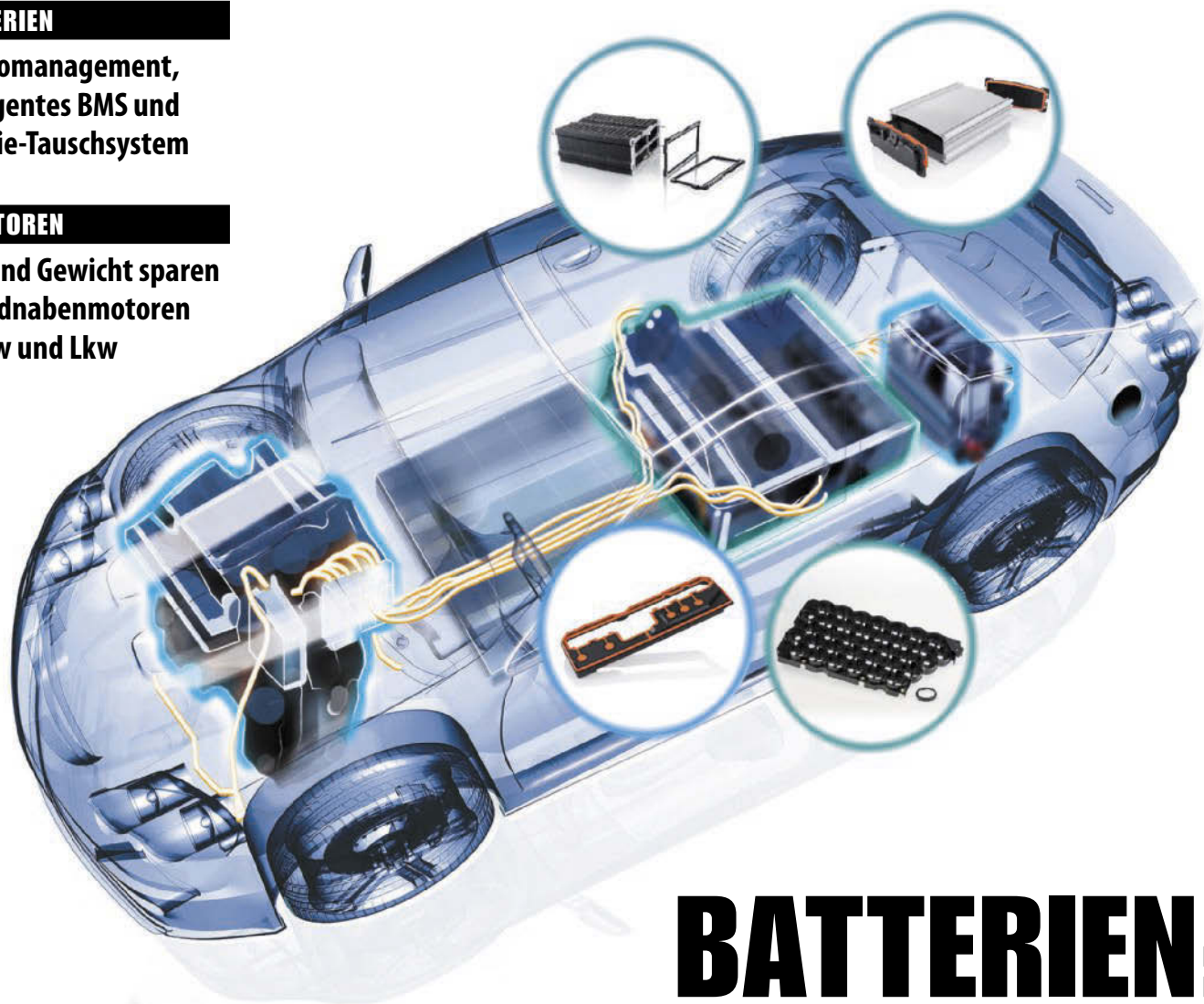


## **BATTERIEN**

Thermomanagement,  
intelligentes BMS und  
Batterie-Tauschsystem

## **E-MOTOREN**

Platz und Gewicht sparen  
mit Radnabenmotoren  
für Pkw und Lkw



# **BATTERIEN: MIT LSR ABDICHTEN**



**Hühig**

erfolgsmedien für experten

# Effiziente Resonanzwandler-Topologie GaN-Leistungswandler im OBC

**Erst größere Reichweiten und mehr Ladepunkte machen Elektrofahrzeuge attraktiver.