

Über den elektrischen Durchschlag in unterkühltem Flüssigstickstoff und die Beeinflussung durch Dampfblasen

Michael Blaz

Tag der mündlichen Prüfung: 12.09.2014

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

2. Prüfer: Prof. Dr.-Ing. Volker Hinrichsen

Vorsitzende: Prof. Dr.-Ing. Wolf-Rüdiger Canders

Flüssiger Stickstoff wird zunehmend als Kühlung und elektrische Isolation von supraleitenden Geräten genutzt. Durch den unvermeidbaren Eintrag von Wärme in das System können sich im flüssigen Stickstoff Gasbereiche ausbilden, die eine Schwachstelle der Isolation darstellen. In dieser Arbeit werden daher die Spannungsfestigkeit von flüssigem Stickstoff und der Einfluss von Dampfblasen im flüssigen Stickstoff auf die Durchschlagspannung untersucht. Dazu werden zuerst die Grundlagen der Entladungsmechanismen in dielektrischen Flüssigkeiten im Allgemeinen und die bisherigen Erkenntnisse für flüssigen Stickstoff im Speziellen betrachtet. Nach der anschließenden Vorstellung der Versuchsanlage wird auf die verwendeten Versuchsaufbauten für die Untersuchungen des homogenen und inhomogenen Felds und der bei ihnen auftretenden Dampfblasenform eingegangen. Die Bewertung der Messergebnisse unterteilt sich in die Untersuchungen mit und ohne thermisch erzeugte Dampfblasen. Innerhalb dieser Unterteilung wird weiter zwischen Untersuchungen mit Blitzstoßspannung und Wechselfeldspannung unterschieden. Für die Messungen im homogenen Feld ohne thermische Dampfblasen werden die Startbedingungen analysiert und die entsprechenden Durchschlagfeldstärken abgeleitet. Diese werden, unter Berücksichtigung des Ausnutzungsfaktors, auf das inhomogene Feld übertragen. Beobachtete Polaritätseffekte werden über unterschiedliche Ausbreitungsmechanismen und deren Abhängigkeit von den Umgebungsparametern Kugelpolarität, Druck und Schlagweite erklärt. Die Messwerte, der durch Dampfblasen verringerten elektrischen Festigkeit, werden mit theoretisch berechneten Durchschlagspannungen nach dem Paschengesetz verglichen. Bei den Berechnungen werden sowohl die Temperatur, als auch die Form, der Druck und die Polarität der Dampfblase berücksichtigt. Die durch die Dampfblasen auftretenden Polaritätseffekte werden über den Gasentladungsmechanismus in der Dampfblase, gekoppelt mit den Ausbreitungsmechanismen im flüssigen Stickstoff, erklärt. Im Wechselfeld wird zusätzlich die Bewegung der Dampfblasen berücksichtigt. Abgeschlossen wird die Arbeit mit einer Betrachtung möglicher Folgeuntersuchungen. Im Rahmen dieser

Untersuchungen können die während dieser Arbeit neu aufgeworfenen Fragestellungen genauer analysiert werden.

Abstract

The use of liquid nitrogen as coolant and insulation liquid for superconducting devices increases more and more. Due to the unavoidable heat flow from the outside into the cryogenic system, spatial nitrogen gas can be created. These gas volumes are weak points of the electrical insulation. Therefore, the dielectric strength of liquid nitrogen and the influence of gas bubbles in the liquid nitrogen on the withstand voltage are investigated in this thesis. First, the general discharge mechanisms in insulating liquids and the hitherto observed mechanisms in liquid nitrogen are presented. After the description of the test equipment, the test setup for the homogeneous and inhomogeneous fields are described, as well as the geometry of the gas bubbles between the electrodes. The discussion of the results is divided into the measurements with and without thermally induced gas bubbles. Additionally, within this classification, the results are divided into measurements with lightning impulse and power frequency voltage. From the measurements in the homogeneous field without thermally induced bubbles initiation conditions of the breakdown are analyzed and discharge field strengths are derived. These field strengths are transferred to the inhomogeneous field regarding the influence of the inhomogeneity. Polarity effects observed during the measurements are explained by different propagation mechanisms of the discharges and the dependence on sphere polarity, pressure and electrode distance. The measurement results with thermally induced gas bubbles are compared to calculations of the breakdown voltage with Paschen's law. These calculations consider the geometry, temperature, pressure and polarity of the gas bubble. The polarity effects observed within these measurements are explained by the gas discharge mechanism in the gas bubble together with the propagation mechanisms of the discharge in liquid nitrogen. For the power frequency measurements the movement of the gas bubbles has to be taken into account additionally. The thesis is concluded with the consideration of potentially following experiments. Through these following investigations the questions, which arose during this thesis, could be analyzed more in detail.