

Lichtbogenverhalten beim Ausschalten von Gleichströmen - Experimente und Simulationen

Volker von Döhlen

Berichter: Prof. Dr.-Ing. Manfred Lindmayer

Berichter: Prof. Dr.-Ing. Jürgen Salge

Im Elektrofahrzeug werden Gleichstrom-Schutzschalter benötigt, die im Falle eines Kurzschlusses oder Unfalls für eine zuverlässige galvanische Trennung der Energiequelle vom Bordnetz sorgen. Auf diese Weise können Schäden an elektrischen Betriebsmitteln bzw. Folgeschäden an Fahrzeug, Mensch und Umwelt verhindert werden. Bedingt durch den in der Fahrzeugtechnik allgegenwärtigen Zwang zur Gewichts- und Volumensparnis zeichnet sich hierbei aus der Sicht der Schaltgeräteentwicklung ein Trend zur Gewichtsreduzierung durch kleinere Leiterquerschnitte bei steigenden Betriebsspannungen ab.

Zum Ausschalten von Gleichströmen nach dem Gleichstromlöschprinzip ist eine Steigerung der Lichtbogenspannung über den Wert der treibenden Spannung hinaus zwingend erforderlich. Die Konstruktion von Gleichstrom-Schaltgeräten muß daher so ausgeführt werden, daß eine möglichst hohe Lichtbogenspannung erzeugt werden kann. Dazu kommen grundsätzlich die folgenden Maßnahmen in Betracht:

1. Reihenschaltung von Lichtbögen durch Aufteilung in Teilbögen,
2. Steigerung des Energieentzugs durch Kühlung des Bogens,
3. Verlängerung der Bogensäule,
4. mechanische Begrenzung der Querschnittsfläche des Lichtbogens.

In kompakten Schaltgeräten konventioneller Bauart erfolgt eine Aufteilung des Lichtbogens in Teilbögen innerhalb einer Löschblechkammer (Bild 1), d. h. zur Erhöhung der Bogenspannung werden vorwiegend die unter den Punkten 1 und 2 genannten Maßnahmen eingesetzt.

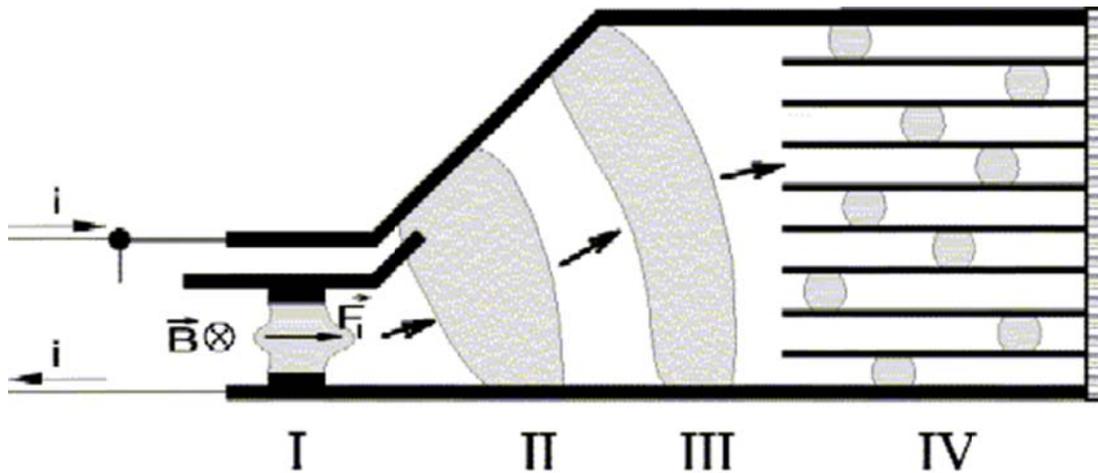


Bild 1: Abschaltvorgang in einem Schalter mit Löschblechkammer

I - Zündung des Lichtbogens nach Kontaktöffnung

II - Kommutierung vom beweglichen Kontaktstück auf eine Laufschiene

III - Lichtbogenwanderung und -aufweitung

IV - Teilbögen im Löschblechpaket

Ein Ziel der Arbeit war die Untersuchung der Möglichkeiten zur Optimierung von konventionellen Schaltgeräten mit Löschblechkammer für den Einsatz in Gleichstromkreisen. Hierzu wurde ein Versuchsschalter entwickelt, der auf einem kommerziell erhältlichen kompakten Schaltgerät basiert. Die Experimente dienen zur Analyse der Beeinflussung des Schaltverhaltens durch Permanentmagnet-Blasfelder, verschiedene Kontakt- und Löschblechformen sowie unterschiedliche Verdämmungsquerschnitte und Gehäuse-Bauarten.

