

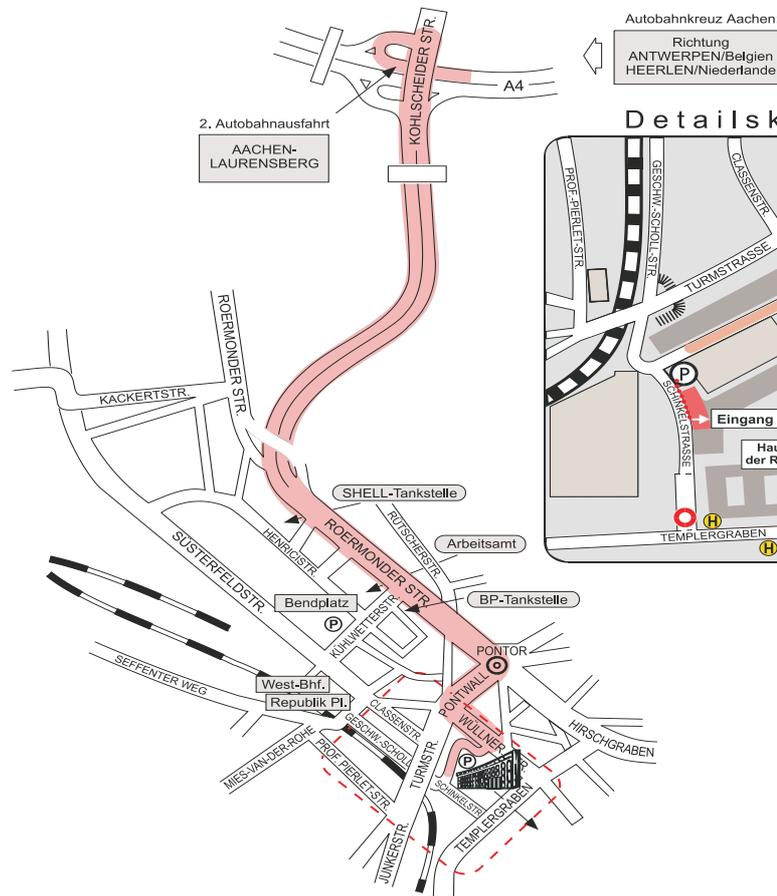


Jahresbericht
2003

*Institut für Hochspannungstechnik
Schinkelstraße 2
52056 Aachen*

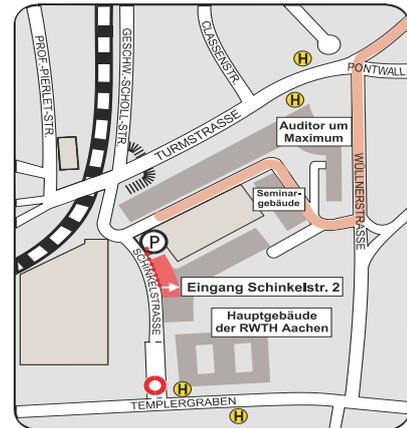
*Telefon: ++49/(0)241/80-94931
Fax: ++49/(0)241/80-92135
e-mail: post@ifht.rwth-aachen.de
Internet: www.ifht.rwth-aachen.de*

Anfahrtskizze



Autobahnkreuz Aachen:
Richtung
ANTWERPEN/Belgien
HEERLEN/Niederlande

Detailskizze



*Herausgeber: Univ.-Prof. Dr.-Ing. Armin Schnettler
Institut für Hochspannungstechnik der Rheinisch-
Westfälischen Technischen Hochschule (RWTH)
Aachen*

*Redaktion: Dipl.-Ing. Michael Schmale
Redaktionsschluß: 15.12.2003*

Inhaltsverzeichnis

Vorwort

Forschung am ifht

Berichte aus der laufenden Forschung

Entwicklung, Aufbau und Test eines SF ₆ -Selbstblas-Schalter-Modells	10
Simulation von SF ₆ Leistungsschaltern	14
CFD-Simulation von SF ₆ Hochspannungsleistungsschaltern	18
Untersuchungen zur HF-Strom-Konditionierung von Vakuumschaltkammern ...	22
Überdruckentwicklung in elektrischen Anlagen im Störlichtbogenfall	26
Ökobilanzierung von Schaltanlagen	30
Untersuchung zur Zustandsüberwachung an Leistungsschaltern	34
Untersuchung von Polyurethan-Hartschaum	38
Ultraschall-Untersuchungen an elastomeren Isolierstoffen	42
Ultraschalldiagnose an Hochspannungsmuffen	46
Anwendung von Nano-Struktur-Oberflächen in Hochspannungsisolierungen ...	50
Optische Untersuchung an koplanaren Barrierenentladungsanordnungen	54
Verminderung von gasförmigen Schadstoffemissionen	58

Externe Forschungsarbeiten

Dielektrische Festigkeit der Isolation ölimprägnierter Transformatoren	66
Basisuntersuchungen zum Abschaltvermögen von Generatorschaltern	70

Dissertationen

Modellierung des Plasmas in Vakuum-Leistungsschaltern	74
Ultraschalldiagnostik zur Zustandsbewertung von elastomeren Isolierstoffen ...	78

Diplom-, Master- und Studienarbeiten - 2003 abgeschlossen 86 |

Veröffentlichungen 90 |

Lehre am ifht

Vorlesungen und Praktika	94
--------------------------------	----

Das Institut

Chronik	106
VDE Seminar	112
Aktivitäten 2003	114
Exkursion Hochspannungstechnik	116
Brasilien Exkursion	118
Mitarbeiter 2003	122

Contents

Preface

Research at ifht

Scientific Reports

Development, Construction and Test of a SF ₆ -Selfblast-Circuit-Breaker	12
Simulation of Electric Arcs in SF ₆ -Selfblast-Circuit-Breakers	16
CFD Simulation of SF ₆ Circuit Breakers	20
Investigations on HF-Current Conditioning of Vacuum Circuit Breakers	24
Overpressure Development in Case of Fault Arcs in Electrical Installations	28
Life Cycle Assessment of Maintenance Processes of Switchgears	32
Non Invasive Condition Monitoring of High Voltage Circuit Breakers	36
Investigations on the Electrical Strength of Polyurethane Based Solid Foam	40
Ultrasonic Investigations of Elastomeric Insulating Materials	44
Ultrasonic Diagnosis of High Voltage Cable Joints	48
Application of Nano-Structure Surfaces in High Voltage Insulation Systems	52
Optical Investigations on Coplanar Barrier Discharge Arrangements	56
Pollution Control with Dielectric Barrier Discharge	62

External Scientific Reports

The Electric Strength of the Insulation of Oil Impregnated Transformers	68
Basic Investigations on Generator Circuit Breakers Interruption Capability	72

PhD Theses

Plasma-Modelling in Vacuum Circuit Breakers	74
Ultrasonic for Condition Assessment in Elastomeric Materials	82

Diploma- and Project Theses

Publications	90
---------------------------	----

Teaching at ifht

Lectures and Laboratories	94
---------------------------------	----

The Institute

Chronicle	106
VDE Seminar	112
Activities 2003	114
Excursion High-Voltage Engineering	116
Brazil Excursion	118
Staff 2003	122

Sehr geehrte Freunde des Instituts,

mit dem vorliegenden Jahresbericht stellen wir Ihnen die wesentlichen Ereignisse und Ergebnisse unserer Aktivitäten im Jahr 2003 kurz dar. Das vergangene Jahr war für uns sicherlich eine der ereignisreichsten Zeitspannen der letzten Jahre:

- geprägt durch die Angliederung der FGH e. V., Mannheim, als unabhängiges An-Institut der RWTH Aachen,
- beeinflusst durch die massiven Stromausfälle in Nordamerika und in Europa und den damit verbundenen Aktivitäten auch durch meine Tätigkeit als Vorstand der Energietechnischen Gesellschaft ETG im VDE
- motiviert durch ein stark gestiegenes öffentliches Interesse und Nachfrage durch die Studenten der RWTH Aachen und
- erweitert durch einen deutlichen Mitarbeiterzuwachs, der in diesem Jahr die Personalabgänge bei weitem übertrifft.

Die Zusammenarbeit mit der FGH e. V., Mannheim, entwickelt sich sehr positiv. Erste gemeinsame Forschungsprojekte sind in Bearbeitung bzw. in der Vorbereitungsphase. Erstmals wird es im Februar 2004 auf der Messe e-world in Essen einen Gemeinschaftsstand der FGH e. V. mit dem Institut für Elektrische Anlagen und Energiewirtschaft und uns geben. Auf dieser Fachmesse werden aktuelle Forschungsergebnisse und unser Dienstleistungsangebot umfassend vorgestellt.

Das Jahr 2003 war auch aus wissenschaftlicher Sicht äußerst erfolgreich. Zwei abgeschlossene Dissertationen (Dr.-Ing. Kerstin Jenkes, Dr.-Ing. Christian Cornelissen), die Mit-Ausrichtung der Jahrestagung der

Deutschen Physikalischen Gesellschaft „DPG-Spring Meeting Plasma Physics“ durch Herrn Prof. Dr. rer. nat. G. Pietsch, der Cigré SC B3 Sitzung, des Tages der Elektrotechnik und Informationstechnik, viele Veröffentlichungen auf renommierten nationalen sowie internationalen Tagungen und in Fachzeitschriften sowie eine sehr große Zahl von Vorträgen dokumentieren unsere Leistungsbereitschaft.

Erfreuliches ist auch über die Entwicklung der Studierendenzahlen zu berichten. Die Anfängerzahlen in der Fakultät für Elektrotechnik und Informationstechnik liegen mit ca. 650 neu eingeschriebenen Studierenden noch einmal deutlich höher als im Vorjahr. Hervorzuheben ist der erstmalig angebotene Diplom-Studiengang Wirtschaftsingenieurwesen mit Schwerpunkt Elektrische Energietechnik, in dem sich 45 Studierende eingeschrieben haben. Obwohl im Vorfeld keine Werbemaßnahmen für diesen Studiengang liefen, wurden unsere Erwartung mehr als erfüllt. In Verbindung mit dem englischsprachigen Masterstudiengang, in dem sich fast 30 Studierende einschrieben, können wir von über 100 neu eingeschriebenen, energietechnisch interessierten Studierenden berichten. Der erfreulich großen Nachfrage steht damit natürlich eine gestiegene Erwartungshaltung an unsere außeruniversitären Partner gegenüber. Für die in wenigen Jahren verstärkt auf den Arbeitsmarkt drängenden Ingenieure müssen interessante und adäquate Arbeitsplätze zur Verfügung stehen. Eine ähnlich restriktive Einstellungspolitik wie Anfang der 90er Jahre wäre äußerst kontraproduktiv für die langfristige Deckung des Ingenieurbedarfes.

In unserem Personalbestand erfolgten 2003 wesentliche Änderungen. Nach Abschluss ihrer Dissertation hat sich

Frau Dr.-Ing. Kerstin Jenkes entschlossen, einem interessanten Angebot der Industrie zu folgen - wir wünschen ihr beruflich wie privat weiterhin einen erfolgreichen und glücklichen Lebensweg. Weiterhin haben Herr Dr. Ayrat Murtazin sowie Herr Dr.-Ing. Ralf Puffer planmäßig das Institut verlassen, um neue Herausforderungen anzunehmen - beiden Herren sei für ihr Engagement gedankt. Besonderer Dank gebührt Herrn Dr. Puffer, der über fast zwei Jahre als Oberingenieur sehr wesentlich und in einer außerordentlich angenehmen Zusammenarbeit mit für den erfolgreichen Lehr- und Forschungsbetrieb verantwortlich zeichnete. Wir wünschen ihm auf seinem weiteren Lebensweg viel Erfolg, Glück und Zufriedenheit. Herr Dr.-Ing. Christian Cornelissen hat zum 1. Oktober 2003 die Aufgaben des Oberingenieurs übernommen - in seiner neuen Herausforderung wünschen wir ihm selbstverständlich viel Erfolg. Abschließend bedanken wir uns bei Frau Bianca Kühn, die uns einige Jahre in der Administration verstärkt hat und jetzt, nach Ablauf ihres Studiums, andere Wege außerhalb der Hochschule beschreitet. Die oben beschriebene Personalfluktuatation wird durch den Zugang von neun wissenschaftlichen Mitarbeitern (Herren Pinit Jitjing, Uwe Macharey, Piotr Margiel, Roberto Retana, Thomas Smolka, Alexander Tröger, Philipp Walter, Torsten Wirz, Juliang Wu) sowie Frau Alexandra Hoffelner im Geschäftszimmer mehr als ausgeglichen. Wir freuen uns auf eine interessante und angenehme Zusammenarbeit. Auch die Renovierungs- und Umbaumaßnahmen im Rogowski-Gebäude

zeigen sichtbare Fortschritte. Wenn- gleich aufgrund der schlechten finan- ziellen Ausgangslage des Landes die Grundsanierung des Gebäudes wei- ter in die Zukunft verschoben wurde, konnten einige Teilprojekte realisiert bzw. begonnen werden. Die Verlage- rung der Mechanischen Werkstatt wur- de erfolgreich abgeschlossen; im ehe- maligen Werkstattbereich konnten die umfangreichen Maßnahmen zur Ge- staltung des neuen Seminarraumes be- gonnen werden. An dieser Stelle sei besonders der Bau- und Betriebsdirek- tion der RWTH Aachen und dem Bau- und Liegenschaftsbetrieb NRW für die Unterstützung und angenehme Zusam- menarbeit gedankt.

Aus heutiger Sicht wird das Jahr 2004 ähnlich ereignisreich wie das vergan- gene Jahr. Wir werden uns noch stärker in nationalen wie internationalen Ar- beitsgruppen engagieren und die Re- sultate unserer Aktivitäten wieder auf verschiedenen Konferenzen und Fach- tagungen vorstellen. Ich möchte Sie al- le herzlich auffordern, auch weiterhin aktiv mit uns die anstehenden Heraus- forderungen zu bewältigen.

Mein Dank gilt allen Mitarbeitern, Freunden und Partnern, die uns durch Ihre aktive, ideelle sowie finanzielle Hilfe im Jahr 2003 außerordentlich stark unterstützt haben.

Ich wünsche Ihnen ein gesundes, glück- liches und erfolgreiches Jahr 2004!

Ihr



Aachen, im Dezember 2003

Dear Friends!

This Annual Report 2003 will give you a brief overview on all major activities and main scientific achievements of the Institute for High Voltage Technology. The past year has surely been one of the most exciting years we have experienced for a long time:

- *based on the affiliation of the renowned research centre FGH e. V. (Forschungsgemeinschaft für elektrische Anlagen und Stromwirtschaft - research association of power systems and economics)*
- *influenced by the major black-outs in North America and Europe and subsequently by additional activities by myself as a member of the German association of electrical power engineers (ETG at VDE)*
- *motivated by an increased public interest and an increased number of power engineering students and*
- *expanded due to a significantly enlarged number of scientists at our institute*

The cooperation with FGH e. V. is getting closer and closer. Several research projects have been started respectively initiated. For the first time ever, FGH e. V. together with the Institute for power systems and power economics and our institute will jointly present their scientific profile and services at the well established fair "e-world" which is taking place in February 2004 in Essen, Germany. From a scientific point of view 2003 has been quite successful. We finished two Ph. D. thesis' (Dr.-Ing. Kerstin Jenkes, Dr.-Ing. Christian Cornelissen), we have been the organizer of the

annual conference of the German Association of Physicists „DPG-Spring Meeting Plasma Physics“ by Prof. Dr. rer. nat. Gerhard Pietsch, we have organized a Cigré SC B3 meeting (CAG, SAG), as well as the annual meeting of the faculty of electrical engineering and information technology. In addition, many publications on renowned national and international conferences and magazines as well as a huge number of given presentations give a documentation on our scientific performance. We are glad to report that the number of students at our faculty is steadily increasing. In October we recorded more than 650 new students; out of them there are 45 students registered in our new Diploma program "industrial engineering" with focus on electrical power engineering which is even exceeding our expectations. Including our master program "electrical power engineering" we got more than 100 new students being interested in our field. Of course, we do expect by our non-university partners that in a couple of years, as soon as these higher number of students, these young engineers will have the chance to get challenged by adequate job opportunities. The extremely restrictive hiring policy we have had beginning of the 90s should not come back again.

As normal, we have to report some changes in our personnel. Mrs. Dr.-Ing. Kerstin Jenkes left us for accepting an interesting job offer outside our university. We wish Dr. Jenkes a further successful and fortunate future. Additionally, Dr. Ayrat Murtazin and Dr.-Ing. Ralf Puffer left our institute to accept new challenges - we would like to thank both of them for their fruitful contributions to our activities. Special thanks we would like to address to Dr. Puffer who has not only been extremely successful during

his time as chief engineer - it was really a pleasure to have cooperated with him. All the best for his future career and private life. As his successor as chief engineer, Dr.-Ing. Christian Cornelissen took over his new position on October, 1st 2003 - we wish him all the best and good luck in his new challenges. Last but not least we address our thanks to Mrs. Bianca Kühn, who left our institute after finishing her studies. However, nine new scientist will significantly strengthen our team (Pinit Jitjing, Uwe Macharey, Piotr Margiel, Roberto Retana, Thomas Smolka, Alexander Tröger, Philipp Walter, Torsten Wirz, Juliang Wu) as well as Mrs. Alexandra Hoffelner who will assist our administrative team. We are looking forward to a fruitful and pleasant cooperation.

The renovation works at our Rogowski building are showing significant progress. Although the full reconstruction project has been delayed again, some smaller activities have been realized respectively initiated. Our new mechanical workshop has been completed already in September; the renovation works in the for-

mer workshop will most likely be completed beginning of 2004. Based on these positive results we are glad to send our special regards to all supporting departments of our university respectively to the BLB NRW.

Looking into the next year I assume that 2004 will be of similar nature compared to this year. We will further intensify our engagement in national as well as international groups and have already prepared several contributions for conferences. I would like to encourage all of you to continuously accept the challenges of our fast changing environment.

My sincere thanks I would like to send to all members of the institute for high voltage engineering, all friends and partners who have significantly contributed actively, ideally and financially to our overall success.

With all the best for a peaceful, healthy and succesful year 2004.

Yours sincerely



Aachen, December 2003

Berichte aus der Forschung

Dissertationen

Diplom-, Master- und Studienarbeiten

Veröffentlichungen

9

Research at ifht

PhD Theses

Diploma-, Master and Project Theses

Publications

untersucht werden kann. Die in der Abbildung zu erkennende Ringelektrode (in der Abbildung untere Elektrode) läßt eine End-On-Beobachtung des Schaltlichtbogens zu.

Prüfgefäß

Der Schalter befindet sich in einem mit SF₆-befüllbaren Gehäuse, welches für einen Überdruck von 10 bar ausgelegt ist. Die Position des Schalters in dem Gehäuse ist frei wählbar. Zurzeit wird der Schalter, wie in Abb. 2 zu sehen ist, vertikal im Prüfgefäß aufgebaut.

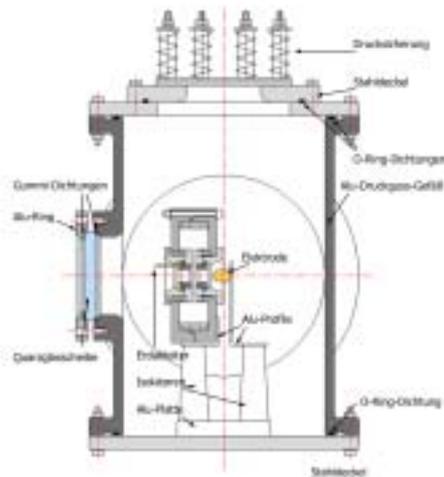


Abb. 2: Querschnitt des Prüfgefäßes mit eingebautem Schaltermodell. Die Position des Schalters läßt eine End-On-Beobachtung des Schaltlichtbogens zu.

Das Gehäuse ist mit einer Druckversicherung ausgestattet, welche bei einem absoluten Druck von 10 bar anspricht. Weiterhin sind verschiedene Durchführungen an dem Gehäuse angebracht, die Messleitungen und

mechanische Zuführungen enthalten. Eine automatische Zünddrahtnachführung erlaubt es, mehrere Versuche nacheinander zu fahren, ohne das Prüfgefäß öffnen zu müssen. Während eines Versuches können an dem Schalter die Brennspannung, der Strom und der Druck gemessen werden. Um den Stromnullbereich genauer auflösen zu können, wird ein Koaxialshunt zur Nachstrommessung verwendet, der einen Widerstand von $27\text{ m}\Omega$ und eine Anstiegszeit von 4 ns besitzt. Als Widerstandsmaterial wurde Manganin verwendet, welches gute Temperatureigenschaften aufweist. Die wiederkehrende Spannung wird mit einem kapazitiven Teiler hochaufgelöst gemessen. Um die Möglichkeit zur optischen Untersuchung zu geben, ist in das Prüfgefäß ein Fenster eingelassen, durch welches z. B. mit einer CCD-Kamera der Schaltlichtbogen beobachtet werden kann.

Ausblick

Durch optische Beobachtungen des Schaltlichtbogens sollen weitere Erkenntnisse über das Abbrandverhalten des Lichtbogens in einer PTFE-Düsenanordnung erlangt werden. Diese Erkenntnisse können dann in die Modellbildungen für Leistungsschalter einfließen.

Kontakt

Dipl.-Ing. Robert Dommerque
 dommerque@ifht.rwth-aachen.de
 ++49/(0)241/80-94945

Development, Construction and Test of a SF₆-Selfblast-Circuit-Breaker Model

The switching performance of a SF₆-selfblast-circuit-breaker depends upon several parameters. To get a better understanding of physical processes within a breaker the analysis of these parameters is of high importance. Additionally, a better understanding is required to verify and adjust CFD-simulation tools respectively. Therefore, a SF₆-selfblast-circuit-breaker-model has been developed to analyse systematically the impact of different parameters on e. g. the switching performance.

Introduction

High voltage circuit breakers serve as safety-elements in electric power systems. Therefore these circuit breakers have to be able to interrupt reliably electric circuit, especially in the case of short circuits with currents in the range of several 10 kA. Different principles of a circuit breaker do exist, state of the art is the SF₆-self-blast-circuit breaker, which is today used as standard technology in power systems.

A selfblast-circuit-breaker-model is built up, which will be used for different investigations to provide a better insight into the physical properties during the switching operation. A Weil-Dobke test-setup with following ratings is available:

high-current-circuit:

$$I_{peak} = 30 \text{ kA}, f = 50 \text{ Hz}$$

high-voltage-circuit:

$$dU/dt \text{ up to } 15 \text{ kV}/\mu\text{s}, dI/dt \text{ up to } 30 \text{ A}/\mu\text{s}, U_{max} = 54 \text{ kV}.$$

Selfblast-circuit-breaker-model

For the design of the selfblast-breaker model a symmetrical construction was chosen (Fig. 1). The model has been constructed without using moveable contacts and is made of stainless-steel. The switching operation is activated by

a copper wire which is short-circuiting the electrodes.

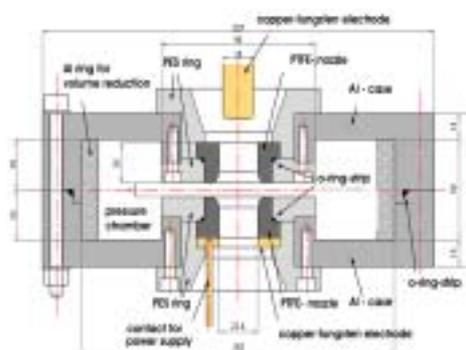


Fig. 1: Cross section of the SF₆-selfblast-circuit-breaker model

The volume of the pressure chamber is 1 l maximum, and can be varied by using different inner aluminium-rings. The PTFE-nozzles that surrounds the arc, are fixed by two PES-rings. The inner nozzle diameter is designed in such a way that one electrode can be moved into the nozzle to further investigate the impact of electrode. The ring-electrode (the lower electrode in the illustration) allows an end-on-observation of the arc.

Test vessel

The SF₆-selfblast-circuit-breaker-model used is within a test vessel

which can be filled with SF₆. The position of the breaker in the test vessel is arbitrary. Currently it is arranged vertically inside of the test vessel. This is illustrated in figure 2.

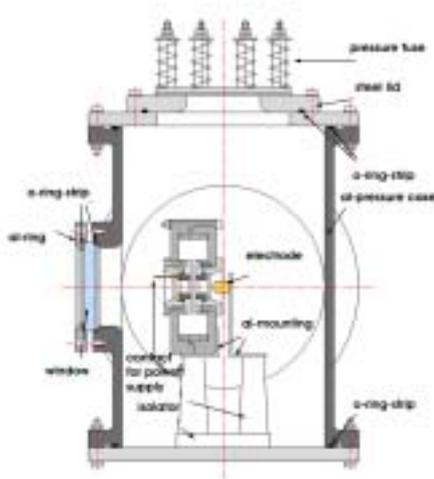


Fig. 2: Cross section of the test vessel with a build-in switch. The position of the switch allows an end-on-observation of the switching-arc.

The test vessel is provided with a pressure fuse, which responds to a pressure of 10 bar. Furthermore, there are several bushings through the test vessel. These bushings contain measuring lines and mechanic funding rates. An automatic setpoint tracing for the cop-

per wire was created. This allows to do several tests without opening the test vessel. Arc voltage, current and pressure can be measured during a test. A fast capacitive divider and a shunt were created to allow investigations of the SF₆-selfblast-circuit-breaker-model in the current-zero-region. The shunt was realised in a coaxial form. It has a resistance about 27mΩ and a rise-time of 4ns. Manganin was chosen as material for the resistance. Its resistance is nearly independent on temperature. The returning voltage is measured by a fast capacitive divider.

A window is integrated in the test vessel to allow an optical observation of the switching-arc with a CCD-camera.

Outlook

The optical observations of the switching-arc shall give further consolidated findings about the ignition-behaviour of the arc in a PTFE-nozzle-arrangement. These findings can be introduced into the construction of a model.

Contact

Dipl.-Ing. Robert Dommerque
dommerque@ifht.rwth-aachen.de
++49/(0)241/80-94945

Simulation von SF₆ Leistungsschaltern unter Berücksichtigung der Strahlung mit Hilfe der Methode der Partiellen Charakteristiken

Zur Entwicklung und Optimierung von SF₆-Selbstblasschaltern sind effiziente und leistungsfähige Berechnungstools notwendig.

Zur Erweiterung der Simulationsumgebung der Hochstromphase eines Schalters erfolgt eine transiente Berechnung der Gasströmung durch CFD (Computational Fluid Dynamics) Gleichungslöser, die um die Berücksichtigung der Wechselwirkung des Lichtbogens mit seiner Umgebung erweitert werden müssen.

Einleitung

Das zentrale Element während einer Kurschlussabschaltung in Energieversorgungsnetzen ist der abbrandbestimmte Schaltlichtbogen, dessen Strahlungsverhalten sich mit Hilfe der Methode der Partiellen Charakteristiken [1] berechnen lässt. Zusätzlich ermöglicht die Methode die Berechnung des Strahlungsflusses, der den Massenabbrand verursacht.

Physikalische Modellbildung

Das bisher eingesetzte Zwei-Zonen-Modell [2] basiert auf der Annahme einer heißen, leitfähigen zylindrischen Lichtbogenzone und einem diese Zone umgebenden, nicht leitfähigen Dampfmantel. Dem großen Vorteil kurzer Rechenzeiten stehen jedoch Einschränkungen bzgl. der Lichtbogenstruktur und der Ermittlung des ortsabhängigen Düsenabbrandes gegenüber.

Ein Modell zur Simulation von Leistungsschaltern mit einem allgemeingültigen physikalischen Modellansatz wurde mit der Software CFX5.6 durchgeführt und an einem Experiment überprüft [3],[4]. Die Methode der Partiellen Charakteristiken erlaubt die Simulation der Strahlung mit Hilfe der

Terme $\Delta Sim(T_P, T_\xi, |P - \xi|)$ und $Som(T_P, T_S, |P - S|)$, die im voraus berechnet werden können und die Volumenintegration durch eine Strahlverfolgung vereinfachen [5]. Dieses Modell ermöglicht eine genaue Simulation des Düsen-Abbrandes, da die einzelnen Strahlen jeweils bis zum Rand der Geometrie verfolgt werden und der Strahlungsfluss an den Randpunkten zur Berechnung des Abbrandes dient.

