



Doctoral Thesis

Bidirectional galvanically isolated 25 kW 50 kHz 5 kV/700 V Si-SiC super cascode/Si-IGBT DC-DC converter

Author(s):

Aggeler, Daniel

Publication Date:

2010

Permanent Link:

<https://doi.org/10.3929/ethz-a-006506805> →

Rights / License:

[In Copyright - Non-Commercial Use Permitted](#) →

This page was generated automatically upon download from the [ETH Zurich Research Collection](#). For more information please consult the [Terms of use](#).

Diss. ETH No. 19430

**Bidirectional Galvanically Isolated
25 kW 50 kHz 5 kV/700 V Si-SiC
SuperCascode/Si-IGBT DC-DC Converter**

A dissertation submitted to the
ETH ZURICH

for the degree of
DOCTOR OF SCIENCES

presented by
DANIEL AGGELER
Dipl. El. Ing. ETH Zurich
born 22. April 1981
citizen of Mels-Weisstannen, Switzerland

accepted on the recommendation of
Prof. Dr. Johann W. Kolar, examiner
Prof. Dr. Hans-Peter Nee, co-examiner

2010

Abstract

In order to reduce the emission of greenhouse gases and replace the limited energy sources like coal, oil or uranium, the number of renewable energy sources is constantly growing. This development results in a rising number of distributed power plants, which are principally subject to substantial energy fluctuations.

For the purpose of easy connection of the new energy sources to the grid and improvement of the power quality by harmonic filtering, voltage sag correction and highly dynamic control of the power flow new power electronic systems - so called *solid-state transformers (SST)* - are required. These interconnecting devices would enable full control of magnitude and direction of real power flow and reactive power generation and could replace not controllable, voluminous and heavy line frequency transformers. Based on such devices a *smart grid* comparable to the Internet, where a plug and play connection of sources and loads, distributed energy uploads and downloads and energy routing for transferring energy from the producer to the consumer, is possible.

Conventional interconnecting systems based on a back-to-back (BTB) converter and slow IGBT/IGCT devices consist of ac-dc/dc-ac converters and two line frequency transformers, which provide galvanic isolation as well as voltage level adaption and have a large volume and weight. In order to decrease the volume/weight of the conventional system and reduce the raw material consumption new topologies (SST) are in the focus of today's power electronics system investigations and developments.

So as to build the basis for minimizing the overall size of the SST which is in particular determined by the passive components and the heat sink, it is important to show, that a high switching frequency combined

with high efficiency is possible. Recent semiconductor materials as SiC, GaAs, GaN or diamond are characterized by a wide band gap and feature low conduction state voltage drop at high blocking voltage capability and marginal switching losses. These excellent device characteristics offer the possibility to achieve switching frequencies of several kHz at high blocking capabilities of several kV and/or to realize highly compact and highly efficient dc-dc converters with a medium voltage level input.

This research work investigates the application of SiC power semiconductors in form of a Si-SiC JFET SuperCascode to realize a bidirectional, galvanically isolated 25 kW/50 kHz 5 kV-700 V dc-dc converter. The main focus of the thesis is the analysis and modeling of the dynamic and the static behavior of the Si-SiC cascode as well as of the Si-SiC SuperCascode and the high frequency medium voltage transformer. With using simplified analytical models, simulation circuits and measurements of different experimental setups and of a converter prototype, the switching behavior of the SuperCascode, which is influenced by parasitic characteristics of each single power semiconductor, and wiring inductances and coupling capacitances, is investigated in particular.

Kurzfassung

Die Verwendung von erneuerbaren Energiequellen in den Bereichen Strom, Wärme und Kälte sowie Verkehr wird weltweit kontinuierlich gefördert, um einerseits den Ausstoss von Treibhausgasen zu reduzieren und andererseits auch die begrenzten Ressourcen an fossilen Energieträgern wie Kohle, Öl oder Uran zu schützen und zu ersetzen. Diese Entwicklung führt zu zahlreichen verteilten Energieerzeugungsanlagen, welche beträchtliche Schwankungen des Energieangebotes aufweisen.

Um nun diesen neuen, umweltschonenden Energiequellen einen einfachen Zugang zum Energieversorgungsnetz zu garantieren, und dazu eine verbesserte Netzqualität durch Filterung von Oberschwingungen, Regelung von Spannungseinbrüchen und schnelle dynamische Regelung des Leistungsflusses zu gewährleisten, sind neue leistungselektronische Systeme - sogenannte *solid-state transformers (SST)* - notwendig. Diese Verbindungs-/Kupplungseinheiten (SST) erlauben die vollständige Regelung des Aussteuergrades wie auch eine Kontrolle der Richtung des Wirkleistungsflusses und/oder Blindleistungserzeugung und ersetzen nicht regelbare, voluminöse und schwere Netztransformatoren. Basierend auf diesen neuartigen leistungselektronischen Systemen (SST) wird es möglich ein sogenanntes intelligentes Netz - *smart grid* - zu realisieren, welches vergleichbar ist mit dem Internet, wo eine sofort betriebsbereite Verbindung von Quellen und Lasten erlaubt, verteilte Energien einzuspeisen und zu beziehen und vorhandene Energien geschickt gebündelt werden, um vom Erzeuger direkt zum Verbraucher geleitet zu werden.

Das herkömmliche Energiesystem besteht aus direkt aufeinanderfolgenden Topologien (BTB) von ac-dc/dc-ac Stromrichtern, langsam schaltenden IGBT/IGCT Halbleiterelementen und zwei netzfrequenten Transformatoren hohen Gewichtes und Bauvolumens, welche für die galvanis-

che Trennung wie auch für die Spannungsanpassung notwendig sind. Um das Volumen/Gewicht des herkömmlichen Gesamtsystemes und den Verbrauch an magnetischem Rohmaterial zu reduzieren, werden neue Stromrichtertopologien (SST) verstärkt erforscht und analysiert.

Um die Grundlage für eine Minimierung der insbesondere durch passive Komponenten und die Kühlvorrichtung bestimmten Baugrösse eines SST zu schaffen, ist es hier wichtig zu zeigen, dass eine hohe Schaltfrequenz bei hohem Wirkungsgrad möglich ist. Neueste Halbleitermaterialien wie SiC, GaAs, GaN oder Diamant, sind durch eine grosse Bandlücke charakterisiert und weisen auch bei hoher Sperrspannungsfestigkeit geringen Durchlassspannungsabfall und sehr niedrige Schaltverluste auf. Dies bietet die Möglichkeit bei Sperrspannungsfestigkeiten von mehreren kV Schaltfrequenzen von mehreren kHz und damit z.B. hochkompakte und hocheffiziente dc-dc Konverter mit Mittelspannungseingang zu realisieren.

In dieser Forschungsarbeit wird die Anwendung von SiC Leistungshalbleitern in Form einer Si-SiC JFET SuperKaskode zur Realisierung eines bidirektionalen, galvanisch getrennten 25 kW/50 kHz 5 kV-700 V dc-dc Konverters untersucht. Der Schwerpunkt liegt dabei auf der Analyse und Modellierung des dynamischen sowie statischen Verhaltens der Si-SiC Kaskode wie auch der Si-SiC SuperKaskode und des Hochfrequenz-Mittelspannungstransformators. Mittels vereinfachter analytischer Modelle, Simulationen und Messungen an Versuchsaufbauten und einem Prototyp des Konverters wird insbesondere das Schaltverhalten der SuperKaskode unter Einfluss parasitärer Eigenschaften der einzelnen Leistungshalbleiter, Verdrahtungsinduktivitäten und Koppelkapazitäten untersucht.