

**Universität
Rostock**



Traditio et Innovatio

**Die Kurzschlüsse von IGBT und Diode im
Active-Neutral-Point-Clamped-
Dreipunktumrichter**

Dissertation

zur

Erlangung des akademischen Grades

Doktor-Ingenieur (Dr.-Ing.)

der Fakultät für Informatik und Elektrotechnik

der Universität Rostock

vorgelegt von:

M. Sc. David Hammes

geboren am 15.02.1989 in Leverkusen

Rostock, den 6. Mai 2021

Kurzfassung

Die vorliegende Arbeit beschäftigt sich mit den auftretenden Halbleiterkurzschlüssen im Active-Neutral-Point-Clamped-Dreipunktumrichter im Megawattbereich, beispielsweise einsetzbar in Windkraftanlagen oder Schiffsantrieben. Umrichter in solchen Umgebungen haben den inerten Nachteil, dass nach einem Kurzschluss ein einfacher Austausch des Systems nicht möglich ist. Weiterhin birgt ein Durchbruch eines Halbleiters, der dadurch einen Kurzschluss auslöst, die Gefahr, dass weitere Bauelemente zerstört werden und Folgeschäden an der gesamten Anlage entstehen. Um diese Problematik umgehen zu können, muss erst einmal verstanden werden, welche Fehler im ANPC-Dreipunktumrichter möglich sind. Daher hat diese Arbeit die Aufgabe, alle möglichen Schaltkombinationen im Umrichter zur Erzeugung der drei Phasenausgangsspannungen zu untersuchen, welcher Durchbruch eines Halbleiters dabei eintreten kann und welche Kurzschlüsse sich daraus schlussendlich ergeben werden.

Anhand von Messungen in einem praxisnahen Teststand wird aufgezeigt, dass sich die Kurzschlüsse im Umrichter in grob fünf Kategorien aufteilen. Zuerst gibt es die Gruppe der vier schon weitläufig beschriebenen Halbleiterfehler aus dem gewöhnlichen Zweipunktumrichter. Zu diesen Fehlern, die nur einen Halbleiter betreffen, kommen zusätzlich die neuen Kurzschlüsse als nächste Kategorie, bei denen die freien Ladungsträger im Bauteil einen Fehlerfall ermöglichen. Dabei wird die Variante für die Diode erstmalig im Rahmen dieser Arbeit beschrieben. Weitere Untersuchungen zeigen die Auswirkungen von Kurzschlüssen, wenn mehr als ein Halbleiter daran beteiligt ist. Während die Serienschaltung zweier Bauteile im Fehlerfall in den meisten Fällen noch eine starke Analogie zu den vorherigen Fehlern aufweist, ist dies bei den zwei anderen Varianten nicht mehr gegeben. Die Parallelschaltung zweier Kurzschlusspfade, welche erstmalig in dieser Arbeit beschrieben wird, führt zu einer Interaktion der betroffenen Halbleiter untereinander. Eine Verzerrung der Strom- und Spannungsverläufe im Kontrast zu den bekannten Fällen ist das Resultat. Als letzte Kategorie können im ANPC-Dreipunktumrichter Situationen auftreten, bei der beim Fehlereintritt ein Halbleiter mit mehr Spannung belastet werden würde, als er sperren kann. Dieses Problem kann durch Schutzbeschaltung gelöst werden, verursacht dann aber einen Kurzschluss über mindestens drei Halbleiter.

Die vorgestellten Fälle werden messtechnisch untersucht, um aufzeigen zu können, wie die Halbleiter in bis dato unbekanntem Kurzschlussituationen reagieren. Darüber hinaus ermöglicht die Analyse aller Kurzschlüsse im ANPC-Dreipunktumrichter Erkenntnisse, wie Fehlervarianten in anderen Mehrpunktumrichter ausfallen werden.

Abstract

This thesis deals with the semiconductor short-circuits occurring in three-level active-neutral-point-clamped converters in the range of megawatt, for example in wind turbines or ship propulsion systems. Converters in such environments have the inert disadvantage that after a short circuit a simple replacement of the system is not possible. In addition, a breakthrough in a semiconductor, which thus triggers a short circuit, carries the risk of destroying other components and by that causing damage to the entire system. To avoid this problem, it is necessary to understand the possible errors in the ANPC inverter. Therefore, this thesis has the task to investigate all possible switching combinations in the inverter for the generation of the three phase output voltages, which breakdown of a semiconductor can occur, and which short circuits will finally result from this.

Based on measurements in a practical test stand, it is shown that the short circuits in the inverter can roughly be divided into five categories. First of all, there is the group of the four already widely described semiconductor faults from the usual two-level converter. In addition to these faults, which only affect one semiconductor, there are the new short circuits as the next category, where the free charges in the component allows a failure case. The variant for the diode is described for the first time in this thesis. Further investigations show the effects of short circuits when more than one semiconductor is involved. While the series connection of two components in case of a fault in most cases still allows a strong analogy to the previous faults, this is no longer the case with the other two variants. The parallel connection of two short-circuit paths, which is described for the first time in this thesis, leads to an interaction of the semiconductors with each other. The result is a distortion of the current and voltage curves in contrast to the known cases. As a last category, situations can occur in ANPC converters in which a semiconductor would be faced with more voltage than it can block when a fault occurs. This problem can be solved by using suppressor circuitry, but then causes a short circuit across at least three semiconductors.

The cases presented are investigated by means of measurements in order to show how the semiconductors react in previously unknown short-circuit situations. In addition, the analysis of all short-circuits in the three-point ANPC converter provides insight into how fault variants in other multilevel converters will occur.