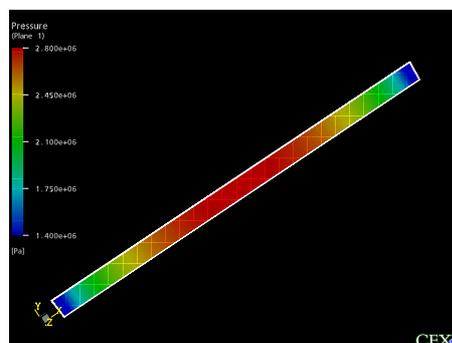


Abb. 1: Druckverteilung in der Versuchsdüse

Implementierung

Die Erhaltungsgleichungen für Masse, Impuls und Energie werden vom Flow-Solver CFX5.6 für das gesamte Strömungsgebiet gelöst. Diese Gleichungen müssen durch Quellterme ergänzt werden [3]. Die Massenbilanz

wird durch den Quellterm

$$\dot{m} = \frac{|\vec{F}|}{(h_v + \delta h_a) \cdot 2}$$

berücksichtigt, wobei h_v die Verdampfungsenthalpie für PTFE und δh_a die Änderung der Plasmaenthalpie von 1000K auf 3500K beschreibt. Die Energieerhaltungsgleichung wird im Lichtbogengebiet durch den Term

$$S_{Lichtbogen} = P_{Ohm} - \nabla \cdot \vec{F} + e_g \cdot \dot{m}$$

ergänzt und berücksichtigt somit die ohmsche Heizleistung durch $P_{Ohm} = \sigma \cdot E^2$ und die Strahlung durch $\nabla \vec{F}$. Die Energie e_g ist notwendig, um abdampfendes PTFE auf eine Temperatur von 3500K aufzuheizen. Die Berechnung des Strahlungsflusses \vec{F} und der Strahlungsflussdichte $\nabla \vec{F}$ erfolgt für einen Strahl durch

$$\vec{F}(P) = \int_P^S Som(T_P, T_\xi, |P - \xi|) d\xi$$

und

$$\nabla \cdot \vec{F}(P) = Som(T_P, T_S, |P - S|) - \int_P^S \Delta Sim(T_P, T_\xi, |P - \xi|) d\xi$$

Für das Experiment aus [4] wurde der Strahlungsfluss \vec{F} alternativ durch

$$|\vec{F}| = 2\pi \int_0^r \nabla \vec{F} \cdot r \cdot dr$$

bestimmt.

Ergebnisse/Ausblick

Mit der beschriebenen Modellbildung wurde das Experiment aus [4] für eine 50Hz Sinushalbschwingung simuliert. Bild 1 zeigt die Druckverteilung im Strommaximum.

Das entwickelte und getestete Modell soll im nächsten Schritt zur Simulation eines am Institut befindlichen Modellschalters verwendet werden und später im Hinblick auf eine systematische Untersuchung der Alterung von Leistungsschaltern weiterentwickelt werden.

Quellen

- [1] Aubrecht, V., Protasevich, E.T., *Radiative Transport of Energy in SF₆ Arc Plasma*, Tomsk 2000
- [2] Claessens, Max., *Simulation von Gasströmungen in SF₆-Selbstblaschaltern bei Kurzschlussabschaltung*, Dissertation 1997
- [3] Godin, G., Trepanier, Y et.al., *Modelling and Simulation of Nozzle Ablation in High-Voltage Circuit Breakers*, J. Phys. D : Appl. Phys. 33, S. 2583-2590; 2000
- [4] Müller, L., *Untersuchung und Modellierung des Abbrandverhaltens von Isolierstoffdüsen in SF₆-Leistungsschaltern*, Dissertation 1994
- [5] de Hesselle, Markus, *Modellierung von Strahlung und Gasströmung in SF₆-Selbstblassealtern*, Dissertation 2001

Kontakt

Dipl.-Ing. Carsten Lüders
 lueders@ifht.rwth-aachen.de
 ++49/(0)241/80-94914

Simulation of Electric Arcs and Nozzle Ablation with the Method of Partial Characteristics in SF₆-Selfblast-Circuit-Breakers

Simulation tools are required for the development and optimization process of SF₆-Selfblast Circuit Breakers.

The circuit breaker simulation tool has to be improved by a transient calculation using a CFD (Computational Fluid Dynamics) solver and extended by models to treat the close interaction of the electric arc and its surrounding.

Introduction

The aim of the present work is the physical description of the electrical arc in a circuit breaker which arises in the case of a short circuit in power systems. In the present work the radiative transfer was modeled by the Method of Partial Characteristics [1] which allows to determine the net emission and the radiative flux on the PTFE nozzle.

Physical models

The Two-Zone-Model [2] describes the ablation and radiation dominated arc in a cylindrical, ablating nozzle. The main advantage of this integral electrical arc model is the short simulation time. On the other hand some restrictions do limit the implementation of a more physical based modeling.

A circuit breaker simulation model was implemented in the CFD software CFX5.6 and compared with [4].

The method of partial characteristics uses two functions called $\Delta SIM(T_P, T_\xi, |P - \xi|)$ and $SOM(T_P, T_S, |P - S|)$ to approximate the radiation transfer [5]. On one side the integration over the absorption coefficient is done in advance, resulting in the partial characteristic functions. On the other side the spatial integration over all solid angles is sub-

stituted by a summation over arbitrary single directions. Any single direction starts at the point of interest and ends at the boundary of the computational domain. This approximation enables to determine the nozzle ablation using the radiation flux at the edge points of the nozzle contour.

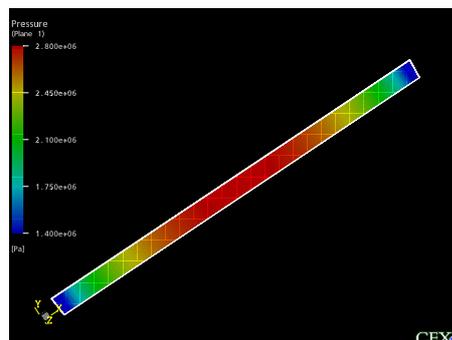


Fig. 1: Pressure distribution in the teflon nozzle

Implementation

The conservation equations for mass, impulse and energy are solved by the software CFX5.6 but additional sources are necessary [3]. The mass source is given by

$$\dot{m} = \frac{|\vec{F}|}{(h_v + \delta h_a) \cdot 2}$$

with h_v , which describes the required energy for heating solid PTFE at room temperature up to the melting point

and δh_a the enthalpy change from 1000K to 3500K. The additional energy source term contains contributions by ohmic heating $P_{Ohm} = \sigma \cdot \vec{E}^2$, by radiative transfer $\nabla \vec{F}$ and by ablated vapor injection:

$$S_{arc} = P_{ohm} - \nabla \cdot \vec{F} + e_g \cdot \dot{m}$$

The calculations of the radiative flux $\nabla \vec{F}$ and net emission \vec{F} are given for one ray by

$$\vec{F}(P) = \int_P^S Som(T_P, T_\xi, |P - \xi|) d\xi$$

and

$$\nabla \cdot \vec{F}(P) = Som(T_P, T_S, |P - S|) - \int_P^S \Delta Sim(T_P, T_\xi, |P - \xi|) d\xi$$

In the experiment [4] the radiative flux was determined by

$$|\vec{F}| = 2\pi \int_0^r \nabla \vec{F} \cdot r \cdot dr$$

Results

So far the experiment from [4] was simulated for a 50Hz sine halfwave with the described model. Figure 1 shows the pressure distribution at the current peak value.

Present work is done on the simulation of a circuit breaker model to study the ageing process of the teflon nozzle.

Reference

- [1] Aubrecht, V., Protasevich, E.T., *Radiative Transport of Energy in SF₆ Arc Plasma*, Tomsk 2000
- [2] Claessens, Max., *Simulation von Gasströmungen in SF₆-Selbstblaskaltern bei Kurschlussabschaltung*, Dissertation 1997
- [3] Godin, G., Trepanier, Y et.al., *Modelling and Simulation of Nozzle Ablation in High-Voltage Circuit Breakers*, J. Phys. D : Appl. Phys. 33, S. 2583-2590; 2000
- [4] Müller, L., *Untersuchung und Modellierung des Abbrandverhaltens von Isolierstoffdüsen in SF₆-Leistungsschaltern*, Dissertation 1994
- [5] de Hesselle, Markus, *Modellierung von Strahlung und Gasströmung in SF₆-Selbstblaskaltern*, Dissertation 2001

Contact

Dipl.-Ing. Carsten Lüders
 lueders@ifht.rwth-aachen.de
 ++49/(0)41/80-94914

CFD-Simulation von SF₆ Hochspannungsleistungsschaltern

Leistungsschalter-Simulationen werden zum einen in der Entwicklung neuer Schalter, zum anderen zur Untersuchung der physikalischen Abläufe in der Schaltkammer, eingesetzt. Die Anforderungen an die eingesetzte Software sind hierbei besonders hoch, weil eine komplexe magneto-hydrodynamische Simulation (MHD) durchgeführt werden muss. Durch den Einsatz eines neuen Gleichungslösers können nun die Wechselwirkungen zwischen Gasströmung und elektrischem und magnetischen Feld besser berücksichtigt werden. Die Strahlung ist einer der wichtigsten Energietransportmechanismen im Lichtbogen. Durch die Umstellung von Nettoemissionskoeffizienten auf die Methode der partiellen Charakteristiken kann die Absorption im Lichtbogenrand berücksichtigt werden.

Einleitung

Während des Trennvorgangs der Kontakte eines stromdurchflossenen Leistungsschalters wird ein elektrischer Lichtbogen gezündet. Physikalisch kann der Schaltlichtbogen durch die Navier-Stokes-Gleichung, die Maxwell-Gleichungen und die Strahlungstransportgleichung beschrieben werden. Die Simulation erfordert neben der numerischen Lösung dieser Differenzialgleichungen eine genaue Kenntnis der Plasma-Materialdaten wie Viskosität, Massendichte, Wärmekapazität, thermische und elektrische Leitfähigkeit. Die physikalischen Modellbildungen basieren auf den im Institut gelaufenen Vorarbeiten [1] und [2].

Simulation

Zur Simulation wird ein finite Volumen-Solver eingesetzt. Das Strömungsgebiet wird vor der Rechnung zunächst mit Hilfe eines Gitters räumlich diskretisiert. Der verwendete Solver erlaubt einen gemischten Einsatz von strukturierten Gittern, die wegen der besseren Konvergenz bevorzugt eingesetzt werden, und unstrukturierten Gittern, die automatisch und somit

sehr schnell generiert werden können. Abbildung 1 zeigt die Stromdichteverteilung und das Gitter einer Lichtbogensimulation.

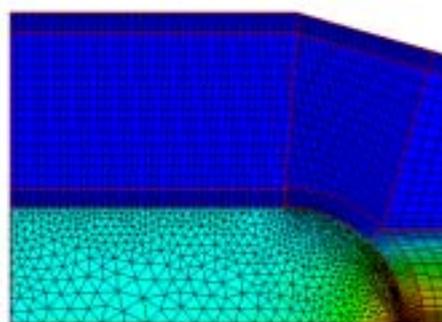


Abb. 1: Stromdichteverteilung und Grid

Als Randbedingung für das elektrische Potential kann die Stromdichte oder das Potential gesetzt werden. Abbildung 2 zeigt die Temperaturverteilung eines 1kA stationären Lichtbogens.

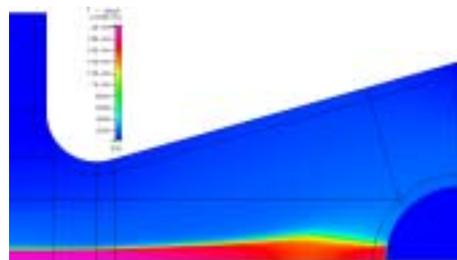


Abb. 2: Temperaturverteilung stat. Lichtbogen

Strahlung

Die Strahlung ist einer der wichtigsten Wärmetransportmechanismen. Der heiße Lichtbogenkern emittiert Strahlung, im Lichtbogenrandbereich wird Strahlung absorbiert und führt somit zur Erwärmung dieses Bereichs. Eine exakte Lösung der Strahlungstransportgleichung ist sehr zeitaufwendig und kann daher i.a. nicht in der Simulation eingesetzt werden. Die bislang eingesetzten Nettoemissionskoeffizienten [3] können nicht zur Berechnung der Strahlungsabsorption eingesetzt werden. Mit der Methode der partiellen Charakteristik (MPC) [4] ist es möglich, die Strahlungsflußdichte näherungsweise zu berechnen. Abbildung 3 zeigt die mit der MPC berechnete Divergenz der Strahlungsflußdichte für ein vorgegebenes Temperaturprofil.

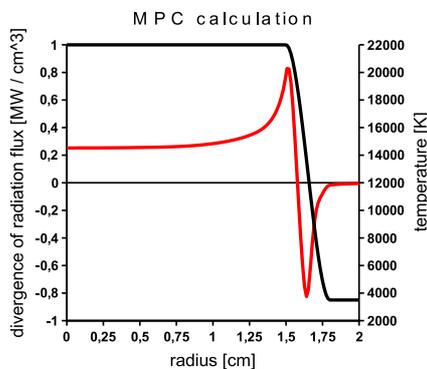


Abb. 3: Ergebnis der MPC Rechnung

In diesem Fall wird ca. 30% der vom Lichtbogenkern emittierten Leistung im Randbereich wieder absorbiert.

Ausblick

Anhand von Simulationen stationärer Lichtbögen und Vergleich mit entsprechenden Experimenten soll das Strah-

lungsmodell verifiziert werden. Bei ausreichender Übereinstimmung kann aus den Ergebnissen der MPC ein vereinfachtes Modell abgeleitet werden. Anschließend sollen Simulationen des Stromnulldurchgangs und des Nachstroms durchgeführt werden, bei denen non-LTE-Effekte über die Abhängigkeit der elektrischen Leitfähigkeit von der elektr. Feldstärke berücksichtigt werden.

Quellen

- [1] Claessens, Max: *Simulation von Gasströmungen in SF₆-Selbstblasschaltern bei Kurzschlussabschaltung*, Dissertation RWTH Aachen 1997
- [2] von Starck, Roland: *Modellierung und Simulation des Stromnulldurchgangsbereichs in SF₆-Selbstblasschaltern bei Ausschaltung von Kurzschlußströmen*, Dissertation RWTH Aachen 2002
- [3] Aubrecht et al.: *Net emission coefficient of radiation in SF₆ arc plasmas*, J. Phys. D: Appl. Phys. 27 (1994) 95-100
- [4] Aubrecht et al.: *Calculations of radiation transfer in SF₆ plasmas using the method of partial characteristics*, J. Phys. D: Appl. Phys. 27 (1994) 2066-2073

Kontakt

Dipl.-Ing. Michael Schwinne
 schwinne@ifht.rwth-aachen.de
 ++49/(0)241/80-94015

CFD Simulation of SF₆ Circuit Breakers

Circuit breaker simulations are used both for the development of new circuit breakers and physical investigations of the electric arc. The requirements on the simulation tool are particularly high as a complex magneto-hydro-dynamic calculation (MHD) has to be done. Radiation is the most important energy transport mechanism in the electric arc. Using net emission coefficients it is not possible to calculate the absorption of radiation at the boundary of the arc. Therefore, the method of partial characteristics (MPC) is applied to get the divergence of radiation flux density.

Introduction

With the separation of the contacts of a high voltage circuit breaker an electric arc is ignited, which can only be quenched by external cooling. The transient electric arc is described by the navier-stokes equation, the maxwell equation and the radiation transport equation. Besides the numeric solution of these differential equations, an exact knowledge of the material properties like mass density, thermal capacity, viscosity, thermal and electric conductivity is required. The physical models of the simulations are based on the studies in [1] und [2].

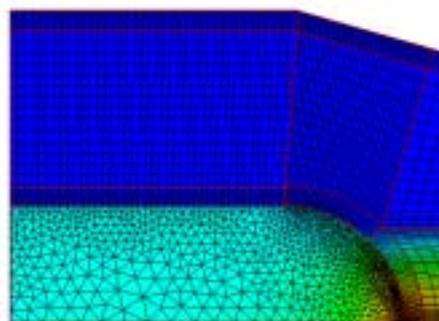


Fig. 1: Current density and mesh

Both electric potential and current density can be set as a boundary condition for the calculation of the electric field. Figure 2 shows the temperature distribution of the arc.

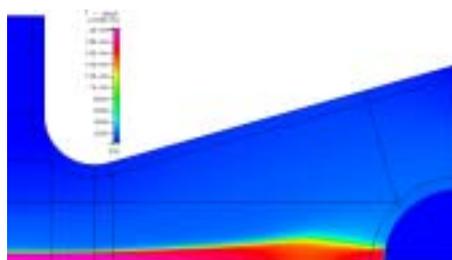


Fig. 2: Temperature distribution

Simulation

A finite volume solver is used for the simulations. The spatial discretization of the flow domain is done by a mesh. The solver allows the simultaneous use of a structured mesh, which is preferred as the convergence is much better, and the use of an unstructured mesh, which can be generated automatically. Figure 1 shows the used mesh and the distribution of the current density of an 1kA stationary arc.

Radiation

Radiation is one of the most important energy transport mechanisms in the electric arc. The hot core of the arc emits radiation, which is absorbed in the boundary. An exact numeric solution of the radiation transport equation is quite time-consuming and cannot be used in CFD-simulations. Net

emission coefficients [3] are suitable to obtain the emission but cannot be applied to get the absorption. Using the method of partial characteristics (MPC) it is possible to calculate the radiation flux density. Figure 3 shows the divergence of radiation flux density and the according temperature profile.

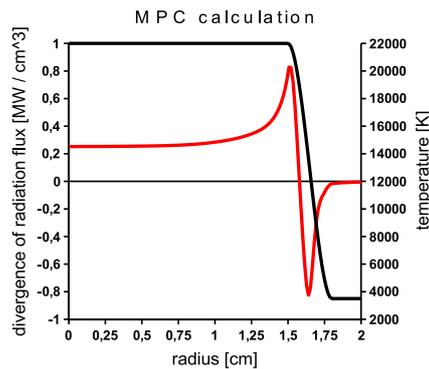


Fig. 3: Result of a MPC-calculation

Approximately 30 % of the radiation which is emitted by the arc is reabsorbed in the arc's boundary.

Outlook

The next step will be the verification of the calculation method by comparison of the results with measured data taken from reference experiments of stationary arcs. In the case of sufficient matches, a simplified radiation model can be derived out of the results of the MPC. Afterwards, simulations of the

current zero time period and the post arc current including non-LTE effects can be performed.

References

- [1] Claessens, Max: *Simulation von Gasströmungen in SF₆-Selbstblasschaltern bei Kurzschlussabschaltung*, Dissertation RWTH Aachen 1997
- [2] von Starck, Roland: *Modellierung und Simulation des Stromnulldurchgangsbereichs in SF₆-Selbstblasschaltern bei Ausschaltung von Kurzschlußströmen*, Dissertation RWTH Aachen 2002
- [3] Aubrecht et al.: *Net emission coefficient of radiation in SF₆ arc plasmas*, J. Phys. D: Appl. Phys. 27 (1994) 95-100
- [4] Aubrecht et al.: *Calculations of radiation transfer in SF₆ plasmas using the method of partial characteristics*, J. Phys. D: Appl. Phys. 27 (1994) 2066-2073

Contact

Dipl.-Ing. Michael Schwinne
 schwinne@ifht.rwth-aachen.de
 ++49/(0)241/80-94945

Untersuchungen zur HF-Strom-Konditionierung von Vakuumschaltkammern

Die Konditionierung von Vakuumleistungsschaltern ist ein notwendiger Prozess um die erforderliche Spannungsfestigkeit zu erreichen. Insbesondere neue Vakuumschaltkammern weisen zunächst auf Grund von Rauigkeiten und Verunreinigungen keine ausreichende Spannungsfestigkeit auf. Mit einem neuen Verfahren zur HF-Strom-Konditionierung wird die Möglichkeit untersucht, die Spannungsfestigkeit zu erhöhen.

Einleitung

Vakuumleistungsschalter werden in der Mittelspannungsebene zur Unterbrechung von Betriebsströmen und Kurzschlussströmen eingesetzt. Nach der Stromunterbrechung im Stromnulldurchgang wird die Schaltstrecke dielektrisch durch die transiente wiederkehrende Spannung beansprucht. Rauigkeiten und Verunreinigungen der Schaltkontakte können zu einem Wiederzünden führen. Insbesondere bei neuen Vakuumschaltkontakten wird die erforderliche Spannungsfestigkeit erst durch eine Konditionierung erreicht, bei der mit Hilfe eines stromschwachen Lichtbogens Rauigkeiten der Schaltkontakte beseitigt werden.

Versuchsaufbau

Bei der HF-Stromkonditionierung wird eine hochfrequente Wechselspannung über den geöffneten Kontakten der Vakuumschaltkammer angelegt. Die Spannungsamplitude ist dabei höher als die Spannungsfestigkeit der Schaltstrecke. Die Wechselspannung wird durch einen Schwingkreis generiert, dessen Frequenz durch Variation der Kapazität und der Induktivität variiert werden kann (Bild 1). Mit der Kapazität des Stoßkondensators besteht weiterhin die Möglichkeit, die während der Konditionierung umgesetzte Energie im Lichtbogen zu be-

einflussen. Ein parallel zur Vakuumschaltkammer geschalteter Kondensator bildet mit der Leitungsinduktivität einen weiteren Schwingkreis. Durch die höhere Frequenz wird die Anzahl der Lichtbögen bei gleicher Konditionierungsdauer erhöht, da der einzelne Lichtbogen im Stromnulldurchgang verlöscht.

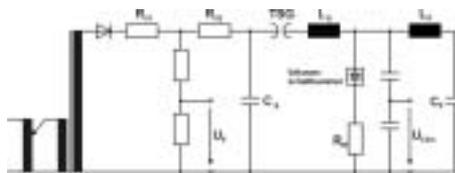


Abb. 1: Versuchsaufbau

Experimentelle Untersuchungen

Nach jedem Spannungszusammenbruch über der Schaltstrecke entsteht ein Schwingstrom, der über die Kapazität und die Induktivität des Parallelschwingkreises beeinflusst werden kann. Einen typischen Spannungs- und Stromverlauf zeigt Bild 2.

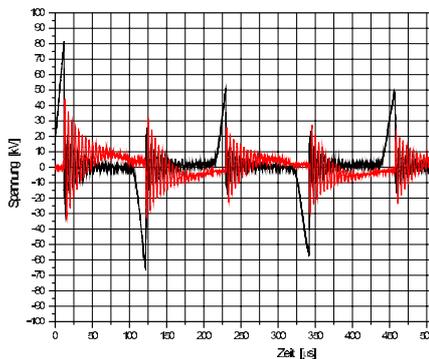


Abb. 2: Typischer Spannungs- und Stromverlauf über der Vakuumschaltstrecke

Verlöscht der Lichtbogen innerhalb einer Stromhalbperiode des Hauptschwingkreises, so steigt die Spannung über der Schaltstrecke mit Beginn der nächsten Spannungshalbperiode wieder an. Wird mit den einzelnen Lichtbögen die Spannungsfestigkeit der Schaltkammer erhöht, lassen sich auch bei den Stromnulldurchgängen des Parallelschwingkreises Spannungsanstiege erkennen (Bild 3).

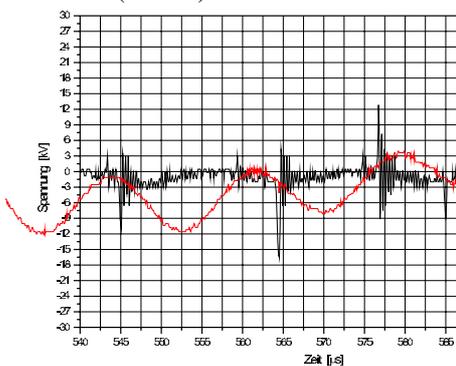


Abb. 3: Spannungsanstiege bei Stromnulldurchgängen des Parallelschwingkreises

Die Spannungsfestigkeit der konditionierten Vakuumschaltkammer wird anschließend mit Hilfe eines Stoßspannungsgenerators überprüft. Durch systematische Untersuchungen lassen sich so die Schwingkreisparameter optimieren.

Quellen

- [1] N. Hardt, M. Heimbach, H. Böhme, D. Gentsch: The Dynamic Voltage/Current Characteristics of Vacuum Arcs after Breakdown at Currents in the Lower kHz-range, ETEP Vol. 12, No.5, September/October 2002
- [2] T. Shioiri, T. Kamikawaji, E. Kaneko, M. Homma, H. Takahashi, I. Ohshima: Influence of Elektrode Area on the Conditioning Effect in Vacuum, IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation, Vol. 2, No. 2, 1995
- [3] T. Kamikawaji, T. Shioiri, T. Funahashi, M. Okawa, E. Kaneko, I. Ohshima: Generation of Microparticles from Copper-Chromium Contacts in Vacuum, IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 10, No. 1, 1995

Kontakt

Dipl.-Ing. Bernhard Heil
heil@ifht.rwth-aachen.de
++49 (0) 241 80 9 49 50

Investigations on HF-Current Conditioning of Vacuum Circuit Breakers

The conditioning of vacuum circuit breakers is a necessary process to reach the required impulse withstand voltage. In particular new vacuum circuit breakers do not have a sufficient withstand voltage caused by roughness and impurities of the electrodes. Using a new procedure for HF-conditioning different aspects of increasing the withstand voltage are investigated.

Introduction

Vacuum circuit breakers are used in medium voltage power systems to interrupt load and short circuit currents. After the current interruption at current zero the circuit breaker is stressed dielectrically by the transient recovery voltage. Roughness of and pollution at the electrodes can cause a reignition. In particular for new vacuum circuit breakers the required withstand voltage is only achieved by a conditioning process. Today, during this process a low AC current arc eliminates the roughness of the electrodes.

Test Set-Up

During the HF-current conditioning process a high frequency alternating voltage is applied at the opened vacuum circuit breaker contacts. Thereby the test voltage amplitude is higher than the withstand voltage of the vacuum circuit breaker. The alternating voltage is generated by a resonant circuit. The frequency can be varied by changing the value of the capacitor and the inductivity, respectively (Fig. 1). Changing the value of the capacitor the energy in the arc is changed, too. Using a second capacitor connected in parallel to the vacuum circuit breaker chamber and the line inductance, an additional resonant circuit is built up. Using higher frequencies the number

of single arcs increases, since the individual arc extinguish during current zero crossing.

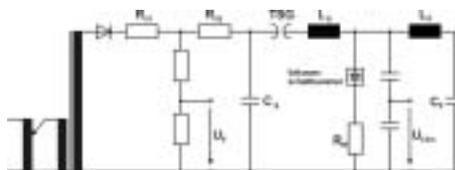


Fig. 1: Test set-up

Experimental Investigations

With each voltage breakdown, an alternating current is applied to the vacuum circuit breaker, caused by the parallel resonant circuit. A typical voltage and current flow is shown in Figure 2.

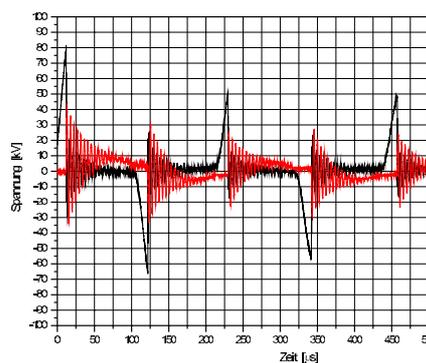


Fig. 2: Typical voltage and current flow at the vacuum circuit breaker

In case of extinction of the arc during a current half-wave of the main resonant circuit, the voltage across the circuit

breaker increases with the next voltage half-wave. Due to the increase of the withstand voltage during the conditioning process, the dielectric strength of the chamber increases which can be seen at current zero phase of the parallel resonant circuit, too (Figure 3).

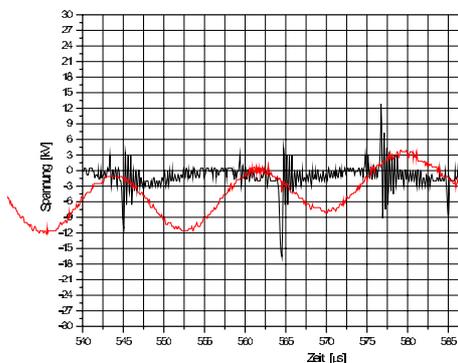


Fig. 3: Voltage increase at current zero of the parallel resonant circuit

The withstand voltage of the conditioned vacuum circuit breakers is evaluated using an impulse voltage generator. Systematic investigations are made to optimize the parameters of the resonant circuits.

