

# ELEKTRONIK PRAXIS

www.elektronikpraxis.de

Wissen.  
Impulse.  
Kontakte.

Juni 2020



## IGBT-Serie zur Klimatisierung von Elektrofahrzeugen

Diese AEC-Q101-konformen IGBTs in zwei Spannungsklassen für Hochvolt-Heizer regeln individuell und feinstufig die Innenraumtemperatur des Elektrofahrzeugs. **Seite 8**

### Power-Module für hohe Frequenzen

Höher integriert, effizienter und Platz sparender sind die optimierten Module der SLIMDIP-Serie. **Seite 12**

### Silizium versus SiC: ein Vergleich

Zwei MOSFETs stehen sich gegenüber und warum der bloße Austausch nicht funktioniert. **Seite 16**

### Drei Methoden der Entwärmung

Solide Sachkenntnis, Fingerspritzengefühl und der passende Kühler sind entscheidend. **Seite 22**

### Primärschutz beim Batterie-Laden

Während des Ladens ist die Brandgefahr von Li-Ion-Akkus am größten und ein Ladeschutz Pflicht **Seite 38**



## TITELSTORY

In elektrifizierten Fahrzeugen steht die Abwärme des konventionellen Verbrennungsmotors nicht mehr zur Beheizung des Fahrzeuginnenraums zur Verfügung. Daher muss die Batterie einen Teil ihrer gespeicherten Energie zur Wärmeerzeugung durch einen Hochvoltheizer bereitstellen. Ein durchschnittliches Elektrofahrzeug benötigt eine Heizleistung

zwischen 5 und 7 kW, um den Wärmebedarf zu decken. In kleinen Stufen, etwa 50 W, regeln IGBTs den Energiefluss zwischen der Batterie und dem Heizelement und sorgen für die individuelle Klimatisierung. Es gibt diese Bauteile für die Spannungsklassen 650 und 1200 V; beide Klassen werden für die gängigen Heizsysteme benötigt.

# IGBT zur Innenraum-Klimatisierung von Elektrofahrzeugen

*Diese AEC-Q101-konformen IGBT für die elektrische Hochvoltheizung eines Elektrofahrzeugs regeln die Temperatur des Innenraums individuell und schonen die Batterie.*

FELIPE FILSECKER \*

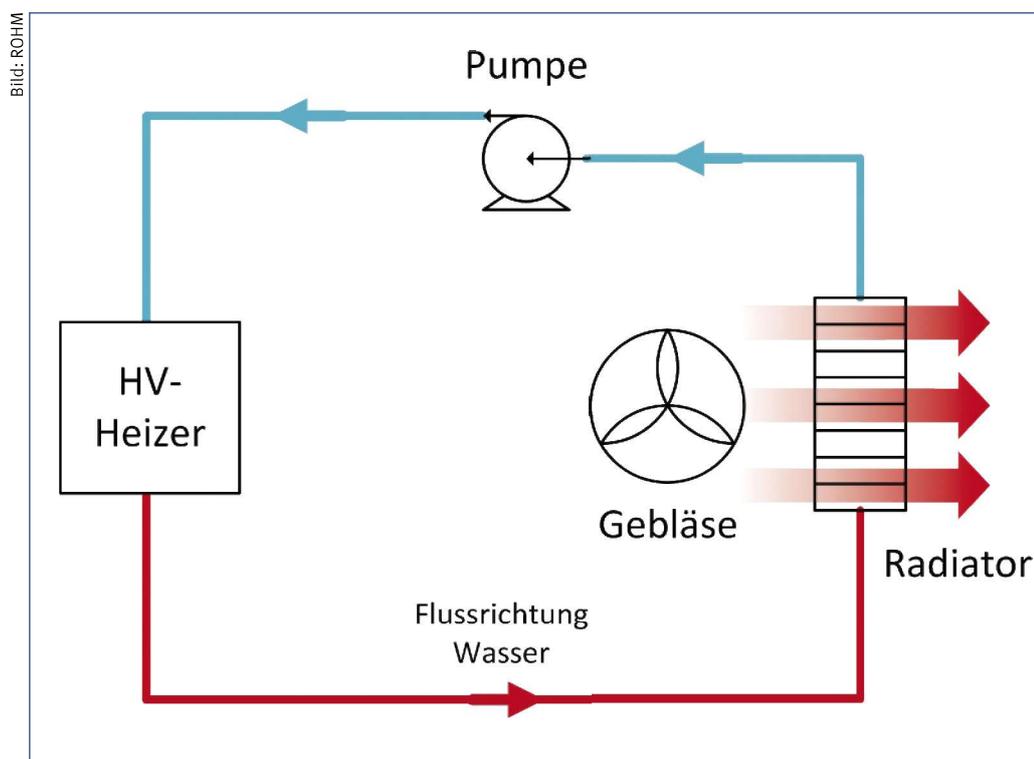
In elektrifizierten Fahrzeugen steht die Abwärme des konventionellen Verbrennungsmotors nicht mehr zur Beheizung des Fahrzeuginnenraums zur Verfügung. Daher muss ein Teil der in der Batterie gespeicherten Energie zur Wärmeerzeugung herangezogen werden. Um eine einstellbare Heizleistung zu ermöglichen, ohne dass diese von der Betriebstemperatur- oder Batteriespannung abhängig ist, kommen bei der neuen Generation von Hochvoltheizern nun Leistungshalbleiter zum Einsatz. Diese regeln den Energiefluss von der Batterie bis zum Heizelement, individuell nach Wunsch des Fahrgastes. Das Heizelement erhitzt das Kühlmittel, das mit der Klimaanlage des Fahrzeugs über einen Wärmetauscher verbunden ist. Mit einem Gebläse wird die warme Luft in die Kabine befördert, wie Bild 1 vereinfacht dargestellt.