** On-Bord-Charger bieten mehr Unabhängigkeit für das Laden, der knappe Bauraum und die zunehmende Batterienleistungsdichte erfordern jedoch eine stärkere und effizientere Auslegung. Einen vielversprechenden Ansatz bieten hochintegrierte GaN-Leistungswandlermodule in Resonanzwandler-Topologie.

*Autoren: Tobias Fuhr und Tobias Herrmann*

## KEYWORDS

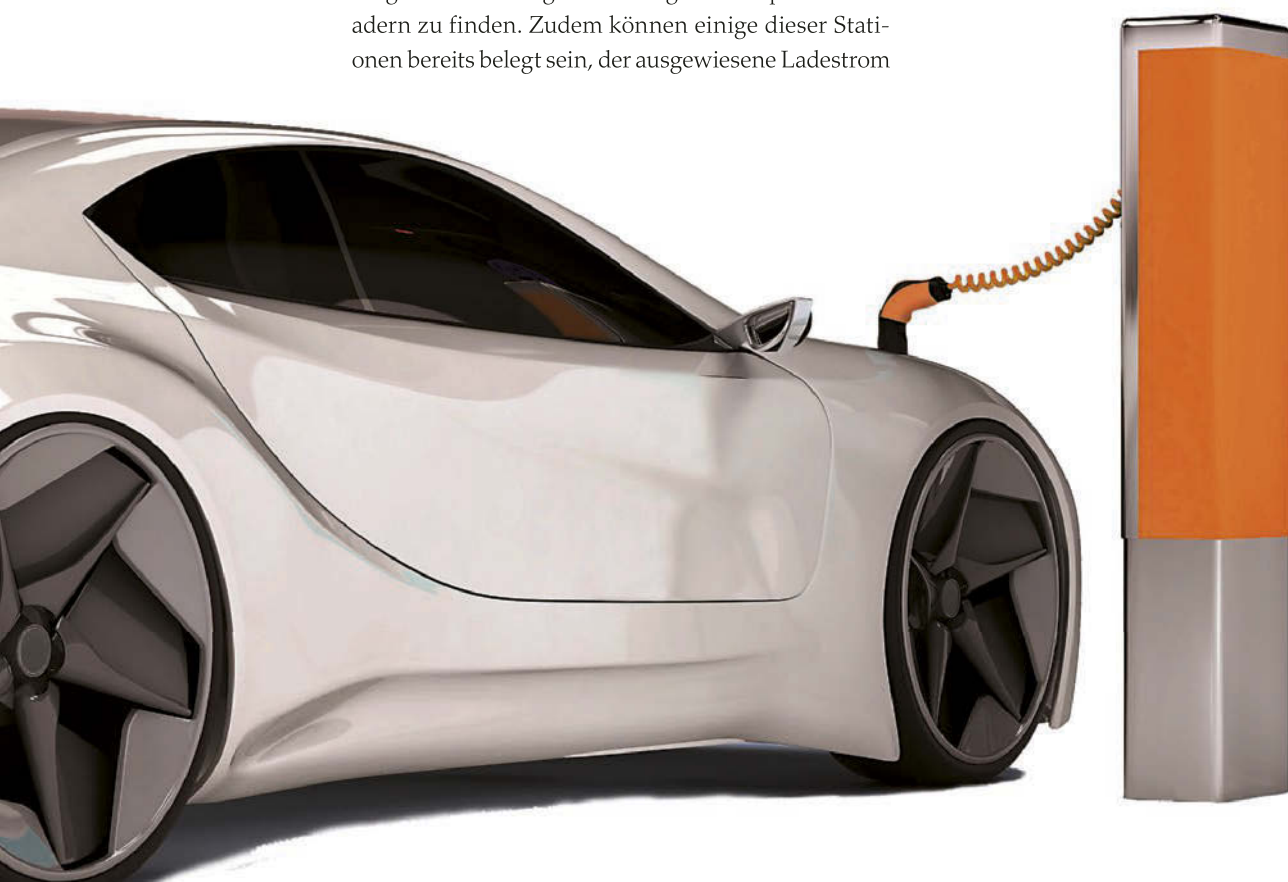
**GaN / On-Board-Charger / Leistungswandlung /  
Laden / Batterie**

