt. Der Eingangsstrom ist sinusförmig, wobei verschiedene Implementierungen einen Leistungsfaktor von bis zu 0,997, THDs von unter 5 Prozent und Wirkungsgrade von 97 Prozent oder besser erreichen.

Eine solche Topologie lässt sich mit einer Kombination aus Silizium- (Si) und Siliziumkarbid-Technologien (SiC) effizient umsetzen. Bauelemente wie die Schottky-Dioden vom Typ CoolSiC 1.200 V von Infineon bieten temperaturunabhängiges Schaltverhalten, hohe dv/dt -Stabilität und eine niedrige Vorwärtsspannung von lediglich 1,25 V. Das reduziert die Anforderungen an die Kühlung des Gesamtsystems und erhöht außerdem die Zuverlässigkeit des Systems bei gleichzeitig extrem schnellem Umschalten. Für effiziente und kostenoptimierte Lösungen können die 650-V-Trenchstop-5-IGBTs von Infineon mit ihren niedrigen V_{CEsat} und geringen Schaltverlusten mit diesen Dioden gekoppelt werden. Um weitere Effizienz-

steigerungen zu erzielen, können sie alternativ mit der CoolMOS-P7-Serie von Infineon in der Back-to-Back-Schaltstufe abgestimmt werden. Diese bieten deutlich geringere Schaltverluste aufgrund ihres niedrigen E_{oss} , der verbesserten Gate-Ladung (Q_g) und des niedrigen $R_{DS(on)}$, der bis zu $24\text{ m}\Omega$ erreichen kann.

Die beiden gestapelten Vollbrücken-LLC-Resonanzwandler nutzen CoolMOS-CSFD und, für $R_{DS(on)}$ unter $30\text{ m}\Omega$, CoolMOS-CFD7. Das bietet Schutz während der kritischen Betriebsphasen eines Ladegeräts, insbesondere während der Inbetriebnahme, bei einem Kurzschluss am Ausgang oder im Burst-Modus. Diese Robustheit geht nicht zu Lasten anderer Eigenschaften, da die Geräte eine niedrige E_{oss} , Q_g und Sperrverzögerungsladung (Q_{rr}) liefern. Das granulare $R_{DS(on)}$, das in der gesamten Familie bereitgestellt wird, ermöglicht für jede Leistungsklasse die Auswahl des am besten geeigneten Bauteils. Die sekundäre Gleichrichterstufe wird mit 650-V-Schottky-Dioden vom Typ CoolSiC vervollständigt.

Durch den Wechsel zu einer Lösung mit einem höheren Anteil an SiC-Bauelementen kann die gleiche Topologie effizienter gestaltet werden. Darüber hinaus erhöht sich durch die geringere Anzahl an Komponenten die Zuverlässigkeit und reduziert sich die Wärmeentwicklung. Parallele Vollbrücken-LLC-Wandler ersetzen den Hochspannungs-DC/DC-Stapelansatz. Um die höheren Zwischenkreisspannungen auf der Primärseite zu bewältigen, werden die Schalter durch 1.200-V-CoolSiC-MOSFETs ersetzt. Die höheren sekundärseitigen Spannungen werden durch ein Upgrade der Dioden auf 1.200-V-CoolSiC-Bauteile bewältigt. Die Kombination aus weniger Komponenten und einem niedrigeren $R_{DS(on)}$, der von jedem Bauteil erzeugt wird, führt zu geringeren Leitungsverlusten. Insgesamt bieten Untereinheiten, die diesen Ansatz verfolgen, eine längere Lebensdauer bei höherer Zuverlässig-



DC-Ladegeräte bestehen sinnvollerweise aus mehreren Modulen. Die Abbildung zeigt die typische Topologie für solche Untereinheiten im Bereich von 15 bis 40 kW.

keit und Leistungsdichte. Außerdem besteht die Möglichkeit des Betriebs bei höheren Schaltfrequenzen.

