

Zusammenfassung

Auf PTFE-Düsen in SF₆-Hochspannungs-Leistungsschaltern sind nach einigen oder vielen Ausschaltungen unter bestimmten Umständen Verschmutzungen an der Oberfläche gefunden worden. Analysen der Oberfläche-Verschmutzungen mittels Röntgen-Spektroskopie ergaben als dominierende Elemente dieser Verschmutzungsschicht Kohlenstoff und Fluor. Während einer Ausschaltung können die Temperaturen in der Schaltstrecke im und um den Lichtbogen 20 000 K erreichen. In diesem Zustand hat ein Teil der Wand der PTFE-Düse Kontakt mit einer Temperatur, die hoch genug ist um Teile der Düse zu verdampfen.

In dieser Arbeit wurde ermittelt, dass sowohl Kohlenstoff als auch Fluor aus den verdampften Teilen der Haupt- und Hilfsdüse stammen, die sich in Kontakt oder dicht bei dem elektrischen Lichtbogen befinden. Es wurde der Widerstand dieser verschmutzten Schicht gemäß IEC 60093 gemessen. Um reproduzierbare Ergebnisse zu erhalten, wurde eine Anordnung entwickelt, in der die zu messenden Teile abgeschirmt und trocken enthalten waren. Diese Messungen sind an Versuchsobjekten durchgeführt worden, die einer verschiedenen Anzahl von Ausschaltungen in der Schaltstrecke ausgesetzt waren. Die Ergebnisse ergaben, dass im Vergleich zu sauberen PTFE-Oberflächen der Widerstand sich von 10^{16} Ohm auf 10^7 verringerte. Dies führt zu einer bedeutenden Erhöhung der elektrischen Leitfähigkeit, sodass die Wahrscheinlichkeit für Überschläge entlang der Düsenoberfläche steigt.

Der Verschmutzungsgrad ist direkt proportional zur Anzahl der Ausschaltungen und hängt weiterhin ab von der Stromstärke und der Lichtbogenzeit. Das Auftreten des Lichtbogens und seiner hohen Temperaturen erzeugt ein Plasma mit Ionen, freien Elektronen und teilweise rekombinierten Molekülen. Deren Anwesenheit erzeugen einen Weg von hoher elektrischer Leitfähigkeit innerhalb der Schaltstrecke. Wenn der Lichtbogen erlischt und das SF₆ rekombiniert beginnt die Temperatur zu sinken. Jedoch bleibt die Wahrscheinlichkeit eines teilweisen oder kompletten Überschlages durch das Gas noch hoch. Die PTFE-Düsen können Ladungen unter den Bedingungen in der Schaltstrecke aufrecht erhalten. Es muss jedoch angenommen werden, dass Ionen und freie Elektronen einen größeren Einfluss auf die Verringerung des Isolationsvermögens der Schaltstrecke haben. An der Oberfläche der PTFE-Düsen sind Entladungsspuren gefunden worden, die von Überschlägen herrühren.

In dieser Thesis wird eine Theorie entwickelt zur Ursache dieser Überschläge. Die Überschläge beginnen als Rückzündung zwischen dem Schaltstift und dem Kontakt-Zylinder beziehungsweise dem Rohrkontakt. Das starke elektrische Feld, das die Rückzündung verursacht, wird von der transienten Einschwingspannung erzeugt, nachdem der Lichtbogen erloschen ist. Die Entladung bewegt sich vom Schaltstift entweder durch das heiße Gas/Plasma im Lichtbogenkanal oder entlang der Düsenwand im Bereich des Lichtbogens. Anschließend wandert sie auf der Wand der PTFE-Düse, wobei der günstigste Pfad zur entgegengesetzten Elektrode gesucht wird. Nachdem der Streamer einen geeigneten Pfad gefunden hat und sich dicht vor einem Metallteil befindet, das die entgegengesetzte Polarität hat (Kontakt-Zylinder oder Rohrkontakt), kann sich eine aufwärts gerichtete Entladung entwickeln, die mit der ursprünglichen Abwärts-Entladung den Überschlagspfad schließt.

Der Zweck dieser Thesis ist es, durch die vorgeschlagene Theorie, die Analyse und die durchgeführten Messungen einen Beitrag zu leisten zur Verbesserung der Zuverlässigkeit von Hochspannungs-Leistungsschaltern.

Abstract

PTFE nozzles inside high voltage SF_6 circuit breakers have been observed to have pollution on specific sections of their surface after a few or many opening operations and under certain circumstances. After analyzing the surface pollution using the energy dispersive X-ray spectroscopy technique it was detected that the predominant elements characterized by this pollution layer are carbon and fluorine. Temperature inside the interrupter unit can reach values up to 20 000K or more around the electric arc during an opening operation and during this state, part of the PTFE nozzle's wall is in contact with high enough temperatures to ablate part of the nozzle.

It was determined during this work that the carbon and fluorine that was found on the pollution layer came from the ablated parts from the main and auxiliary nozzles in contact or close to the electric arc. A resistivity measurement of this polluted layer was performed following the IEC 60093 standard and its configuration. A shielded, dry, and controlled new set up was created in order to obtain reproducible results. Different test samples were measured varying the number of opening operations inside the interrupter unit. The resistivity of the polluted layer in contrast with the resistivity of the clean PTFE surface drops from $10^{16}\Omega$ to $10^7\Omega$. This leads to a considerable increase on the conductivity of the nozzles wall and rises the probability of flashovers along the nozzle wall.

The number of opening operations is directly related to the degree of pollution but also depends on the current range and the arcing time. The occurrence of the electric arc and its high temperatures leads to the presence of plasma which carries ions, free electrons and partially recombined molecules. The presence of such elements in that state produces a highly conductive path wherever those elements are located inside the interrupter unit. The SF_6 eventually recombines as the arc is extinguished and the temperature starts to drop, but until then, the probability of a partial or full discharge through the gas becomes higher. The PTFE nozzles are able to retain charge under the conditions imposed inside the interrupter unit, however it is believed that the presence of ions/free electrons and the polluted layer have a greater influence on the diminishing of the interrupter insulator capacity. Discharges have been observed on the PTFE nozzle wall leaving flashovers tracks behind them.

On this thesis, a theory explaining the reason of these flashovers is proposed. The flashovers start as a re-ignition discharge between the pin (arcing contact) and the contact cylinder/tube contact (arcing contact). The high electric field that caused the re-ignition is produced by the transient recovery voltage after the main arc has been extinguished. The discharge travels from the pin, to either the hot gas/plasma in the arcing canal or the nozzle wall in the arcing canal. It later travels along the PTFE nozzle wall by having streamers looking for the best path to reach the opposite electrode. Once the streamer have found a suitable path and they are close to reach the metal part with the opposite polarity (contact cylinder/ tube contact) it is possible to have an upward discharge who will meet the downward discharge to complete the path.

By proposing the theory reported on this thesis, as well as the analysis and experimentation carried out, the final aim of this work is to contribute to the improvement on the reliability of circuit breakers.