

Universität
Rostock



Traditio et Innovatio

Ein Beitrag zur Auslegung von
Mehrpunkt-Umrichter-Topologien mit
Niedervolt Si-MOSFET für
Windenergieanlagen

Dissertation

zur

Erlangung des akademischen Grades

Doktor-Ingenieur (Dr.-Ing.)

der Fakultät für Informatik und Elektrotechnik

der Universität Rostock

vorgelegt von

M.Sc. Ingmar Kaiser, geb. am 19.05.1989 in Hamburg

Rostock, 2023

Kurzfassung

In dieser Arbeit werden drei Mehrpunkt-Umrichter-Topologien mit Niedervolt Si-MOSFET ausgelegt. Zu diesen drei Topologien gehören der modulare Multilevel-Umrichter sowie der Flying-Capacitor und Active-Neutral-Point-Clamped Mehrpunkt-Umrichter. Die Topologien werden auf einen gemeinsamen stationären Nennbetriebspunkt ausgelegt. Der Nennbetriebspunkt wird von einer existierenden Zweipunkt-Umrichtereinheit einer Windenergieanlage des Herstellers ENERCON definiert. Fokus der Auslegung ist die Dimensionierung der MOSFET sowie der Kondensatoren der Mehrpunkt-Umrichter-Topologien im Nennbetriebspunkt, da diese beiden Komponenten einen erheblichen Einfluss auf die Kosten und das Bauvolumen eines Mehrpunkt-Umrichters haben. Da die Windenergieanlage in das Mittelspannungsnetz einspeist, werden bei der Auslegung die aktuell in Deutschland gültigen technischen Anschlussregelung für das Mittelspannungsnetz berücksichtigt. Diese fordern die Stützung des Netzes in Fehlerfällen durch Einspeisung von Blindstrom in das Mit- und Gegensystem. Dies führt zu einer bisher nicht durchgeführten umfangreichen Analyse der Auswirkungen von unsymmetrischen AC-Spannungen aufgrund von Netzfehlern auf die Spannungswelligkeit und die Kapazität der Submodulkondensatoren des modularen Multilevel-Umrichters. Um einen hohen Wirkungsgrad zu erreichen, werden mehrere Niedervolt Si-MOSFET parallelgeschaltet. Aufgrund der dadurch geringen Verlustleistungsdichte wird ein Platinaufbau des Leistungsteils der Mehrpunkt-Umrichter-Topologien angestrebt. Für eine genauere Abschätzung des Umrichter-Bauvolumens wird eine umfangreiche Lebensdauerberechnung der Kondensatoren in den Mehrpunkt-Umrichter-Topologien durchgeführt. Darüber hinaus erfolgt eine messtechnische Charakterisierung des bei der Auslegung verwendeten Niedervolt Si-MOSFET zur genauen Berechnung der Umrichterverluste. Die Topologien werden im Anschluss an die Auslegung quantitativ miteinander verglichen. Die vielversprechendste Mehrpunkt-Umrichter-Topologie wird zum Abschluss der Arbeit mit einem existierenden Zweipunkt-Umrichter verglichen.

Abstract

Three multilevel converter topologies with low-voltage Si MOSFETs are designed in this dissertation. These three topologies include the modular multilevel-converter as well as the flying-capacitor and active-neutral-point-clamped multilevel converter. The topologies are designed for a common stationary nominal operating point. The nominal operating point is defined by an existing two-level converter unit of a wind turbine from the manufacturer ENERCON. The focus of the design is the dimensioning of the MOSFET and the capacitors of the multilevel converter topologies at the nominal operating point, as these two components have a significant influence on the costs and the construction volume of a multilevel converter. As the wind turbine feeds into the medium-voltage grid, the current technical connection rules for the medium-voltage grid in Germany are taken into account in the design. These require the grid to be supported in the event of faults by feeding reactive current into the positive and negative systems. This leads to an extensive analysis of the effects of unbalanced AC voltages due to mains faults on the voltage ripple and the capacitance of the submodule capacitors of the modular multilevel-converter, which has not been carried out before. To achieve a high efficiency, several low-voltage Si MOSFETs are connected in parallel. Due to the resulting low power loss density, a circuit board design of the power unit of the multilevel converter topologies is planned. For a more precise estimation of the converter volume, a comprehensive lifetime calculation of the capacitors in the multilevel inverter topologies is carried out. In addition, a metrological characterisation of the low-voltage Si-MOSFET used in the design is carried out to calculate the converter losses. After completion of the design the topologies are quantitatively compared with each other. The most promising multilevel converter topology is compared with an existing two-level converter at the end of the work.