BMW, Tesla oder Volkswagen - jeder Autohersteller nutzt in seinen neuesten Modellen eine steigende Anzahl elektrischer Systeme. Ob für Sicherheit, Fahrassistenz, Komfort oder Unterhaltung, der elektrische Energiebedarf im Auto wächst stetig. Damit einher geht eine Evolution der Stromversorgungssysteme im Auto, angefangen mit 48V-Batterien in Mild-Hybrid-Systemen mit Starter-Generator bis hin zur Spitze der Elektrifizierung, an der das rein elektrisch betriebene Auto (BEV) mit Hochvoltbatterie steht. Für Elektrofahrzeuge stellen DC-Schnell-Ladesäulen einen von der Hochvoltbatterie angeforderten Gleichstrom bereit und ermöglichen damit eine effiziente und schnelle Ladung. Gegenwärtig sind solche DC-Ladepunkte noch sehr rar gesät und häufig nur entlang von Hauptverkehrsadern zu finden. Zudem können einige dieser Stationen bereits belegt sein, der ausgewiesene Ladestrom

kann tatsächlich kleiner sein und die Ladezeit verlängern, es können Anschluss- oder Kommunikationsprobleme zum Fahrzeug auftreten und auch Behinderungen beim Bezahlvorgang auftreten.

## LADEMÖGLICHKEITEN MIT OBC

Einen weiteren sicheren Zugang zu elektrischer Energie und damit eine universelle Zusatzmöglichkeit zur Batterieaufladung bieten in aktuellen Elektrofahrzeugen mitgeführte On-Board-Charger (OBC), welche die Netzwechselfrequenz in einen passenden Ladegleichstrom umwandeln. Damit lassen sich AC-Ladesäulen, Wandladestationen zur Heiminstallation in der eigenen Garage oder mit zusätzlicher Sicherheitsüberwachung auch herkömmliche Steckdosen zur Ladung des Elektrofahrzeuges benutzen. Dass sich in diesem Fall die gesamte Ladeelektronik im Fahrzeug befindet und darin fest verbaut ist, stellt den maßgeblichen Unterschied zum DC-Laden mit ortsfester externer Ladeelektronik dar. Entsprechend der



limitierten Ressourcen hinsichtlich Bauraum und Gewicht im Fahrzeug, sowie der Zielsetzung nach geringen Zusatzkosten für die Ladeelektronik, kommen On-Board-Ladegeräte nur für kleinere Leistungen und damit das langsame Normalladen über mehrere Stunden in Frage.

Typische Nennleistungen für OBCs korrelieren hierbei mit den hiesigen maximal zulässigen Leistungen der stationären Elektroinstallation, das heißt einphasig 3,7 kW und dreiphasig 11 oder 22 kW. Gleichwohl gibt es auch Ausführungen mit höheren einphasigen Nennleistungen, beispielsweise für den nordamerikanischen Markt. Zum Vergleich: Für DC-Ladesysteme sind Nennleistungen im mittleren zweistelligen kW-Bereich bis hin zu einigen 100 kW realisierbar.

#### MAXIMALE WIRKLEISTUNG AUS DEM NETZ

Um die deutliche Erhöhung der Leistungsdichte besser nachvollziehen zu können, ist es notwendig, detaillierter in den Aufbau von derartigen Ladegeräten einzusteigen. Exemplarisch erfolgt diese Beschreibung anhand eines einphasigen On-Board-Ladegerätes mit galvanischer Trennung. Diese Trennung dient der Erhöhung des Berührungsschutzes, das heißt die Netzwechselspannung ist hierbei vollständig isoliert von der Bordnetzspannung des Fahrzeuges. Diese Hochvolt-Bordnetzspannung wird zusätzlich vom eigentlichen Fahrzeugchassis isoliert und dauerhaft mittels Isolationswächter überwacht.