References

- [1] N. Hardt, M. Heimbach, H. Böhme, D. Gentsch: The Dynamic Voltage/Current Characteristics of Vacuum Arcs after Breakdown at Currents in the Lower kHz-range, ETEP Vol. 12, No.5, September/October 2002
- [2] T. Shioiri, T. Kamikawaji, E. Kaneko, M. Homma, H. Takahashi, I. Ohshima: Influence of Elektrode Area on the Conditioning Effect in Vacuum, IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation, Vol. 2, No. 2, 1995
- [3] T. Kamikawaji, T. Shioiri, T. Funahashi, M. Okawa, E. Kaneko, I. Ohshima: Generation of Microparticles from Copper-Chromium Contacts in Vacuum, IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 10, No. 1, 1995

Contact

Dipl.-Ing. Bernhard Heil
heil@ifht.rwth-aachen.de
++49 (0) 241 80 9 49 50

Untersuchungen zur Beherrschung der Überdruckentwicklung in elektrischen Anlagen im Störlichtbögenfall

Der Fehlerfall Störlichtbogen in elektrischen Anlagen ist zwar selten, er kann aber nicht ausgeschlossen werden. Deshalb müssen die Auswirkungen von Störlichtbögen bei der Planung von Schaltanlagen und -gebäuden berücksichtigt werden. Nachträgliche Einbauten von Schaltanlagen in bestehende Gebäude erweisen sich als besonderer Problemfall, welcher z. B. mit Druckentlastungskanälen und / oder Störlichtbogenabsorbern gelöst werden kann.

Störlichtbögen in elektrischen Anlagen

In elektrischen Anlagen können durch Isolationsversagen, Überschläge, Fehlfunktionen oder Fehlbedienung durch das Personal stromstarke Lichtbögen entstehen. In einem solchen Fall brennt der Lichtbogen so lange bis der Fehler von einem Schutzorgan abgeschaltet wird. In Anlagen der Mittel- und Hochspannungsebene können hierbei im Lichtbogen Leistungen von einigen zehn MW umgesetzt werden. Der Lichtbogen gibt Energie an seine Umgebung ab, Leiter- und Isoliermaterialien verdampfen und verbrennen. Dies kann zu einer thermischen und mechanischen Belastung der Anlage führen. Die Aufheizung des Umgebungsgases führt zu einer Druckerhöhung. Diese gilt es, zum Schutz von Personen und zur Minimierung von Schäden zu beherrschen.

Überdruckentwicklung

Die Berechnung der Überdruckentwicklung in Folge von Störlichtbögen wird mit Hilfe von zwei unterschiedlichen Programmen durchgeführt. Das am Institut entwickelte Programmpaket 'PRESSURE' [1] wird zur Berechnung des räumlich gemittelten Überdruckverlaufs benutzt.

Dieses ist für die meisten Anwendungsfälle ausreichend. Mit dem auf der CFD (Computer Fluid Dynamics) Software 'CFX5' beruhenden Programm wird die Druck- und Temperaturentwicklung im Störlichtbogenfall ortsaufgelöst ermittelt. Dieses Verfahren ist bezüglich der Eingabe der Geometrie und der Berechnungszeit aufwendig, es wird z. B. zur Optimierung von Druckentlastungskanälen verwendet.

Berechnungen zur Druckentwicklung in Schaltanlagen in Folge von Störlichtbögen sind notwendig zur Beurteilung der Auswirkungen von Störlichtbögen, zur Einsparung von Entwicklungs- und Prüfkosten und wenn Prüfungen nicht durchgeführt werden können, z. B. in bereits errichteten Gebäuden.

Experimentelle Untersuchungen

Für Kurzschlußversuche wird ein Reihenschwingkreis mit einer aus 1500 Elektrolytkondensatoren bestehenden Kondensatorbatterie eingesetzt ($C_{ges} = 0,3 \text{ F}$, $U_N = 1000 \text{ V}$). Die Kondensatoren (jeweils $C = 820 \mu\text{F}$, $U = 500 \text{ V}$) sind zur Erhöhung der Betriebssicherheit mit einem Diodennetzwerk versehen. Die Entladedioden D_a

und die den Ladestrom führenden Dioden D_b , siehe Abb. 1, begrenzen die im Fehlerfall umgesetzte Energie auf den Energieinhalt eines Kondensators. Das Aufteilen der Ladespannung auf die Quellen U_1 und U_2 gewährleistet eine symmetrische Aufladung der jeweils zwei in Reihe geschalteten Kondensatoren. Die Lichtbogenbrennzeit kann durch Variation der Induktivität zwischen 20 und 100 ms geändert werden. Die Versuche werden in einem Vierflansch von 70,9 Liter Volumen, in dem sich die Elektroden befinden, und angeschlossenem Rohr durchgeführt.

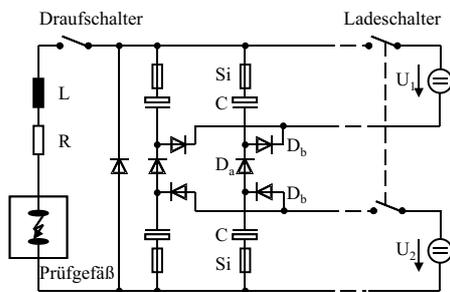


Abb. 1: Hochstromkreis

Die Übertragung der Messwerte von Lichtbogenstrom, Brennspannung und Überdruck im Prüfgefäß aus dem Hochstrombereich erfolgt über Lichtwellenleiter. Eine Temperaturmessrichtung wird z. Z. implementiert.

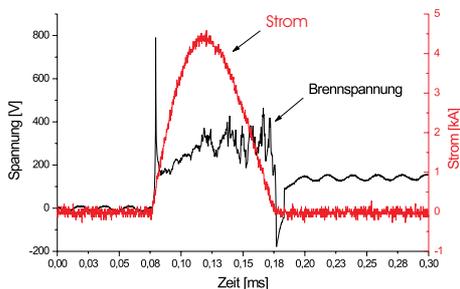


Abb. 2: Verlauf von Brennspannung und Lichtbogenstrom

Das angeschlossene Rohr dient der Un-

tersuchung der Wirkung von Störlichtbogenabsorbieren. Störlichtbogenabsorber sind Kühlgitter und damit passive Elemente, die keiner Wartung bedürfen und dem vom Lichtbogen aufgeheizten Gas Energie durch Wärmeleitung entziehen. Mit Hilfe von Druck- und Temperaturmessungen soll der Einsatz von Streckmetallgittern und anderen Materialien, wie z. B. Spezialkeramiken [2] untersucht werden.

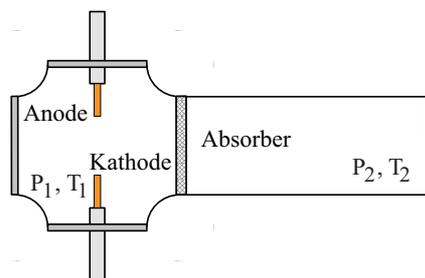


Abb. 3: Versuchsgefäß

Quellen

- [1] G. Friberg, *Berechnungsverfahren zur Bestimmung der Druckbelastung in elektrischen Anlagen im Störlichtbogenfall*, Dissertation RWTH Aachen, 1999
- [2] P. Glasmacher, *Neue Störlichtbogenabsorber - Lösung für MS-Schaltanlagenräume*, etz, Heft 18/2003, S. 42-43

Kontakt

Dipl.-Ing. Michael Schmale
Schmale@ifht.rwth-aachen.de
++49/(0)241/80-94958

Investigations on the Control of Overpressure Development in Case of Fault Arcs in Electrical Installations

Fault arcs in electrical installations are extremely rare, however, can not be excluded fully. Therefore the effects of fault arcs must be considered during designing electrical installations and their buildings. If installations have to be included into already existing buildings a special problem arises: the control of overpressure in the case of a fault. It can be solved by pressure relief channels and / or fault arc absorbers.

Fault Arcs in Electrical Installations

Insulation failure, flashover, malfunction or maloperation by service personal in electrical installations can lead to powerful fault arcs. In this case the fault arc will burn until the failure is cut out by a protection device. In medium voltage systems the order of magnitude of the electric power dissipated in fault arcs may reach some ten MW. The fault arc delivers energy to its surroundings so that conducting and insulating materials may vaporise and even burn. This can lead to thermal and mechanical stress of the installation, due to the fact that the heating of the surroundings causes a pressure rise. This pressure rise has to be controlled in order to protect people and to minimize damages.

Overpressure Development

The calculation of the overpressure development as a result of fault arcs is performed with two different programs. The program package 'PRES-SURE' already developed [1] is used

for the calculation of the pressure development averaged in space. This is sufficient for most applications. With the program based on the 'Computer Fluid Dynamics' (CFD) software 'CFX5' the overpressure- and temperature development is determined in space and time. The adaption of an appropriate calculation grid and the calculation procedure are however complex and time consuming. This program is used e. g. for optimization of pressure relief channels. Calculations of the pressure rise in electrical installations caused by fault arcs are necessary to estimate the risk of fault arcs, to reduce the costs for development and testing and in the case, that tests can not be performed, e. g. in already existing buildings.

Experimental Investigations

A series resonant circuit with a battery of 1500 electrolytic capacitors ($C_{ges} = 0,3 \text{ F}$, $U_N = 1000 \text{ V}$) is used to perform short circuit tests. The capacitors (each with $C = 820 \mu\text{F}$, $U = 500 \text{ V}$) are fit with a diode network in order to improve the operational safety. The discharge diodes D_a and the diodes with the charging current D_b , see fig. 1, limit

the fault energy to the energy content of a capacitor. The split-up of the charging voltage on U_1 and U_2 guarantees a symmetric charging of the capacitors in series. By changing the inductance L , the arc duration can be varied between 20 and 100 ms. The experiments are carried out in a four flange of 70.9 litres volume containing the electrodes with attached tube.

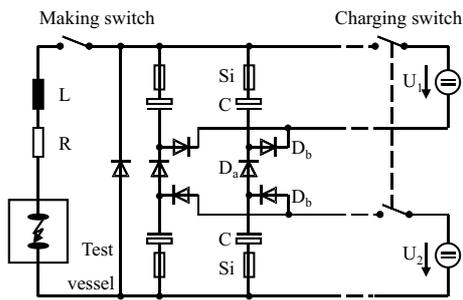


Fig. 1: High current circuit

The transmission of the measurement values of fault arc current, burning voltage and test vessel overpressure out of the high current range is accomplished by fibre optics. A temperature measurement system will be included.

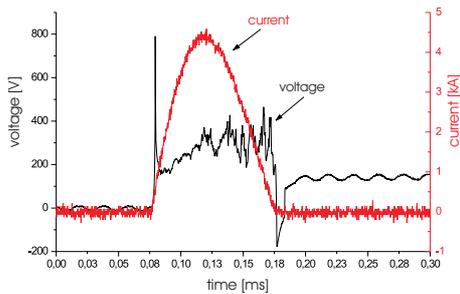


Fig. 2: Measured curves of the burning voltage and arc current

The attached tube will be assembled with arc absorbers. Fault arc absorbers

are cooling meshes and therewith passive elements detracting energy from the gas heated up by the fault arc through thermal conduction. They do not need maintenance. By means of pressure and temperature measurement the utility of expanded metal layers and other materials, e. g. special ceramics [2], will be examined.

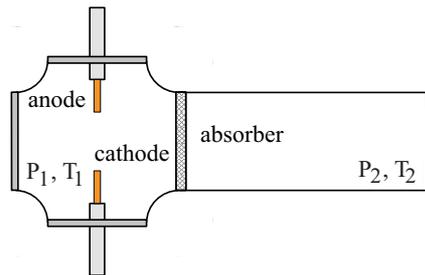


Fig. 3: Test vessel

References

- [1] G. Friberg, *Berechnungsverfahren zur Bestimmung der Druckbelastung in elektrischen Anlagen im Störlichtbogenfall*, Dissertation RWTH Aachen, 1999
- [2] P. Glasmacher, *Neue Störlichtbogenabsorber - Lösung für MS-Schaltanlagenräume, etz*, Heft 18/2003, S. 42-43

Contact

Dipl.-Ing. Michael Schmale
 Schmale@ifht.rwth-aachen.de
 ++49/(0)241/80-94958

Ökobilanzierung von Schaltanlagen unter Berücksichtigung der Instandhaltung

Zur Bewertung der Umweltverträglichkeit von Komponenten und Systemen der elektrischen Energieversorgung steht das Verfahren der Ökobilanzierung (engl. Life Cycle Assessment - LCA) auf Basis der ISO Norm 14040ff zur Verfügung. Hierzu wird der Umweltverbrauch von Anlagen und Betriebsmitteln über deren kompletten Lebenszyklus unter Berücksichtigung der Herstellung, der Inbetriebnahme sowie des Betriebes inklusive der Instandhaltung bis zur Entsorgung ermittelt.

Einleitung

Neben den Materialflüssen sowie dem Platzbedarf etc. sind bei Anlagen und Betriebsmitteln der elektrischen Energietechnik die auftretenden Strom-Wärme-Verluste an allen Komponenten des Versorgungsnetzes von grosser Bedeutung für die Ergebnisse einer Ökobilanz. Auch Materialverluste während des Betriebes, wie z. B. SF₆ Leckagen im Betrieb eines Schaltfeldes sowie alle Material- und Energieaufwendungen, die während der Instandhaltung und Entsorgung der Anlagen in Energieversorgungsnetzen auftreten, müssen in einer ganzheitlichen Ökobilanz berücksichtigt werden, wie in Abbildung 1 zu sehen.

en wie z. B. dem Treibhauspotential eingeteilt. Dabei werden für jeden im untersuchten Produkt enthaltenen Stoff dessen Auswirkungen in einer Wirkungskategorie in Form von Äquivalenten, z. B. in „kg CO₂“ für die Wirkungskategorie Treibhauspotential (GWP), umgerechnet und aufsummiert. Beispielsweise beschreibt der Treibhauseffekt den Beitrag anthropogener Emissionen zur dauerhaften Erwärmung der Erdatmosphäre.

Ökobilanz der Instandhaltung an luftisolierten Schaltanlagen (AIS)

Anhand von Informationen über die Instandhaltungsarbeiten an Schaltanlagen in Energieverteilungsnetzen eines großen deutschen Energieversorgers, sowie aus [3] wurden die notwendigen Daten für eine Ökobilanzierung unter Berücksichtigung der Instandhaltungsaufwendungen ermittelt. Konkrete Verbrauchsdaten der in der Instandhaltungsphase auftretenden Energie- und Materialflüsse wurden für die Bilanzierung zunächst vernachlässigt. Es ergibt sich ein durchschnittlicher Instandhaltungsaufwand von ca. 2,2 Arbeitstagen für ein 110 kV AIS-Schaltfeld und von 0,43 Arbeitstagen für ein 12/24 kV AIS-Schaltfeld pro Jahr. Unter der Annahme eines durchschnittlichen An- und Abfahrtsweges zum Schaltfeld von

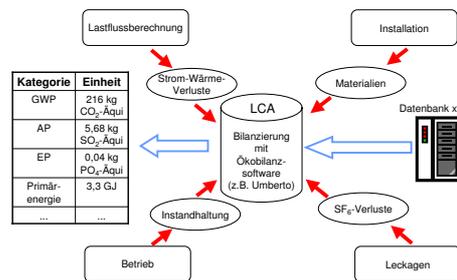


Abb. 1: Prozess der Ökobilanzierung [1]

Mit Hilfe einer Ökobilanzierungssoftware wie z. B. Umberto [2] werden diese Stoff- und Energieflüsse nach der Sachbilanz, in der alle Stoff- und Energieflüsse eines Produktes festgehalten werden, in Wirkungskategori-

50 km ergeben sich die folgenden Ökobilanzergebnisse für die Wirkungskategorie Treibhauspotential (GWP).

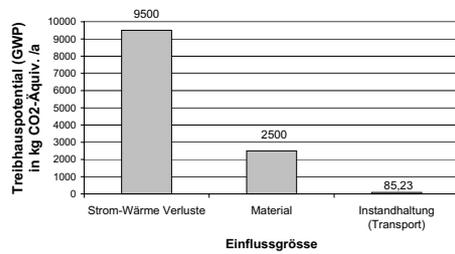


Abb. 2: Treibhauspotential eines 110 kV AIS Schaltfeldes

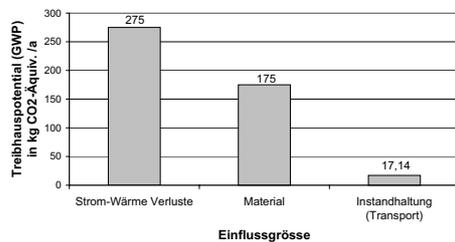


Abb. 3: Treibhauspotential eines 12/24 kV AIS Schaltfeldes

Die Bilanzergebnisse für die Kategorien Strom-Wärme-Verluste, Material und SF₆-Verluste wurden aus [1] entnommen. In Abbildung 2 und 3 sind die Ergebnisse der Bilanzierung der Instandhaltungsaufwendungen für die Wirkungskategorie Treibhauspotential im Vergleich mit den SF₆-Verlusten, den Strom-Wärme-Verlusten und den Materialaufwendungen zur Herstellung des Schaltfeldes, für ein luftisoliertes 12/24 und 110 kV Schaltfeld (AIS)(aus [1]) dargestellt. Den überwiegenden Anteil am Treibhauspotential für ein 110 kV AIS Schaltfeld, bezogen auf ein Jahr, haben die Strom-Wärme-Verluste. Der Anteil der Instandhaltungsaufwendungen für das 110 kV-Schaltfeld ist mit 0,7% im Vergleich mit den Strom-Wärme-Verlusten (78,6%) und den Materialaufwendungen zur Herstellung des Schaltfeldes (20,7%) bezo-

gen auf ein Jahr vernachlässigbar. Der Beitrag der Instandhaltung zum gesamten Treibhauspotential für ein luftisoliertes 12/24 kV Mittelspannungsschaltfeld ist mit 3,7% deutlich höher. Dies liegt an den wesentlich geringeren absoluten Beiträgen der Materialien und der Strom-Wärme-Verluste für die Wirkungskategorie Treibhauspotential. Insgesamt kann man festhalten, dass der Beitrag der Instandhaltung kalkulierbar, aber vernachlässigbar mit steigender Spannungsebene für die Ökobilanzergebnisse ist. Wenn neben den Transportaufwendungen in der Instandhaltung noch die dort auftretenden Energie- und Stoffflüsse während der Instandhaltung berücksichtigt werden, wird sich der Anteil der Instandhaltung an den Gesamtergebnissen einer Ökobilanz von Schaltfeldern noch geringfügig erhöhen.

Quellen

- [1] Schnettler A., Smolka T., et al. *Ökobilanz von Verteilungsnetzen unter Berücksichtigung verschiedener Technologien und Einflussfaktoren*, ETG Kongress 2003, Hamburg, 2003
- [2] UMBERTO, *Ökobilanzsoftware*, Institut für Umweltinformatik Hamburg (IFU) GmbH, Hamburg, 2003
- [3] Krähling H., Krömer S. *Stromversorgung unter Nutzung der SF₆-Technologie*, Solvay, Hannover, 1999

Kontakt

Dipl.-Ing. Thomas Smolka
 smolka@ifht.rwth-aachen.de
 ++49/(0)241/80-90013

Life Cycle Assessment of Maintenance Processes of Switchgears

The Life Cycle Assessment (LCA) as a part of an environment management system based on ISO 14040ff can be used to analyse the impact on the environment by equipments and substations in power systems. According to international standards this evaluation has to be done for the complete life cycle (gradle-to-grave-approach).

Introduction

The use of facilities and equipments in power grids has different influencing factors on the results of an LCA. Here, influencing factors are e. g. material-flow, space requirements, SF₆ leakage in switchgears and power-losses in transmission lines, cables and other components in power grids. In addition to these influencing factors during the operational phase all material- and energyflows (e. g. maintenance and disposal phase of components and facilities in power grids) are relevant for an LCA. Figure 1 describes the process of evaluating a Life Cycle Assessment study for facilities and equipments in power grids.

calculated in equivalents e. g. in “kg CO₂“ for the Global Warming Potential and accumulated in the specific impact category. The Global Warming Potential for example describes the contribution of anthropogenic emissions for the durable warming of the earth atmosphere.

Life Cycle Assessment of maintenance on air-insulated switchgears (AIS)

Considering informations about maintenance activities on substations and power lines given by utilities and out of [3], relevant data for an LCA study have been generated. Here, in average 2,2 working days per year and by specialists do maintenance on a 110 kV AIS-switchgear. The average maintenance time at a 12/24 kV AIS-switchgears is found to approximately 0,43 working days per year which is less than for an high voltage switchgear. Assuming 50 kilometers distance between the substation and the maintenance hub the following results of a LCA study in the impact category global warming potential (GWP) have been derived.

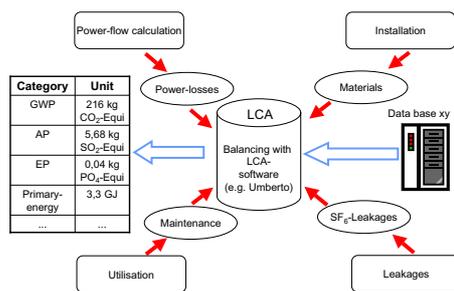


Fig. 1: Process of a LCA study [1]

Using the Life Cycle Assessment software UMBERTO [2] the material- and energyflows over a product lifetime are being balanced and put into impact categories such as the Global Warming Potential (GWP). The impact of a material on the environment are being re-

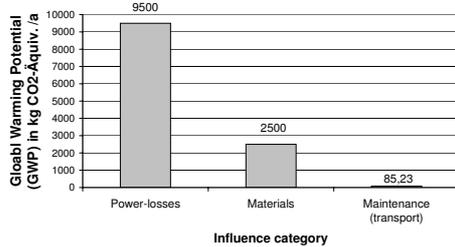


Fig. 2: Global warming potential of a 110 kV AIS switchgear

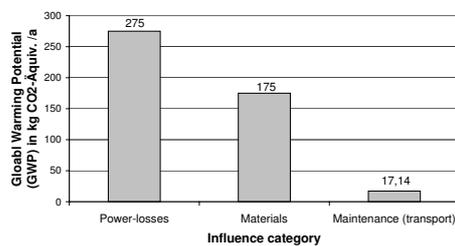


Fig. 3: Global warming potential of a 12/24 kV AIS switchgear

The LCA results for power losses, the materials and the SF₆-losses are taken from [1]. In figure 2 and 3 the GWP of transportation processes during maintenance work are shown in comparison with power losses, the materials and the SF₆-losses for an air insulated 12/24 and 110 kV switchgear (AIS). The dominant influencing factor in the category global warming potential for a 110 kV switchgear are the power-losses. With 0,7% the transportation processes caused by maintenance at a 110 kV switchgear is neglectable compared to the power-losses (78,6%) and the material impacts (20,7%) per year. Even by considering the material- and energyflows by replacing and refilling of the equipment and facilities during the maintenance process will be added to the results of transportation there will be no dominant influence by the

maintenance phase for the overall results of a LCA of power grids. For an air-insulated 12/24 kV switchgear the part of maintenance on the overall results are higher (3,7%) than for 110 kV switchgear. However, this is based on the lower absolute contribution of the influence factors „materials“ and „power-losses“ in the impact category global warming potential. The results show that the contribution to the overall results by the transportation processes due to maintenance is neglectable with increasing voltage level. By adding the material- and energyflows to the results of transportation during the maintenance phase the overall results of the influence factor maintenance will slightly increase.

References

- [1] Schnettler A., Smolka T., et al. *Ökobilanz von Verteilungsnetzen unter Berücksichtigung verschiedener Technologien und Einflussfaktoren*, ETG Kongress 2003, Hamburg, 2003
- [2] UMBERTO, *LCA-software-tool*, Institut für Umweltinformatik Hamburg (IFU) GmbH, Hamburg, 2003
- [3] Krähling H., Krömer S. *Stromversorgung unter Nutzung der SF₆-Technologie*, Solvay, Hannover, 1999

Contact

Dipl.-Ing. Thomas Smolka
 smolka@ifht.rwth-aachen.de
 ++49/(0)241/80-90013

Untersuchung zur Zustandsüberwachung an Hochspannungs-Leistungsschaltern

Bedingt durch die Liberalisierung der Energiemärkte werden neue Wartungsstrategien verwendet und entwickelt, um Kosten einzusparen und Ausfallraten zu reduzieren. In diesem Bericht werden Untersuchungen zur Zustandsüberwachung von Hochspannungs-Leistungsschaltern beschrieben, die keinen Eingriff in die Aktivteile erfordern. Verschiedene Kenngrößen unter variablen Betriebsbedingungen und bei künstlich eingeleiteten Defekten sind aufgenommen und ausgewertet worden. Ziel ist die Ableitung von Kenngrößen zur Bestimmung des optimalen Wartungszeitpunktes.

Einleitung

Es wurde Methoden untersucht, mit denen der Zustand von Hochspannungsleistungsschaltern erfasst werden kann, ohne den Schalter zu öffnen oder zu demontieren [1]. An drei 123 kV Hochspannungsleistungsschaltern wurden die Untersuchungen durchgeführt. Zu Beginn der Messreihen sind die charakteristischen Kenngrößen eines Schalters ermittelt worden. Anschließend wurden mit dem Schalter mechanische Schaltungen durchgeführt. Während der mechanischen Schaltungen wurden charakteristische Kenngrößen des Schalters überwacht und unter unterschiedlichen Betriebsbedingungen und bei künstlich eingeleiteten Defekten untersucht. Es wird daher angestrebt, basierend auf den charakteristischen Kenngrößen des Leistungsschalters die Wartungsintervalle zustandsabhängig festzulegen.

Aufbau des Versuchstandes

An einem SF₆-Selbstblassechalter wurden die charakteristischen Kenngrößen wie Strom der Ein- und Ausschaltspule, Schaltzeiten der Haupt- und Hilfskontakte, dynamischer Widerstand der Hauptkontakte, Stromaufnahme des Pumpenmotors und Vibrationsmuster der Pole, des Pumpenmo-

tors und des Hydraulikantriebs zu Beginn der Untersuchung und nach jeweils 500 mechanischen Schaltungen aufgenommen und ausgewertet.



Abb. 1: Versuchsaufbau zu den künstlich eingeleiteten Defekten

Insgesamt wurden 6000 Schaltungen durchgeführt. Während der Schaltspiele ist die Versorgungsspannung der Steuerung und des Motors zwischen 70 und 115 Prozent des Nennwertes, der SF₆ Druck zwischen 5,5 bar und 8 bar und der Hydraulikdruck zwischen 250 bar und 320 bar variiert worden. Die charakteristischen Kenngrößen wurden an einem zweiten Schalter vor und

nach der Wartung und an einem dritten Schalter in einem Lagerraum gemessen und mit dem ersten Schalter verglichen. Um Defekte zu simulieren, sind Versuche ohne Koppelstange zwischen Antrieb und Unterbrechereinheit, ohne Gleitlager an der Verbindung zwischen Koppelstange und Antrieb, mit manipulierten Kontakten und mit angesägter Koppelstange durchgeführt. Die Ergebnisse der Messung sind mit den Ergebnissen der Messungen ohne Defekte verglichen worden.

Messergebnisse

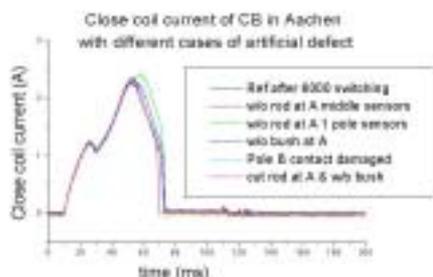


Abb. 2: Messergebnisse des Spulenstromverlaufs

Nach 6000 mechanischen Schaltspielen des ersten Schalters war dieser in einwandfreiem Zustand und funktionierte mechanisch zuverlässig. Die Variation der Steuerspannung verursacht eine Änderung der Schaltzeiten und der Form des Spulenstromes. Eine Verringerung des Hydraulikdrucks führt zu einer Verlängerung der Schaltzeit und zu einer Veränderung der Stromkurve der Einschaltspule. Die Absenkung des SF₆ Druckes konnte nicht über die Messgrößen detektiert werden. Die Erhöhung des SF₆ Druckes verursacht eine Verlängerung der Schaltzeit und eine Veränderung des Vibrationsmusters der Schalterpole. Die Auswertung der Vibrati-

onsmuster zeigte, dass jeder Schalterpol ein charakteristisches Vibrationsmuster hat, das sich während der 6000 Schaltspiele nicht verändert hat. Die Vibrationsmuster der Ein- und Ausschaltung sind unterschiedlich. An dem zweiten Schalter wurde nach der Wartung eine kürzere Schaltzeit und eine veränderte Kurvenform des Einschaltstromes gemessen.

Ausgehend von den charakteristischen Kenngrößen des Schalters zum Zeitpunkt der Installation kann anhand der Entwicklung der charakteristischen Kenngrößen des Schalters festgelegt werden, wann am Schalter eine Wartung durchgeführt werden soll. Die Kombination von mehreren Messsignalen liefert bessere Information über den Zustand des Schaltergerätes als ein einziges Messsignal. In Hinblick auf einen wirtschaftlichen und einfachen Einsatz von Messsystem zur Zustandserfassung von Schaltergeräten müssen die Methoden und Geräte für die Zustandserfassung weiter entwickelt werden.

