

Lichtbogen-Simulation unter besonderer Berücksichtigung der Fußpunkte an Löschblechen

Alexandra Miriam Mutzke

Tag der mündlichen Prüfung: 24.02.2009

1. Prüfer: Prof. Dr.-Ing. Manfred Lindmayer

2. Prüfer: Prof. Dr.-Ing. Rolf Radespiel

Vorsitzender: Prof. Dr.-Ing. Michael Kurrat

Das eigentliche Schaltelement eines Niederspannungsschaltgerätes ist der bei der Kontaktöffnung entstehende Lichtbogen. Dieser muss schnellstmöglich zum Verlöschen gebracht werden, um den Stromkreis zu unterbrechen. Dazu muss die Lichtbogenenspannung über die treibende Spannung hinaus erhöht werden. Diese Erhöhung der Lichtbogenenspannung wird durch verschiedene Methoden erreicht, die einen Energieentzug aus dem Lichtbogen bewirken. Beispielsweise wird der Lichtbogen durch Bewegung gekühlt und an divergierenden Laufschiene verlängert. Am wirkungsvollsten ist jedoch die Verwendung metallischer Löschbleche, an denen sich der Lichtbogen in mehrere Teillichtbögen unterteilt. Durch die Bildung von neuen Anoden- und Kathodenfallgebieten erhöht sich die Lichtbogenenspannung um ein Vielfaches.

Miniaturisierung und steigende Schaltleistungen erfordern eine genaue Kenntnis des Lichtbogenverhaltens, die aus zahlreichen experimentellen Untersuchungen gewonnen werden kann. Um den Entwicklungsprozess von Schaltgeräten zu verkürzen, werden Messungen jedoch zunehmend durch Simulationen ergänzt.

Ein Lichtbogen ist gekennzeichnet durch komplexe Wechselwirkungen von gasdynamischen und elektromagnetischen Prozessen bei sehr hohen Temperaturen. Hierfür wird im Rahmen dieser Arbeit eine Simulationsumgebung mithilfe einer Kopplung des Strömungssimulationsprogramms CFX und des Multiphysik-Programms Ansys entwickelt. Der Aufteilungsvorgang des Lichtbogens an einem Löschblech wird dabei durch eine dünne, das Löschblech umgebende Elementschicht mit einer Spannungs-Stromdichte-Kennlinie nachgebildet. Vor der Bildung eines Lichtbogenfußpunktes auf dem Löschblech muss bei geringer Stromdichte eine Zündspannung überschritten werden. Hat sich ein Fußpunkt gebildet, so kann ein beliebig hoher Strom bei einem nahezu konstanten Elektrodenfall fließen.

Um das Lichtbogenverhalten grundsätzlich nachzubilden, werden in dieser Arbeit vereinfachte Anordnungen von parallelen Laufschiene mit einem Löschblech verwendet, deren Abmessungen sich an realen Schaltgeräten orientieren. Die Simulationsergebnisse werden mit am Institut durchgeführten Messungen verglichen.

Der Schwerpunkt der Simulationen liegt auf den Untersuchungen des Aufteilungsvorganges am Löschblech. Insbesondere werden die Auswirkungen von Parametervariationen an der oben beschriebenen Kennlinie untersucht. Zudem werden aber auch die Einflüsse des vom Stromfluss erzeugten Magnetfeldes, der Strahlungsmodellierung und der in der Anordnung wandernden Druckwellen dargestellt.

Arc Simulations in Special Consideration of Arc Roots on Splitter Plates

The main element in low-voltage switchgear is the arc that is ignited between the contact pieces and that has to be extinguished quickly to interrupt the circuit. Therefore, the arc voltage has to be raised rapidly above the system voltage. To increase the arc voltage energy has to be removed from the arc during the time of arc current flow. There are several methods of arc treatment, e.g. arc motion and elongation by diverging arc runners as well as squeezing and cooling. However, the most effective and hence most widely used possibility is to split

the arc into series arcs by metallic splitter plates. Thereby the arc voltage is increased by multiple cathode and anode falls.

Miniaturization and increasing breaking capacities require detailed investigations of the arc behavior. To shorten the development process of switching devices, measurements have been complemented by arc simulations recently.

An electrical arc is characterized by complex electromagnetic and gasdynamic interactions at very high temperatures. In this research work a simulation tool for these processes was developed by coupling the computational-fluid-dynamics-program CFX and the multiphysics program Ansys. The arc splitting process at a splitter plate is modeled by a thin layer of finite elements with a nonlinear current density – voltage characteristic completely surrounding the plate. Before a new arc root is formed on the plate an ignition voltage has to be exceeded at low current densities. When current flows through an arc spot, the electrode fall is nearly constant and rather independent of the current and current density, respectively.

To simulate the basic arc behavior, simplified arrangements of parallel arc runners with one splitter plate in between are used. The dimensions correspond to industrial switching devices. All simulation results are compared to experimental investigations.

The main aspect of the computations is the arc splitting process at the splitter plate. In particular the influence of parameter variations of the described characteristic is investigated. Moreover, different models to simulate the magnetic field as well as the radiation cooling are compared. An investigation of the moving shock waves caused by the arc ignition yields their strong influence on the arc behavior.