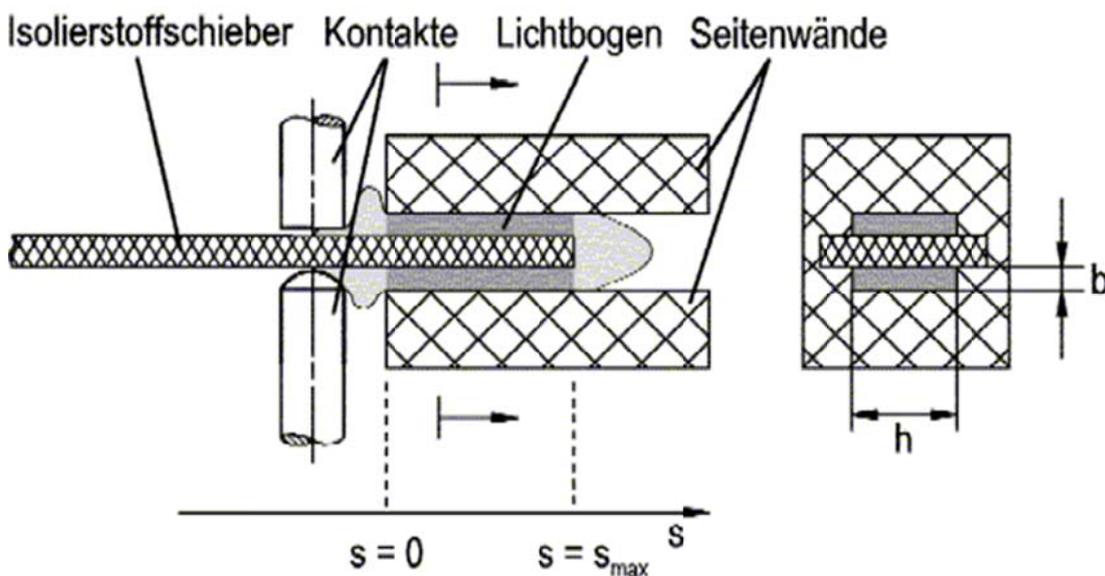


Bild 2: Schaltprinzip der Einquetschung des Lichtbogens in enge Isolierstoff-Spalte

Eine weiteren Schwerpunkt der Arbeit bildeten Untersuchungen zur Einquetschung des Lichtbogens in enge Spalte (Bild 2). Die hohe Lichtbogenspannung wird hierbei durch die mechanische Begrenzung des Bogenquerschnitts in Kombination mit der Verlängerung und der verstärkten Kühlung der Bogensäule bewirkt. Wesentliche Themenbereiche waren:

- die experimentelle Untersuchung von Ausschaltvorgängen mit verschiedenen Versuchsschaltern nach diesem Schaltprinzip
- die Entwicklung eines Rechenmodells, das mit Hilfe der Finite-Differenzen-Methode (FDM) die Berechnung von Bogenkennlinien und die Simulation von Ausschaltvorgängen unter Berücksichtigung des dynamischen Lichtbogenverhaltens ermöglicht
- die Simulation von Schaltvorgängen und der Vergleich mit experimentellen Ergebnissen
- die Ausarbeitung von Grundregeln zur Dimensionierung von Schaltgeräten nach dem Prinzip der Lichtbogen-Einquetschung

Die wirtschaftliche Einsetzbarkeit dieses Schaltprinzips ist in hohem Maße von der Verfügbarkeit von Werkstoffen mit einem günstigen Abbrandverhalten abhängig. Es wurden daher ebenfalls Untersuchungen zum Abbrandverhalten von Werkstoffen unter Lichtbogenbeanspruchung durchgeführt. Zur Erzeugung einer reproduzierbaren Lichtbogenbeanspruchung, die den Beanspruchungen der Schaltkammerwände in Schaltern nach dem Prinzip der Bogeneinquetschung sehr ähnlich ist, wurde ein geeigneter Versuchsaufbau konstruiert. Es wurde weiterhin ein Meßverfahren zur ortsaufgelösten Abbrand-Erfassung durch Oberflächen-Abtastung entwickelt.