Quellen

- [1] P. Hoff, et al., *Condition monitoring of SF₆ circuit breakers*, Cigré Session Paper Ref. 13-104, Published: 1992
- [2] P. Barken, et al., *Methodology for monitoring the condition of high voltage circuit breaker*, Cigré Session Paper Ref. 13-04, Published: 1988

Kontakt

Thanapong Suwanasri M. Sc.
suwanasri@ifht.rwth-aachen.de
++49/(0)241/80-94944

Non Invasive Condition Monitoring of High Voltage Circuit Breakers

Because of electricity market liberalization, new maintenance strategies are used and developed nowadays in order to reduce maintenance costs and failure rates. Condition based maintenance is taking over preventive maintenance and already followed by Reliability Centered Maintenance strategies. Non invasive techniques without opening major parts of SF₆ circuit breakers have been studied throughout this work. During testing, various parameters under different operating conditions and some incorporated artificial defects were measured and evaluated to determine the time for the next maintenance requirement.

Introduction

The condition monitoring of high voltage circuit breakers with non-invasive techniques without opening or dismantling major parts has been studied [1]. 3 of 123 kV circuit breaker of the same type were served throughout the study. At the beginning of measurement, the characteristic parameters of the first circuit breaker was investigated as reference. After a number of no-load mechanical operations, the various parameters were measured and evaluated under different operating conditions and some artificial defects were also incorporated. It is planned that based on characteristic parameters of circuit breaker, the time interval for the next condition based maintenance requirement shall be determined.

Experiment Setup

Investigations were carried out by measuring and evaluating various parameters since the beginning or initial condition and every 500 no-load switching operations up to 6000 no-load switching operations from the first circuit breaker in laboratory, such as close and trip coil current, pumping motor current and time, auxiliary contacts of control circuit, dynamic contact resistance of each poles, operating time and

in addition vibration signals of each poles, operating mechanism and pumping motor.



Fig. 1: Experiment setup for artificial defects

During testing, the operating conditions have been varied in order to simulate the real conditions that could probably occur in service, such as variation of control and motor supply voltage from 70 to 115 percent of rated value, SF₆ pressure due to leakage or over filling from 5.5 bar to 8 bar and changing of oil pressure from 250 bar to 320 bar. The same parameters were also measured from the second cir-

circuit breaker before and after maintenance and from the third circuit breaker in storage room in order to compare with the first circuit breaker. After that artificial defects were incorporated into the first circuit breaker, such as operation without connecting rod between operating mechanism and interrupter unit, without sleeve bearing at the connection between connecting rod and operating mechanism, fix contact B manipulated to damage and cut connecting rod of pole A. The result measured from incorporated artificial defects were compared with the reference base line while circuit breaker was in good condition.

Measurement Results

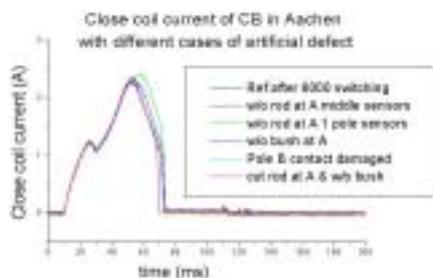


Fig. 2: Measurement results of close coil currents

After 6,000 switching operations of the first circuit breaker, it is still reliable and correctly operates. Changing of the control voltage caused change in operating time and coil current waveform. Decreasing hydraulic oil pressure caused delay in operating time, time between arc-quenching nozzle and main contact separation and close coil current waveform. Loss of SF₆ can not be detected by above parameters. Over-filling of SF₆ to 8 bar caused

some delay in operating time and vibration spectrum signature because of increasing in mass of interrupting unit. Vibration results showed that each pole vibrated at its own frequency, which were different in pattern while closing or opening but did not change throughout 6,000 switching operations. Maintenance effect caused a shorter operating time, time between nozzle and main contact separation and waveform of close coil current.

The deviation of various parameters from reference values according to different operating conditions could be used to establish a base line for the optimum time of next maintenance requirement. The combination of appropriate signals will provide better information than each signal alone. Since the monitoring and diagnostic devices need economical initial and operating cost and must be simple in application and result interpretation, installation and implementation methods need to be further developed to facilitate the measurement effort and time.

References

- [1] P. Hoff, et al., *Condition monitoring of SF₆ circuit breakers*, Cigré Session Paper Ref.13-104, Published: 1992
- [2] P. Barken, et al., *Methodology for monitoring the condition of high voltage circuit breaker*, Cigré Session Paper Ref. 13-04, Published: 1988

Contact

Thanapong Suwanasri M. Sc.
suwanasri@ifht.rwth-aachen.de
++49/(0)241/80-94944

Untersuchung der elektrischen Spannungsfestigkeit von Polyurethan-Hartschaum

Ein Hochspannungsisoliersystem muss neben einer hohen elektrischen Festigkeit oftmals auch eine hohe mechanische Festigkeit aufweisen. Dies hat zur Folge, dass die verwendeten Isolierstoffe meistens auch Konstruktionswerkstoffe mit mechanisch tragenden Eigenschaften sein müssen [1]. Kompakte Feststoffisolierungen erfüllen beide Anforderungen, ihre relativ hohe Dichte wirkt sich aber bei bewegten oder transportablen Hochspannungssystemen nachteilig aus. Eine mögliche Lösung dieses Problems stellt Polyurethan-Hartschaum dar: durch den gasförmigen Anteil ist die Dichte dieses Schaums wesentlich geringer als bei kompakten Feststoffen, eine ausreichende mechanische Stabilität ist aber dennoch gegeben. Bislang liegen nur in sehr geringem Umfang Literaturdaten über dessen elektrischen Eigenschaften vor, daher werden diese im Rahmen eines Forschungsprojektes ermittelt.

Polyurethan - Hartschaumstoff

Polyurethan (abgekürzt PUR) ist ein Kunststoff, der als Alternative zu Epoxydharz bereits zur Spannungsisolierung eingesetzt wird und aus den zwei Grundkomponenten Polyol und Isocyanat besteht. Bei der Vermischung dieser beiden Komponenten entsteht ein reaktionsfähiges Gemisch, das durch Zusatz von Katalysatoren und Stabilisatoren in seinen Eigenschaften beeinflusst werden kann. Wird die Polyolkomponente mit einer niedrigsiedenden Flüssigkeit versetzt, so reicht die exotherme Energie, die beim Mischvorgang frei wird, um diese Flüssigkeit zu verdampfen. Der entstehende Dampf wirkt als Treibmittel und leitet die Verschäumung des Polyurethans ein, bei der das gasförmige Treibmittel in Form von kleinen Bläschen im PUR eingeschlossen wird. Eine mikroskopische Aufnahme der Schaumstruktur ist in Abb. 1 zu sehen. Die minimale Dichte von Polyurethanschaum liegt bei 0,03 g/ccm. Um eine ausreichende mechanische Festigkeit zu gewährleisten, wurden Schäume mit einer Dichte von 0,2 g/ccm und 0,3 g/ccm untersucht. Um den Ein-

fluss verschiedener Herstellungsparameter auf die elektrischen Eigenschaften des Schaums zu ermitteln, werden bei der Verschäumung der Materialproben zwei verschiedene Treibmittel (ein Treibmittel auf Wasserbasis und *Solkane*, ein kommerziell erhältliches Treibmittel) verwendet. Zudem wurde bei einigen Proben noch Catafor-salz, ein Ammoniumsalz dass in der chemischen Industrie verwendet wird, um die Leitfähigkeit von Weichschäumen zu erhöhen, beigemischt.

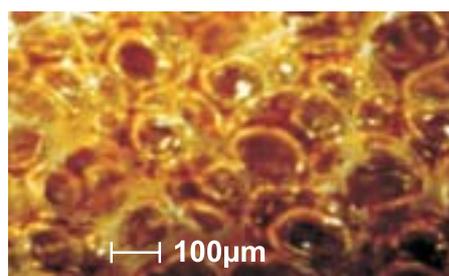


Abb. 1: Mikroskopische Aufnahme von PUR-Hartschaum

Experimentelle Untersuchungen

Die Konstruktionszeichnung einer Prüfanordnung ist in Abb. 2 zu sehen. Eine Probe besteht aus einem etwa

40 cm langen PVC-Rohr in welches im Abstand von 10 cm vier Kugel–Kugelanordnungen mit einem Durchmesser von 20 mm und einer Schlagweite von 10 mm eingebracht sind. Insgesamt werden 28 Proben verschäumt, wobei jeweils nach 4 Proben die Herstellungsparameter abgeändert werden. Die relativ hohe Anzahl von 112 Messungen ist nötig um die Messergebnisse gegen statistische Schwankungen abzusichern. Die Spannungsfestigkeit der Materialien wird ermittelt, indem die Kugelelektrodenanordnungen einzeln mit kontinuierlich ansteigender Gleich- oder Wechselspannung bis zum Durchschlag belastet werden.

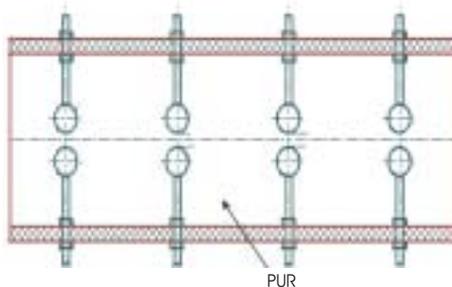


Abb. 2: Konstruktionszeichnung

Ergebnisse

Die besten Ergebnisse werden mit PUR-Hartschaum mit einer Dichte von 0,2 g/ccm ohne Zusatz von Cataforsalz und bei Verwendung von Solkane als Treibmittel erzielt [2]. Die Spannungsfestigkeiten sind in Abb. 3 in tabellarischer Form dargestellt. Insgesamt kann davon ausgegangen werden dass mit dem untersuchten Schaum kurzzeitig eine Feldstärke von mindestens 4 kV/mm isoliert werden kann. Es sind Anwendungsbereiche denkbar, in denen durch ein partielles oder komplettes Ersetzen von Feststoffen mit die-

sem Schaum bei der Isolation Gewicht eingespart werden könnte.

Belastungsspannung	Mittlere Durchschlagfeldstärke (kV/mm)	Konfidenzintervall (95%)
Wechselspannung	6,3	4,8 – 9,3
Gleichspannung	7,7	6,1 – 7,3

Abb. 3: Ergebnistabelle

Weitere Vorgehensweise

Es ist geplant, neben weiteren Untersuchungen der Herstellungsparameter den Verschäumungsprozess zu optimieren, um die Spannungsfestigkeit des Materials weiter erhöhen zu können und um die statistischen Schwankungen zu verringern, die bei der Messung der Spannungsfestigkeiten beobachtet wurden. Ergänzend laufen auch Untersuchungen, die sich genauer mit den elektrischen Eigenschaften von anderen Materialien mit Schaumstruktur befassen.

Quellen

- [1] D. Kind, H. Kärner, *Hochspannungsisoliertechnik*, Friedr. Vieweg und Sohn Verlagsgesellschaft mbH, Braunschweig, 1982
- [2] R. Puffer, A. Schnettler, A. Tröger, H. Negle, *Foam based high voltage insulation concepts*, ISH 2003, Delft

Kontakt

Dipl.-Ing. Alexander Tröger
Troeger@ifht.rwth-aachen.de
++49/(0)241/80-94920

Investigations on the Electrical Strength of Polyurethane Based Solid Foam

In most cases, an insulation system for high voltage applications has to feature both electrical and mechanical strength. Due to this fact, the materials that the system is made of should also be capable of giving the construction mechanical support [1]. Most solid insulation materials satisfy both criterias, but their relatively high density is a disadvantage if a moving or portable high voltage system has to be designed. For these applications, Polyurethane based solid foams (PUR) could be a suitable solution: usually their mechanical stability is sufficient and, as their composition is partly gaseous, their density is lower compared to solids. However, in literature there are only few electrical data about PUR solid foams, therefore further investigations e.g. on dielectric stress have been carried out.

Polyurethane based solid foam

Polyurethane (PUR) is a synthetic material that is already used as an alternative to epoxy resin. It consists of two different components: Polyol and Isocyanate. Mixing these two liquid components creates an exothermic reaction that can be influenced by adding catalysts and stabilisers. If a low temperature boiling fluid is added to the component Polyol, it will be vaporized by the exothermic energy. The vapor is called blowing agent since it causes the foaming process and generates the bubbles within the foam. A microscopic picture of the foam structure is shown in figure 1. The minimal density of polyurethane based solid foam is 0,03 g/ccm, the tested foams are of densities of 0,2 g/ccm or 0,3 g/ccm in order to ensure sufficient mechanical strength. Two different blowing agents (one waterbased blowing agent and *Solkane*, a commercialized product) were used and the amount of added catafor salt was varied with the objective to investigate the influence of processing parameters. Catafor salt is an ammonium salt that is used to increase the electric conductivity of polyurethane based soft foams.

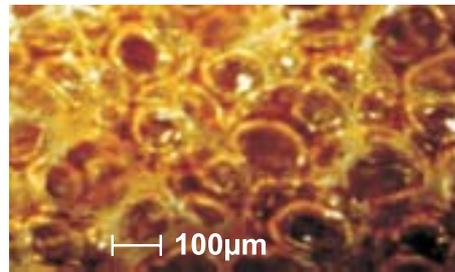


Fig. 1: Microscopic structure of PUR-foam

Experimental Investigations

The design drawing of a material sample is shown in figure 2. The sample consists of a cylindrical tube with a length of 40 cm, with a pair of spherical electrodes built within every 10 cm. The diameter of a sphere is 20 mm and the gap distance is 10 mm. 28 samples were filled with foam, every four samples the production parameters were varied. Due to the statistical variation of the measurement results this relatively high amount of 112 measurements is necessary. The electric strength of the foam samples is determined by connecting a pair of sphere electrodes to AC or DC voltage and steadily increasing the voltage to the

breakdown of the test sample (ramp test).

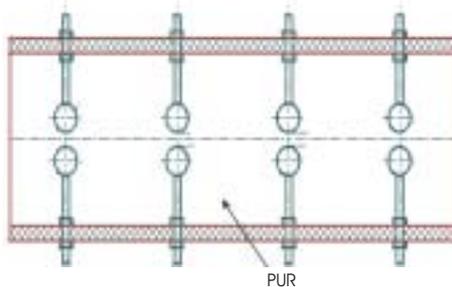


Fig. 2: Design drawing

Results

Here, the most suitable foam is processed with the blowing agent Solkane. It has a density of 0,2 g/ccm and contains no catafor [2]. The results of the breakdown field strength measurements are shown in figure 3. For special applications, PUR foams can be used for electrical insulation requiring a minimal short term breakdown field strength of 4 kV/mm. This way, it could be possible to cut down on weight by partially or even fully substitute an insulation layer made of solid material by this foam.

type of voltage	average breakdown field strength (kV/mm)	confidence interval (99%)
AC	4.3	4.4 - 9.3
DC	7.7	6.1 - 7.3

Fig. 3: Results of the breakdown field strength measurements

Further Investigations

Further investigations will deal more closely with the influence of different processing parameters on increasing the breakdown field strength and minimizing statistical measurements variations. Currently, also investigations on other materials with foam type structure are carried out.

References

- [1] D. Kind, H. Kärner, *Hochspannungstechnik*, Friedr. Vieweg und Sohn Verlagsgesellschaft mbH, Braunschweig, 1982
- [2] R. Puffer, A. Schnettler, A. Tröger, H. Negle, *Foam based high voltage insulation concepts*, ISH 2003, Delft

Contact

Dipl.-Ing. Alexander Tröger
 troeger@ifht.rwth-aachen.de
 ++49/(0)241/80-94920

Entwicklung automatisierter Auswertungsverfahren von Ultraschall-Untersuchungen an elastomeren Isolierstoffen

Ultraschall-Diagnoseverfahren stellen eine geeignete Methode zur Zustandsbewertung von elastomeren Isolierstoffen dar. Um eine industrielle Anwendbarkeit zu gewährleisten, muss die Auswertung entsprechender Messungen automatisiert erfolgen und Informationen über Anzahl, Position, Größe und Form von Inhomogenitäten liefern. Zu diesem Zweck werden Verfahren entwickelt, die eine solche umfassende Bewertung ermöglichen.

Einleitung

Einführung

Polymere Isolierstoffe kommen in Energiekabelsystemen der Hoch- und Mittelspannungsebene heutzutage standardmäßig zum Einsatz. Gerade bei Isolierungen im Bereich von Garnituren wird eine hohe Qualität des Isolierstoffes verlangt, da bereits kleine Inhomogenitäten die Isolierfähigkeit und damit die Lebensdauer stark beeinträchtigen. Deswegen wird die Ultraschalldiagnostik als neues Verfahren zur nicht-destruktiven und ortsaufgelösten Zustandsbewertung derartiger Isoliersysteme untersucht.

Ziel der Arbeit

Das wesentliche Ziel der Forschungsarbeit besteht darin, die Auswertung der Ultraschallmessergebnisse dahingehend zu entwickeln, dass eine automatisierte Bewertung der Messdaten erreicht wird, die von einem Ultraschallsystem geliefert werden. Dabei kommen für eine ganzheitliche Untersuchung neben der Detektion und der Lokalisation insbesondere der Evaluation von Inhomogenitäten eine besondere Rolle zu.

Ergebnisse

Detektion

Die Detektion von Inhomogenitäten ist mit dem vorhandenen Ultraschall-Messsystem bis zu den kleinsten noch relevanten Fehlstellen (100 µm in Silikonkautschuk) möglich [1].

Lokalisation

Eine Lokalisation erfordert eine Objekterkennung, die in der Lage ist, detektierte Fehlstellensignale als Inhomogenitäten zu erkennen und die grafische Darstellung gemäß den erkannten Objekten vollständig zu segmentieren. Es wird daher ein bereichsorientiertes Verfahren entwickelt, welches die grafische Darstellung der Ultraschallmessung in Objekte und Hintergrund unterteilt (siehe Abbildung 1).

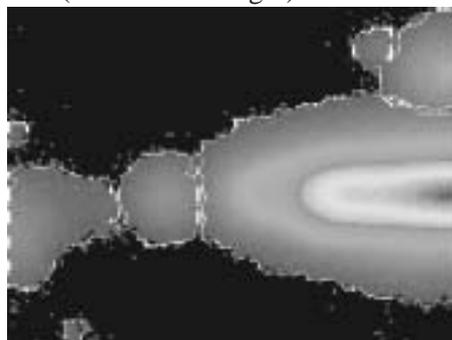


Abb. 1: Segmentiertes Bild eines Silikonkautschukprüflings mit Treeingnaedel und Durchschlagkanal

Evaluation

Die Evaluation der Messergebnisse nach der Positionsangabe beinhaltet zunächst die Möglichkeit einer Größenbestimmung von Fehlstellen im Isolierstoff. Ein Vergleich von theoretischen und experimentellen Verfahren zur Größenbestimmung liefert das Resultat, dass die Vergleichskörper-Methode [2] das meistversprechende Verfahren zur Bewertung von Fehlstellen darstellt. Hierbei werden Vergleichskörper hergestellt und untersucht, die der Realität möglichst nahe kommende Fehlstellen (hier: kugelförmig) enthalten. Die amplitudenbasierte Vergleichskörper-Methode liefert eine objektive und reproduzierbare Bewertungsgrundlage für die Größenbestimmung von kugelförmigen, singulären Fehlstellen. Abbildung 2 zeigt den ermittelten linearen Zusammenhang zwischen Kugeldurchmesser und Echoamplitude.

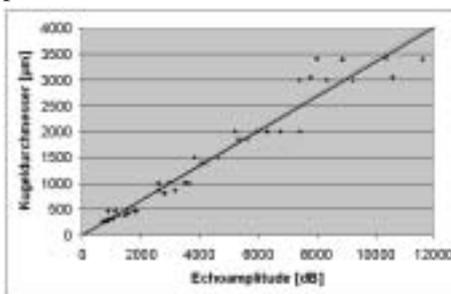


Abb. 2: Ergebnis der Messungen an Vergleichskörpern

Ausblick

Der bestehende Messaufbau liefert bislang nur eine senkrechte, zweidimensionale Projektion des Isolierstoff-Volumens. Daher wird eine Verbesserung der dreidimensionalen Auflösung angestrebt, indem mehrere Prüfköpfe, die unter unterschiedlichen Winkeln abstrahlen, verwendet werden (siehe Abbildung 3). Dabei wird beim Abtasten jeder Punkt aus verschiede-

nen Richtungen angeschallt und die empfangenen Echos der jeweiligen Lage des Prüfkopfes und der Schallrichtung zugeordnet. Das Prinzip dieser sogenannten Verbundabtastung wird aufgegriffen im ALOK-Verfahren (Amplitude-Laufzeit-Ortskurve), wobei die Fehlstellenrand-Rekonstruktion an Hand von Schnittkreisen numerisch erfolgt [3].

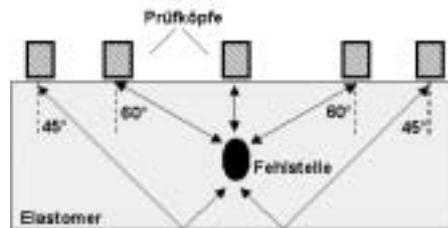


Abb. 3: Verbundabtastung

Quellen

- [1] C. Cornelissen, *Ultraschall-diagnostik als neues Verfahren zur Zustandsbewertung elastomerer Isolierstoffe in Energiekabelsystemen*, Institut für Hochspannungstechnik, RWTH Aachen, Diss., 2003
- [2] M. Berke, *Nondestructive Material Testing with Ultrasonics*, in: ndt.net, The e-Journal of Nondestructive Testing, September 2000, Vol 5, No. 09
- [3] B. Grohs, *Fehlerbeschreibung nach Art, Lage und Dimension m. Hilfe v. Laufzeit-Ortskurven aus Ultraschallprüfungen - ALOK*, in: Materialprüfung 23; Nr. 12, 1981, S. 427–432

Kontakt

Dipl.-Ing. Philipp Walter
 walter@ifht.rwth-aachen.de
 ++49/(0)241/80-94941

Development of Automated Analysis Tools for Ultrasonic Investigations of Elastomeric Insulating Materials

Ultrasonic diagnostic processes are appropriate methods for condition assessment of elastomeric insulation materials. To attain industrial appliance, an analysis of the measured data has to be executed automatically. Further, information about quantity, position, size and shape of the inhomogeneities should be obtained. Therefore, analysis tools are developed which are able to afford this detailed assessment.

Introduction

Polymeric insulating materials are standardly applied in power cable systems for high voltage and medium voltage. Especially for insulations in the field of accessories, high qualities are demanded because even small impurities and inhomogeneities can decrease life expectancy. For these reasons, ultrasonic diagnosis is investigated as a new method for non-destructive and spatial resolved condition assessment in these insulating systems.

Objectives

It is the main research objective to develop analysis tools of the ultrasonic measurements, which can automatically interpret the results. In addition to detection and localization, the evaluation of the inhomogeneities is an important part of a detailed inspection.

Results

Detection

Using the existing ultrasonic measurement system, the detection of inhomogeneities is possible for all important sizes (100 µm in silicone rubber) [1].

Localisation

Object recognition is mandatory for localisation of inhomogeneities. Therefore, the graphical representation needs to be segmented into objects and background. To achieve this segmentation, a spatial procedure is adopted (see figure 1).

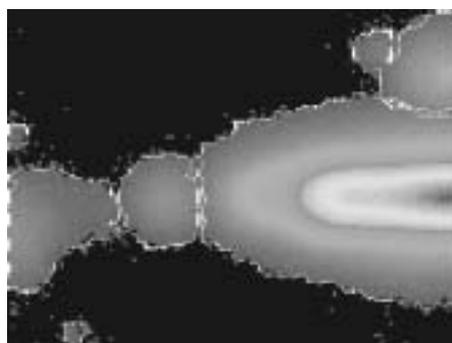


Fig. 1: Segmented graphical representation of a silicone rubber test item with a treeing needle and a breakdown channel

Evaluation

The evaluation of the measurement results after localisation enables the determination of the void's size in the insulating material. A comparison of theoretical and experimental processing demonstrates the reference block method [2] to be the most promising method for void analysis. Therefore, reference blocks with spherical inhomogeneities, which are very

similar to real voids, are made and analysed. The amplitude-based reference block method is very suitable for objective and reproducible sizing of singular, spherical voids. Figure 2 shows that the sphere's diameter is linearly dependent on the echo amplitude.

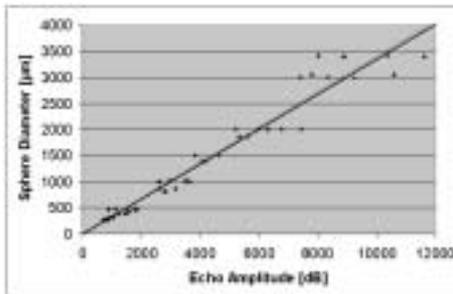


Fig. 2: Results of measurements on reference blocks

Outlook

The presently used measurement setup allows only a perpendicular, two-dimensional projection of the insulation volume. To get a three-dimensional view, more transducers have to be used (shown in Figure 3): The sample is scanned from different angles and positions. The receptions of the echo signals can then be assigned to the emitted direction, considering the transducers' position. The ALOK method (amplitude time locus curve) uses the principle of this so called compound scanning. The reconstruction of the void's shape is done numerically using intersection of circles [3].

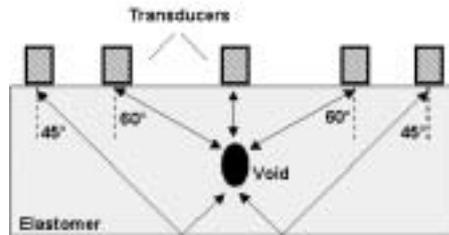


Fig. 3: Compound scanning

References

- [1] C. Cornelissen; Ultraschall-diagnostik als neues Verfahren zur Zustandsbewertung elastomerer Isolierstoffe in Energiekabelsystemen, Institut für Hochspannungstechnik, RWTH Aachen, Dissertation, 2003
- [2] M. Berke; Nondestructive Material Testing with Ultrasonics, in: *ndt.net*, The e-Journal of Nondestructive Testing September 2000, Vol 5, No. 09
- [3] B. Grohs; Fehlerbeschreibung nach Art, Lage und Dimension mit Hilfe von Laufzeit-Ortskurven aus Ultraschallprüfungen - ALOK, in: *Materiaprüfung* 23; Nr. 12, 1981, S. 427–432

Contact

Dipl.-Ing. Philipp Walter
walter@ifht.rwth-aachen.de
++49/(0)241/80-94941

Untersuchung der Ultraschalldiagnostik zur Zustandsbewertung von Hochspannungsmuffen

Hochspannungsmuffen aus EPDM werden mit Hilfe der Ultraschalldiagnostik untersucht. Anhand der Messergebnisse werden Prognosen zur Spannungsfestigkeit der Prüfkörper aufgestellt. In Zusammenarbeit mit einem Hersteller werden die Muffen elektrisch getestet und so die Güte der Prognosen untersucht. Ziel ist die industrielle Einsetzbarkeit der Ultraschalldiagnostik als Zustandsbewertungsverfahren im Bereich der Qualitätskontrolle von Hochspannungsmuffen.

Einführung

Hochspannungsmuffen sind wichtige Bestandteile von Kabelsystemen. Sie müssen lange Betriebszeiten bei höchsten elektrischen Belastungen gewährleisten. Um dies zu erreichen, werden hohe Ansprüche an die Reinheit des Isolationsmaterials der Hochspannungsmuffe gestellt, da bereits kleinste Fehlerstrukturen potentielle Quellen für Teilentladungstätigkeit darstellen und zum Verlust der Isolationsfähigkeit führen können.

Ziel der Arbeit

Ziel der Arbeit ist die Untersuchung der Anwendbarkeit eines Ultraschallanalyseverfahrens zur Zustandsbewertung von Hochspannungsmuffen. Dazu werden diese Betriebsmittel mit einem automatisierten Ultraschallmessstand vermessen, indem die Muffenoberfläche gescannt wird. Eine Auswertungssoftware bestimmt aus den gewonnenen Messdaten die Position von singulären Fehlstellen [1]. Nach der Durchführung eines elektrischen Tests der Muffe auf Spannungsfestigkeit durch den Hersteller wird im Falle eines Versagens die Position des Durchschlags mit den Positionen der gefundenen Fehlstellen verglichen. Basierend auf

dem Korrelationsverhalten von elektrischer Prüfung und Ultraschalluntersuchung wird eine Bewertung der Anwendbarkeit vorgenommen.

Messaufbau

Verwendet wird ein bestehendes Ultraschallmesssystem, das zur Messung von Hochspannungsmuffen modifiziert wurde. Die Muffe befindet sich in einem Becken und kann mit einem Schrittmotor um ihre Rotationsachse gedreht werden. Der Ultraschallprüfkopf kann mit einem Mikropositioniersystem unterhalb der Muffe entlang ihrer Achse bewegt werden. Die Kombination aus Positioniersystem und Drehachse erlaubt ein mäanderförmiges Scannen der Muffenoberfläche. Zur Schalleinkopplung in das Prüfobjekt dient Wasser. Durch den gewählten Aufbau wird ein vollständiges Untertauchen der Muffe in Wasser vermieden (vgl. Abb. 1).

