



Doctoral Thesis

## Das Isolationssystem Schwefelhexafluorid-Feststoffisolator bei Gleichspannungsbeanspruchung

**Author(s):**

Knecht, Anton

**Publication Date:**

1984

**Permanent Link:**

<https://doi.org/10.3929/ethz-a-000334595> →

**Rights / License:**

[In Copyright - Non-Commercial Use Permitted](#) →

This page was generated automatically upon download from the [ETH Zurich Research Collection](#). For more information please consult the [Terms of use](#).

Diss. ETH Nr. 7621

DAS ISOLATIONSSYSTEM SCHWEFELHEXAFLUORID-FESTSTOFFISOLATOR  
BEI GLEICHSPANNUNGSBEANSPRUCHUNG

ABHANDLUNG

zur Erlangung des Titels eines

DOKTORS DER TECHNISCHEN WISSENSCHAFTEN

der

EIDGENOESSISCHEN TECHNISCHEN HOCHSCHULE ZUERICH

vorgelegt von

Anton KNECHT

dipl.El.-Ing. ETH

geboren am 9. Mai 1948

von Wittenbach SG

Angenommen auf Antrag von:

Prof.Dr.-Ing. W.S.Zaengl, Referent

Prof.Dr. F.Held, Korreferent

1984

## Zusammenfassung

---

Die vorliegende Untersuchung befasst sich mit dem Problem der Stützisolatoren in metallgekapselten, druckgasisolierten Hochspannungsanlagen bei Beanspruchung mit Gleichspannung. Die Isolatoroberfläche, als Grenzfläche zwischen der Gasisolation und der Feststoffisolation, wird dabei als besonders kritisch angesehen. Für die Bestimmung der elektrischen Feldverteilung im Gesamtionssystem müssen bei der Gleichspannungsbeanspruchung neben der Permittivitätsverteilung auch die ohmsche Leitfähigkeitsverteilung und die Isolatoraufladung berücksichtigt werden.

Die Untersuchungen erfolgten mit Hilfe verschiedener Modellordnungen, im wesentlichen bestehend aus rotationssymmetrischen, zylindrischen Epoxydharz-Stützisolatoren (40mm Höhe, 40mm Durchmesser) und parallelen Plattenelektroden. Isolatoren mit ebenen Kontaktierungsflächen zwischen Isolator und Elektroden und Isolatoren mit halbkugelförmigen Potentialsteuerungen wurden kombiniert mit ebenen Elektroden und Elektroden mit Einsenkungen im Zentrum (Einsenkungen zur Feldentlastung der Randzone der Isolator-Elektroden-Kontaktierung).

Ein Doppelmantel-Versuchsgefäß erlaubte Messungen bis 4bar Gasdruck mit  $\text{SF}_6$  und  $\text{N}_2$  und ermöglichte Prüfspannungen bis +600kV.

Wichtigster Teil der Untersuchungen waren Messungen der elektrischen Aufladung der Isolatoroberfläche. Für die Ladungsmessungen wurde ein spezielles Miniatur-Influenz-Feldmeter verwendet. Während der Messung musste die Prüfspannung kurz unterbrochen und das Influenz-Feldmeter aus einer Halterung in der Versuchsgefäßwand bis 1mm Abstand zur Isolatoroberfläche vorgeschoben werden. Verschiedene Motorantriebe ermöglichten dann durch Isolatorrotation und Höhenverstellung die Abtastung der gesamten Isolatoroberfläche durch das feststehende Feldmeter.

Untersucht wurden ausschliesslich gut gereinigte Isolationsanordnungen ohne künstliche Störstellen.

Die gemessenen Aufladungen lagen in der Grössenordnung von  $\pm$  einigen  $\text{nC/cm}^2$ . Dabei war die Ladungsverteilung ziemlich inhomogen und im Detail auch schlecht reproduzierbar. Dennoch lassen sich auf Grund der Messungen eindeutige Aufladungstendenzen feststellen.

Es zeigte sich, dass unterschiedliche Feldverteilungen auf der Isolatoroberfläche auf deutlich unterschiedliche Aufladungsverteilungen führten. Dabei wurde eine signifikante lineare Abhängigkeit der Aufladung von der Normalkomponente der Oberflächenfeldstärke beobachtet.

Ein Einfluss von Gastyp, Gasdruck und Temperatur auf die Aufladung ist nicht erkennbar. Mit Aluminiumoxyd gefüllte Epoxydharzisolatoren verhalten sich ähnlich wie entsprechende Reinharzisolatoren, sie zeigen jedoch eine stärkere Unregelmässigkeit in der Aufladungsverteilung.

Im weiteren wurden mit Hilfe einer Schutzringkondensatoranordnung Untersuchungen zur Gleichstromleitfähigkeit von dünnen Epoxydharzproben (1 bis 2mm Dicke) durchgeführt. Es wurden dabei die Durchgangs- und Oberflächenströme bei konstanter Prüfspannung und die anschliessenden Entladeströme in Funktion der Zeit gemessen.

