

HÖHERE ZUVERLÄSSIGKEIT UND SICHERHEIT

# Integration eines Stromkreis- schutzes in E-Fahrzeugen

Die Konzeption von Schaltkreisen für den Automobilssektor stellt eine große Herausforderung dar. Denn sie müssen Überlastungen, Transienten und elektrostatischen Entladungen standhalten. So ist sicherzustellen, dass die Schaltkreise über die notwendigen Komponenten verfügen, um Schäden zu verhindern. Was dabei beachtet werden sollte, zeigt ein On-Board-Ladegerät als Beispielschaltung.



© Ingo Bartschek | AdobeStock

**E**in Hybridfahrzeug mit Elektroantrieb und Verbrennungsmotor stellt die größte Herausforderung für Konstrukteure dar: Sie müssen eine Schaltung entwickeln, die sowohl Transienten des Verbrennungsmotors als auch der Hochleistungselektromotoren standhalten kann. Eine Übersicht über die wichtigsten Schaltungsblöcke eines Hybridfahrzeugs ist in Bild 1 dargestellt.

Neben dem Schutz des Stromkreises vor Transienten, die in der Umgebung des Elektrofahrzeugs auftreten, muss das On-Board-Ladegerät auch mit der Wechselstromleitung und ihrem Risiko für Überlastungen und Transienten

umgehen können. Die Konstrukteure sollten das On-Board-Ladegerät genauso schützen wie jedes andere netzgespeiste Produkt. Zudem müssen die Entwickler die Kommunikationsschaltungen absichern, um eine Beeinträchtigung der Datenübertragung zu vermeiden. Darüber hinaus sollte diese Schaltung so gestaltet werden, dass der interne Stromverbrauch minimiert wird, damit die Ladezeit der Batterie möglichst kurz ist.

Das On-Board-Ladegerät wandelt die Netzwechselspannung in Gleichspannung um, die zum Laden des Hauptakkus erforderlich ist. Dieser kann komplett aufgeladen eine Spannung im Bereich von 300 bis 500V erreichen. Die

Verbraucher wünschen sich eine schnelle Ladung des Akkus. Daher besteht eine Nachfrage nach Ladeschaltungen mit höherer Leistung, die 3-Phasen-Strom umfassen können. Bild 2 zeigt das Blockdiagramm eines On-Board-Ladegeräts. In diesem Beispiel ist eine einphasige Schaltung dargestellt. Jeder Schaltungsblock erfordert Schutzkomponenten und zwei Blöcke benötigen Steuerungskomponenten, um das Ladegerät auf Effizienz zu optimieren.

