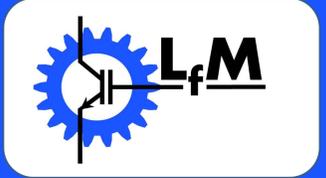




# Dr.-Ing. Andreas März

„Untersuchungen zum Einsatz von Siliziumkarbid-Feldeffekttransistoren in Gleichspannungswandlern für Hochleistungsbordnetze“

Promotionsprüfung am 06.05.2019



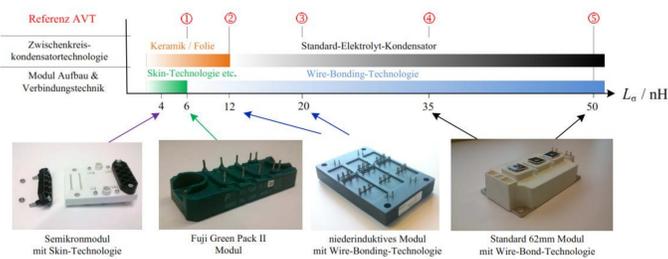
## Motivation

Die wachsende Marktreife von SiC MOSFETs ermöglicht den kommerziellen Einsatz in galvanisch getrennten Hilfsbetriebeumrichtern zur Versorgung von Schienenfahrzeugbordnetzen. Diese neuartige Transistortechnologie hat das Potential die Leistungsdichte und die Schaltfrequenz deutlich zu steigern, wodurch das Bauvolumen und das Gewicht passiver Bauelemente reduziert wird. Weiterhin führt ihr Einsatz zu einer Zunahme des Wirkungsgrades und den damit verringerten Kühlanforderungen. Die gesteigerte Effizienz eines solchen Wandlers macht sich insbesondere im Teillastbetrieb positiv bemerkbar.

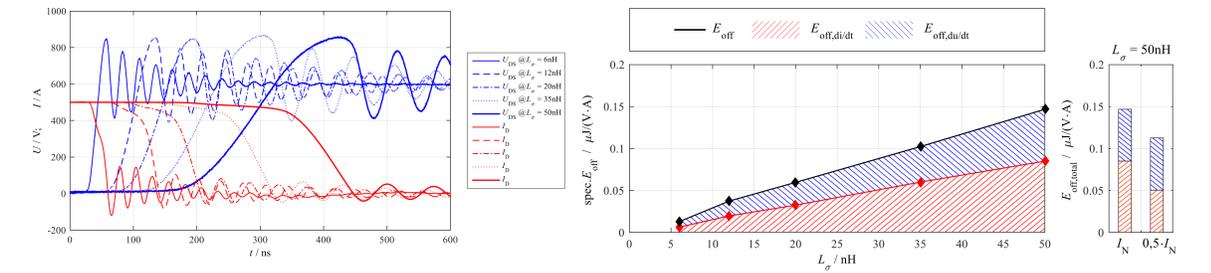
## Hartes Schalten

Schwerpunkte der Untersuchungen:

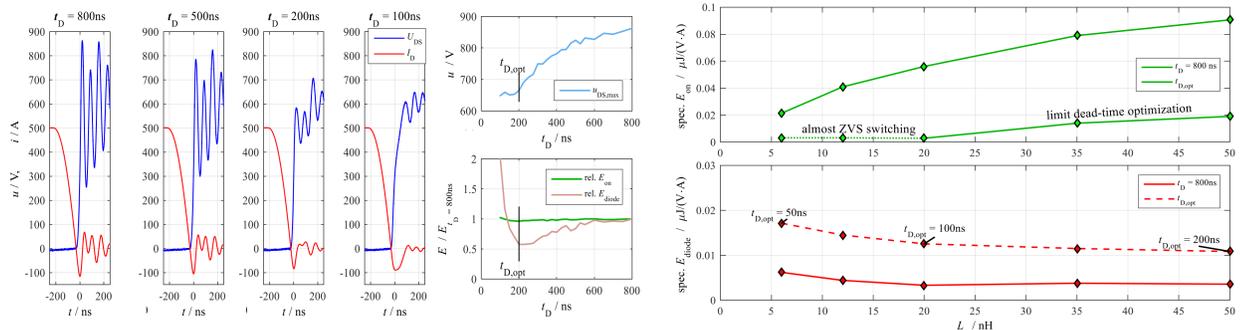
- Optimale Ausnutzung von SiC MOSFETs durch niederinduktive Leistungsmodul zusammen mit niederinduktiven Zwischenkreiskonzepten, wie z.B. Hochstromleiterplatten.
- Ein hochdynamische Halbleiteransteuerung mit optimierter Totzeit zur Reduktion von Einschalt- und Diodenverlusten und zur Verbesserung des Abschaltverhaltens der Bodydiode.