Ein typischer Ansatz für On-Board-Ladegeräte besteht aus zwei in Serie geschalteten Leistungswandlerstufen sowie einem dazwischen befindlichen Spannungszwischenkreis. Unmittelbar am Wechselspannungsnetz sorgt eine Leistungsfaktorkorrekturschaltung (PFC) für eine sinusförmige Stromaufnahme, was durch einen hohen Leistungsfaktor ( $> 0,99$ ) zu einer minimalen Aufnahme an Verzerrungsblindleistung führt und eine Wirkleistungsaufnahme bis zur Nennleistung der Netzabsicherung ermöglicht.

Die PFC-Stufe besteht klassischerweise aus einem Brückengleichrichter sowie einem nachfolgenden Hochsetzsteller mit Speicherdrossel, auch Sinusdrossel genannt, sowie einer Halbbrücke. In Bild 1 ist eine Alternative mit zwei parallelen Hochsetzstellern (Boost-Konverter) dargestellt, wobei diese um  $180^\circ$  phasenverschoben im Interleave-Betrieb arbeiten, was trotz Verwendung kleiner Induktivitäten zu einem Eingangsstrom mit geringer Restwelligkeit führt.

#### EMISSIONSARMER RESONANZWANDLER

Die PFC-Stufe arbeitet typischerweise im Boost-Betrieb und wandelt die Eingangswchselspannung in eine Zwischenkreisspannung von 350 bis 400 V um. Geglättet von den Zwischenkreiskondensatoren steht diese Gleichspannung dem nachgeschalteten DC/DC-Wandler zur Verfügung, welcher durch die einstellbare Zwischenkreisspannung in einem engen Bereich um seinen optimalen Betriebspunkt arbeiten kann. Häufig kommen hier auf-



#### E-MOBILITY

## Automatische Schnellladelösung

#### Wir bieten Komplettlösungen - vom ersten Konzept bis zum Endprodukt

Unsere innovativen Steckverbinder für Schnellladesysteme von Elektrofahrzeugen übertragen in kürzester Zeit eine hohe Leistung. Der Energiespeicher wird bei einem Haltestopp automatisch aufgeladen, so kann auf große und schwere Batterien verzichtet werden.

- Zuverlässige, vollautomatische Lösung
- Rundum berührungsgeschützt
- Niedrige Übergangswiderstände



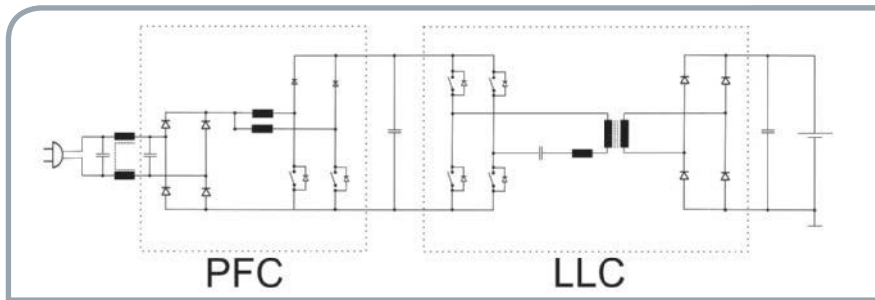
Kontaktieren Sie uns, wir zeigen Ihnen gerne, wie Sie mit uns emissionsfrei und wirtschaftlich ans Ziel kommen.