## Einfluss auf die Reichweite des Fahrzeugs

Ein gewöhnliches Elektrofahrzeug benötigt eine Heizleistung zwischen 5 und 7 kW, um den Wärmebedarf zu decken. Wird das Auto ausschließlich durch eine resistive Last (Heizelement) aufgewärmt, sinkt die Reichweite entsprechend. Alternativ gibt es auch Systeme, die nicht nur auf Widerstände zur Wärmeerzeugung angewiesen sind. Sie nutzen das Konzept der Wärmepumpe: Thermische Energie wird hierbei von einer kalten Quelle (Umgebung) mittels extern zugeführter Energie zu einer warmen Quelle (Kabine) übertragen. Die Energiebilanz einer Wärmepumpe ist besser als die Wärmeerzeugung durch eine ohmsche Last; die Fahrzeugreichweite wird dadurch weniger beeinträchtigt.



\* Felipe Filsecker  
... ist Field Application Engineer bei ROHM.



**Bild 1:** Vereinfachte prinzipielle Funktionsweise eines Hochvoltheizers in einem Elektrofahrzeug.

Allerdings steigen mit diesem System die Kosten des Fahrzeugs und seine Verfügbarkeit wird von der Umgebungstemperatur bestimmt. In Regionen mit einem sehr kalten Winter können diese Systeme nicht genug Wärme erzeugen. Dort sind resistive Heizer unabdingbar.

Heizsysteme sorgen nicht nur für den Komfort der Autoinsassen, sondern haben auch wichtige Sicherheitsfunktionen: Zum Beispiel entfrosten sie Fensterscheiben oder entfeuchten die Kabine, um dem Fahrer eine klare Sicht nach außen zu verschaffen. Die Batterie benötigt eine gewisse Betriebstemperatur. Der Heizer sorgt dafür, dass die Batterie sich immer im idealen Temperaturbe-

reich befindet. Zudem kann der Heizer als Entladewiderstand im Fall von hohen Spannungsspitzen fungieren. Sollte es zu einer ungewollten Spannungserhöhung im Bordnetz kommen, ist das Gerät in der Lage, diese Energie aufzunehmen, und somit die Höhe der Überspannung zu begrenzen. Das schon die Batterie und andere Systeme, die am Bordnetz angeschlossen sind.

Die einfachste Form eines resistiven Heizers ist in Bild 2 dargestellt: Der Schalter wird mit einem einstellbaren Tastverhältnis betrieben, sodass die abgegebene Leistung immer mit dem Sollwert übereinstimmt. Um die Wärme besser zu verteilen, werden mehrere Zweige parallel geschaltet, in der Regel