Übersicht verschiedener Leistungsmodul- und Zwischenkreistechnologien und erreichbare Kommutierungs-induktivitäten auf Basis eines Leistungsmoduls mit  $I_N = 500$  A



Ausschaltverhalten und spezifische Ausschaltverluste von SiC MOSFETs für verschiedene Streuinduktivitäten  $L_\sigma$  und gleiche Abschaltüberspannung bei  $U_{DC} = 600V$ ,  $I_{DC} = 500A$ ,  $T_J = 150^\circ C$



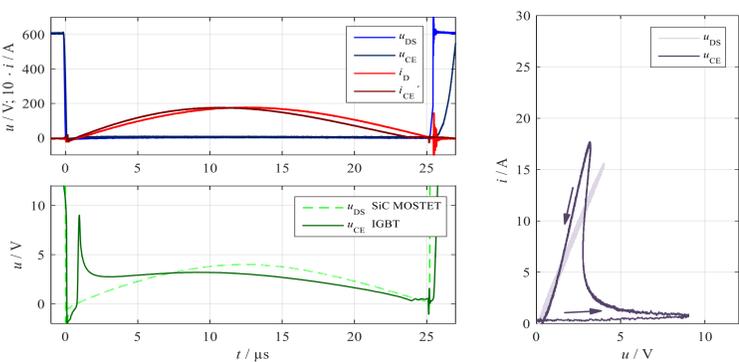
Ausschalten der SiC MOSFET-Bodydiode für verschiedene Verriegelungszeiten  $t_D$  und Auswirkung auf die spezifischen Einschalt- und Diodenverluste bei  $U_{DC} = 600V$ ,  $I_{DC} = 500A$ ,  $T_J = 150^\circ C$

## Weiches Schalten

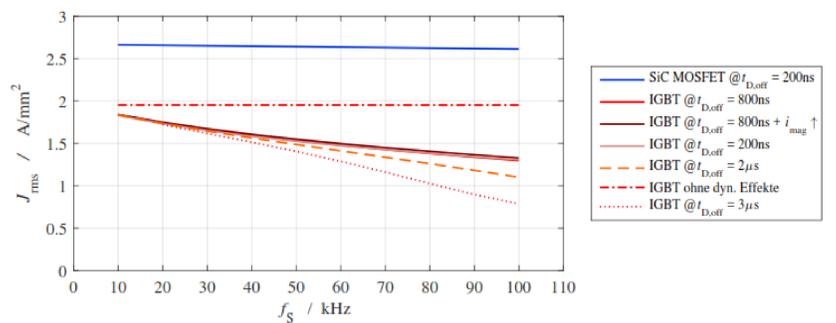
Vorteile von SiC MOSFETs gegenüber klassischen IGBTs:

- Bipolare IGBTs weisen aufgrund von Leitwertmodulation ab einer Schaltfrequenz von  $f_S = 33$  kHz höhere Durchlassverluste auf als unipolare SiC MOSFETs.

- SiC MOSFETs ermöglichen bei ZVS und ZCS wesentlich kürzere und symmetrische Verriegelungszeiten im Vergleich zum IGBT, da keine Speicherladung ausgeräumt werden muss.