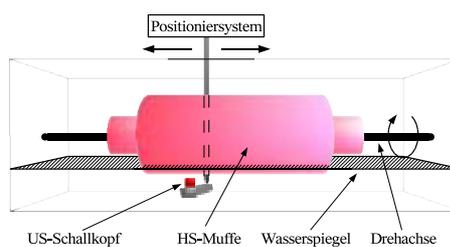


Abb. 1: Messaufbau

Die Auswertungssoftware erstellt aus den Messdaten eine Amplituden- und eine Tiefenkarte der Muffe. In der Amplitudenkarte (vgl. Abb. 2) ist für jeden Punkt auf der gescannten Oberfläche die Amplitude des Schalls dargestellt, der im Inneren der Muffe reflektiert wird; die Tiefenkarte enthält die Tiefe, in der die Reflexion stattfindet. Fehlstellen werden durch eine lokale Amplitudenerhöhung erkannt und ihre Tiefenlage aus der Tiefenkarte bestimmt.

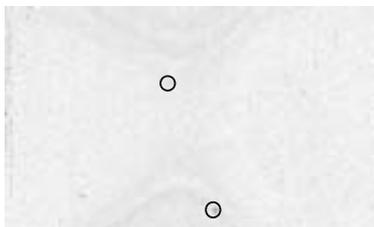


Abb. 2: Amplitudenkarte einer Muffe mit zwei erkannten Fehlstellen

Ergebnisse

Erste Untersuchungen durch Vergleich von Ultraschall- und elektrischer Prüfung ergeben, dass durchschlaggefährdete Muffen erkannt werden können, wobei die Vorhersage der genauen Position des Durchschlags noch problematisch ist. Das liegt darin begründet, dass tief liegende Fehlstellen nur unzureichend erkannt werden, da ihr Echo-signal stark gedämpft wird. Diese stellen jedoch ein größeres Gefährdungspotential als oberflächennahe Fehlstellen dar, weil das elektrische Feld zum Zentrum der Muffe hin zunimmt.

Ausblick

Aufgrund der hohen Schalldämpfung in EPDM ist der Signal-Rausch-Abstand insbesondere ab Tiefen von 20 mm sehr gering. Dadurch werden tief liegende Fehlstellen nicht zuverlässig erkannt. Deshalb werden zwei

Ansätze verfolgt: Da die Dämpfung linear mit der Frequenz steigt, wird in Zukunft zur Erhöhung der Eindringtiefe eine geringere Prüffrequenz von 2 MHz verwendet (bisher 5 MHz).

Des Weiteren wird die Signalverarbeitung der Auswertungssoftware für die Muffenmessung angepasst. Hierbei wird ein erweitertes S.A.F.T.- Verfahren (synthetic aperture focusing technique) zum Einsatz kommen. Es nutzt die Tatsache aus, dass es sich bei der Abtastung der Muffenoberfläche rein mathematisch um einen räumlichen Faltungsvorgang zwischen der Muffe und dem Ultraschallkopf handelt. Durch eine inverse Faltungsoperation unter Berücksichtigung der räumlichen Impulsantwort des Schallkopfes und seiner Geometrie wird der Signal-Rausch-Abstand maximiert. Somit werden gedämpfte Fehlstellensignale leichter detektierbar.

Quellen

- [1] C. Cornelissen, *Ultraschall-diagnostik als neues Verfahren zur Zustandsbewertung elastomerer Isolierstoffe in Energiekabelsystemen*, Institut für Hochspannungstechnik, RWTH Aachen, Diss., 2003
- [2] F. Lingvall, *Synthetic aperture imaging using sources with finite aperture: Deconvolution of the spatial impulse response*, in: J.Acoust.Soc.Am.; 144 (1), 2003, S. 225–234

Kontakt

Dipl.-Ing. Torsten Wirz
wirz@ifht.rwth-aachen.de
++49/(0)241/80-94910

Investigation of Ultrasonic Diagnosis as a Method for Condition Assessment of High Voltage Joints

High voltage cable joints made of EPDM are investigated using ultrasonic diagnostics. Prognosis on the electrical strength of the test devices are made. In cooperation with a manufacturer, electrical tests on the joints are performed to investigate the quality of the prediction based on ultrasonic measurements. Main objective is the industrial introduction of ultrasonic diagnostics as a method for condition assessment in the field of quality assurance.

Introduction

High voltage cable joints are important components in cable systems. They have to ensure long periods of operation withstanding high voltage stresses. To achieve this, a high standard of the insulation material's purity and the production process' accuracy is demanded, since even minor inhomogeneities can lead to partial discharges and the loss of isolating capability.

Objective and Motivation

The work's objective is to ascertain the usability of ultrasonic diagnostics as a method for condition assessment of high voltage joints. For this purpose, an automated ultrasonic measurement device is used for scanning the joint surface. An analysis software locates positions of singular defects from the measured data [1]. After an electrical test performed by the manufacturer, the position of the breakdown (in case of failure) will be compared with the positions of the defects found by the ultrasonic measurement. Based on the correlation between electrical and ultrasonic analysis an evaluation of the applicability is done.

Measurement Setup

An existing ultrasonic measurement setup is used, which has been modified for measuring high voltage joints. The tested device is located in a tub and can be turned around its rotation axis by a step motor. The ultrasonic transducer can be moved below the joint along its rotation axis by a positioning system. Due to the combination of the positioning system and the rotatable axis, a meander like scanning of the joint surface is possible. Water is used for the ultrasonic coupling between test device and transducer. Because of the selected setup, a complete submersion of the joint is avoided (see fig. 1).

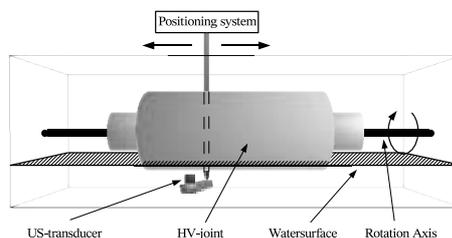


Fig. 1: Measurement setup

The analysis software generates an amplitude and depth map out of the measured data. In the amplitude map (see fig. 2), the reflected sound amplitude from within the joint is given for each point on the scanned surface. Defects are detected by a local maximum of amplitude. Their depth

is determined using the depth map.

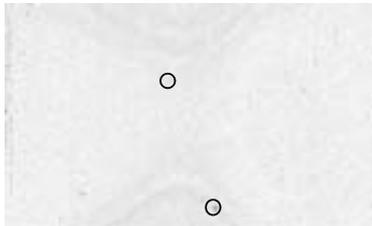


Fig. 2: A joint's amplitude map with two detected inhomogeneities

Results

Comparing ultrasonic and electrical test, first investigations show that a joint with critical isolation capability can be separated from others. The prediction of the breakdown position is problematic yet. This results from the high attenuation of EPDM. Echo amplitudes of inhomogeneities deeper than 20 mm below the surface are too low to get detected. These defects are more critical than defects nearby the surface, because the electric field strength increases in direction to the joint center.

Outlook

Due to the high attenuation of EPDM, the signal to noise ratio (SNR) is very small, especially if a flaw lies deeper than 20 mm. So, deep lying defects are not reliably detectable. Therefore, two approaches are followed: Due to the dependence of sonic absorption on frequency, the test frequency will be decreased to 2 MHz, to increase penetration depth.

Furthermore, the analysis software signal processing unit is modified to match the requirement of joint measurements. An enhanced S.A.F.T. (synthetic aperture focusing technique) will be implemented. It is based on the fact that the scanning of the joint surface can be mathematically regarded as a convolution between joint and transducer. Using a deconvolution operation concerning the transducer's spatial impulse response and geometry, the SNR is maximised. As a result, signals of inhomogeneities should be detected easier.

References

- [1] C. Cornelissen, *Ultraschall-diagnostik als neues Verfahren zur Zustandsbewertung elastomerer Isolierstoffe in Energiekabelsystemen*, Institut für Hochspannungstechnik, RWTH Aachen, Diss., 2003
- [2] F. Lingvall, *Synthetic aperture imaging using sources with finite aperture: Deconvolution of the spatial impulse response*, in: *J. Acoust. Soc. Am.*; 144 (1), 2003, p. 225–234

Contact

Dipl.-Ing. Torsten Wirz
wirz@ifht.rwth-aachen.de
++49/(0)241/80-94910

Anwendung von Nano-Struktur-Oberflächen in Hochspannungsisolierungssystemen

Das Überschlagverhalten von Isolatoren und Durchführungen wird im Wesentlichen durch den Zustand der Oberfläche bestimmt. Mit neuen Nano-Materialien kann die hydrophobe Eigenschaft, die Rauigkeit und die Lebensdauer der Beschichtung der Oberfläche verbessert werden. Die Eigenschaften der neuen Beschichtung sollen in verschiedenen Experimenten untersucht und bewertet werden. Zusätzlich soll der Mechanismus des Überschlagverhaltens einer solchen Beschichtung dargestellt werden.

Einleitung

Mit stetig steigendem Energiebedarf und der Forderung nach reduziertem Raumbedarf werden die Ingenieure im Bereich der Hochspannungstechnik aufgefordert, bei hohen Betriebsspannungen das Volumen der Bauteile zu verringern. Dabei sollen die Probleme wie Überschläge usw., die sich durch Umwelteinflüsse, Schalthandlungen usw. ereignen, berücksichtigt werden. In der Praxis sind die durch Verschmutzung erzeugten Überschläge entscheidend. Solche Überschläge treten bei der Betriebsspannung, aber auch bei geringeren Spannungswerten auf. Des Weiteren sind höhere Grenzflächenfeldstärken eine Folge von zunehmend kompakteren Hochspannungsbauteilen. Deshalb ist es von besonderer Bedeutung, die durch Verschmutzung hervorgerufenen Überschläge zu verhindern.

Bisherige Methoden

Einige Methoden wurden zur Lösung dieses Problems entwickelt. Es ist nachgewiesen, dass das vorsichtige Abwaschen, die Verwendung von Silikonfett [1] und *booster sheds* [2] eine abnehmende Anzahl und Häufigkeit der Überschläge zur Folge haben.

Aber die Nachteile der Anwendungsmöglichkeiten sind auch bekannt. Mit dem Abwaschsystem ist eine häufige Reinigung notwendig, die Betriebsausfälle als auch teure Wartungskosten verursacht. Andererseits hat ein größeres Waschintervall möglicherweise mehr Überschläge und Stromausfälle zur Folge, was die Verfügbarkeit der Energieversorgung kritisch macht. Bei Anwendung von Silikonfett muss die Beschichtung aufgrund des Überschlagverhaltens und der eventuellen Beschädigung, z. B. einer Kanal-Entladung unter dem Silikonfett, regelmäßig erneuert werden. Darüber hinaus muss die alte Schicht vorher entfernt werden. Auf lange Sicht steigen daher die Betriebskosten.

Inhalt der Untersuchung

Beschichtungsstoffe, wie RTV Silikon, werden wegen der hydrophoben Eigenschaft, des Widerstands gegen chemischen Angriff und der elektrischen Stabilität verwendet. Problematisch ist jedoch die langfristige Degradierung der Oberfläche von RTV. Generell spielen die Umwelteinflüsse und der elektrische Zustand bei der Alterung des Beschichtungsstoffs eine entscheidende Rolle.

1. Umwelt-Einflüsse: Thermische Al-

terung, UV-Alterung, saurer Regen etc.
2. Elektrische-Einflüsse: Trockenband-Lichtbogen, Korona neben metallischen Armaturen etc.

Als Folge nimmt die Oberflächenrauigkeit deutlich zu. Die Oberfläche verliert die hydrophobe Eigenschaft, was zu einem steigenden Leckstrom führt. Am Ende erfolgt unter Umständen ein Überschlag. In dem Forschungsprojekt sollen Nano Materialien (Beschichtungsstoffe) gezielt auf die folgenden Eigenschaften untersucht werden.

- Hydrophobie
- geringe Oberflächenrauigkeit
- lange Lebensdauer (Kratzfestigkeit etc.)
- gute elektrische Stabilität (geringer Leckstrom etc.)
- gute thermische Leitfähigkeit
- Wirtschaftlichkeit.

Ziel

Die folgenden Fragen sollen zunächst durch die Untersuchungen beantwortet werden.

- Wie ist das Überschlagverhalten von Nano-Beschichtungen?

- Welche Größen beeinflussen das Überschlagverhalten von Nano-Beschichtung?
- Welche Mechanismen stehen hinter dem Überschlagverhalten von Nano-Beschichtungen?
- Welches Modell wird durch die experimentellen Untersuchungen für Nano-Beschichtungen gebildet?

Quellen

- [1] Gorur, R.S. et al.: *Protective coatings for improving contamination performance of outdoor high voltage ceramic insulators*, IEEE Trans. Power Delivery, Vol. 10, Issue.2, pp. 924-933, 1995
- [2] Schneider H.M. et al.: *Rain and contamination tests on HVDC wall bushings with and without RTV coating*, IEEE Trans. Power Delivery, Vol. 6, Issue. 3, pp. 1289-1300, 1991

Kontakt

M.Sc. Junliang Wu
Wu@ifht.rwth-aachen.de
++49/(0)241/80-94924

Application of Nano-structure surfaces in high voltage insulation systems

The flashover performance of the insulators and bushings is determined substantially by the surface conditions. By using nano-material, the hydrophobicity, roughness and lifetime of the coating can be improved. A variety of experiments will be carried out to examine and evaluate the properties of such coating. The mechanism of the flashover on the new coating will be described.

Introduction

The increase in the demand on energy and reduced required space lead engineers of high voltage technology to reduce the size of components under high voltage. It created a number of problems, such as flashovers, ...etc. generated in the power system due to the nature, switching etc.. In practice, pollution caused flashovers are much predominant because the flashovers occur not only at operating voltage but even at lower voltage as well. For the compact design, the interface stress increases by decreasing volumen. Therefore, to overcome flashover issues is one of the major tasks of design engineers, especially considering more compact designs.

Present approaches

Some approaches to eliminate this problem have been developed. It has been shown that the careful cleaning, application of silicone grease [1] and booster shed [2] reduced the number and frequency of flashovers. However, disadvantages of these applications are also well known. For washing system, frequent cleaning is too costly because of lost revenues. On the other hand, long intervals between cleaning could result in flashovers and system outages at times if availability of the power supply is critical. For

the application of silicone grease, coating should be repeated periodically to avoid flashovers or possible permanent equipment damage, e.g. channeling discharges under grease. Moreover, the old grease must be removed before applying a new layer. Over a long period of time, the total cost may be too high.

Objects of the research

The coating materials, e.g. room temperature vulcanizing (RTV) silicon, are used because of the hydrophobicity, resistance to chemical attack and adequate electrical property. However, the surface of the silicone rubber is subject to long term degradation. In general, weather conditions and electrical activity play an important role by the surface degradation.

1. The environmental attacks: thermal degradation, ultraviolet induced degradation, acid rain ...etc.
 2. The electrical attacks: dry band arcing, corona near the metal fittings ...etc.
- As a result, the surface roughness increases, the surface loses hydrophobicity and then leads to increased leakage current. At the end, the failure in service, e.g. flashover, may occur. Present research is directed at the nano material, especially the coating material or paint. Such coating is supposed to have

- hydrophobicity

- low surface roughness
 - long lifetime (scratch resistance...etc)
 - good electrical stability (low leakage current ...etc.)
 - good thermal conductivity
 - economically, compared with other methods.
- Which flashover model can be induced from the experimental research for such coating?

References

- [1] Gorur, R.S., et al.: *Protective coatings for improving contamination performance of outdoor high voltage ceramic insulators*, IEEE Trans. Power Delivery, Vol. 10, Issue.2, pp. 924-933, 1995
- [2] Schneider H.M., et al.: *Rain and contamination tests on HVDC wall bushings with and without RTV coating*, IEEE Trans. Power Delivery, Vol. 6, Issue. 3, pp. 1289-1300, 1991

Purposes

Firstly, following questions shall be answered through the research.

- How is the flashover performance of the insulator with nano coating?
- Which factors influence the flashover performance of the nano coating?
- What is the mechanism of the flashover on such nano coating?

Contact

M.Sc. Junliang Wu
Wu@ifht.rwth-aachen.de
++49/(0)241/80-94924

Optische Untersuchung an koplanaren Barrierenentladungsanordnungen

Koplanare Entladungsanordnungen bestehen aus Elektrodenpaaren, die in einem Dielektrikum nahe an dessen Oberfläche eingebettet sind. Die Entladung findet auf der Dielektrikumsoberfläche zwischen den Elektroden statt. Optische Untersuchungen haben ergeben, daß typischerweise mehrere Entladungskanäle äquidistant und nahezu parallel zueinander auf der Dielektrikumsoberfläche entstehen. Oberhalb der Kathode treten dünne Entladungskanäle, oberhalb der Anode ein diffuses Leuchten.

Einleitung

Dielektrische Barrierenentladungen (DBD) werden in Anordnungen erzeugt, in denen sich mindestens eine dielektrische Barriere zwischen zwei Elektroden befindet, um einen kontinuierlichen Stromfluß zu verhindern. Ein Vorteil dieses Entladungstyps ist, daß ein „kaltes“ Plasma bei Atmosphärendruck generiert und stabil betrieben werden kann. Daraus ergibt eine große Anzahl von Anwendungen, wie Ozonerzeugung, Oberflächenmodifikation (Bedruckbarkeit von Folien) [1] und Lichterzeugung (CO₂-Laser, VUV Lampen und plasma display panels). Die koplanare Barrierenentladungsanordnung (CD) besteht aus Elektrodenpaaren (z. B. Drähten), die im Dielektrikum nahe der Oberfläche liegen (Abb. 1) [2]. Die Entladung bildet sich auf der Oberfläche des Dielektrikums über den Elektroden und über deren Zwischenraum im Gasraum aus.

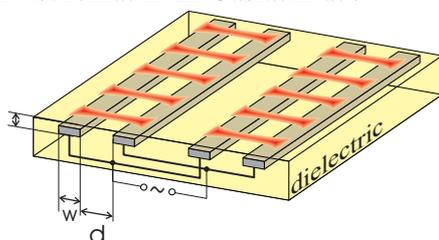


Abb. 1: CD Anordnung

Zur Untersuchung der optischen Struktur der Entladung wurden mit einer iCCD Kamera zeitlich hochaufgelöste Photos gemacht. Die Experimen-

te wurden an mehreren Anordnungen, die sich durch Elektrodenabstand d und Dielektrikumsdicke Δ (Glas) unterscheiden, in synthetischer Luft (elektronegatives Gas) und in Argon (Edelgas) bei Atmosphärendruck durchgeführt.

Optische Untersuchungen

In Abb. 2 sind die Aufnahmen von Entladungen in Luft und Argon, die mit Hilfe einer iCCD Kamera gemacht wurden, (AC, 1 kHz, 15 kV peak-to-peak) gegenübergestellt. Die dafür verwendete koplanare Anordnung weist einen Elektrodenabstand von $d = 1$ mm und eine Dielektrikumsdicke von $\Delta = 300 \mu\text{m}$ auf, im Bild markieren die gestrichelten Linien die Position der beiden Elektroden. Die Belichtungszeit betrug eine Halbperiode (von Spannungsminimum bis Spannungsmaximum, hier $500 \mu\text{s}$).

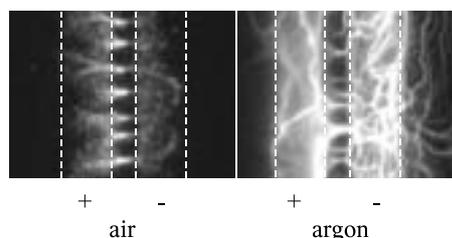


Abb. 2: Aufnahme von Entladungskanälen auf der Dielektrikumsoberfläche. Die Entladung läßt sich generell in drei Teile unterteilen. Zwischen den Elektroden treten sowohl in Luft wie

auch in Argon mehrere parallele Entladungskanäle auf. Über der Kathode treten schwächer leuchtende Kanäle auf und über der Anode läßt sich ein (homogenes) diffuses Leuchten ausmachen. Insbesondere in Luft ist eine kegelförmige Struktur der Entladung zu erkennen, die auch einen dunkleren Bereich vor der Kathode beinhaltet. In Argon fällt auf, dass die Entladungskanäle auch über den Kathodenbereich hinausreichen. Desweiteren ist auch ein diffuses Leuchten um jeden Kanal erkennbar, was dazu führt, dass der Entladungskanal nicht immer klar in Erscheinung tritt.

Wenn eine bestimmte Anordnung bei gleicher Spannung in Luft und Argon betrieben wird, ist die Entladung in Argon lichtstärker. Wird das Spannungsniveau erhöht, steigt die Anzahl der Entladungskanäle, die mit Entladungen bedeckte Fläche bleibt aber konstant.

In den Abb. 3 und 4 sind die durchschnittliche Anzahl von Entladungskanälen pro cm Elektrodenlänge für unterschiedliche Anordnungen beim Betrieb mit 1 kHz aufgetragen. Wie erwartet nimmt die Anzahl der Entladungskanäle beim Erhöhen der Spannungsamplitude zu. Des weiteren lassen sich die Kurven in zwei Gruppen unterteilen ($d = 1$ mm and $d = 2$ mm).

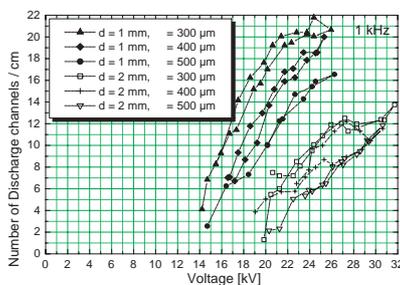


Abb. 3: Anzahl der Entladungskanäle für unterschiedliche Anordnungen bei verschiedenen Spannungshöhen (Luft)

Beim kleineren Elektrodenabstand treten niedrigere Zündspannungen und eine höhere Anzahl von Entladungskanälen auf. Bei kleinem Δ kann eine größere Anzahl an Entladungskanälen erzielt werden. Daraus folgt unmittelbar, daß für die Anordnung mit $d = 1$ mm, $\Delta = 300 \mu\text{m}$ die meisten und für $d = 2$ mm, $\Delta = 500 \mu\text{m}$ die wenigsten Entladungskanäle auftreten.

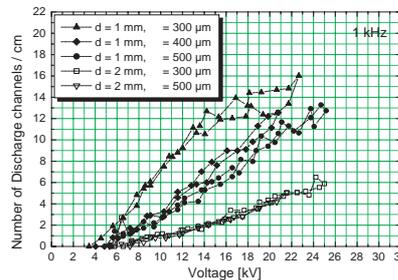


Abb. 4: Anzahl der Entladungskanäle für unterschiedliche Anordnungen bei verschiedenen Spannungshöhen (Argon)

Quellen

- [1] Simor M., Ráhel J., Vojtek P., Cernák M., Brablec A.: *Atmospheric-pressure diffuse coplanar surface discharge for surface treatments*, Applied Physics Letters, Vol. 81, No. 15, pp. 2716-2718, 7 Oct. 2002
- [2] Korzec D., Finantu-Dinu E.G., Engemann J.: *Comparison of Coplanar and Surface Barrier Discharges Operated in Oxygen-Nitrogen Gas Mixtures*, 8th Int. Conf. on Plasma Surface Processing, Garmisch-Partenkirchen, Deutschland, 2002

Kontakt

Dipl.-Ing. Lutz Hulka
 hulka@ifht.rwth-aachen.de
 ++49/(0)241/80-94937

Optical Investigations on Coplanar Barrier Discharge Arrangements

Coplanar discharge arrangements consist of pairs of long electrodes with opposite polarity that are embedded in a dielectric. The discharge occurs on the surface of the dielectric in between the location of the electrodes. Optical investigations reveal that in general a number of parallel channels appears with almost equal distances from one another on the surface of the dielectric. Above the cathode weak channels are distinguished and above the anode the discharge seems to be uniform.

Introduction

Dielectric-barrier discharges (DBD) are generated in discharge configurations with at least one insulating layer between the electrodes. An advantage of this type of electrical discharges is that „cold“ (non-equilibrium) plasma conditions in atmospheric-pressure gases can be realized in an economic and reliable way. This has led to a number of applications including ozone generation, surface modification (printability of plastic foils) [1] and light production (CO₂-laser, VUV lamps and plasma display panels). The coplanar discharge (CD) arrangement is characterised by one or more pairs of extended electrodes (Fig. 1) [2]. These electrodes are embedded in a dielectric close to its surface. The advantages of pure surface discharges and a fixed electrode distance are combined.

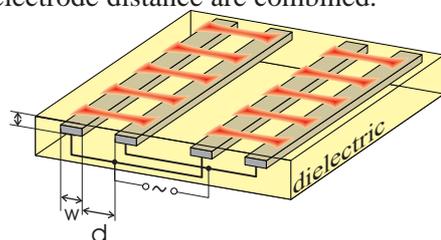


Fig. 1: CD arrangement

In order to analyse the optical characteristic, pictures from the discharge were taken with an iCCD camera. The experiments are performed with several coplanar arrangements where the distance between two electrodes d and

the thickness of the dielectric (glass) layer above the electrodes Δ is varied. Furthermore the feed gas was synthetic air (electronegative gas) and argon (noble gas) at atmospheric pressure.

Optical Investigations

Figure 2 presents two photographs of discharges in synthetic air and in argon taken by an iCCD camera. The coplanar arrangement has an electrode distance of $d = 1 \text{ mm}$, a dielectric thickness of $\Delta = 300 \mu\text{m}$ and an applied voltage of 15 kV peak-to-peak. Dashed lines mark the position of the electrodes. The frequency of the power supply is 1 kHz. The exposure time was set to $500 \mu\text{s}$, just a half cycle of the applied voltage (from voltage minimum to voltage maximum).

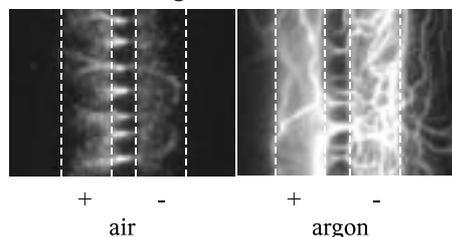


Fig. 2: Photographs of discharge channels on the dielectric surface

The general discharge structure can be divided into three parts, above the anode, above the cathode and in between the electrodes. In between the electrodes more or less parallel channels appear in air as well as in argon per-

pendicular to the electrodes. Above the cathode weak channels can be distinguished. Above the anode a diffuse glow appears. For the discharges in air it is obvious that the channel looks a bit cone shaped and there exists a darker region in front of the cathode. In argon the discharge channels even spread over the cathode. Above the position of the anode the discharge looks more diffuse. A diffuse zone can be detected around each channel. The shape of a discharge channel can not be clearly distinguished.

With the same arrangement and voltage level, it is found that the photographs of discharges in argon are brighter than those of discharges in air. With rising voltage amplitude the number of microdischarges increases, however, the discharged area remains nearly constant.

In Fig. 3 and Fig. 4, the average numbers of discharge channels per centimetre electrode length for different coplanar arrangements operated at 1 kHz are depicted. As expected the number of discharge channels rises with rising voltage amplitude for all arrangements. The curves can be separated into two groups ($d = 1$ mm and $d = 2$ mm).

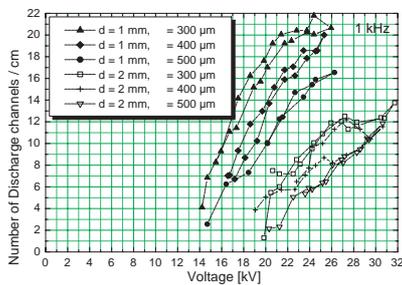


Fig. 3: Number of discharge channels for different arrangements and voltage amplitude (air)

The smaller electrode distance leads to a lower ignition voltage and to a higher number of discharge chan-

nels. In one group the thickness of the dielectric thickness Δ is varied. For smaller dielectric thickness a higher number of discharges can be obtained. Therefore, it is obvious that with the arrangement of $d = 1$ mm, $\Delta = 300 \mu\text{m}$, the highest number of discharges and with the arrangement of $d = 2$ mm, $\Delta = 500 \mu\text{m}$, the lowest number of discharges appears.