## Eingangsspannung

Der Eingangsspannungsteil ist anfällig für Transienten, wie Blitzschlag und

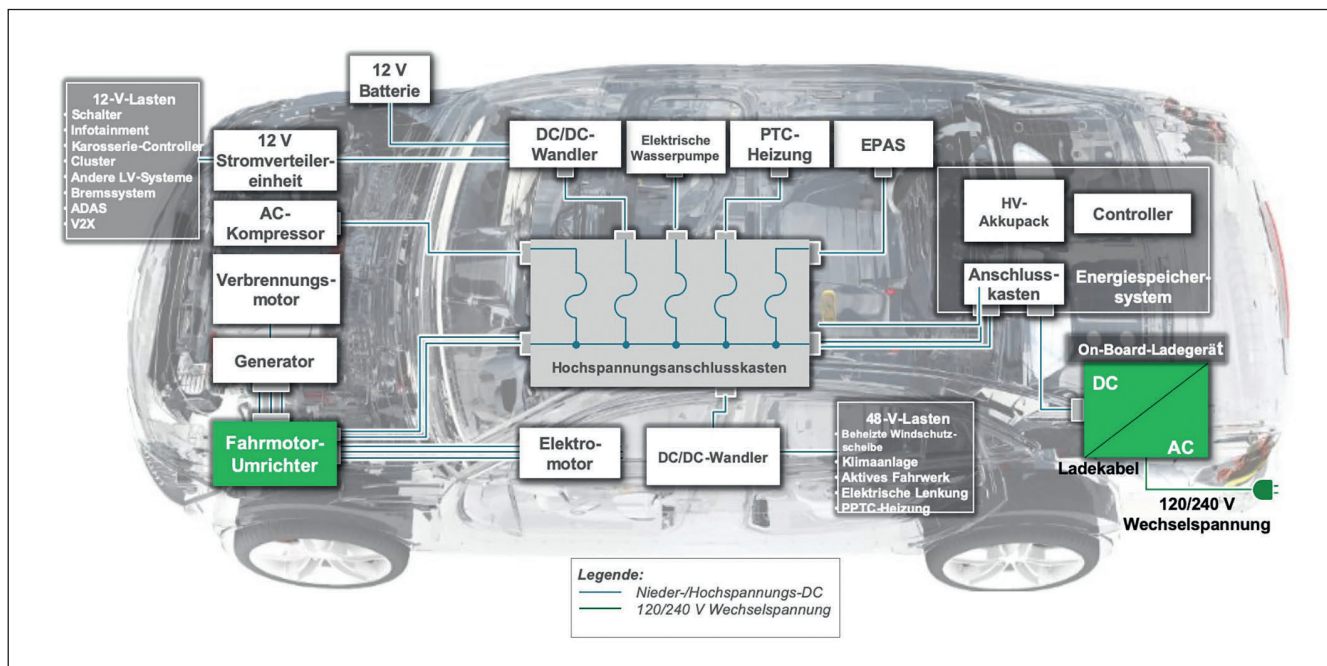


Bild 1: Hybridfahrzeug mit elektrischem Antriebsstrang und Verbrennungsmotor © Littelfuse

Überspannungen auf der AC-Leitung. Der erste Leitungsschutz besteht aus einer Sicherung, die einen Überlastschutz bietet. Der Konstrukteur sollte Sicherungen mit einem hohen Unterbrechungsstrom und einem hohen Spannungswert nutzen, damit die Sicherung im schlimmsten Fall der Stromüberlastung auslöst. Zum Schutz vor Überspannungstransienten oder Blitzeinschlägen sollten Konstrukteure einen Metalloxidvaristor (MOV) so nah wie möglich an den Eingangsanschlüssen des Ladegeräts platzieren. Der MOV wird die transiente Energie absorbieren und kann verhindern, dass sie die nachgeschalteten Schaltungsblöcke beschädigt. Wenn das eingebaute Ladegerät 3-Phasen-Strom verwendet, sollten MOVs zum Schutz vor Transienten zwischen den Phasen sowie zwischen Phase und Nullleiter zum Einsatz kommen.

Für einen noch größeren Schutz nachgelagerter Schaltungen lässt sich ein bipolarer Thyristor in Reihe mit dem MOV schalten. Ein Thyristor hat eine niedrige Klemmspannung von etwa 5 V. Die Verwendung eines Thyristors ermöglicht es, einen MOV mit einer niedrigeren Leerlaufspannung auszuwählen. Dadurch lässt sich die transiente Spitzenspannung reduzieren, der die nachgelagerte Schaltung kurzzeitig ausgesetzt ist. Ein viertes Schutzelement für einen hervorragenden Stromkreisschutz ist eine Gasentladungsröhre. Diese

sorgt für eine hochohmige, elektrische Isolierung zwischen den heißen und neutralen Leitungen sowie der Fahrgestellmasse des Fahrzeugs. Gasentladungsröhren bieten eine zusätzliche Schutzstufe gegen schnell ansteigende Transienten durch Blitzeinschläge.

### Gleichrichter

Für schnelles Laden mit hoher Leistung sollten die Entwickler Gleichrichterblock-Thyristoren mit ausreichender Strombelastbarkeit wählen. Thyristoren können auch Stoßstromtransienten sicher absorbieren, die möglicherweise die Eingangsspannungs- und EMV-Filterstufen passiert haben.