Die Steuersignale eines Mikrocontrollers (MCU), wie beispielsweise des XMC4000 von Infineon, oder eines digitalen Signalprozessors (DSP) müssen über einen geeigneten Gate-Treiber mit den Leistungsbauteilen verbunden sein. Lösungen auf Basis der Technologie Silizium-auf-Isolator (silicon-on-insulator, SOI) mit monolithischer Robustheit bei der Pegelumsetzung und galvanisch isolierten kernlosen Transformatoren (coreless transformer, CT) bieten die erforderliche Leistung, die für den Betrieb sowohl von Halb- als auch von Vollbrückenstufen unerlässlich ist. Entscheidende Leistungsmerkmale sind unter anderem die Ausbreitungsverzögerung, der Treiberstrom, die VS-Immunität, die Verluste der Pegelumsetzung und die Schaltfrequenz.

Die vorgestellten Designs verwenden zwei Familien der Eicedriver-Reihe, die sogenannten 1ED und 2EDi. Modelle wie der 1EDCx0I12AH sind einkanalige, isolierte CT-Gate-Treiber, die in einem Wide Body Package angeboten werden und nach UL-1577 zertifiziert sind. Die Eingangsseite unterstützt einen weiten Spannungsbereich, was den Anschluss an eine MCU oder einen DSP vereinfacht. Das gilt auch für die Ausgangsseite, die sowohl den unipolaren als auch den bipolaren Betrieb unterstützt. Der Rail-to-Rail-Ausgangstreiber vereinfacht die Auswahl des Gate-Widerstands, erspart eine externe Hochstrom-Bypassdiode und verbessert die dv/dt-Steuerung sowohl in High-Side- als auch in Low-Side-Konfigurationen.

Der 2EDS8265H ist ein schneller Zweikanal-Gate-Treiber mit einer Isolierung zwischen Ein- und Ausgangsseite sowie einer Kanal-zu-Kanal-Isolation auf der Ausgangsseite. Die sehr gute Gleichtaktunterdrückung, die schnelle Signalausbreitung und der hohe Treiberstrom eignen sich gut für die

Bauteile CoolMOS CFD7 und CoolSiC, die auf der Primärseite des gestapelten LLC verwendet werden.

Bei einem Schnellladegerät für Elektrofahrzeuge tragen Funktionen wie die aktive Abschaltung, wenn das Gerät nicht an die Stromversorgung angeschlossen ist, und die Unterspannungsabschaltung (under voltage lockout, UVLO) zur Robustheit der Gesamtlösung bei. In Verbindung mit einem optimalen Layout, wie der Platzierung von Entkopplungskondensatoren in der Nähe der Ein- und Ausgangspins und der Reduzierung der parasitären Induktivität durch Masseflächen, wird sichergestellt, dass das System eine gute thermische und elektrische Leistungsfähigkeit erreicht.

Laden fast wie Benzintanken

Damit Elektrofahrzeuge nicht nur im innerstädtischen Einsatz konkurrenzfähig sind, sondern auch auf langen Strecken, muss das Laden ähnlich schnell ablaufen, wie die Betankung eines Benzin- oder Dieselfahrzeugs. Hierfür spielen schnelle DC-Ladegeräte mit einer Leistung von bis zu 150 kW eine wichtige Rolle. Ladegeräte dieser Dimension sind modular aufgebaut und kombinieren mehrere kleinere Leistungseinheiten, um die gewünschte Ausgangsleistung zu erreichen.

Wirkungsgrad, Zuverlässigkeit, thermische Aspekte, Größe und Kosten sind gleichermaßen für diese Systeme relevant. Deshalb eignen sich für sie SiC-Bauteile sehr gut. Diese können mit bestehenden Si-MOSFET-Schaltern kombiniert werden oder, wenn sehr hohe Wirkungsgrade bei gleichzeitig geringerer Teileanzahl erreicht werden müssen, in Kombination mit SiC-Schaltern. Zusammen mit den entsprechenden Gate-Treibern und der Steuerelektronik lassen sich luftgekühlte Module ab 30 kW realisieren, um die aktuellen weltweiten Ladestandards zu erfüllen. □