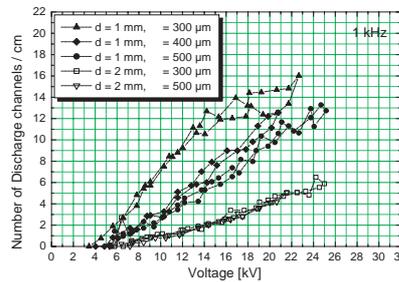


Fig. 4: Number of discharge channels for different arrangements and voltage amplitude (argon)

References

- [1] Simor M., Ráhel J., Vojtek P., Cernák M., Brablec A.: *Atmospheric-pressure diffuse coplanar surface discharge for surface treatments*, Applied Physics Letters, Vol. 81, No. 15, pp. 2716-2718, 7 Oct. 2002
- [2] Korzec D., Finantu-Dinu E.G., Engemann J.: *Comparison of Coplanar and Surface Barrier Discharges Operated in Oxygen-Nitrogen Gas Mixtures*, 8th Int. Conf. on Plasma Surface Processing, Garmisch-Partenkirchen, Deutschland, 2002

Contact

Dipl.-Ing. Lutz Hulka
 hulka@ifht.rwth-aachen.de
 ++49/(0)241/80-94937

Verminderung von gasförmigen Schadstoffemissionen in dielektrischen Barrierenentladungen

Dielektrische Barrierenentladungen (DBD, dielectric barrier discharges) sind elektrische Entladungen, in denen nicht-thermische Plasmen auch bei Atmosphärendruck erzeugt werden können. Die Elektronentemperatur in solchen Entladungen beträgt mehr als 10.000 K, während die Gastemperatur in der Regel nahe der Umgebungstemperatur ist. Inelastische Stöße von Elektronen mit schweren Teilchen (Atomen und Molekülen) führen zur Anregung und sogar zur Dissoziation. Solche Medien sind chemisch aktiv und sind für die verschiedensten Anwendungen von Interesse, z. B. zur Behandlung von Oberflächen verschiedener Art (Entkeimung, Haftverbesserung, Ätzung), als Lichtquellen in DBD-Lampen und Plasmapildschirmen, zur Ozonerzeugung und auch zum Abbau von Schadgasen.

Im Rahmen eines EU-Projektes wird der Abbau von Schwefeldioxid (SO₂) und von Tetrafluormethan (CF₄) untersucht.

Einführung

Schwefeldioxid entsteht bei Verbrennungsprozessen schwefelhaltiger Brennstoffe. Schwefeldioxid wird in der Erdatmosphäre zu Schwefeltrioxid oxidiert, das in Verbindung mit Feuchtigkeit Schwefelsäure bildet und den sauren Regen verursacht. Üblicherweise erfolgt die Abgasentschwefelung durch Abgaswäsche mit Kalziumverbindungen.

Tetrafluormethan wird als Ätzgas bei der Halbleiterherstellung verwendet. Das Gas selbst ist zwar unschädlich für den Menschen, aber mitverantwortlich für die Aufheizung der Erdatmosphäre (Treibhauseffekt). Sein *Global Warming Potential* beträgt 6.500, das von CO₂ nur 1. CF₄ zerfällt in der Erdatmosphäre nicht in absehbaren Zeiträumen, so dass es mit der Zeit akkumuliert.

DBD stellen eine Möglichkeit dar, diese Stoffe abzubauen. Zwei verschiedene Mechanismen kommen dafür in Frage, direkte Dissoziation des Schadgases durch Elektronenstoß und Reaktionen des Schadgases mit in der Entla-

dung gebildeten Radikalen bzw. angeregten Teilchen.

Grundprozesse beim SO₂-Abbau

Der Schwefeldioxidabbau wurde im Konzentrationsbereich bis zu 1000 ppm SO₂ in Luft untersucht. Eine Beschreibung der SO₂-Konversion wurde auf der Grundlage von Kenntnissen über die Ozonerzeugung in Luft entwickelt.

In Anwesenheit von kleinen Schwefeldioxidmengen ändern sich die Eigenschaften der DBD-Plasmen (z. B. die effektive Feldstärke und Energieverteilungsfunktion der Elektronen) nur wenig. Der direkte Elektronenstoß mit SO₂-Molekülen führt zur dissoziativen Elektronenanlagerung, bei der SO, SO⁻ und S⁻ Teilchen erzeugt werden (R1 in Tabelle 1). Die Elektronenstöße mit den Bestandteilen der Luft führen andererseits zur Dissoziation von Sauerstoffmolekülen (R2a und R2b). Die in diesen Prozessen gebilde-

ten Sauerstoffatome verbinden sich mit Sauerstoffmolekülen zu Ozon (R3). Sauerstoffatome oxidieren SO₂ in einem parallelen Prozess (R4).

Tabelle 1: Für den SO₂-Abbau relevante Reaktionen

$\text{SO}_2 + e^- \rightarrow \text{SO}, \text{SO}^-, \text{S}^-$	(R1)
$\text{O}_2 + e^- \rightarrow \text{O}\cdot + \text{O}\cdot + e^-$	(R2a)
$\text{N}_2 + e^- \rightarrow \text{N}_2^* + e^-$	
$\text{O}_2 + \text{N}_2^* \rightarrow \text{O}\cdot + \text{O}\cdot + \text{N}_2$	(R2b)
$\text{O}\cdot + \text{O}_2 + \text{M} \rightarrow \text{O}_3 + \text{M}$	(R3)
$\text{O}\cdot + \text{SO}_2 + \text{M} \rightarrow \text{SO}_3 + \text{M}$	(R4)
$\text{O}\cdot + \text{NO}_x + \dots \rightarrow \text{NO}_y + \dots$	(R5)

Der Vergleich der Wirkungsquerschnitte der Prozesse (R1) bis (R4) unter Berücksichtigung der vorhandenen Teilchenkonzentrationen führt zu der Erkenntnis, dass die SO₂-Dissoziation (R1) weniger wahrscheinlich ist als die SO₂-Oxidation (R4). Das Oxidationsprodukt, Schwefeltrioxid, kann aus der Luft durch eine Gaswäsche einfach entfernt werden.

Experimentelle Untersuchung der SO₂-Konversion



Abb. 1: Ölgekühlter DBD-Reaktor

Zur Untersuchung des Konversionsprozesses wurde ein ölgekühlter DBD-Reaktor entwickelt (Abb. 1). Die Gaskonzentrationen wurden mit einem FTIR-Spektrometer mit 2 m-Gasküvette gemessen. Der Einfluss

von geometrischen Parametern der DBD-Anordnung, von Elektroden-eigenschaften, Gastemperatur und Feuchtigkeit auf die Effizienz wurde untersucht.

Aufnahmen der Entladung mit einer empfindlichen CCD-Kamera haben ergeben, dass die Entladungsstruktur sich ändert, wenn Luft SO₂ beigemischt wird. Die Anzahl der Mikroentladungen wird kleiner, einzelne Entladungen werden intensiver und die örtliche Entladungsverteilung wird inhomogener. Der Effekt ist in feuchter Luft ausgeprägter (Abb. 2). Bei einer Temperaturerhöhung (bis 80 ... 100 °C) wird die Entladungsverteilung auch in Anwesenheit von SO₂ und Feuchte wieder homogener. Der Effekt kann mit der Bildung eines leitfähigen, aus SO₃ und/oder H₂SO₄ bestehenden Films auf den dielektrischen Elektroden erklärt werden. Aufgrund der Ablagerung von Reaktionsprodukten auf den Elektroden nimmt der Wirkungsgrad des DBD-Reaktors mit der Zeit ab. Eine gelegentliche Reinigung des Reaktorraums ist notwendig.

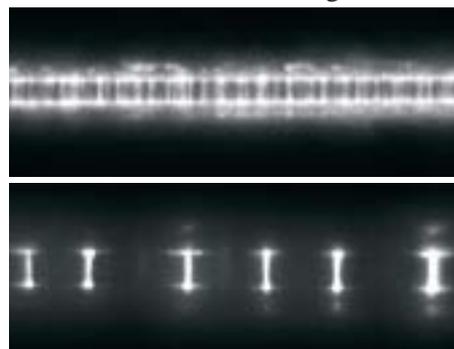


Abb. 2: DBD-Aufnahmen in trockener Luft (oben) und in feuchter mit SO₂ versetzter Luft (unten)

Typische kinetische Kurven der SO₂-Konversion in trockener Luft für verschiedene SO₂-Anfangskonzentrationen sind in Abb. 3 enthalten. Eine Temperaturänderung

im Bereich bis 100 °C beeinflusst den Prozess kaum. Der Konversionsprozess in feuchter Luft läuft viel effektiver ab (Abb. 4). Er weist eine Temperaturabhängigkeit mit einem Maximum in der Effizienz zwischen 80 und 150 °C auf. Unter optimalen Bedingungen wurden SO₂-Abbauraten von 90 % bei einer Energiedichte von ca. 3 Wh/Nl und von mehr als 95 % bei 6 Wh/Nl gefunden.

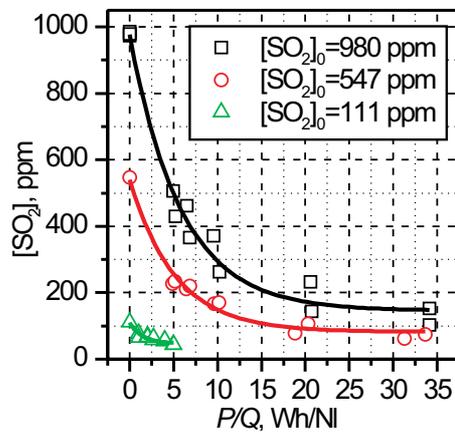


Abb. 3: Kinetischen Kurven der SO₂-Konversion in trockener Luft

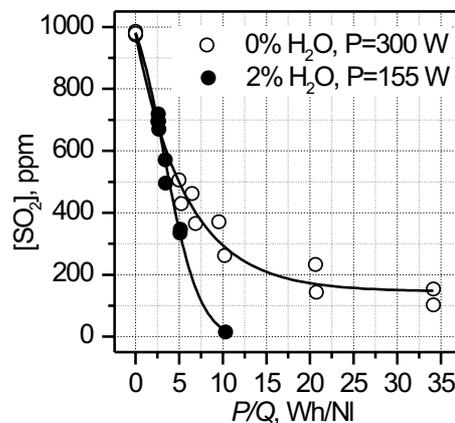


Abb. 4: Kinetischen Kurven der SO₂-Konversion in trockener und in feuchter Luft

Mechanismus der SO₂-Konversion

Aus den experimentellen Ergebnissen folgt, dass Temperatur und Feuchtigkeit einen großen Einfluss auf die Effektivität des Konversionsprozesses haben. Die Elektronenstoßprozesse (R1) und (R2) (mit Elektronentemperaturen von über 10 000 K) können von einer Gastemperaturänderung von wenigen hundert Grad nicht beeinflusst werden. Die Raten der chemischen Prozesse (z. B. R3, R4) sind temperaturabhängig. Um den Mechanismus der SO₂-Konversion zu beschreiben, wurde eine Simulation der chemischen Reaktionskinetik bei Berücksichtigung von 160 Reaktionen für trockene und feuchte Luft durchgeführt. Die Randbedingungen (Anfangskonzentrationen der aktiven Teilchen, die in der Entladungsphase entstehen) sind der Literatur entnommen. Abb. 5 zeigt das Simulationsergebnis eines typischen zeitlichen Verlaufes von Teilchenkonzentrationen nach einem Entladungsimpuls.

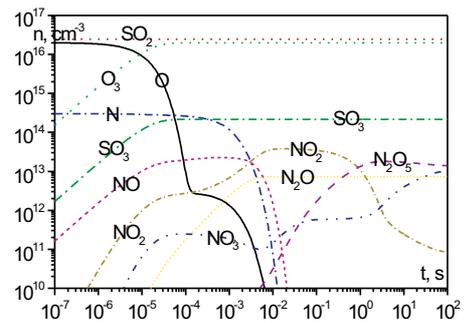


Abb. 5: Zeitliche Entwicklung der Teilchenkonzentrationen nach einem Entladungsimpuls (25 °C, trockene Luft, 1000 ppm SO₂)

Der SO₂-Konversionsprozess verläuft in trockener und in feuchter Luft hauptsächlich über Reaktion (R4). Die Menge der Sauerstoffatome ist durch die Entladungseigenschaften vorgegeben und hängt im wesentlichen nur von der

Menge der in der Entladung umgesetzten elektrischen Energie ab.

Vom Ozonerzeugungsprozess aus Luft ist bekannt, dass unterschiedliche Stickstoffoxide in DBD neben dem Ozon gebildet werden. Die Stickstoffoxide (besonderes NO, NO₂, NO₃) nehmen an zahlreichen Reaktionen mit Sauerstoffatomen teil (R5). Diese Reaktionen verbrauchen Sauerstoffatome und stehen damit in Konkurrenz mit der gewünschten SO₂-Konversionsreaktion (R4).

Der Ratenkoeffizient von (R4) nimmt mit steigender Temperatur zu. Aber dieser Effekt führt nicht zur Erhöhung der Konversionseffizienz in trockener Luft, wenn die Temperatur von 40 auf ca. 100 °C steigt. Bei niedriger Temperatur reagieren die Stickstoffoxide zum Teil zu Stickstoffpentoxid (N₂O₅). N₂O₅ reagiert nicht mit Sauerstoffatomen. Das Stickstoffpentoxid ist bei erhöhten Temperaturen instabil und zerfällt in NO₂ und NO₃. Das Auftreten dieser Oxide ist mit einem Verbrauch von Sauerstoffatomen verbunden, so dass der positive Effekt der Erhöhung des Ratenkoeffizienten von Reaktion (R4) bei einer Temperaturerhöhung ausgeglichen wird.

Bei feuchter Luft als Trägergas und im Temperaturbereich bis 150 °C bilden die Stickstoffoxide Salpetersäure (HNO₃). Bei einer weiteren Temperaturerhöhung zerfällt Salpetersäure wieder in Stickoxide. Aus diesem Verhalten folgt die Existenz von optimalen Temperaturbedingungen für die SO₂-Konversion.

CF₄-Abbau

Tetrafluormethan (CF₄) als Abgas bei der Halbleiterproduktion tritt in Konzentrationen von bis zu wenigen Volumenprozenten in Stickstoff auf. CF₄ ist eine hochstabile Verbindung und kann nur mit wenigen Stoffen wie z. B. atomarem Wasserstoff und gasförmigen Alkalimetallen bei Temperaturen über 1.000 °C reagieren. Die CF₄-Dissoziation ist andererseits im DBD-Plasma durch inelastische Stöße mit hochenergetischen Elektronen möglich. Die Spaltprodukte verbinden sich normalerweise wieder zu Tetrafluormethan. In unseren ersten Versuche wurden die Spaltprodukte der CF₄-Dissoziation unmittelbar gebunden. Dabei wurden Konversionsgrade von bis zu 95 % erreicht.

Quellenverzeichnis

- [1] A. B. Saveliev, A. R. Murtazin, G. J. Pietsch, Proc. 16th International Symposium on Plasma Chemistry, Taormina, Italy - 22-27 June 2003
- [2] A. R. Murtazin, G. J. Pietsch, A. B. Saveliev, Proc. 16th International Symposium on Plasma Chemistry, Taormina, Italy - 22-27 June 2003

Kontakt

Dr. (Rus) Anatoli Saveliev
Dr. (Rus) Ayrat Murtazin
saveliev@ifht.rwth-aachen.de
++49/(0)241/80-94912

Pollution Control with Dielectric Barrier Discharges

Dielectric Barrier Discharges (DBDs) are a source of non-thermal plasmas even at ambient pressure. Electron temperatures reach values of more than 10,000 K while the gas temperature remains usually nearby ambient temperature. Heavy particles (molecules, atoms) are excited and even dissociated through inelastic collisions with electrons. Such plasmas are chemical active and are of high interest for a number of applications, e. g. surface treatment (sterilisation, improvement of adhesion, etching), light production in DBD-lamps and plasma screens, for ozone production and for cleaning of polluted gases.

The decomposition of sulphur dioxide (SO₂) and tetrafluoromethane (CF₄) is investigated within the scope of an EU-Project.

Introduction

In combustion processes the exhaust gases are more or less polluted by sulphur dioxide. In the earth atmosphere sulphur dioxide is oxidised to sulphur trioxide. This substance reacts with atmospheric humidity to sulphuric acid, the cause of acid rain. Conventionally scrubbing flue and waste gases with calcium compositions provides a desulphurisation.

Tetrafluoromethane and similar gases are widely used as etching gases in the semiconductor production process. This gas is harmless for people, however, it is responsible for the heating of the atmosphere (greenhouse effect). The *Global Warming Potential* of this gas is 6,500, and only 1 for CO₂. CF₄ cannot be decomposed in the earth atmosphere in observable time periods, so that it will accumulate in the atmosphere.

This substance could be destroyed in DBDs. In principle two different decomposition mechanisms can be considered. Direct dissociation of harmful gases with electron collisions is one of

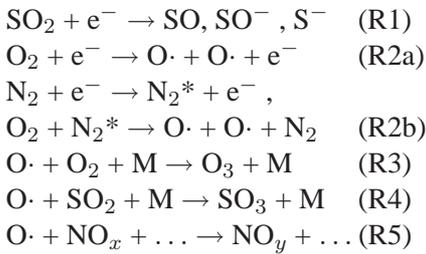
them. The other possibility is reaction with excited particles and/or radicals generated in DBDs.

Basics of SO₂ removal

SO₂ removal was investigated in the concentration range up to 1000 ppm SO₂ in air. A description of SO₂ conversion is developed on the basis of the knowledge of ozone synthesis from air.

The presence of small admixtures of sulphur dioxide does not change the main discharge properties remarkably (e. g. effective field strength and energy distribution function of the electrons). Direct electron impact on SO₂ molecules leads to dissociative attachment e. g. formation of SO, SO⁻ and S⁻ particles (R1 in table 1). On the other hand, electron collisions with air components lead to dissociation of oxygen molecules (R2). Oxygen atoms, which result from this process, react with oxygen molecules to ozone (R3). Oxygen atoms oxidise SO₂ molecules in a simultaneous process (R4).

Table 1: Relevant SO₂ removal reactions



Comparing the cross sections of the processes (R1) to (R4) and taking into account the initial concentrations of the main components one can conclude that the SO₂ dissociation (R1) is much more less probable than the SO₂ oxidation by (R4). The oxidation product, sulphur trioxide, can be scrubbed easily.

Experimental investigation of SO₂ conversion

A special oil cooled DBD reactor has been developed (Fig. 1). The gas concentrations were measured with a FTIR spectrometer with a 2-m gas cuvette. The dependence of the conversion process efficiency on geometrical parameters of the reactor, properties of the electrodes, on temperature and humidity has been investigated.



Fig. 1: Oil cooled DBD reactor

The exposures of the discharge in Figure 2, taken with a sensitive CCD

camera, show the structure of the discharge. It changes, if SO₂ is added to air. With SO₂ the number density of microdischarges is reduced and the spatial discharge distribution becomes inhomogeneous. The effect is more pronounced in humid air. With rising temperature (up to 80 ... 100 °C) the discharge distribution becomes more homogeneous even in the presence of SO₂ and humidity. This effect may be explained by a formation of a conducting SO₃ and/or H₂SO₄ film on the surface of the dielectric electrodes. The conversion efficiency within the DBD reactor decreases in time as the result of a deposition of reaction products on the electrode surfaces. From time to time the reactor must be cleaned.

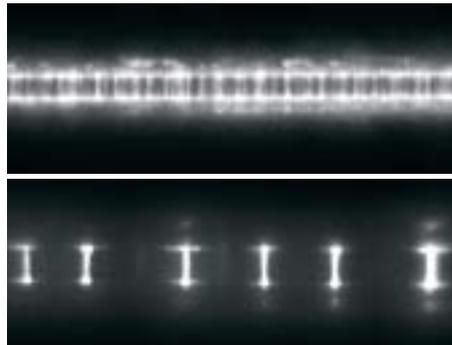


Fig. 2: DBD exposures in dry air (at the top) and in humid air with SO₂ admixture (in the bottom)

In Fig. 3 typical kinetic curves of the SO₂ conversion process are shown. The change of temperature in the range up to 100 °C does not influence the process considerably. The conversion efficiency in humid air is significantly higher (Fig. 4). Moreover, a maximum of conversion efficiency exists in the temperature range between 80 and 150 °C. At optimal conditions an SO₂ conversion degree of 90 % at 3 Wh/Nl and more than 95 % at the energy density of 6 Wh/Nl was reached.

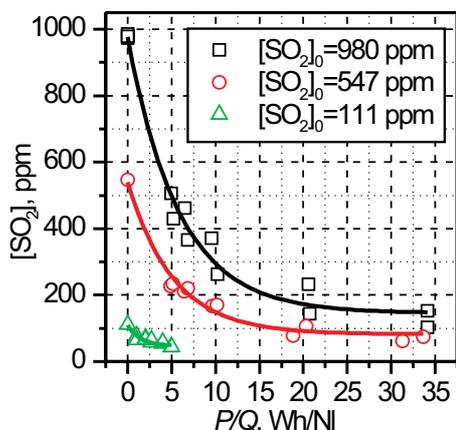


Fig. 3: Kinetic curves of SO_2 -conversion in dry air

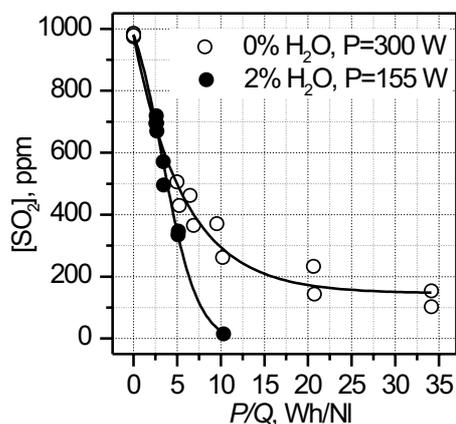


Fig. 4: Kinetic curves of SO_2 -conversion in dry and humid air

Mechanism of SO_2 conversion

The experimental results reveal a large influence of temperature and humidity on the efficiency of the conversion process. The rate coefficients of the electron impact processes (R1) and (R2) do not depend on temperature up to some hundred centigrades. The rate coefficients of the chemical processes (e. g. of R3, R4) are temperature-dependent. A simulation of the chemical kinetics in dry and humid air was performed in order to describe the mechanism of

SO_2 conversion. 160 reactions were taken into account. The boundary conditions (initial concentrations of active particles, which appear during discharge activity) were taken from literature. Figure 5 shows the temporal development of the particle concentrations after a discharge as the result of a simulation.

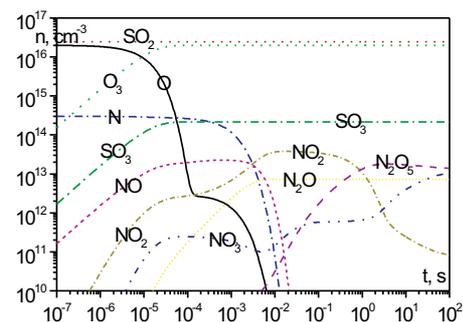


Fig. 5: Temporal development of particle concentrations after a discharge pulse in dry air (25 °C, 1000 ppm SO_2)

Reaction (R4) is mainly responsible for the SO_2 conversion in dry and humid air. The amount of oxygen atoms in the reaction system is determined by the discharge properties and depends mainly on the amount of consumed energy.

From the study of ozone synthesis in air it is known, that different nitrogen oxides appear in parallel to ozone. The nitrogen oxides (first of all NO , NO_2 , NO_3) participate in the consumption of oxygen atoms over numerous reactions (R5). These reactions are competitive to the desired SO_2 conversion process (R4).

The rate coefficient of (R4) increases with temperature. But this effect does not lead to a considerable change of the conversion efficiency in the temperature region from 40 to 100 °C.

Nitrogen oxides combine to nitrogen pentoxide (N_2O_5) at lower temperatures. N_2O_5 does not react with oxygen atoms. Nitrogen pentoxide is unstable at higher temperatures and decomposes to NO_2 and NO_3 . Oxygen atoms are consumed by reactions with these oxides and the positive temperature effect of the increasing rate coefficient of (R4) will be compensated.

If humid air is used as carrier gas nitrogen oxides are partially converted to nitric acid in the temperature region up to $150^\circ C$. At higher temperatures nitric acid decomposes back into nitrogen oxides. From this follows that there must exist optimal temperature conditions.

Decomposition of CF_4

Tetrafluoromethane (CF_4) as exhaust gas of the semiconductor production process appears in the concentration range of up to some vol. % in nitrogen. CF_4 is a rather stable gas and can react only with few substances like e. g. atomic hydrogen and gaseous alkali metals at temperatures above $1,000^\circ C$. On the other hand, dissociation of CF_4 is possible by inelastic collisions with

high energetic electrons in DBD plasmas. In general the reaction products combine to tetrafluoromethane again in a short time. In order to remove CF_4 it is of importance to bind the decomposition products of CF_4 immediately after their generation. Corresponding preliminary experiments have been performed. Conversion degrees of up to 95 % have been reached.

References

- [1] A. B. Saveliev, A. R. Murtazin, G. J. Pietsch, Proc. 16th International Symposium on Plasma Chemistry, Taormina, Italy - 22-27 June 2003
- [2] A. R. Murtazin, G. J. Pietsch, A. B. Saveliev, Proc. 16th International Symposium on Plasma Chemistry, Taormina, Italy - 22-27 June 2003

Contact

Dr. (Rus) Anatoli Saveliev
Dr. (Rus) Ayrat Murtazin
saveliev@ifht.rwth-aachen.de
++49/(0)241/80-94912

Dielektrische Festigkeit der Isolation öl- prägnierter Leistungstransformatoren bei nicht standardisierten Spannungsverläufen

Transiente Überspannungen bei der Prüfung oder im Betrieb von Leistungstransformatoren führen innerhalb der Wicklungen sowie zwischen Wicklungsteilen zu Schwingungsvorgängen unterschiedlicher Frequenz und Spannungsform. Insbesondere die Beanspruchung der Isolation mit gedämpften Schwingungen im Bereich von 10-100 kHz können zur Zeit nicht ausreichend beurteilt werden. Der Einsatz von Online Monitoringsystemen ermöglicht es, die tatsächlich im Betrieb auftretenden Spannungen zu erfassen und deren Auswirkungen auf die elektrische Festigkeit zu untersuchen.

Einleitung

Im Betrieb und bei der Prüfung von Leistungstransformatoren treten unterschiedliche elektrische Beanspruchungen der Isolation auf. Nur der Eingang der gestoßenen Wicklung wird bei der Stoßspannungsprüfung mit der Normwelle $1,2/50 \mu\text{s}$ beansprucht. Im Betrieb, sowie im Inneren des Transformators, treten davon erheblich abweichende Spannungsformen auf. Bei Stoß mit abgeschnittener Welle, oder bei sonstiger hochfrequenter Anregung, treten innerhalb der Wicklung durch Eigenresonanzen signifikante hochfrequente Schwingungen im Bereich bis zu $\approx 1\text{MHz}$ auf. Zwischen den einzelnen Wicklungsteilen, insbesondere bei einseitiger Anlenkung, sind gedämpfte Schwingungen im Bereich einiger 10 kHz typisch. Online Monitoringsysteme ermöglichen es, die im Betrieb an den Durchführungen des Transformators auftretenden Spannungen genau zu erfassen. Die sich aus den äußeren Spannungen ergebenden inneren Beanspruchungen der Isolation können mit Hilfe moderner Programmhilfsmittel berechnet werden.

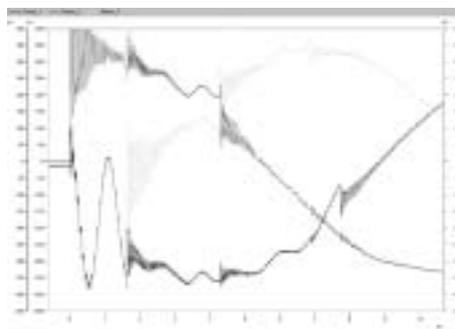


Abb. 1: Mit Online Transientenmonitoringsystem gemessene Spannung bei der Einschaltung eines 600 MVA Maschinentransformators

Dielektrische Festigkeit der Isolation bei standardisierten Beanspruchungen

Bei dem im Öltransformator vorhandenen Mischdielektrikum Papier/Öl/Pressspan, ist das Öl das schwächste Glied und dadurch für die Isolation bestimmend. Da die elektrische Festigkeit von Ölspalten mit wachsender Breite des Kanals abnimmt, ist es erforderlich, große Ölrecken mehrfach in kleine zu unterteilen. Für die Auslegung der Ölspalte werden Festigkeitskurven benutzt, die die TE-Einsatzfeldstärke der Ölkanäle angeben. Zur Ermittlung der Festigkeit

einer Isolierstrecke mit dem $1,2/50 \mu\text{s}$ Normimpuls wird die Festigkeitskurve mit einem festem Faktor multipliziert.