### Leistungsfaktorkorrektur

Die Schaltung zur Leistungsfaktorkorrektur verbessert den Wirkungsgrad der Ladung. Das geschieht, indem sie die Gesamtleistung, die der Wechselstromleitung entnommen wird, reduziert. Die Entwickler können einen Gate-Treiber und einen IGBT verwenden, um die Höhe der Induktivität in der Schaltung zu steuern. Es sollte sichergestellt werden, dass ein Gate-Treiber mit einem ausreichenden Betriebsspannungsbereich für die Steuerung des IGBTs ausgewählt wird. Man sollte zudem einen Gate-Treiber mit hoher Immunität gegen Latch-up sowie mit schnellen Anstiegs-

und Abfallzeiten auswählen, um den IGBT schnell zu schalten. Schnelle Anstiegs- und Abfallzeiten in Kombination mit einem niedrigen Versorgungsstrom minimieren die Leistungsaufnahme dieses Schaltungsblocks. Der Gate-Treiber ist vor elektrostatischen Entladungen (ESD) zu schützen. Dazu wählen Entwickler entweder einen Gate-Treiber mit eingebautem ESD-Schutz oder fügen eine externe ESD-Diode hinzu. Versionen von ESD-Dioden können entweder bidirektional oder unidirektional sein und ESD-Transienten bis zu 30 kV standhalten.

### DC-Zwischenkreis

Der DC-Zwischenkreis besteht aus der Kondensatorbank, die die vom Hochleistungs-DC/DC-Wandler erzeugte Restwelligkeit stabilisiert. Wer große Spannungstransienten vermeiden will, die den Zwischenkreis erreichen, kann eine Hochspannungs-TVS-Diode zum Schutz der Kondensatorbank einsetzen.

### Spannungsregler

Der DC/DC-Teil erhöht die Ausgangsspannung und erzeugt den Ladestrom für die Batterie. Dieser Schaltungsblock erfordert einen robusten Gate-Treiber, ähnlich wie der Schaltungsblock zur Leistungsfaktorkorrektur. Wenn der Gate-Treiber keinen internen

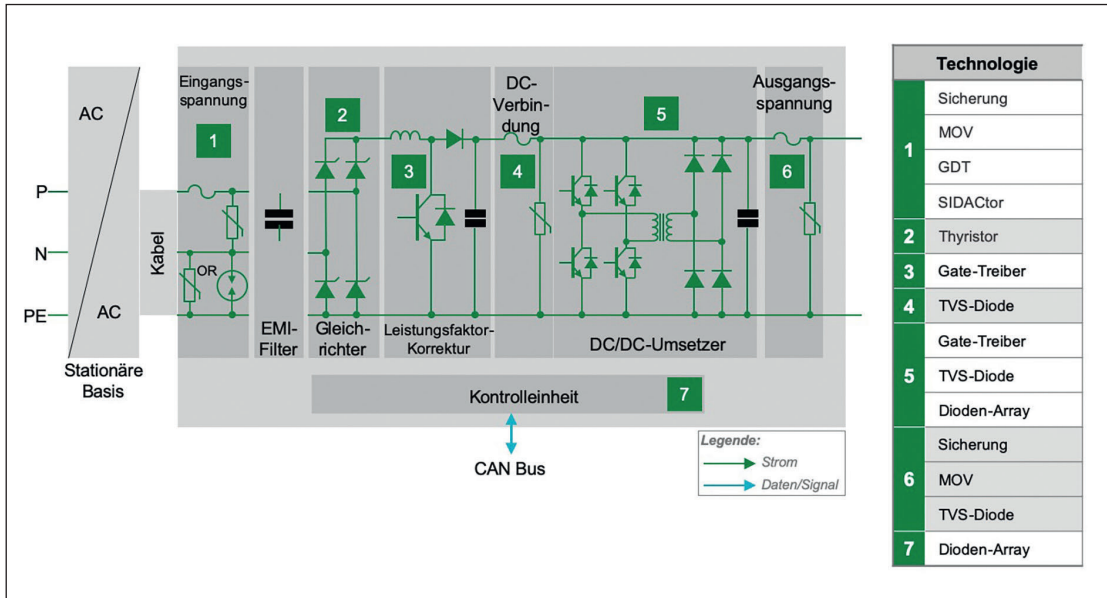


Bild 2: Blockdiagramm des On-Board-Ladegeräts sowie empfohlene Schutz- und Steuerkomponenten

© Littelfuse

ESD-Schutz bietet, kann eine ESD-Diode zum Schutz des Gate-Treibers zum Einsatz kommen. Eine zusätzliche, externe ESD-Diode verschlechtert nicht die Leistung des Gate-Treibers.