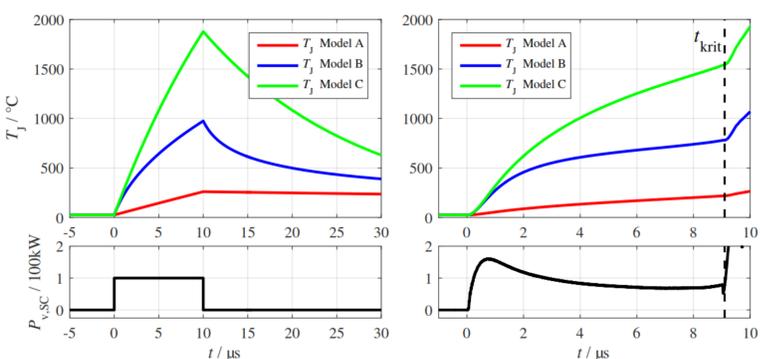
Vergleich des Durchlassverhaltens von SiC MOSFET und IGBT bei resonantem Schalten bei  $U_{DC} = 600V$ ,  $f_i = 20$  kHz,  $T_J = 150^\circ C$



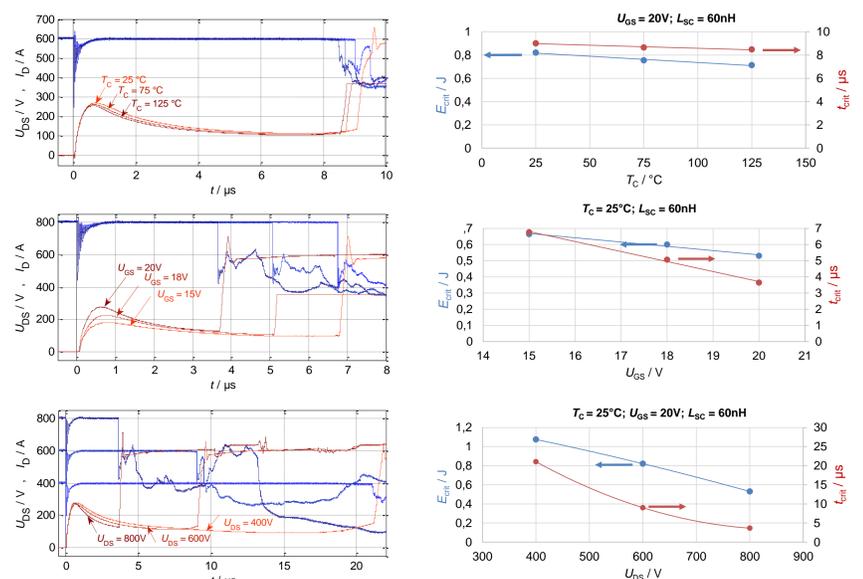
Erreichbare Stromdichte der Halbleiter in einer resonant schaltenden, aktiven Brücke im ZVS/ZCS-Modus für  $T_J = 125^\circ C$ ,  $T_C = 80^\circ C$  und spez.  $R_{th,jc} = 18$  kW/mm<sup>2</sup>

## Kurzschlussverhalten von SiC MOSFETs

Im Vergleich zu IGBTs ist die Kurzschlussfestigkeit von SiC MOSFETs wesentlich geringer und aufgrund von Wärmeleitungseffekten im Bauelement stark arbeitspunktabhängig. Dies erfordert eine schnellere Kurzschlussdetektion und Abschaltung auf dem Treiber.



Modellantwort der thermischen Modelle bei Anregung mit rechteckförmigem Verlustleistungspuls und bei Anregung durch gemessene Kurzschlussverlustleistung bei  $U_{DC} = 600$  V,  $T_C = 25^\circ C$



In der linken Spalte dargestellt sind die Verläufe der Drain-Source-Spannung und des KS-Stroms am DUT für verschiedene Starttemperaturen  $T_C$ , Gatespannungen  $U_{GS,on}$ , Zwischenkreisspannungen  $U_{DC}$ . In der rechten Spalte sind jeweils die dazugehörigen, ermittelten Werte der kritischen Energien und Kurzschlusswiderstandszeiten abgebildet