Tatsächlich auftretende Beanspruchungen im Transformator und ihre Auswirkungen auf die elektrische Festigkeit

Während die Auswirkungen von hochfrequenten Beanspruchungen für typische Isolierstoffanordnungen an Isolationsmodellen ausreichend untersucht wurden (z. B. [1]), sind die Auswirkungen von Spannungsschwingungen im Bereich einiger 10 kHz noch nicht erforscht. Es wird vermutet, daß die Beanspruchung mit Spannungen im Frequenzbereich von einigen 10 kHz durch die Dauer und die Wiederholung der Beanspruchung eine besondere Belastung der Isolation darstellt. Diese Frage soll durch Versuchsreihen geklärt werden. Bei diesen Versuchsreihen wird ein Isolationsmodell eines Ölspaltes mit einer schwingenden Spannung unterschiedlicher Dämpfung im Frequenzbereich von 10 bis 100 kHz belastet. Die sich bei diesen Spannungsformen ergebenden Durchschlagspannungen sollen mit denen bei $1,2/50 \mu\text{s}$ verglichen werden. Die inneren Beanspruchungen des Aktivteils als Folge der Spannungsprüfungen werden bei jeder elektrischen Auslegung eines Leistungstransformators berechnet. Von den im Betrieb auftretenden transienten Überspannungen gab es bislang lediglich einzelne Messungen und Daten, die auf Simulationen beruhen. Mit einem Online Monitoringsystem zur transien-

ten Spannungserfassung an Leistungstransformatoren steht ein Werkzeug zur Verfügung, welches es erstmals gestattet, die tatsächlichen äußeren Beanspruchungen über die gesamte Betriebsdauer eines Leistungstransformators zu erfassen. Diese Messergebnisse können als Grundlage zur Berechnung der tatsächlichen inneren Beanspruchungen und deren Bewertung hinsichtlich der elektrischen Festigkeit dienen. Dies soll an Transformatoren, die mit einem Online Monitoringsystem ausgerüstet sind, durchgeführt werden.

Quellen

- [1] Okabe, Kotou Kawashima et al: *dielectric characteristics of oil-filled transformer insulation models under non-standard lightning impulse voltages*, 11th int. Symp. on HV engineering, p. 345-348, ISH 1999
- [2] H. P. Moser Weidmann AG: *Transformerboard*, Special Print of SCIENTIA ELECTRICA
- [3] E. E. Henriksen, CIGRE Working group 12.1: *Study of very fast transients overvoltages in transformers*, Electra No. 179 August 1998

Kontakt

Dipl.-Ing. Michael Rösner
Michael.Roesner@tde.alstom.com
++49 (0)2161 / 944-544

The Electric Strength of the Insulation of Oil Impregnated Power Transformers Under non Standard Wave Shapes

Transient overvoltages during test or operation of power transformers cause within the windings and between winding parts oscillations of different frequency and shape. Particularly the stress of the insulation with damped oscillations in the frequency range of 10-100 kHz can not be assessed sufficiently at present. The use of Online monitoring systems offers to record the voltages which occur during operation and to assess their impact on dielectric strength.

Introduction

During the operation and during test of power transformers, different electrical stresses of the insulation occur. Only the entrance of the winding exposed to lightning impulse voltage is stressed with standard lightning impulse voltage $1,2/50 \mu s$. During operation and inside the transformer, considerably different voltage shapes occur. Under test conditions with chopped wave or if any other highfrequent stimulation is applied, because of the natural frequencies of the windings significant oscillations in the frequency range of up to ≈ 1 MHz occur. Between the separate parts of the winding especially if winding parts are connected only at one side, damped oscillations in the range of several 10 kHz are typical. Online monitoring systems offer to record voltages at the bushings during operation of the transformer precisely. The internal stresses of the insulation caused by use of special software tools.

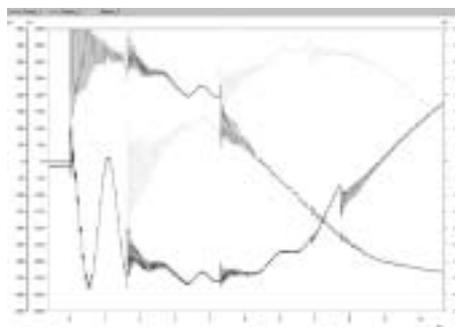


Fig. 1: With Online Transient Monitoringssystem measured voltage during energizing of a 600 MVA generator transformer

The electric strength of the insulation during standardised stresses

Within the mixed dielectrics consisting of paper, oil and pressboard which is found inside an oil immersed transformer, the oil is the weakest part and therefore the governing factor concerning dielectric strength. Because the electric strength of oil gaps gets smaller with growing gap width, it is necessary to divide large oil gaps into several smaller ones. For the dimensioning of the oil gaps during design process, dielectric strength curves, which determine the PD inception voltage of the oil ducts, are used. [2] For the determination of the dielec-

tric strength of an isolating arrangement stressed with the 1,2/50 μ s standard waveshape, the strength curve is multiplied by a fixed factor.

Stresses in real life of the transformer and their consequences for dielectric strength

The impact of stresses for typical arrangements in the MHz frequency range was studied sufficiently with different insulation models [1]. On the other hand the impact of voltage oscillations in the frequency range of several 10 kHz are not yet investigated. It is assumed, that due to the stress of the insulation with voltages in the frequency range of several 10 kHz the duration and the repetition of the stress is a special stress of the insulation. The question of danger of this kind of electrical stress shall be clarified with further investigations. An insulation model of an oil gap will be stressed with an oscillating voltage of variable damping in the frequency range of 10 to 100 kHz. The breakdown voltages for these different voltage shapes shall be compared with those at 1,2/50 μ s standard wave shape. The stresses inside the active part of the transformer as a consequence of the voltage tests are calculated for each electrical layout of a power transformer. For the transient overvoltages which occur during operation of a power transformer, only separate measurements and data achieved

by simulations do exist. With an on-line monitoring system for transformer transient voltage recording, a tool exists which, for the first time, permits to acquire the real outside stresses for the complete lifetime of a power transformer. These measurement results can be used for the calculation of the inner stresses and their assessment concerning dielectric strength. These assessments shall be performed with transformers which are equipped such kind of monitoring system.

Sources

- [1] Okabe, Kotou Kawashima et al: *dielectric characteristics of oil-filled transformer insulation models under non-standard lightning impulse voltages*, 11th int. Symp. on HV engineering, p. 345-348, ISH 1999
- [2] H. P. Moser Weidmann AG: *Transformerboard*, Special Print of SCIENTIA ELECTRICA
- [3] E. E. Henriksen, CIGRE Working group 12.1: *Study of very fast transients overvoltages in transformers*, Electra No. 179 August 1998

Contact

Dipl.-Ing. Michael Rösner
Michael.Roesner@tde.alstom.com
++49 (0)2161 / 944-544

Basisuntersuchungen zum Abschaltvermögen von Generatorleistungsschaltern

Im Zuge der Errichtung von Kraftwerken mit installierten Leistungen im Gigawatt - Bereich, wobei die einzelnen Maschinenleistungen zwischen 500 - 2000 Megawatt betragen können, sind zur Gewährleistung der Sicherheitsanforderungen der Betreiber Leistungsschalter höchster Schaltleistung notwendig. Um diesen Anforderungen zum Schutz von Generatoren und Blocktransformatoren gerecht zu werden, führt man Untersuchungen zur Optimierung der Schaltperformance von SF₆-Generatorleistungsschaltern durch.

Einleitung

Generatorleistungsschalter werden zum Schutz der Primärkomponenten eines Kraftwerks eingesetzt. SF₆-Selbstblusschalter [1] nutzen hierbei die im Lichtbogen umgesetzte Energie, um den Druckgradienten zu erzeugen, der für die Löschung beim Stromnulldurchgang nötig ist. Dies wird durch unterschiedliche Prinzipien realisiert. Bei kleineren installierten Leistungen (< 300 MVA) wird das Selbstblasprinzip, bei mittleren Leistungen (400-800 MVA) wird zur zusätzlichen Druckerhöhung das Prinzip des rotierenden Lichtbogens [2] eingesetzt und bei den höchsten Leistungen (> 800 MVA) wird der Pincheffekt zur Druckerzeugung ausgenutzt [3]. Die so erzeugte Kühlströmung gewährleistet die Verlöschung des Bogens und die Wiederherstellung der Spannungsfestigkeit im Bereich des Stromnulldurchgangs. Da eine erfolgreiche Abschaltung nicht nur vom Druckgradienten, sondern auch von der Löschgastemperatur und dem umgebenden Netzwerk abhängt, ist das Verständnis der physikalischen Prozesse Grundvoraussetzung zur Optimierung solcher Schalter. Basisuntersuchungen zum Abschaltvermögen von SF₆-Generatorleistungsschaltern in einem synthetischen Prüfkreis sollen durch gezielte Parametervariation von Druck, Temperatur und Prüfkreisim-

pedanz neue Erkenntnisse zur Optimierung des Schaltvermögens durch effizientere Ausnutzung der physikalischen Vorgänge liefern.

Experimenteller Aufbau

Diese Arbeit wird am Forschungszentrum der ABB Schweiz AG in Baden (CH) durchgeführt. Ein synthetischer Prüfkreis nach Weil-Dobke wurde zu diesem Zweck aufgebaut.

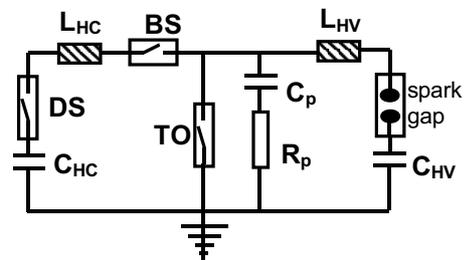


Abb. 1: Schema des Prüfkreises: TO - Testobjekt, BS - Blockierschalter, DS - Draufschanter, C_{HC}L_{HC} - Hochstromschwingkreis, C_{HV}L_{HV} - Hochspannungsschwingkreis, C_pR_p - Koppelkreis

Um die physikalischen Prozesse rund um den Stromnulldurchgang untersuchen zu können, wird ein Nachstrommesssystem eingesetzt. Dieses besteht aus zwei unabhängigen Stromsonden, die als gewickelte Kerne aus hysteresarmen Material mit einer Beschaltung von antiparallelen Dioden aus-

geführt sind. Zur galvanischen Entkopplung dieser Messeinheiten werden analoge Lichtwellenleiterübertragungsstrecken (30 MHz) benutzt. Zur Messung von Lichtbogen- und Wiederkehrspannung stehen ohmsch - kapazitive Teiler zur Verfügung. Weiterhin wird ein niederinduktiver Widerstand ($414 \mu\Omega$) zur Strommessung eingesetzt. Die Druckmessungen werden mit piezoresistiven Druckaufnehmern realisiert. Da die Strömungsverhältnisse bei der Betrachtung des Abschaltvermögens entscheidend sind, werden die Experimente an einem ABB-Serienschalter durchgeführt. Um die erforderlichen Messungen in diesem Testobjekt zu realisieren, wurde der Schalter mit Adaptionen und Modifikationen versehen.

Messergebnisse

Im oben beschriebenen synthetischen Prüfkreis können Ströme von bis zu 90 kA_{peak} und Spannungen von bis zu 180 kV_{peak} erreicht werden.

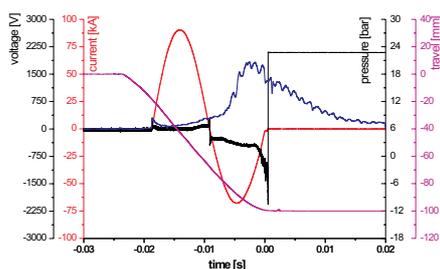


Abb. 2: Messungen in der Hochstromphase

Die ersten Messungen zeigen, dass sich im Bereich um Stromnull sowohl Spannung als auch Strom hinreichend genau auswerten lassen, um eine Bestimmung des Lichtbogenwiderstands vorzunehmen [5].

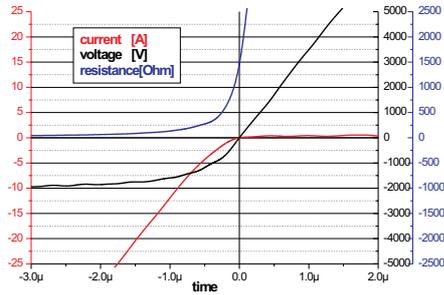


Abb. 3: Messungen bei Stromnull

Ausblick

Im weiteren Vorgehen soll durch gezielte Parametervariation von Druck, Temperatur und Prüfkreisimpedanz ein besseres Verständnis des Abschaltverhaltens von SF₆-Leistungsschaltern aufgebaut werden. Weiterhin sollen durch diese Untersuchung Optimierungspotentiale im Hinblick auf das Schaltvermögen aufgedeckt und evaluiert werden. Basierend darauf wird angestrebt, den Schaltlichtbogen durch eine physikalische Modellierung hinreichend genau zu beschreiben.

Quellen

- [1] T. Ushio et al., IEEE Trans. On power apparatus a, systems, 1981
- [2] E. Schade et al., CIRED, IEE Conf. Publ. No. 151, 1977
- [3] T. Schoenemann et al., SEV Bulletin, 2001
- [4] H. Knobloch et al., ISH, 1999

Kontakt

Dipl.-Ing. Alexander Steffens
alexander.steffens@ch.abb.com
++41 (0) 58 / 58 - 68312

Basic Investigations on Generator Circuit Breakers Interruption Capability

In course of the establishment of power stations with installed powers in Gigawatt-range, whereby the individual engine power is amounted to 500 - 2000 MW, circuit breakers of highest interruption performance are required to guarantee operators' safety requirements. In order to fulfill these protection requirements of generators and block transformers investigations for optimisations of the switching performance of generator circuit breakers will be carried out.

Introduction

Generator circuit breakers are used to protect the primary components of power stations. Here SF₆-Selfblast breakers [1] use the energy converted in the arc in order to produce the required pressure gradient, and after current zero to withstand the transient recovery voltage. This is realised by different principles. For smaller installed power ratings (< 300 MVA) the selfblast principle, for middle range power ratings (400 - 800 MVA) the rotating arc principle is used [2] and for highest power ratings (> 800 MVA) the pinch effect is used for additional compression [3]. This in such a way generated cooling flux ensures a quenching of the arc and a re-establishing of the tension strain within the range of current zero. Since a successful interruption not only depends on pressure gradient, but also on the quenching gas temperature and the surrounding network, the understanding of the physical processes is basic condition for optimisation of such breakers. Basic investigations on interruption capability of SF₆ generator circuit breakers in a synthetic test setup are made to develop new designs by several parameter variations of pressure, gas flow temperature and circuit impedance for the optimisation of switching capacity by

more efficient utilisation of the physical procedures.

Experimental Setup

The investigations are carried out at the research centre of ABB Switzerland AG in Baden (CH), where a Weil-Dobke synthetic test setup was built.

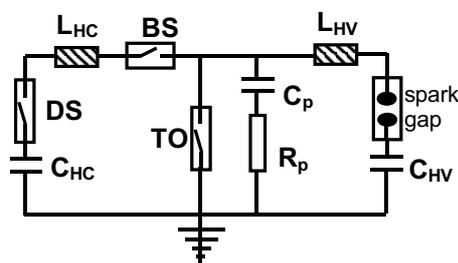


Fig. 1: Sketch of test setup: TO - Testobject, BS - blocking breaker, DS - making breaker, $C_{HC}L_{HC}$ - high current circuit, $C_{HV}L_{HV}$ - high voltage circuit, $C_P R_P$ - coupling circuit

In order to be able to examine the physical processes around current zero a post arc current monitoring system is used. This consists of two independent current probes, which are implemented as wounded cores of hysteresis-poor material and antiparallel diodes to prevent saturation. For galvanic uncoupling of these measurement devices analogue fibre optical transmission links (30 MHz) are used. To measure arc- and recovery-voltage ohmic-

capacitive dividers stand for order. Further on, a less inductive resistance ($414 \mu\Omega$) is used for current measurement. Pressure measurements are realised by piezoresistive sensors. Since the flow conditions are crucial with the view of the interruption capability, the experiments at a serial breaker of ABB are accomplished. To realise the measurements inside such test object the breaker has been modified accordingly.

Outlook

In further investigation a better understanding of the interruption behaviour of SF₆-circuit breakers has to be developed by variation of parameters like pressure, gas flow temperature and circuit impedance. Further on optimisation potentials are to be uncovered and evaluated regarding switching performance. Based on these results it is aimed to describe the switching arc sufficiently exact by physical models.

Results

In the synthetic test circuit described above peak current values of about 90 kA and peak recovery voltages of 180 kV can be realised.

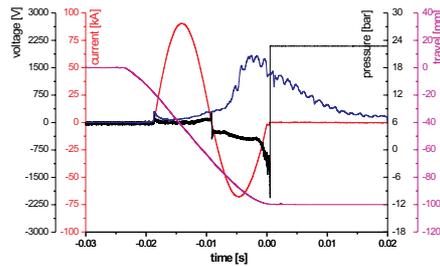


Fig. 2: Measurements in high current phase

First measurements show that within the range of current zero both voltage and current can be evaluated sufficiently exact to determine the arc resistance [5].

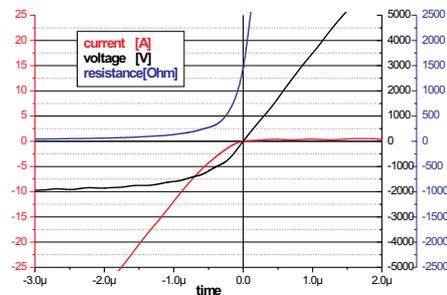


Fig. 3: Measurements around current zero

References

- [1] T. Ushio et al., IEEE Trans. On power apparatus a, systems, 1981
- [2] E. Schade et al., CIREN, IEE Conf. Publ. No. 151, 1977
- [3] T. Schoenemann et al., SEV Bulletin, 2001
- [4] H. Knobloch et al., ISH, 1999

Contact

Dipl.-Ing. Alexander Steffens
 alexander.steffens@ch.abb.com
 ++41 (0) 58 / 58 - 68312

Modellierung des Plasmas in Vakuum-Leistungsschaltern unter Berücksichtigung axialer Magnetfelder

Tag der mündlichen Prüfung: 14. Februar 2003

Berichter: Univ.-Prof. Dr.-Ing. Armin Schnettler
Prof. Dr. Ing. M. Lindmayer

Eine zentrale Aufgabe von Leistungsschaltern ist die Unterbrechung von Kurzschlussströmen, die in Mittelspannungsnetzen Werte um 50 kA erreichen können. Das eigentliche Schaltelement ist dabei der bei der Kontakttrennung entstehende Lichtbogen. Vakuum-Leistungsschalter werden typischerweise bis zu einer Bemessungs-Spannung von 36 kV und einem Bemessungs-Kurzschlussstrom von 50 kA eingesetzt. Das hohe Schaltvermögen von AMF-Kontakten beruht auf der Stabilisierung des Vakuumschaltlichtbogens durch das axiale Magnetfeld. Mit Hilfe einer Computer-Simulation wird im Rahmen dieser Arbeit der Einfluss axialer Magnetfelder auf die Entladungsformen von Hochstromvakuumlichtbögen untersucht. Wesentliche Ziele sind dabei die Ermittlung der wichtigen Plasmaparameter wie Ladungsdichte, Stromdichte und interne Felder, die Erfassung der Bildungszeit der Anodenflecken sowie eine Abschätzung der Einflussgrößen.

Ziel der Arbeit

Ziel der Arbeit ist es, neue Wege neben den vom lokalen thermodynamischen Gleichgewicht ausgehenden Fluidmodellen für die Plasmasimulation aufzuzeigen und Lösungsansätze zu liefern. Damit kann auf möglichst breiter Basis zur Charakterisierung des Schaltverhaltens von AMF-Kontakten in Vakuum-Leistungsschaltern beigetragen werden. Hauptaugenmerk wird dabei auf die physikalische Modellbildung und die Umsetzung in einen numerischen Algorithmus bzw. die Implementierung gelegt. Dies erfordert die Behandlung hochdimensionaler, nichtlinearer partieller Differentialgleichungen, wobei hohe Anforderungen an Stabilität, Konvergenzverhalten und Effizienz des numerischen Algorithmus gestellt werden müssen. Da nicht, wie bei Fluid-Rechnungen, auf bestehende Software bzw. kommerzielle

Gleichungslöser zurückgegriffen werden kann, wurde das gesamte Simulationsprogramm neu entwickelt. Diese Aufgabe umfasst die theoretische Modellbildung, die numerische Integration der Differentialgleichungen, die Berechnung der Felder, Driffterme, Stoßterme, Ladungsdichte und Stromdichte, Daten-Eingabe und Ausgabe und die Visualisierung der Ergebnisse. Es ist darauf zu achten, dass die Rechenzeit unter den gegebenen Bedingungen eine akzeptable Dauer von wenigen Tagen nicht übersteigt. Dies erfordert Vereinfachungen im Modell, deren Auswirkungen auf das Ergebnis genau bedacht werden müssen.

Physik und Numerik

Zur Beschreibung der Teilchenbewegung wird ein kinetischer Ansatz verwendet. Die Lösung der kinetischen Gleichung 1, die aus der Boltzmann-

Gleichung und dem Stoßterm K besteht, erfolgt nach der Methode der Charakteristiken, der Semi-Lagrange Methode.

$$\frac{\partial f}{\partial t} + \vec{v} \cdot \nabla f - \frac{q}{m} (\vec{E} + (\vec{v} \times \vec{B})) \cdot \nabla_v f = K \quad (1)$$

Dabei wird die Verteilungsfunktion f der Teilchen als Dichtefunktion einer inkompressiblen Flüssigkeit im Phasenraum angesehen. Die Lösung der kinetischen Gleichung erfolgt in einzelnen Schritten für jede Phasenraumkomponente einzeln (Operator Splitting). Zur Einsparung von Rechenzeit wird Driftkinetik für die Elektronen und Electron-Sub-Cycling für die Ionen verwendet.

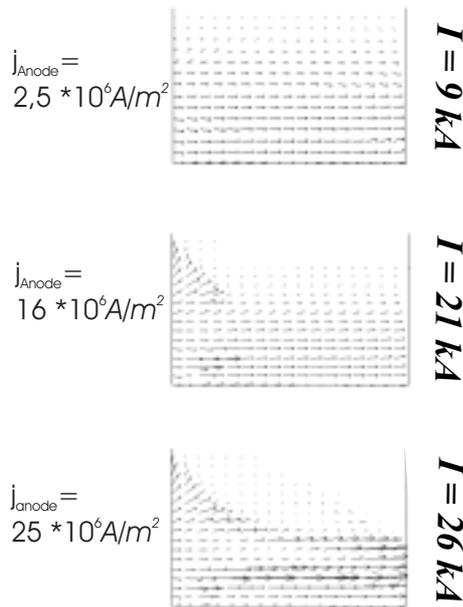


Abb. 1: Simulierte Stromdichte

Kontraktionsverhalten in Abhängigkeit von der Stromstärke

Als Simulationsbeispiel dient ein Topfkontaktssystem mit vier Schlitz in Kontakt und Kontaktplatte mit einem Plattendurchmesser von $6,8 \text{ cm}$ und einem Kontaktabstand von $1,2 \text{ cm}$. Abb. 1 zeigt die simulierte Stromdichte bei 9 kA , 21 kA und 26 kA . Sie ist bei 9 kA homogen im Kontaktpalt verteilt. Bei 21 kA ist bereits eine Verschiebung der Stromdichte zur Symmetrieachse hin zu erkennen, die bei 26 kA noch weiter ausgeprägt ist.

In Abb. 2 ist der vom Lichtbogen genutzte Anodenbereich, also der Grad der Einschnürung vor der Anode, in Abhängigkeit von der Stromstärke zu sehen. Bei Strömen unterhalb von 10 kA ergibt sich eine diffuse Plasmapverteilung. Zwischen 10 kA und 20 kA verschiebt sich die Stromdichte leicht zur Achse hin. Ab ca. 20 kA ergibt die Simulation eine zunehmende Einschnürung vor der Anode. Dieses Kontraktionsverhalten des Lichtbogens wird im Rahmen dieser Arbeit experimententell bestätigt.

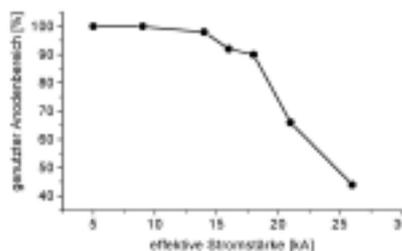


Abb. 2: Grad der Einschnürung vor der Anode

Axiales Magnetfeld und Lichtbogenkontraktion

Das beim Stromfluss durch die AMF-Kontakte erzeugte axiale Magnetfeld wird bei der Modellierung extern vorgegeben, da das Simulationsprogramm nicht das Kontaktsystem beschreibt sondern ausschließlich das Lichtbogenplasma im interelektrodischen Raum. Es wird im Rahmen dieser Arbeit mit Hilfe des Simulationsprogrammes *Maxwell* für verschiedene Geometrien des unipolaren AMF-Kontaktes berechnet. Abb. 3 zeigt das axiale Magnetfeld in Abhängigkeit von der Schlitzanzahl.

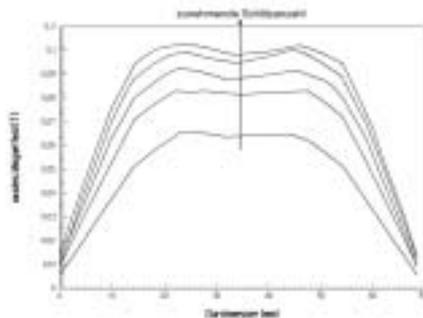


Abb. 3: Axiales Magnetfeld für die Schlitzanzahlen (Kontakt und Kontaktplatte) 3, 4, 5, 6, 8

Mit Hilfe des Plasma-Simulationsprogrammes wird für die jeweiligen Magnetfelder ermittelt, bei welcher Stromstärke I_{crit} eine Bogeneinschnürung vor der Anode einsetzt. Abb. 4 zeigt I_{crit} in Abhängigkeit vom Neigungswinkel und Abb. 5 als Funktion der Kontaktschlitzzahl. Je kleiner der Neigungswinkel und die Anzahl der Schlitzte, um so kleiner der Strom, bei dem die Plasmaeinschnürung einsetzt.

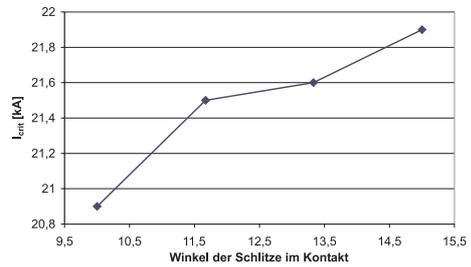


Abb. 4: I_{crit} in Abhängigkeit vom Neigungswinkel bei 6 Kontaktschlitzten

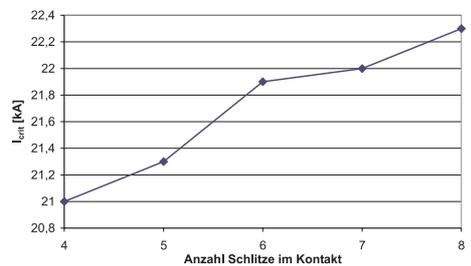


Abb. 5: I_{crit} im Abhängigkeit von der Schlitzanzahl bei einem Neigungswinkel von 15°

Experimentelle Validierung

Die Modellierung derart komplexer Zusammenhänge, wie sie im Vakuum-Schaltplasma herrschen, bedarf unbedingt einer experimentellen Validierung. Zu diesem Zweck werden im Rahmen dieser Arbeit die Auswirkungen des eigengenerierten Magnetfeldes eines exemplarisch ausgewählten unipolaren AMF-Kontaktes mit Hilfe optischer Methoden untersucht. Die Konturen von simulierter Stromdichte und aufgenommenem Bogen können qualitativ verglichen werden. In Modellierung und Experiment lässt sich der Lichtbogen im Bereich von $I = 20 \text{ kA}$ bis $I = 35 \text{ kA}$ in zwei Bereiche einteilen: Im Bereich vor der Kathode verläuft der Bogen kegelförmig, wobei die Kontur nur eine geringe Stromabhängigkeit aufweist. Der

kegelförmige Bogen geht zur Anode hin in einen zylinderförmigen Verlauf über, wobei der Durchmesser stromabhängig ist. Außerdem wird festgestellt, dass das prinzipielle Kontraktionsverhalten, d. h. die notwendige Stromstärke, die zu einer Plasmaeinschnürung führt, in Simulation und Experiment übereinstimmt. Abb. 6 zeigt den simulativ bzw. experimentell ermittelten Durchmesser des zylinderförmigen Lichtbogenbereiches bezogen auf den Durchmesser bei 26 kA. Die Kurven stimmen gut überein. Es ergibt sich eine Abweichung von etwa 15%. Das im Rahmen dieser Arbeit entwickelte Simulationsprogramm ist demnach in der Lage, das prinzipielle Kontraktionsverhalten qualitativ richtig zu beschreiben.

