



Projektarbeit zum Fachpraktikum

Numerische Berechnung des Schaltlichtbogens

Moritz Krümmner

Matrikelnummer: 4608014

Betreuer

Dipl.-Ing. M. Trautmann

Dr. rer. nat. A. Spille (CFX Berlin Software GmbH)

Betreuender Hochschullehrer

Prof. Dr.-Ing. habil. U. Füssel

Eingereicht am: 31.03.2021

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	IV
Nomenklatur	VII
1 Einleitung	1
2 Stand der Technik	2
2.1 Schalttechnik	2
2.1.1 Aufbau und Funktion des Schaltgeräts	2
2.1.2 Löschrinzip und Löschsysteime	3
2.2 Numerische Berechnung des Lichtbogens	6
2.2.1 Physikalische Grundlagen des Lichtbogens	6
2.2.2 Simulation von Schaltlichtbögen	8
2.2.3 Berechnung der Lichtbogensäule	10
2.2.4 Modellierung der Fallgebiete	14
3 Konkretisierung der Aufgabenstellung	16
4 Erstellung des geometrischen und physikalischen Modells	17
4.1 Geometrie	17
4.2 Numerisches Modell	18
4.3 Gebietsdiskretisierung und Netzstudie	21

5	Auswertung der Ergebnisse	26
5.1	Einfluss des Zündbereichs	26
5.2	Geometrische Einflussgrößen	28
5.3	Physikalische Einflussgrößen	29
5.4	Laufschiendivergenz und Stromregelung	32
5.4.1	Geometrie und Netz	32
5.4.2	Stromregelung	33
5.4.3	Laufschienenabstand	34
5.5	Löschblechform	36
5.6	Löschblechabstand	40
5.7	Löschblechanzahl	42
6	Zusammenfassung und Ausblick	45
	Literaturverzeichnis	47
	Abbildungsverzeichnis	51
	Tabellenverzeichnis	54

6 Zusammenfassung und Ausblick

In dieser Arbeit wurde der Einfluss verschiedener Parameter auf das Verhalten des Schaltlichtbogens untersucht. Dafür wurde ein geometrisches und physikalisches Modell erstellt. Für die Berechnung der Ergebnisse wurden in dem Modell zusätzlich zur Elektromagnetik, Thermodynamik und Strömungsmechanik, die Strahlung und temperaturabhängige Stoffwerte berücksichtigt. Die Lichtbogenwölbung und -teilung an den Löschblechen konnte durch ein Fußpunktmodell dargestellt werden. Um viele Berechnungen mit einem niedrigen Rechenaufwand und einer genauen Lösung zu ermöglichen, wurde eine Netzstudie durchgeführt. Im Anschluss folgte die Parameterstudie und die Weiterentwicklung des Modells. Zunächst wurde der Einfluss der Zündzone untersucht. Die Ergebnisse zeigen, dass die Zündzone an den Schaltvorgang angepasst werden muss. Im Folgenden wurden die geometrischen Größen Laufschienebreite und -abstand untersucht. Zu dünne Laufschiene erhöhen die Stromdichte und somit die Temperatur. Ab einer bestimmten Laufschienebreite wird die Stromdichte nicht erhöht und besitzt keinen Einfluss auf den Lichtbogen. Für die Bauteilschonung und Platzeinsparungen konnte eine Laufschienebreite von 4 mm ermittelt werden. Die Untersuchung des Laufschieneabstands ergab, dass die Lichtbogenwanderung bei geringen Abständen kaum erfolgt. Daraus folgt, dass die Schaltkontakte möglichst schnell getrennt werden müssen, damit der Lichtbogen schneller gelöscht und das Schaltgerät nicht beschädigt wird.

Im Anschluss wurden die physikalischen Modellparameter untersucht. Zunächst wurde die Stromstärke variiert. Durch eine Vergrößerung der Stromstärke folgt eine Erhöhung der Temperatur und der Lorenzkraft. Deshalb erfolgt die Lichtbogenwanderung bei hohen Strömen schneller. Anschließend wurden verschiedene Einströmgeschwindigkeiten untersucht. Der Lichtbogen stellt einen strömungsmechanischen Widerstand dar, deshalb besitzt die Strömung bei zu niedrigen Geschwindigkeiten keinen Einfluss auf den Lichtbogen. Die Lichtbogenlöschung bei Leitungsschaltern erfolgt ohne eine Gasströmung, weshalb diese im Anschluss vernachlässigt wurde. In der Realität wird ein externes Magnetfeld durch einen Blasmagneten erzeugt. Der Einfluss dieses Magnetfelds wurde untersucht. Durch ein erhöhtes Magnetfeld steigt die Lorenzkraft und somit die Geschwindigkeit der Lichtbogenwanderung. Divergierende Laufschiene wurden untersucht, um die Geometrie einem Schaltgerät anzupassen. Zusätzlich wurde das Modell durch eine Stromregelung erweitert, damit wurden die Strom- und Spannungsverläufe an die des Schaltvorgangs an-

gepasst. Löschbleche werden für eine effiziente Lichtbogenlöschung verwendet und deshalb näher untersucht. Löschblechformen wurden betrachtet und zeigen, dass Löschbleche mit einer Kombination aus einem rechteckigen und dreieckigen Einschnitt am effizientesten sind. Diese Löschbleche kühlen den Lichtbogen zunächst von der Seite und ermöglichen eine kontinuierliche Einschnürung des Lichtbogens, wodurch die Fußpunkte schneller gebildet werden. Danach wurde der Abstand der Löschbleche untereinander untersucht. Zu niedrige Abstände verhindern das Wandern des Teillichtbogens, welcher bei geringen Löschblechabständen eine erhöhte Temperatur aufweist. Wenn der Löschblechabstand zu groß ist, können weniger Löschbleche verwendet werden, somit wird der Raum nicht optimal genutzt. Mit den Berechnungen konnte der Löschblechabstand auf 3 mm optimiert werden. Danach wurde die Anzahl der Löschbleche untersucht. Pro Löschblech steigt die Lichtbogen Spannung um die Anoden- und Kathodenfallspannung an. Allerdings steigt die Spannung über die Blechdicke durch die hohe elektrische Leitfähigkeit des Materials nicht. Die Spannungserhöhung durch die Aufweitung des Lichtbogens ist größer als die Spannungserhöhung durch die Verwendung von Löschblechen. Als Optimierungsmaßnahme müssen die Blechdicken verkleinert und die Anzahl erhöht werden.

Die Arbeit ergab Aufschluss über verschiedene Parameter im Schaltprozess und somit Maßnahmen zur Optimierung. Allerdings ist die Anzahl der zu untersuchenden Parameter sehr hoch. In zukünftigen Betrachtungen können weitere Parameter beziehungsweise Paarungen von verschiedenen Parametern untersucht werden. Die Geometrie muss weiter optimiert werden. Dazu könnte eine entsprechende Geometrie von bereits vorliegenden Schaltgeräten verwendet werden. Des Weiteren wurde der Einfluss der Schalteröffnung nicht berücksichtigt. In weiteren Simulation muss die Bewegung der Bauteile mit berechnet werden, um den Schaltprozess genauer darzustellen. Da die Rechenleistung immer weiter steigt, sollten in Zukunft Berechnungen mit feinerer Diskretisierung in Zeit und Ort durchgeführt werden.