[www.staubli.com/electrical](http://www.staubli.com/electrical)

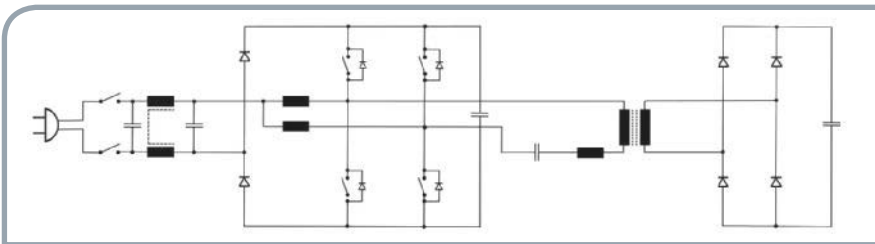
Multi-Contact

MC

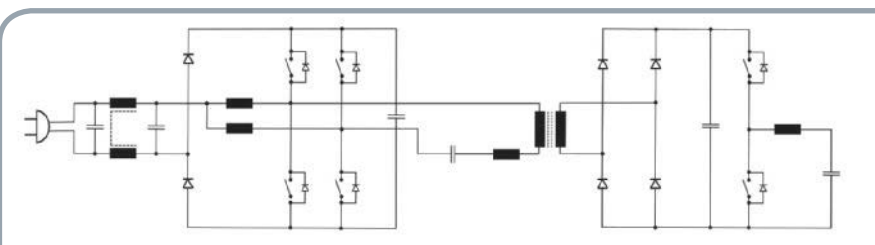
STÄUBLI



**Bild 1:** Die herkömmliche zweistufige Topologie für einen einphasigen, galvanisch getrennten On-Board-Charger ist umfangreich, groß, teuer und kaum noch zu optimieren.



**Bild 2:** Die einstufige Topologie für ein einphasiges, galvanisch getrenntes On-Board-Ladegerät erhöht die Leistungsdichte und senkt die Schaltungskosten.



**Bild 3:** Die einstufige Topologie aus Bild 2, ergänzt um ein aktives Filter zur Reduktion von netzfrequenten Spannungsschwankungen, ermöglicht kleinere Sieb-Elkos und spart nochmals Bauraum beim On-Board-Charger.

Bilder: Finepower

grund hoher Wirkungsgrade und geringer Strahlungsabstrahlung Resonanz-Topologien zum Einsatz, wie die des LLC.

Darin bilden die namensgebenden Induktivitäten LL (Resonanzdrossel oder Streu- und Hauptinduktivität des Transformators) und der Resonanzkondensator C einen Resonanzkreis zur hochfrequenten Energieübertragung über die Isolationsbarriere mittels Transformator. In diesem Resonanzkreis fließt durch geeignete Variation der Schaltfrequenz erneut ein nahezu sinusförmiger hochfrequenter Strom im hohen zweistelligen Kilohertz-Bereich bis hin zu wenigen hundert kHz. Durch den Transformator wird ein dem Übersetzungsverhältnis entsprechender Strom auf der Sekundärseite induziert, erneut gleichgerichtet und durch einen geeigneten Hochfrequenzfilter geglättet.

Derzeit entwickelt Finepower ein hochkompaktes On-Board-Ladegerät für Elektrofahrzeuge, bei dem als Leistungshalbleiter anstelle herkömmlicher siliziumbasierter Transistoren die Verwendung von Galliumnitrid-Transistoren vorgesehen ist.

#### SCHALTUNGSTOPOLOGIE VEREINFACHEN

Die einstufige Topologie für On-Board-Charger realisiert die PFC-Funktionalität über zwei phasenverschobene bestromte Sinusdrosseln (Interleave-Betrieb), welche jeweils zwischen einem Netzspannungseingang (Phase oder Neutralleiter) und einem der beiden Schaltknoten geschaltet sind. Die

galvanische Trennung erfolgt weiterhin über einen Transformator, welcher in Analogie zum vormalig reinen DC/DC-Wandler Teil eines Resonanzkreises ist. Insgesamt lässt sich dieser Schaltungsteil als Sonderform eines DC/DC-Resonanzwandlers mit besonders weitem Eingangsspannungsbereich verstehen (Bilder 2 und 3).