Für die Durchgangs- und Entladeströme ergab sich als Folge der Grenzflächenpolarisation im Volumen eine exponentielle Abnahme mit der Zeit. Die Oberflächenstrommessungen zeigten im Vergleich mit den Durchgangsstrommessungen eine deutlich höhere Leitfähigkeit der Oberfläche mit einem stationären Endwert nach cirka 30 Minuten.

Für die Isolatoraufladung wird ein Mechanismus mit einer Aufladung aus dem Gasraum beschrieben:

Freie Ladungsträger im Gasraum der Isolation bewegen sich entlang der Feldlinien und lagern sich beim Eindringen der

Feldlinien in den Isolator auf der Oberfläche ab. Die entstehenden Ladungsansammlungen verändern die Feldverteilung so lange, bis nach der Aufladezeit keine Feldlinien mehr die Isolatoroberfläche durchdringen.

Die benötigte Aufladezeit hängt von der Ladungsträgerbildung im Gasraum ab. Sie variiert von Sekunden bei künstlicher Ladungsträgerbildung durch Korona bis Tage für eine gut gereinigte Laboranordnung.

Die Isolatoraufladung wird damit durch die Geometrie der Isolationsanordnung und die anliegende Gleichspannung bestimmt.

Die Oberflächen- und Durchgangsleitfähigkeit des Epoxydharzes haben primär keinen Einfluss.

Die Unregelmässigkeiten in der Verteilung der Oberflächenleitfähigkeit werden jedoch als Ursache für die lokalen Aufladungsunregelmässigkeiten angesehen.

Mit Hilfe von speziellen Oberschlagsspannungsmessungen wurde der Einfluss der Isolatoraufladung auf die Isolationsfestigkeit untersucht.

Im Vergleich mit Referenzmessungen ohne Stützisolator zeigten die Versuche den folgenden mittleren Einfluss des Isolators auf die Oberschlagsspannung der Isolationsanordnung:

bei 2bar  $SF_6$ : keine bis ca. 30% Reduktion.

bei 4bar  $SF_6$ : ca. 15 bis 50% Reduktion.

Für den Fall einer gut gereinigten Isolationsanordnung konnte kein signifikanter Einfluss der Aufladung auf die Oberschlagsspannung festgestellt werden, obwohl sich die Aufladungshöhen und die Aufladungsverteilungen bei den untersuchten Isolator-Elektroden-Anordnungen stark unterscheiden. Der Grund wird darin gesehen, dass eine gleichmässige Aufladung aus dem Gasraum der Isolationsanordnung auf der Isolatoroberfläche eine Homogenisierung der ursprünglichen elektrostati-

schen Feldverteilung bewirkt.

Als Grund für die Reduktion der Überschlagsspannung werden die lokalen Störungen in der Aufladungsverteilung angegeben.

Mit Hilfe eines optischen und elektrischen TE-Messsystems wurde versucht die Existenz möglicher Teilentladungen auf der Isolatoroberfläche nachzuweisen. Die durchgeführten Versuche ermöglichen jedoch keine eindeutige Aussage über solche Entladevorgänge.

## Abstracts

---

For DC-voltages up to  $\pm 600\text{kV}$  the behaviour of cylindrical epoxy resin spacers in  $\text{SF}_6$  and  $\text{N}_2$  was investigated. The spacers used were 40mm long with a diameter of 40mm. They have been placed between parallel-plate electrodes. Plane electrodes and electrodes with recesses in the electrode centre to prevent edge effects as far as possible have been used. Apart from spacers with plane electrode-spacer junctions, spacers with spherically recessed electrodes have been examined.

The main investigations are concentrated on the development and life-time of surface charge accumulations for different spacer electrode arrangements. The charge accumulation was measured with a miniaturized influenz feldmeter with good local resolution.

The distribution of surface charges is rather inhomogeneous and not very reproducible. Nevertheless, definite tendencies have been found. The charge accumulation on the surface occurs at the place of high normal component of the electric field. The charge accumulation did not show a distinct dependence on gas type or pressure and temperature.

The fundamental differences in the global charge distribution for the tested electrode profiles are easily explicable with charge transport through the gas along the electric field lines. The charge accumulation occurs at the place where the electric field lines penetrate the surface.

The bulk or surface conductivity of the epoxy resin is very small, in particular for the relatively low electric field stress in the solid part of the insulation. But the inhomogeneous distribution of the ohmic conductivity on the surface (caused by material impurities) may explain the local charge inhomogenities, specifically observed for epoxy spacers with filler.

In other experiments the breakdown voltage was measured. The results for carefully cleaned spacers did not show a significant influence of the charge accumulation. The reason is probable that a homogeneous charge distribution may cause a more homogeneous field distribution and does in this way not lower the insulation strength. But a reduction of the insulation strength is given by high local charge peaks due to local inhomogenities in the surface conductivity.