**Bild 2:**  
Sehr vereinfachte  
Grundschialtung eines  
Hochvoltheizers mit  
zwei Heizelementen.

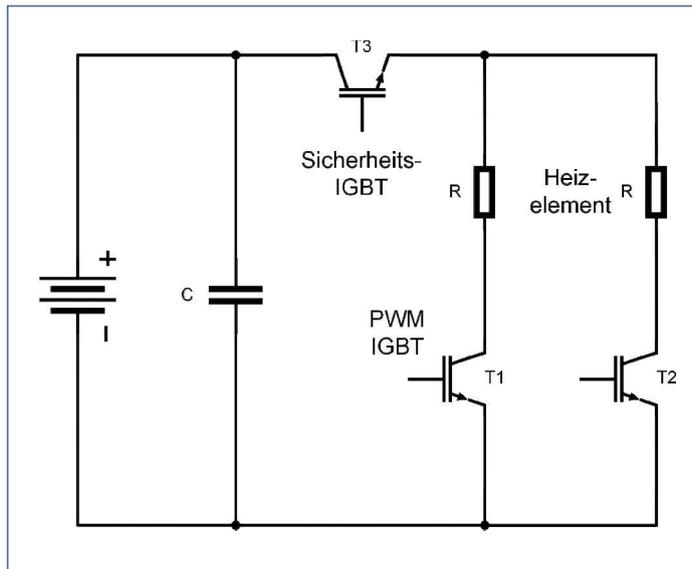


Bild: ROHM  
Schalter möglicherweise beschädigen. Mit einer höheren Durchbruchspannung der Leistungshalbleiter wird eine Zerstörung des Heizers vermieden. Die 800-V-Systeme werden mit 1200-V-IGBT realisiert. Hier kann Reihenschaltung für eine erhöhte Überspannungsbelastbarkeit sorgen.

Ein anderes Merkmal dieser Anwendung ist die Schaltgeschwindigkeit ( $dV_{CE}/dt$  und  $dI_C/dt$ ). Diese wird vom System vorgegeben. In der Regel ist sie auf einen niedrigen Wert limitiert, im Gegenteil zu fast alle anderen Anwendungen, bei denen versucht wird, so schnell wie möglich ein- und auszuschalten. Grund dafür sind EMV-Beschränkungen und das Ziel, so weit wie möglich auf Filter zu verzichten, um Kosten zu sparen. Eine einfache Möglichkeit dies zu realisieren ist es, die IGBT mit niedriger Schaltfrequenz zu betreiben, um hochfrequente Schaltflanken zu reduzieren. Diese Lösung verursacht höhere Verluste im IGBT während des Schaltens, benötigt jedoch keine zusätzlichen Komponenten. Die erhöhten Verluste können mit einer Reduzierung der Schaltfrequenz kompensiert werden. Die Schaltzeiten befinden sich im Bereich von einstelligen  $\mu s$ ; in seltenen Fällen werden Zeiten im unteren zweistelligen Bereich erzielt. Bild 4 zeigt exemplarisch den Einschaltvorgang von einem IGBT mit einem Gate-Widerstand im  $k\Omega$ -Bereich. Da die Last resistiv ist und nicht induktiv, wie gewohnt, kreuzen sich im Diagramm die Spannungs- und Stromverläufe in der Mitte des Schaltvorgangs.

Obwohl diese Art den IGBT zu betreiben für erfahrene Entwickler unüblich aussehen mag, ist diese Vorgehensweise nicht unzulässig. Man darf aber die Schaltzeiten nicht zu stark verlangsamen, denn es sollte vermieden werden, dass der IGBT zu große Temperaturhübe bei jedem Schaltvorgang erfährt, um die Lastwechselfestigkeit nicht zu beeinträchtigen. Außerdem könnten extrem langsame Schaltzeiten für den IGBT gefährlich werden, da dieser während des Schaltens mit einer niedrigeren Gate-Spannung betrieben wird. Die Erfahrung zeigt, dass ein mäßiges langsames Schalten keine Probleme hervorruft.

### Kurzschlussfestigkeit und Gehäusewahl

Eine andere Eigenschaft, die nicht zu vernachlässigen ist, betrifft die Kurzschlussfestigkeit des IGBT, um das Abschalten im Fehlerfall zu gewährleisten. Üblicherweise benötigt die Kurzschlusserkennung einige  $\mu s$ , um zu reagieren. Die IGBT der RGS-Reihe brauchen dazu 8  $\mu s$  für die Spannungsklasse von 650 V und 10  $\mu s$  für 1200 V. Damit kann

zwei oder drei. Um das Heizsystem sicher im Fehlerfall abschalten zu können, sind Sicherheitsschalter notwendig, die im Normalbetrieb dauerhaft eingeschaltet sind. Tritt der Fehlerfall ein, trennen diese Schalter die Heizelemente vom Hochvolt-Bordnetz.

