Universität Rostock

Traditio et Innovatio

Hybrider 1.7 kV-Leistungsschalter aus parallelen Silizium-IGBTs und Siliziumkarbid-MOSFETs

Dissertation

zur

Erlangung des akademischen Grades

Doktor-Ingenieur (Dr.-Ing.)

der Fakultät für Informatik und Elektrotechnik

der Universität Rostock

vorgelegt von

Dipl.-Ing. Felix Kayser, geb. am 13.05.1992 in Bad Oldesloe

Rostock, den 8. Juni 2025

Kurzfassung

Ein hybrider 1.7 kV-Schalter aus einer Parallelschaltung von Si-IGBT und SiC-MOSFET wird experimentell untersucht. Die Charakterisierung der Schalteigenschaften erfolgt in einem auf Leistungsmodule skalierten Messaufbau. Der Hybridschalter wird mit Schaltervarianten aus nur einem Halbleitermaterial verglichen, die nach der gleichen Methodik und identischen Randbedingungen für die Treiberauslegung untersucht werden. Besonderheit der Treiberauslegung ist dabei die Berücksichtigung einer maximalen Steilheit der Spannungsflanke. Für den Hybridschalter wird eine Vielzahl an IGBTs unterschiedlichster Auslegung in Betracht gezogen, wobei zum Ergebnis gelangt wird, dass ein auf Durchlass ausgelegter IGBT zu den besten Resultaten führt.

Das Abschalten des Hybridschalters wird mit drei unterschiedlichen Pulsmustern detailliert analysiert. Die verschiedenen Pulsmuster resultieren in unterschiedlichem Schaltverhalten in Bezug auf intrinsische Flankensteilheit, Schaltverluste, Auftreten von Oszillationen und dynamischen Avalanche. Auch sehr langsam schaltende IGBTs können im Hybridschalter durch entsprechende Ansteuerung auf sehr hohe Flankensteilheiten beschleunigt werden. Für das Einschalten wird eine Schaltreihenfolge gewählt, die die Schaltverluste auf die größere Si-IGBT Chipfläche konzentriert.

Auf Basis der experimentell bestimmten Durchlasskennlinien und Schaltverluste wird der maximale Ausgangsstrom und der Wirkungsgrad eines hybriden Leistungsmoduls im dreiphasigen Wechselrichter mit leistungsstarker Wasserkühlung berechnet. Betriebspunkte und ein Modulationsverfahren werden identifiziert, die für ein hybrides Modul vorteilhaft sind. Trotz geringerer SiC-Chipfläche können mit einem hybriden Modul teilweise höhere Ausgangsströme erreicht werden als mit einem rein mit SiC-MOSFETs bestückten Modul.

Weiterhin wird eine Treiberschaltung vorgestellt und experimentell validiert, durch die der Hybridschalter mit einem einzelnen Eingangssignal angesteuert werden kann und der Kurzschlussstrom auf den IGBT begrenzt wird. Dadurch wird die Kurzschlussfestigkeit des Hybridschalters gesteigert. Die Verwendung eines SiC-MOSFETs ohne Kurzschlussfestigkeit erlaubt eine weitere Steigerung der Effizienz oder eine Reduktion der verwendeten SiC-Chipfläche.