Die neuartige Topologie ermöglicht die Verwendung herkömmlicher Halbbrückenmodule mit zwei in Reihe liegenden Einzelschalttransistoren und herausgeführtem Brückenmittelpunkt. Daneben existieren weitere Freiheitsgrade bezüglich der sekundärseitigen Gleichrichtung, die sowohl passiv mit Dioden, als auch mit aktiver Synchrongleichrichtung ausgestaltet sein kann. Zudem erlaubt die frei wählbare Gleichrichtertopologie wie Stromverdoppler, Spannungsverdoppler, Vollbrückengleichrichtung, Mittelpunktzanpfung und andere, das jeweilige Optimum für die angestrebte Applikation zu erreichen.

#### ALLES RAUSHOLEN MIT MCU UND FILTER

Neben der neuartigen Topologie für On-Board-Charger mit reduziertem Schaltungsumfang ermöglichen GaN-Leistungshalbleiter eine signifikante Erhöhung der Schaltfrequenz, verglichen mit etablierter Leistungselektronik auf Silizium-Basis. Das spart Bauraum und erhöht die Leistungsdichte, weil auch die passiven Leistungsbauteile (insbesondere Induktivitäten) durch höherfrequente Taktung kom-

pakter ausfallen können. Aufgrund der besonderen Ansteuerung der Leistungshalbleiter, mit zwei schnell um 180° phasenversetzt taktenden Halbbrücken, sowie der besonderen Regelstruktur zur Erreichung einer sinusförmigen Stromaufnahme, wird schnell deutlich, dass hier Standard-Regler-ICs nur unzureichend funktionieren können.

Sind weitere Verbesserungen der Stromverläufe im Nulldurchgang oder ein gezieltes Load-Balancing zwischen den Interleave betriebenen Halbbrücken wünschenswert, ist der Einsatz eines applikationsgemäßen Controllers unumgänglich. Bestenfalls ist das ein schneller Mikrocontroller oder ein DSP mit mehreren PWM-Ausgängen zur direkten Ansteuerung der jeweiligen Treiberstufen.

#### OPTIMIERUNGSPOTENZIAL

Eine weitere Optimierung kann im Bereich der (Elektrolyt-)Speichercondensatoren erzielt werden, die zur Glättung des netzfrequenten Rippelanteiles (100 beziehungsweise 120 Hz) dienen. Leider nehmen diese physikalisch bedingt einen großen Volumenanteil im Ladegerät ein und stellen bei Verwendung von langlebigen und temperaturbeständigen Komponenten einen signifikanten Kostenpunkt

dar. Alternativ verspricht man sich durch die Nutzung aktiver Zwischenkreisfilterschaltungen neben einer Erhöhung der Leistungsdichte auch eine verbesserte Langzeitstabilität durch reduzierte Anzahl alterungsanfälliger Bauteile. Hierfür ist jedoch eine komplexe Regelstruktur notwendig, welche auf sehr unterschiedliche Art und Weise realisiert werden kann und in neueren wissenschaftlichen Veröffentlichungen bereits demonstriert wurde.

#### FAZIT

Finepower kombiniert bei der Entwicklung von OBCs seine Erfahrungen im Bereich der Ladetechnik für Elektrofahrzeuge mit innovativen Wide-Bandgap-Halbleitern auf Galliumnitrid-Basis um die hohen Anforderungen an Leistungsdichte und Effizienz für kommende Generationen von Onboard-Ladegeräten zu erfüllen. (na) //

#### Autoren

**Tobias Fuhr**  
Entwicklungsingenieur  
bei Finepower

**Tobias Herrmann**  
Field Application Engineer bei Finepower



## DC-Laden – Schnell und Sicher mit Isolationsüberwachung

Entwickelt für DC-Ladestationen nach IEC 61851-23, überwacht das Isolationsüberwachungsgerät **isoEV425** mit dem dazugehörigen Ankoppelgeräten **AGH420** in der Ladestation den kompletten Ladestromkreis bis in das Elektrofahrzeug hinein.

- Kompaktes Design
- Erprobte Technik
- Isolationsüberwachung für DC-Ladung nach IEC 61851-23
- Ladespannung DC 0...1100 V
- Permanente Überwachung der Anschlüsse Netz/Erde

Besuchen  
Sie uns auf der  
**eMove360°  
München**  
16.–18.10.2018  
Halle A5, Stand 427