### Die RGS-IGBT-Produktreihe mit AEC-Q101-Qualifizierung

Alle verwendeten Leistungsschalter sind in diesem Fall ausschließlich IGBT, die eine sehr gute Durchlass-Charakteristik für hohe Ströme haben. Die höheren Schaltverluste sind im Vergleich zu MOSFETs nicht relevant, da die Schaltfrequenzen üblicherweise zwischen einem zweistelligen Hz-Bereich bis zu einigen kHz liegen. Es gibt diese Bauteile für die Spannungsclassen 650 und 1200 V. Beide

Klassen werden für die gängigen Heizsysteme benötigt. ROHM bietet IGBT der Reihe RGS mit AEC-Q101-Qualifizierung in diskreten Gehäusen an (Tabelle 1), die gut zu dieser Anwendung passen. Diese robusten IGBT erfüllen die typischen Anforderungen eines Heizers, die in den nächsten Abschnitten näher erläutert werden.

Der Großteil der Systeme ist für 400-V-Batterien ausgelegt, in denen normalerweise 650-V-IGBT zum Einsatz kommen. Allerdings gibt es einen Trend hin zur 1200-V-Lösung, um eine erhöhte Überspannungsbelastbarkeit des Heizers zu gewährleisten. Wenn die Energiezufuhr von der Batterie zum Heizer schlagartig abgebrochen wird, können durch die Leitungen im Bordnetz erhebliche Überspannungen verursacht werden, die die

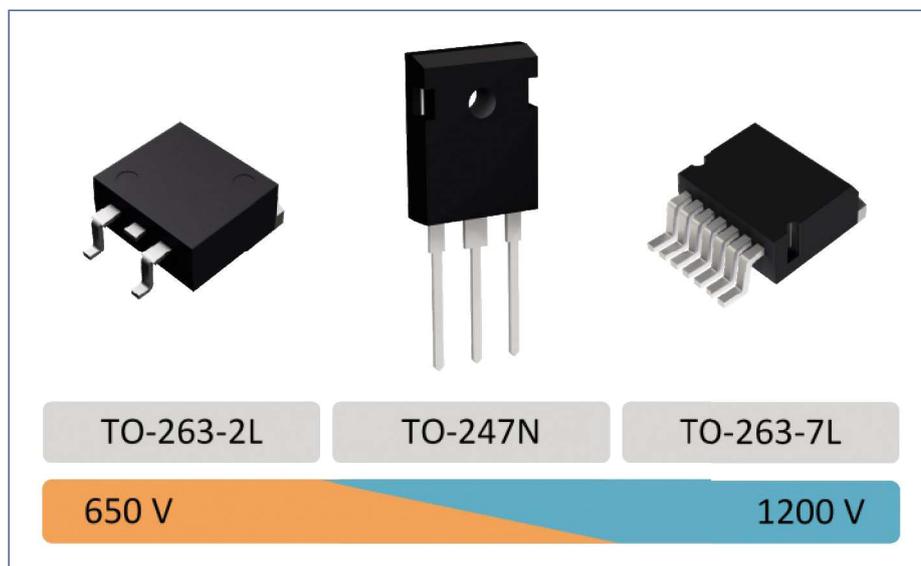
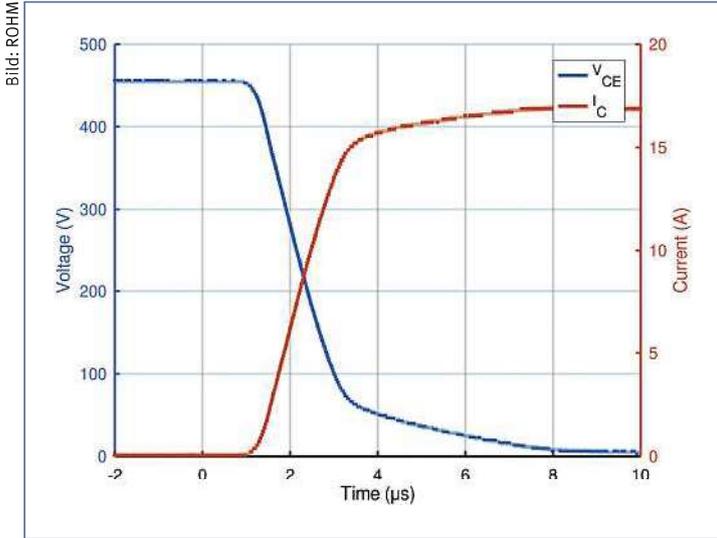


