

## Verlustarmer Umrichter mit SiC-Bipolartransistoren durch angepasstes Treiberdesign und Schätzung des Laststromverlaufs

DFG – HO 1483/62-2, 2015 - 2018

### Zusammenfassung:

Im DFG-Projekt HO 1483/62-1 und -2 wurden erfolgreich Untersuchungen zum Einsatz von SiC-Bipolartransistoren in Antriebsstromrichtern durchgeführt. Die dafür notwendigen Treiberschaltungen, Test- und Messschaltungen sowie komplette Wechselrichter wurden selbst entworfen, aufgebaut und in Betrieb genommen. Dieser Aufwand war notwendig, da keine Treiber für SiC-Bipolartransistoren am Markt erhältlich sind. Mit dem Einsatz der Einschrittkommutierung kann die Treiberverlustleistung bei der Ansteuerung von SiC-Bipolartransistoren im Antriebsstromrichter halbiert werden. Damit wurde das Hauptziel des Erstantrags erreicht. Zusätzlich konnte eine Verbesserung des Wirkungsgrades des Antriebsstromrichters besonders bei kleinen Modulationsgraden nachgewiesen werden. Als problematisch hat sich jedoch die hohe Verlustleistung im Basis-Widerstand des ersten Treiberkonzepts herausgestellt. Deshalb kam im Folgeantrag ein Treiber mit mehreren Spannungsniveaus zum Einsatz. Eine niedrige Versorgungsspannung für den stationären Basisstrom entschärft die Verlustleistungs-Problematik im Basis-Widerstand. Eine zusätzlich höhere positive und eine negative Treiber-Versorgungsspannung ermöglichen das verlustarme und sichere Schalten der SiC-Bipolartransistoren. Eingesetzt in einer Tiefsetzsteller-Testumgebung konnte mit dem neuen Treiber die Schaltverlustenergie im SiC-Bipolartransistor im Vergleich zur alten Ansteuerung halbiert werden. Ein wesentliches Ziel des Folgeantrags wurde somit erreicht. Die niedrigen Schaltverlustenergien gehen jedoch einher mit sowohl hohen Spannungsspitzen in der Basis-Emitter-Spannung als auch steilen Anstiegen der Kollektor-Emitter-Spannung. Mit hoher Wahrscheinlichkeit haben die überhöhten Spannungen an der Basis zur Zerstörung der drei oberen Halbbrückentransistoren des SiC-Wechselrichters geführt. Mit der Reduzierung der maximalen Treiber-Versorgungsspannung konnte ein sicherer Umrichter-Betrieb gewährleistet werden. Die niedrigen Schaltverluste, wie sie mit dem Doppelpuls-Test erzielt worden sind, konnten so jedoch nicht mehr erreicht werden. Bei einem Emitterstrom von 15A und einem Speed-up-Widerstand von  $6 \Omega$  führt eine Absenkung der Treiber-Versorgungsspannung von +20V auf +15V zu einer Erhöhung der Schaltverlustenergie um 60%. Aufgrund der niedrigen Lastströme und der demzufolge moderaten Kollektor-Emitter-Spannungsanstiege über den SiC-Bipolartransistoren ( $< 5\text{kV}/\mu\text{s}$ ) konnten die Asynchronmotoren ohne Filter am Wechselrichter betrieben werden. Bei höheren Lastströmen ( $> 5\text{A}$ ) ist jedoch von deutlich höheren Kollektor-Emitter-Spannungsanstiegen ( $> 5\text{kV}/\mu\text{s}$ ) auszugehen. Demzufolge muss mindestens ein  $du/dt$  – Filter am Ausgang des Wechselrichters zum Schutz des Motors eingebaut werden. Eine Alternative zum Umrichter-Ausgangfilter stellt der Einsatz von Motoren mit verstärkter Wicklungsisolierung dar. Die Ansteuerung von SiC-Bipolartransistoren ist deutlich aufwendiger als die von vergleichbaren Feldeffekt-Transistoren. Aufgrund des Basisstroms benötigt der Treiber für den Bipolartransistor 5-mal mehr Energie als der MOSFET-Treiber. Die DC/DC-Wandler, die für die Spannungsversorgung eingesetzt werden, müssen höher dimensioniert werden. Größere DC/DC-Wandler und mehr Platinenfläche für die Verlustleistungsaufteilung von Basis- und Speed-up-Widerstand in Form von parallel geschalteten SMD-Widerständen verdoppeln die benötigte Treiberfläche im Vergleich zum MOSFET-Treiber. Trotz aufwändigerer Ansteuerung sind keine signifikanten Vorteile des SiC-Bipolartransistors gegenüber dem SiC-MOSFET zu erkennen. Deshalb haben sich heute am Markt die SiC-MOSFETs durchgesetzt. Für den SiC-Bipolartransistor bleiben nur Nischenanwendungen wie z.B. Umrichter bzw. DC/DC-Wandler mit erhöhten Temperaturanforderungen.

Im Rahmen des Projektes wurden zwei Publikationen auf der IEEE IPEC-ECCE ASIA 2014 und IEEE ISPSD 2014 vorgestellt. Eine weitere Publikation wurde auf der ECCC- EPE 2018 in Riga präsentiert. Der wissenschaftliche Nachwuchs ist in acht wissenschaftlichen Arbeiten und vier IAESTE-Projekten gefördert worden. Eine Dissertationsschrift wird in Kürze eingereicht.