

Untersuchung der inneren Blitzstoßspannungsfestigkeit von Vakuumschaltkammern nach Ausschaltversuchen

Ingo Gramberg

Tag der mündlichen Prüfung: 18.12.2013

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

2. Prüfer: Prof. Dr.-Ing. Armin Schnettler

Vorsitzender: Prof. Dr.-Ing. Bernd Engel

Das Ausschalten hoher Ströme und insbesondere von Kurzschlussströmen in der Energieversorgung stellt erhebliche Anforderungen an die eingesetzten Schaltgeräte. Hohe Stromdichten an den Schaltkontaktstücken führen zu deren Abbrand und sorgen langfristig für Verschleißerscheinungen nach häufigen Schalthandlungen. Treten die Verschleißerscheinungen in erhöhtem Maße auf, kann dieses zu einer Beeinträchtigung bis hin zu einem technischen Versagen des Schaltgerätes führen. Die Arbeit „Untersuchung der inneren Blitzstoßspannungsfestigkeit von Vakuumschaltkammern nach Ausschaltversuchen“ behandelt die Ursachen und die Entstehung einer verminderten Spannungsfestigkeit von Vakuumschaltkammern nach Ausschaltversuchen. Die Untersuchungen wurden an einem Vakuum-schaltkammertyp für den Mittelspannungseinsatz durchgeführt.

Die untersuchten Vakuumschaltkammern wurden mit Ausschaltversuchen bei variierender Stromstärke und Schalthäufigkeit belastet. Die Erzeugung der 50 Hz Lastströme im synthetischen Prüfkreis gewährleistet, dass die Versuchsbedingungen bei Ausschaltversuchen den regulären technischen Betriebsbedingungen der Vakuumschaltkammer gleichen. Die Bewertung der Blitzstoßspannungsfestigkeit geschieht auf Grundlage von Blitzstoßspannungsprüfungen am Marx-Generator. Der Vergleich ungeschalteter Vakuumschaltkammern mit Vakuumschaltkammern nach vorangegangenen Ausschaltversuchen zeigt, nach wie vielen Versuchen eine Reduktion der Blitzstoßspannungsfestigkeit zu erwarten ist.

Während der Ausschaltversuche verdampft Schaltkontaktstückwerkstoff und kondensiert auf den inneren Oberflächen der Vakuumschaltkammer. Die Schildgeometrie der ausgewählten Vakuumschaltkammer schützt die inneren Keramikoberflächen nicht vollständig vor einer Bedampfung durch Schaltkontaktstückwerkstoff. Nach dem Öffnen der Vakuumschaltkammern erfolgte die Untersuchung der Bedampfungsschichten auf den inneren Keramikoberflächen. Fotografische Aufnahmen mit einer Endoskopkamera zeigen unterschiedliche Ausprägungen der Bedampfung nach unterschiedlich häufigen Ausschaltversuchen bei variierenden Lastströmen. Die Messung der Schichtdicke und der prozentualen Zusammensetzung von Bedampfungsschichten erfolgte durch die „Elektronenstrahl-Mikroanalyse“. Aufnahmen mit dem Rasterelektronenmikroskop zeigen die Oberflächenstruktur der bedampften Keramiken. Durch Messungen mit einem Elektrometer wurde die Leitfähigkeit der Bedampfungsschichten gemessen. Es wird ein Zusammenhang zwischen Schichtdicke, Schichtstruktur und Leitfähigkeit diskutiert.

Die Berechnung der elektrischen Feldverteilung liefert Erkenntnisse über den Einfluss unterschiedlich stark bedampfter Keramikoberflächen auf Feldmaxima innerhalb der

Vakuumschaltkammer. Die Ergebnisse einer transienten Simulation der Blitzstoßspannungsprüfung werden genutzt um den zeitlichen Verlauf des Durchschlagsprozesses innerhalb der bedampften Vakuumschaltkammer zu erforschen. Auf Grundlage der elektrischen Feldberechnung und der transienten Simulation, zusammen mit den Erkenntnissen aus den Bedampfungsschichtuntersuchungen und den Blitzstoßspannungsmessungen wird ein Modell des Durchschlagsprozesses entwickelt.

Lightning impulse voltage tests of vacuum circuit breakers after switching operations

Switching high currents and short circuit currents places considerable demands on circuit breakers. High current densities on contact surfaces cause loss of contact material. Intensive contact erosion can lead to technical failure of circuit breaker. This work "Investigations on the inner lightning impulse voltage performance of vacuum circuit breakers after switching operations" deals with the effect of reduced dielectric strength of vacuum interrupter (VI) after switching operations. The investigations were carried out on a VI for medium voltage.

Switching operations were carried out at different current intensities from 5 kAeff to 20 kAeff. Also the number of switching operations was changed, in order to simulate different technical demands. Currents with a 50 Hz sineform for switching operations were generated in a high power testfield. This guarantees that the test conditions are similar to the technical demands of the VI. Lightning impulse voltage tests were performed to evaluate the dielectric performance of VIs. Comparison of new VIs with VIs after several switching operations reveals the reduction of dielectric performance of investigated VI.

During switching operations, contact material is being evaporated. The metal vapour condenses on inner surfaces of the VI. Shieldings inside the VI should protect the inner ceramic surfaces from being coated by metal vapour, but a small area of ceramic surface becomes coated as well. After opening the VIs, the evaporation layers on ceramics became visible. The area of coated ceramic surface grows bigger with increasing number of switching operations and increasing test currents. Measurement of layer thickness was done with "electron probe microanalysis". Pictures with "REM" show the structure of ceramic with and without evaporation layers. The electric conductivity of coated ceramic surface was done with an electrometer. A connection between surface layer thickness, structure of coated surface and conductivity is discussed.

Calculation of electric field gives information about the influence of different intensities of coatings on the maximum field strength inside the VI. Transient simulation of VI was performed to investigate the process of dielectric breakdown inside the VI with lightning impulse voltage and coated ceramics. Electric field simulation, transient simulation together with results from the investigations of coated ceramic surfaces were used to build up a model for the vacuum breakdown in VI, when segments of the ceramics are covered with contact material.