Bild: ROHM

**Bild 3:** Die IGBT-Gehäuse der RGS-Produktreihe.



**Bild 4:**  
Einschaltvorgang eines IGBTs (RGS80T-SX2DHR) bei resistiver Last und  $R_G = 1,1 \text{ k}\Omega$ .

BV	Gehäuse	FRD	15 A	20 A	25 A	30 A	40 A	50 A	75 A
650 V	TO-247	nein				✓	✓	✓	*
		ja				✓	✓	✓	*
	TO-263	nein	*	*	*	*	*		
		ja	*	*	*				
1200 V	TO-247	nein	*		✓		✓		
		ja	*		✓		✓		
	TO-263	nein	*						

\* in Entwicklung

**Tabelle:** Spezifikation der IGB- RGS-Produktreihe.

jede Fehlerbehandlungsstrategie erfolgreich implementiert werden. Ein weiterer Aspekt bei der Auswahl von Leistungshalbleitern ist das Gehäuse. In der beschriebenen Anwendung werden überwiegend Bauteile zur Durchsteckmontage verwendet. Diese ermöglichen eine einfache Kühlung durch die Befestigung an einen externen Kühlkörper. Diese Technologie hat hingegen einen Nachteil bei der Produktion, da Durchsteckmontage zusätzliche Schritte erfordert. Bauteile zur Oberflächenmontage wie das bekannte TO-263, können in einem Schritt mit anderen Bauteilen gelötet werden und bieten dadurch einen Kostenvorteil. Die Kühlung wird anspruchsvoller, da die Hitze durch die Leiterplatte abgeleitet werden muss. Aber das verhindert nicht, dass heute einige Hersteller diese Technologie in Betracht ziehen. ROHM verfolgt auch diese Diskussionen, um rechtzeitig reagieren zu können. Zurzeit ist eine Erweiterung des RGS-IGBT-Portfolios für SMT-Bauteile in der Entwicklung. Bild 3 zeigt die unterschiedlichen Gehäuse für die RGS-IGBT-Reihe. Transistoren zur Oberflächenmontage in TO-263 werden gerade in zwei Varianten geplant, je nach Spannungsklasse.

Die 7-Pin-Version für 1200 V bietet eine erhöhte Kriechstrecke, um den Anforderungen der Automobilindustrie gerecht zu werden.

Zusätzlich zum IGBT hat ROHM weitere Produkte, die bei Hochvoltheizern eingesetzt werden können. Diese sind unter anderem Gate-Treiber-ICs, Shunt-Widerstände, Komparatoren, Operationsverstärker und Spannungsregler. Bei den IGBTs hat ROHM als einziger Hersteller ein komplettes Portfolio von AEC-Q101-qualifizierten IGBTs. Diese sind mit Nennströmen von 30 bis 50 A, mit und ohne integrierte Diode, in TO-247 Gehäuse verfügbar. Außerdem wird demnächst die RGS-Reihe auf SMD-Bauteile erweitert: 15- bis 40-A-IGBTs mit oder ohne integrierter Diode im TO-263-3L-Gehäuse für die 650-V-Spannungsklasse und 15 A im TO-263-7L-Gehäuse für die 1200-V-Spannungsklasse. Eine weitere Ergänzung im Portfolio sind leistungsstärkere IGBTs im TO-247-Gehäuse: Die Spannungsklasse 650 V wird von 50 auf 75 A Nennstrom ergänzt. Durch mehr Auswahl lassen sich die Bauteile an die Betriebsbedingungen des Heizers anpassen. // KU

ROHM Semiconductor

Leistungselektronik entwärmen

- verschiedenartige Entwärmungskonzepte zur Wärmeabfuhr hoher Verlustleistungen
- sehr guter thermischer Wirkungsgrad
- kompakter Aufbau und homogene Wärmeverteilung
- exakt plangefräste Halbleitermontageflächen
- Entwärmung mittels Luft oder Flüssigkeit
- kundenspezifische Sonderlösungen



Mehr erfahren Sie hier:  
[www.fischerelektronik.de](http://www.fischerelektronik.de)

Fischer Elektronik GmbH & Co. KG

Nottebohmstraße 28  
58511 Lüdenscheid  
DEUTSCHLAND  
Telefon +49 2351 435-0  
Telefax +49 2351 45754  
E-mail info@fischerelektronik.de