

Schalten von Gleichströmen in automobilen HV-Bordnetzen bis 500 V, unter Berücksichtigung der Lichtbogenwanderung im Doppelkontaktsystem

Hendrik Köpf

Tag der mündlichen Prüfung: 26.11.2018

1. Prüfer: Prof. Dr.-Ing. Michael Kurrat

2. Prüfer: Prof. Dr.-Ing. Frank Berger

Vorsitzender: Prof. Dr. rer. nat. habil. Achim Enders

Die vorliegende Arbeit mit dem der zunehmende Einsatz leistungselektronikbasierter Gleichspannungssysteme führt zu einem Bedarf an kompakten Schaltgeräten mit hoher Leistungsdichte. Die vorliegende Arbeit beschäftigt sich mit dem lichtbogenbehafteten mechanischen Schalten von Gleichströmen in Bordnetzen vollelektrifizierter Fahrzeuge bis 500 V. Untersuchungen in Simulation und Experiment erfolgen an einem Modellschaltgerät hinsichtlich Lichtbogenlöschung und -wanderung in einer Doppelkontaktdanordnung.

Zu Beginn der Arbeit wird ein Überblick über die technischen Randbedingungen eines HV-Bordnetzes für ein Schalt- und Schutzkonzept gegeben, sowie das Schalten von Gleichströmen in Bezug auf vorhandene Literatur erläutert. Anschließend wird der Prozess der Lichtbogenwanderung und im Speziellen der Kommutierung des Stroms von der Kontaktbrücke auf die Laufschiene als Teil des Löschvorganges mit Blick auf die Arbeiten anderer Autoren diskutiert. Basierend auf den ermittelten Vorgaben wird ein anwendungsnahes, kompaktes Modellschaltgerät für experimentelle Untersuchungen entworfen. Ein numerisches Berechnungsmodell für Magnetfeldberechnungen wird entwickelt, um die Experimente zu unterstützen. Abschließend werden die Funktion und Reproduzierbarkeit des Modellschalters in experimentellen Versuchen verifiziert. Experimente und deren Auswertung im Hochleistungs-Gleichstromprüffeld erfolgen unter der Zuhilfenahme von synchronisierten High-Speed-Aufnahmen. Verschiedene konstruktive Maßnahmen werden daraufhin zur Optimierung der Ausnutzung des selbsterzeugten magnetischen Blasfeldes B_s in der Schaltkammer durch numerische Berechnungen miteinander verglichen. Basierend auf den Ergebnissen dieser Berechnungen wird die Optimierung der Schaltkammerausführungen in experimentellen Versuchen untersucht. Abschließend wird ein externes dauermagneterregtes Feld B_f am Schaltgerät appliziert. Numerische Berechnungen werden für konstruktive Modifikationen eingesetzt, deren Wirkung in experimentellen Untersuchungen analysiert wird. Der Vorgang der Lichtbogenwanderung und ihre wichtigen Teilprozesse beeinflussen die Erosion der Schaltkammer und damit das

Schaltvermögen sowie die Schaltspielzahlen des Gerätes. Aus diesem Grund wird der Prozess der Kommutierung des Stroms von der Kontaktbrücke auf ein Laufschiensystem in einer Doppelkontaktnordnung modelliert und experimentell analysiert.

Die Ergebnisse dieser Arbeit werden abschließend zusammengefasst, kritisch hinterfragt und bezüglich der Verwertung diskutiert.

Switching of direct currents in automotive HV vehicle electrical systems up to 500 V, taking into account arc migration in the double-contact system

The increasing application of power electronic based direct current grids leads to a demand for compact switchgear with high-power density. As a result, this thesis deals with the mechanical switching processes of DC currents in automotive powertrains of fully electrified vehicles with nominal voltages up to 500 V. A model switch with a double contact configuration will be investigated; considering arc quenching and switching behaviour in experiments and numerical calculations.

The paper begins with a detailed consideration of the technical requirements for switchgear and protective devices in a high-volt onboard powertrain. Subsequently, the fundamentals of DC switching will be explained. In regard to the work of other authors, the processes of arc wandering and current commutation, as a part of arc quenching, will be discussed afterwards.

Based on the specified technical requirements a compact model switch for experimental investigations will be designed. Additionally, a numerical calculation model will be developed to support the experimental research. Finally, the functionality and reproducibility will be confirmed in experimental tests. The experimental investigations will be conducted in a high power direct current test field with the aid of synchronised high-speed photographs.

The effects of different constructive methods will be evaluated to optimize the utilization of self-produced magnetic flux density B_s inside the switching chamber. For this purpose, numerical calculations will be compared in advance. Based on the results of the calculation, only the most efficient approaches will be researched further in experimental tests. As next step, permanent magnets will be applied to the switching chamber in order to create an externally generated magnetic field B_f . The results of this configuration will be analysed in additional experimental investigations. The procedure and processes of the arc wandering cause erosion of the switching chamber and thus, affect the number of possible switching cycles. That is the reason why the process of the current commutation in a double contact configuration from

the contact bridge to the arc runner system has to be modelled and experimentally analysed.

The results of this thesis will be summarized, critically examined and implemented in sample switches.