Es muss sichergestellt werden, dass Leistungs-IGBTs vor Spannungstransienten geschützt sind. Zusätzlich zum Schutz vor externen Transienten erzeugt der IGBT Abschalttransienten aufgrund von  $L \cdot dI/dt$ -Effekten durch interne parasitäre Induktivität. Um die potenzielle Beschädigung eines IGBTs durch diese Transienten auszuschließen, sollten Entwickler eine TVS-Diode zwischen Kollektor und Gate jedes IGBTs platzieren. Die TVS-Diode reduziert das Verhältnis  $dI/dt$  der Stromtransiente, indem sie die Gate-Spannung anhebt. Wenn die Kollektor-Emitter-Spannung die Durchbruchspannung der TVS-Diode übersteigt, fließt Strom durch die TVS-Diode in das Gate, um dessen Potenzial zu erhöhen. Die TVS-Diode leitet so lange weiter, bis die Transiente beseitigt ist. Die Verwendung einer TVS-Diode als Kollektor-Gate-Rückkopplungselement wird als aktive Klemmung [1] bezeichnet und hält den IGBT in einem stabilen Zustand. Einige IGBTs haben integrierte TVS-Dioden mit aktiver Klemmung. Konstrukteure sollten entweder diesen IGBT-Typ auswählen oder TVS-Dioden zu ihrer Schaltung hinzufügen.

### Ausgangsspannung

Die Ausgangsspannungsstufe ist vor Stromüberlastungen und fahrzeuginter-

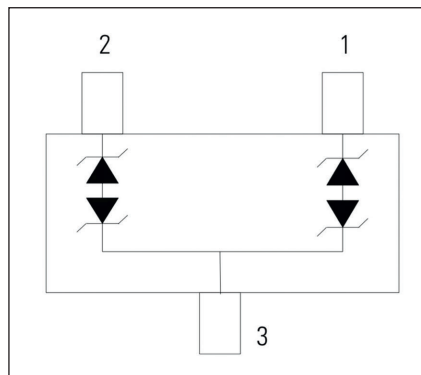


Bild 3: TVS-Dioden-Array zum Schutz der CAN-Busleitungen © Littelfuse

nen Spannungstransienten zu schützen, wenn Motoren ein- und ausgeschaltet werden oder der Strom durch eine Unterbrechung in einem Kabel schlagartig unterbrochen wird. Zum Schutz vor Überstrom sollte eine Sicherung zum Einsatz kommen. Überstrom kann durch einen Kurzschluss im Akkupack oder in den Kabeln, die die Batteriespannung führen, entstehen. Ein MOV oder ein TVS-Diode schützt vor den potenziell schädlichen Spannungstransienten.

### Steuereinheit

Die Steuereinheit für das Ladegerät kommuniziert über den CAN-Bus mit dem Datennetz. Um eine Beschädigung des Kommunikationsschaltkreisblocks und eine Beeinträchtigung der Daten zu vermeiden, sollte ein ESD- und Transientenschutz vorgesehen werden, so dass sich der Schutz mit einem einzigen, platzsparenden Bauteil realisieren lässt.

Bild 3 zeigt ein zweizeiliges TVS-Dioden-Array, das für den Schutz der CAN-Bus-Signalleitungen ausgelegt ist. Dioden-Arrays, die für den Schutz von Kommunikationsleitungen entwickelt wurden, weisen nur eine minimale Kapazität auf und beeinträchtigen die E/A-Zustände des Senders/Empfängers nicht.

Wann immer möglich, sollten AEC-Q-qualifizierte Komponenten zum Einsatz kommen, die für den Einsatz in der Automobilumgebung zertifiziert sind. Zum Beispiel deckt AEC-Q101 diskrete Halbleiter und AEC-Q200 passive Komponenten wie Varistoren ab. ■ (eck)

[www.littelfuse.com](http://www.littelfuse.com)

### Quellenverzeichnis

[1] „Using High Voltage TVS Diodes in IGBT Active Clamp Applications“: [https://www.littelfuse.com/~/media/electronics/application\\_notes/littelfuse\\_using\\_high\\_voltage\\_tvs\\_diodes\\_in\\_igbt\\_active\\_clamp\\_application\\_note.pdf](https://www.littelfuse.com/~/media/electronics/application_notes/littelfuse_using_high_voltage_tvs_diodes_in_igbt_active_clamp_application_note.pdf)



Jim Colby ist Senior Business Development Manager bei Littelfuse.  
© Littelfuse