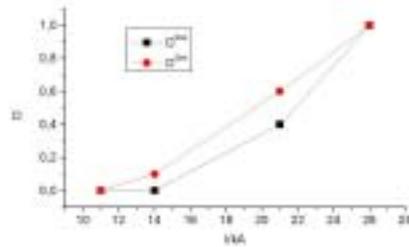


Abb. 6: Normierter Lichtbogendurchmesser in Abhängigkeit von der Stromstärke

Kontakt

Dr.-Ing. Kerstin Jenkes
kerstin.jenkes@arcor.de

Ultraschall Diagnostik als neues Verfahren zur Zustandsbewertung elastomerer Isolierstoffe in Energiekabelsystemen

Tag der mündlichen Prüfung: 01. August 2003

Berichter: Univ.-Prof. Dr.-Ing. Armin Schnettler
 Univ.-Prof. Dr.-Ing. Ernst Gockenbach

Die Ultraschall Diagnostik wird als Verfahren zur Zustandsbewertung elastomerer Isolierstoffe für Energiekabelgarnituren untersucht [1]. Die Nachweisbarkeit wesentlicher, hinsichtlich ihres Einflusses auf das Isolationsvermögen problematischer Effekte kann dabei gezeigt werden. In diesem Zusammenhang werden grundlegende Anforderungen an die Ultraschall Diagnostik für eine Anwendung zur Zustandsbewertung definiert und insbesondere hinsichtlich eines möglichen industriellen Einsatzes verifiziert.

Einleitung

Im Bereich der Energiekabel ist mit der Verwendung polymerer Isolierstoffe eine Entwicklung in Gang gesetzt worden, die mittlerweile einen Einsatz derartig isolierter Kabel auch für höchste Spannungsebenen ermöglicht. Damit ging die Notwendigkeit einher, eine zugehörige Garniturentechnik (Muffen, Endverschlüsse) zu entwickeln. Es hat sich herausgestellt, dass hier als Isoliermaterialien die elastomeren Kunststoffe Silikonkautschuk und Ethylen-Propylen-Dien-Elastomer (EPDM) hervorragend geeignet sind. Die Garniturenfertigung unter Verwendung dieser Polymere ist im Mittelspannungsbereich heutzutage Standard, im Hoch- und Höchstspannungsbereich hat sich der Einsatz ebenfalls bereits bewährt, es besteht hier jedoch noch weiterer Entwicklungs- und insbesondere Optimierungsbedarf.

Die Garniturentechnik gilt, hauptsächlich aufgrund der komplexen Geometrie und den damit verbundenen komplizierteren Produktionsbedingungen,

als ein potenzieller Schwachpunkt im Bereich der Energiekabelsysteme. Die Einflussfaktoren bezüglich des Isolationsvermögens unterscheiden sich wegen der grundsätzlich anders gearteten Produktions-, Lager- und Montagebedingungen teilweise erheblich vom Energiekabel. Beispiele sind Gaseinschlüsse im Isoliervolumen und eine inhomogene oder unvollständige Vernetzung des Elastomers.

Zustandsbewertung

Aus den genannten Gründen ist es gerade im Bereich der Garniturentechnik notwendig, Messverfahren zur Verfügung zu stellen, die ein möglichst umfassendes Bild vom Zustand der Isoliermaterialien und der daraus hergestellten Komponenten liefern. Das Einsatzspektrum reicht dabei von der Kontrolle nach der Produktion (Qualitätskontrolle) über die Überprüfung der Montagequalität bis hin zum Monitoring im laufenden Betrieb. Dabei müssen möglichst viele der potenziellen Einflüsse auf das Isolationsvermögen detektierbar sein. Zudem ist es notwen-

dig, dass die Messwerterfassung nicht-destruktiv erfolgt und die Möglichkeit zur Ortsauflösung gegeben ist. Bislang erfüllen die gängigen Verfahren zur Zustandsbewertung wie z. B. die Teilentladungsdiagnose lediglich teilweise diese Bedingungen.

Ein alternatives Verfahren ist die Ultraschalldiagnostik. Sie erfüllt per definitionem eine Reihe der genannten Anforderungen an Verfahren zur Zustandsbewertung. Zudem bestätigen Untersuchungen verschiedener Forschungsgruppen zu dieser Thematik die prinzipielle Anwendbarkeit. Diese Arbeiten beschränken sich jedoch bislang auf harte Materialien wie Polyethylen und Epoxidharze, während weiche, stärker schallabsorbierende Elastomere unberücksichtigt bleiben.

Messtechnik

Die Ultraschallanalyse beruht auf dem Prinzip der Einkopplung von Ultraschallwellen (1 - 20 MHz) in das zu prüfende Objekt mittels eines Prüfkopfs und der anschließenden Amplituden- und Laufzeitdetektion des zum Prüfkopf zurückreflektierten Schalls. Wie Abbildung 1 zeigt, können Reflexionen von unbekanntem Fehlstellen (z. B. Microvoids) verursacht werden. Die Amplitude erlaubt in diesem Fall Aussagen über die Größe der Fehlstelle, die Laufzeit gibt ihre Tiefenlage an. Andererseits treten auch Reflexionen an bekannten Grenzschichten wie beispielsweise der Rückwand des Prüfobjekts auf. In diesem Fall kann die gemessene Amplitude Auskünfte über Schwächungsmechanismen im Prüfkörper geben. Die Laufzeit gibt Aufschluss über die Schallgeschwindigkeit, was Rückschlüsse auf Effekte zulässt, die

auf diese Größe wirken (z. B. Unterschiede im Vernetzungsgrad).

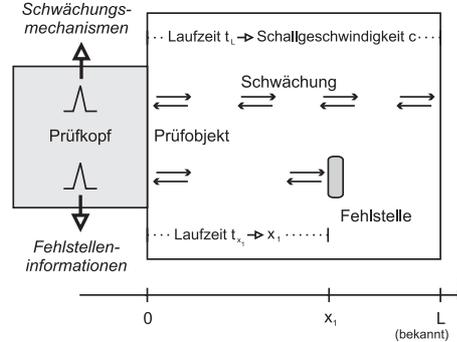


Abb. 1: Prinzip der Ultraschallanalyse

Im Rahmen der Arbeit wird ein Ultraschall-Versuchsstand aufgebaut. Die Ergänzung dieses Messstandes durch ein Mikropositioniersystem für die Ultraschall-Prüfköpfe macht das gezielte Anfahren beliebiger Positionen auf der Oberfläche des Prüfobjekts möglich. Die Entwicklung einer geeigneten Ansteuersoftware gestattet die Durchführung automatisierter Ultraschallmessungen, in deren Verlauf die Prüflingsoberfläche mit einer minimalen Schrittweite von fünfzig Mikrometern abgescannt wird. Der Messstand erlaubt dabei nicht nur die Untersuchung von Laborprüflingen mit standardisierten Maßen, sondern ist hinsichtlich der Prüfobjekt-Geometrie weitgehend flexibel. Insbesondere ist es möglich, industrielle Objekte wie Isolierkörper von Hochspannungsmuffen zu untersuchen. Abbildung 2 zeigt den kompletten Versuchsstand.

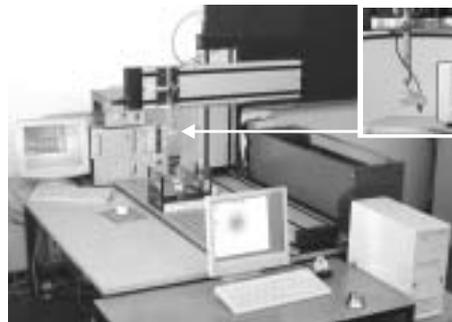


Abb. 2: Automatisierter Ultraschall-Versuchsstand

Ergebnisse

Die mittels einer Ultraschallmessung detektierte Echoamplitude einer eingeschlossenen Fehlstelle hängt von einer Vielzahl von Parametern ab. Ein Beispiel ist die Tiefenlage der Inhomogenität, da es im Prüfkörper zu einer lafstreckenabhängigen Dämpfung des Schalls kommt. Die theoretisch vorhergesagte Form einer exponentiellen Amplitudendämpfung kann experimentell bestätigt werden. In diesem Zusammenhang werden zudem Unterschiede zwischen den Prüfköpfen, die aufgrund unterschiedlicher Kennwerte (Frequenzspektrum, Fokussierung) zu erwarten sind, verifiziert.

Ein weiterer wesentlicher Einfluss besteht in der Größe der Fehlstelle. Analysen hierzu ergeben eine niedrigere Echoamplitude bei geringerem Fehlstellendurchmesser, was den Erwartungen entspricht. Eine Kombination dieser Ergebnisse mit den Resultaten der Dämpfungsuntersuchungen führt zu Aussagen über das Auflösungsvermögen, welches mit ca. 100 µm Fehlstellenausdehnung in einer Tiefe von knapp 30 mm in einem Bereich liegt, der für industriennahe Anwendungen von hohem Interesse ist (vgl. Abbildung 3).

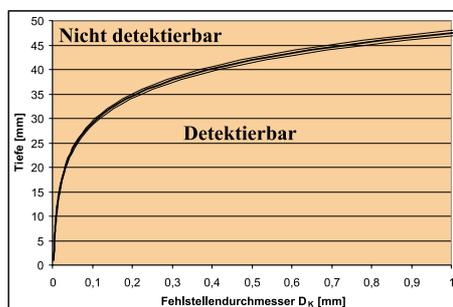


Abb. 3: Auflösungsvermögen (5 MHz)
Starke Reflektoren wie beispielsweise großflächige Grenzschichten, die sich in der Nähe singulärer Fehlstellen befinden, können aufgrund ihrer starken

Echosignale die Detektion kleiner Inhomogenitäten negativ beeinflussen. Es wird nachgewiesen, dass ab einem lichten Abstand von 100 µm zwischen einer Fehlstelle und einer derartigen Grenzschicht kein Unterschied hinsichtlich der Detektierbarkeit zu Messungen ohne Grenzschichten besteht. Hinsichtlich der Untersuchung des Spektrums detektierbarer Schädigungsformen wird ein Schwerpunkt auf die Analyse singulärer Fehlstellen wie eingeschlossener Luftblasen gelegt. Es wird gezeigt, dass derartige Inhomogenitäten detektiert werden können. Die Durchführung eines Scannings des Prüfkörpers macht zudem eine Lokalisierung der Fehlstellen im Prüfobjekt möglich. Die Auswertung der Messergebnisse erfolgt aufgrund der hohen Anzahl der bei einem Scanning anfallenden Einzelmessungen automatisiert. Zu diesem Zweck werden leistungsfähige Auswertungsroutinen entwickelt, die die Einzelmessungen unter anderem hinsichtlich ihrer Echoamplitude untersuchen, wie Abbildung 4 beispielhaft an einem Silikonprüfling mit eingeschlossener Fehlstelle zeigt.

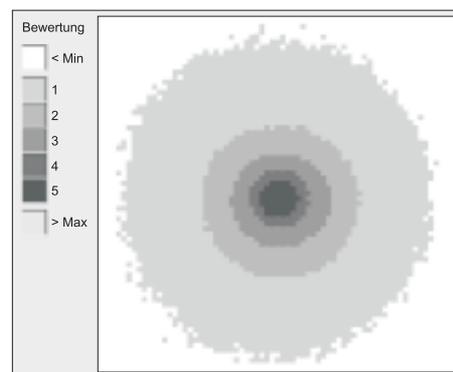


Abb. 4: Scanning einer eingeschlossenen Fehlstelle
Durch den Einsatz verschiedener Verfahren aus dem Bereich der Bildverarbeitung gelingt es, in einer anschließenden automatischen Auswertung

tung vorhandene Objekte im Prüfkörper zu erkennen, um zusätzlich eine Bewertung nach Ausdehnung, Form und Lage der Inhomogenitäten zu ermöglichen. Ein zweiter Schwerpunkt wird auf den Bereich volumenwirksamer Effekte gelegt. Dazu zählen insbesondere eine unvollständige sowie eine inhomogene Vernetzung des Elastomers. Es wird sowohl für Laborprüfkörper als auch für industrielle Formteile gezeigt, dass Unterschiede im Vernetzungsgrad aufgrund der damit verbundenen Änderungen der Schallgeschwindigkeit nachgewiesen werden können. Auch Teilbereiche unvollständiger Vernetzung in einem ansonsten vollständig vernetzten Isolierkörper sind detektierbar.

Darüber hinaus wird die Auswirkung mechanischer Beanspruchungen auf elastomere Isolierkörper untersucht. Es kann gezeigt werden, dass diese im Bereich der Kaltschrumpftechnik auftretende Belastungsform ebenfalls mittels Ultraschallanalysen detektierbar ist, da die Schallgeschwindigkeit mit elastischen Kenngrößen des Ausbreitungsmediums verknüpft ist. Dieses Kenntnis wird dazu genutzt, Untersuchungen zur Reversibilität starker mechanischer Beanspruchungen durchzuführen. Die Ergebnisse der an industriell gefertigten Muffen durchgeführten Versuche zeigen, dass eine in ihrem Ausmaß von der Lagertemperatur abhängige Nicht-Reversibilität vorliegt. In Anbetracht eines möglichen industriellen Einsatzes der Ultraschalldiagnostik werden Untersuchungen auch an Isolierkörpern von Hochspannungsmuffen durchgeführt. Entsprechende Messungen beim Hersteller belegen die Detektierbarkeit von singulären Inhomogenitäten. Die vorgenommenen Bewertungen der Muffen sind durch nachfolgende elektrische Tests bestä-

tigt worden.

Speziell für die Tauchtechnikuntersuchung großvolumiger Prüfkörper wird eine Messmethode entwickelt, die in einem ersten Schritt die Oberfläche des Prüflings grob abscannt und in einem zweiten Schritt automatisch Bereiche, die bei der ersten Messung hinsichtlich vorhandener Echosignale auffällig gewesen sind, mit einer feineren Rasterung erneut untersucht (vgl. Abbildung 5). Die Ergebnisse zeigen, dass eine Anwendung der Ultraschalldiagnostik im Rahmen einer industriellen Qualitätskontrolle möglich ist und mit geringen Mitteln realisiert werden kann.

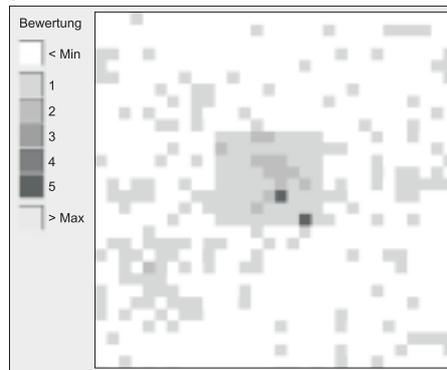


Abb. 5: Detailuntersuchung einer Fehlstelle in einer Hochspannungsmuffe

Quellen

- [1] C. Cornelissen, *Ultraschalldiagnostik als neues Verfahren zur Zustandsbewertung elastomerer Isolierstoffe in Energiekabelsystemen*, Institut für Hochspannungstechnik, RWTH Aachen, Dissertation, 2003

Kontakt

Dr.-Ing. Christian Cornelissen
 cornelissen@ifht.rwth-aachen.de
 ++49/(0)241/80-94940

Ultrasonic as a New Technique for Condition Assessment of Elastomeric Insulation Materials in Power Cable Systems

Day of the oral examination: August, 1st, 2003

Reporter: Univ.-Prof. Dr.-Ing. Armin Schnettler
 Univ.-Prof. Dr.-Ing. Ernst Gockenbach

Ultrasonic diagnosis is analysed as a method for condition assessment of elastomeric insulation materials for power cable accessories [1]. It is possible to identify the most critical effects regarding a potential lowering of the insulation behaviour. In this context the basic demands on ultrasonic diagnosis for an use of condition assessment are defined and – especially regarding a possible industrial use – verified.

Introduction

In the field of power cable systems the use of polymeric insulation materials led to an application of cables isolated in such a way even for the highest voltage levels. Therewith the need of developing appropriate accessories (joints, terminations) came along. It turned out, that for this reason the elastomeric materials silicone rubber and ethylen-propylene-dien-elastomer (EPDM) are most suitable. The production of accessories using these elastomers is standard meanwhile for medium-voltage systems. For high-voltage systems it is also approved, whereby in this scope is still a need of development and primarily optimisation.

Due to the complex geometry and the complicated conditions of the fabrication process coming along with this, the accessories are still considered as a potential weak point in the field of power cable systems. The influencing factors regarding the insulation behaviour differ from the power

cable itself due to basically different conditions of fabrication, storage and installation. Examples are included gas-filled microvoids in the insulation body and inhomogeneous or incomplete crosslinking of the elastomeric material.

Condition Assessment

Based on the reasons mentioned above it is – especially in the field of accessories – necessary to develop methods, which are able to deliver a detailed report of the condition of the insulation materials and the components made of them. The spectrum of application for such techniques covers the assessment of the fabricated items in the factory as well as an inspection of the installation quality and a monitoring during service time. In doing so as much potential influences on the insulation behaviour as possible should be detectable. Furthermore it is necessary to have a non-destructive measured-data acquisition and the feasibility of a spatial-resolved analysis. So far current techniques of

condition assessment (for example partial discharge measurements) only fulfil these requirements in parts. An alternative method is the ultrasonic diagnosis. It satisfies a series of the mentioned requirements on methods of condition assessment. Furthermore reports from other research groups confirm its principal application. However until now these research activities are still limited to hard materials like polyethylene or epoxy resin, whereas soft elastomeric materials with a high damping of sound are not considered yet.

Experimental equipment

Ultrasonic analysis is based on the penetration of the test sample with ultrasonic waves (1 - 20 MHz) by an ultrasonic transducer and the ensuing reception of sound reflected back to this transducer. Thereby amplitude and time of flight are measured. Figure 1 shows, that reflections can occur from unknown inhomogeneities (for example microvoids). In this case the amplitude correlates with the size of the fault and the time of flight corresponds to its depth.

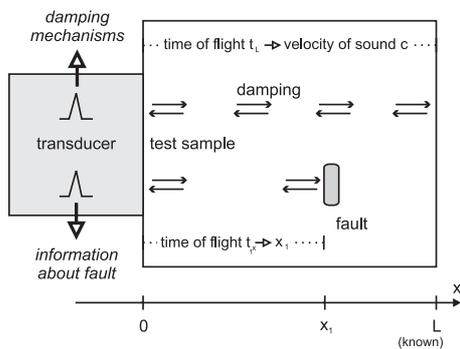


Fig. 1: Principle of ultrasonic analysis

If the reflections are caused by known boundaries like the back wall of the test sample, the amplitude gives information about damping mechanisms in-

side the test object and the time of flight can be used to calculate the velocity of sound, which gives information about processes acting on this parameter (for example changes in the crosslinking density). At first an ultrasonic measurement system including a micropositioning device is built up. It allows a selective positioning of the ultrasonic transducer on the surface of the test sample. The development of appropriate software tools for the controller lead to the ability to perform automated ultrasonic measurements, that means a scanning of the sample's surface with a step resolution of fifty micrometers. Thereby the measuring setup is not limited to investigations of standardized laboratory made test samples but flexible regarding the geometry of the objects. Also industrial made products like insulation bodies of high voltage joints can be analysed without problems. Figure 2 shows an overview of the measurement facilities.



Fig. 2: Automated ultrasonic measuring setup

Results

The ultrasonic echo amplitude of an included inhomogeneity depends on numerous parameters. One example is the depth of the fault inside the material, since the overall damping of sound

corresponds to the distance of flight. The theoretically predicted exponential decay of the amplitude with increasing depth could be approved experimentally. Different behaviour of ultrasonic transducers due to different characteristics (frequency, focus) are verified. Another important influencing parameter is the size of the fault. It can be shown that the echo amplitude decreases as expected with decreasing size of the inhomogeneity. Combining these results with the analysis regarding the influence of the depth, a measurement resolution can be calculated. In this context, included inhomogeneities with for example a diameter of about $100\ \mu\text{m}$ in a depth of 30 mm can be detected, which is highly interesting for industrial applications (see figure 3).

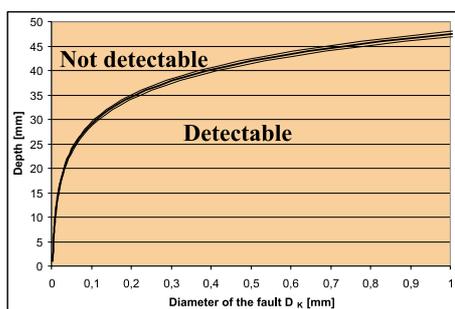


Fig. 3: Measurement resolution (5 MHz)

Strong reflectors like large boundary layers, which are near to singular inhomogeneities, can disturb the detection of these small faults due to their high echo amplitudes. It can be approved that above a distance of $100\ \mu\text{m}$ between failure and boundary layer there is no difference to a measurement without boundary layer.

Concerning the spectrum of detectable types of impairment, a focus is placed on singular failures like included microvoids. It is shown that these are detectable with ultrasonic analysis. Furthermore a localisation is possible by a

scanning process of the sample. The evaluation of the scanning has to be performed automated due to the large number of measurement data. For this reason efficient software routines are developed, which evaluate these data for example regarding the echo amplitude, as figure 4 shows exemplarily for a silicone rubber sample with included inhomogeneity.

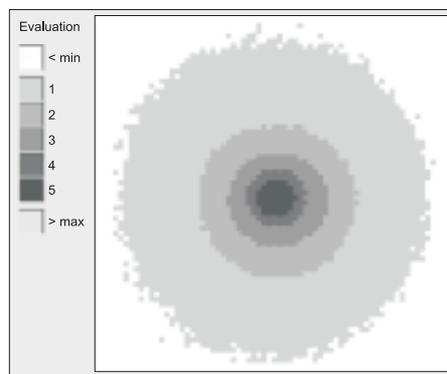


Fig. 4: Scanning of an included inhomogeneity

Using techniques of image processing existing objects inside the test sample can be identified in a subsequent evaluation procedure. This gives additional information regarding extension, shape and position of the inhomogeneities. Another focus is placed on aspects affecting a larger volume of the measured sample, for example incomplete and inhomogeneous crosslinking of the elastomer. It is proved, that the detection of incomplete crosslinking in industrial made elastomeric samples and laboratory made test specimen is possible due to changes in the velocity of sound. Also small parts of incomplete crosslinking with a size of only a few millimetres within a larger sample can be detected.

Another application is the analysis of mechanical stress on elastomeric insulation samples. It can be shown, that this stress can be identified based on

the connection of the velocity of sound with elastic parameters of the material. Subsequent investigations concerning the reversibility of high mechanical stress executed on coldshrinkable accessories come to the conclusion, that non reversible changes of the material's properties occur, which depend also on the storage temperature. Considering a potential industrial use of ultrasonic diagnosis investigations are also performed on high voltage joints. Measurements of singular inhomogenities carried out in the production plant confirm the detectibility of these failures and are confirmed by a succeeding electrical test. Additionally a special immersing measurement technique for large objects like high voltage joints is developed. It works automatically and scans the whole surface of the sample with a large increment. Afterwards areas with high echo signals are scanned again with a higher resolution (see figure 5). The results show that an application of ultrasonic diagnosis within the scope of industrial quality assessment is possible and feasible without high expense.

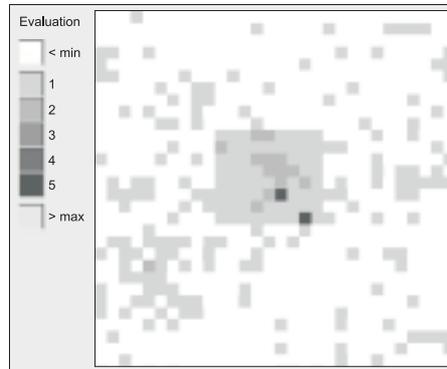


Fig. 5: Detailed investigation of a failure in a high voltage joint

References

- [1] C. Cornelissen, *Ultrasonic as a New Technique for Condition Assessment of Elastomeric Insulation Materials in Power Cable Systems*, Institut für Hochspannungstechnik, RWTH Aachen, Dissertation, 2003

Contact

Dr.-Ing. Christian Cornelissen
cornelissen@ifht.rwth-aachen.de
++49/(0)241/80-94940

Diplom-, Master- und Studienarbeiten

Diplomarbeiten

Delpho, Björn:

Aufbau und Inbetriebnahme einer Anlage zur Untersuchung von Störlichtbögen

Störlichtbögen in elektrischen Anlagen sind zwar selten, können aber nicht vollkommen ausgeschlossen werden. Die Auswirkungen von Störlichtbögen müssen deshalb berücksichtigt und begrenzt werden. Die Arbeit umfasst den Aufbau eines Reihenschwingkreis als Energiequelle, die Konzeption und die Umsetzung eines Schutzkonzeptes sowie die Implementierung der erforderlichen Mess- und Steuereinrichtungen. Hiermit werden Kurzschlussversuche in einem Prüfgefäß mit unterschiedlichen Anfangsbedingungen durchgeführt um nachzuweisen, dass Lichtbögen verschiedener Stromstärke und Brenndauer erzeugt werden können. Gemessen werden der Lichtbogenstrom, die Brennspannung und der Überdruckverlauf.

Sabatini, Alessandro:

Dynamisches Verhalten von Barrierenentladungen auf dielektrischen Oberflächen

Oberflächenbarrierenentladungen in elektronegativen Gasen bestehen aus einer Vielzahl von Mikrokanälen. Die Mikrokanäle sind kurzzeitige Erscheinungen, sie verlöschen nach etwa 10 bis 100 ns. Die Kenntnis von Struktur und Eigenschaften einzelner Mikroentladungen sind für Anwendungsgebiete sowie für das Verständnis des

Mechanismus der Entladungsentwicklung von großem Interesse. Die Arbeit umfasst den Aufbau einer Oberflächenentladungsanordnung sowie die Untersuchung einzelner Entladungskanäle in synthetischer Luft. Im Laufe der Arbeit wurden die zeitlichen Verläufe der Ströme, Lichtintensität und Ausbreitungsgeschwindigkeit der Mikrokanäle gemessen. Die Eigenschaften von starken Entladungen negativer Polarität wurden erstmals bestimmt. Die Messergebnisse wurden diskutiert, ein Mechanismus der Ausbreitung von starken Kanäle wurde vorgeschlagen.

Smolka, Thomas:

Untersuchung und Modellentwicklung zur Vereinheitlichung von Schnittstellen in der Ökobilanzierung

Umweltmanagementsysteme auch in der elektrischen Energietechnik findet unter Beachtung des ISO Standards 14040ff ihre Anwendung. Bei der Erstellung von Ökobilanzen in der elektrischen Energietechnik muss sich der Anwender mit unterschiedlichen Schnittstellen auseinandersetzen, die sich aus der Lebenszyklusbetrachtung bei der Bilanzierung von Produkten und Systemen nach Anwendung des ISO Standards 14040ff ergeben. Im Rahmen der Arbeit wurden Ökobilanzen aus der elektrischen Energietechnik analysiert und bewertet. Weiterhin wurden Erhebungen zur Ökobilanzierung in der elektrischen Energietechnik durchgeführt um Ableitungen und Empfehlungen zur Durchführung von Ökobilanzen in der elektrischen Energietechnik zu entwickeln.

Timm, Björn:

Konzeptionierung und Aufbau eines SF₆-Hochleistungsschalters und Entwicklung eines geeigneten Prüfstandes

Zum Schalten von hohen Spannungen und Strömen (einige kV und kA) werden Hochleistungsschalter verwendet. Diese Schalter sind in Umspannwerken, Kraftwerken und Industrieanlagen zu finden. Die Funktionsweise der Schalter beruht auf verschiedenen Prinzipien. Der in dieser Arbeit zu untersuchende Schalter-Typ ist der sogenannte Selbstblas-Schalter. Dieser Schalter nutzt die Energie des Schaltvorgangs, um ein sicheres Abschalten der hohen Ströme zu garantieren. Es soll mit Hilfe von CFD-Simulationen ein Selbstblas-Schalter entwickelt werden, welcher später in einem experimentellen Aufbau getestet wird.

Tschörtner, Christoph:

Konzeptionierung und Aufbau eines synthetischen Prüfkreises zur Untersuchung von SF₆-Selbstblas-Schaltern

Zur Untersuchung eines Modell-Selbstblas-Schalters soll ein synthetischer Prüfkreis aufgebaut werden, der reale Bedingungen eines Hochspannungsnetzes, so wie auch den Ausschaltvorgang nachbilden kann. Im Rahmen dieser Arbeit wurde ein synthetischer Prüfkreis nach Weil-Dobke mit folgenden Daten aufgebaut:

Hochstromkreis:

$$I_{peak} = 30 \text{ kA}, f = 50 \text{ Hz}$$

Hochspannungskreis:

$$dU/dt \text{ bis zu } 15 \text{ kV}/\mu\text{s}, dI/dt \text{ bis zu } 30 \text{ A}/\mu\text{s}, U_{max} = 54 \text{ kV}.$$

Die Ansteuerung des Kreises wurde durch eine SPS (Omron CQM1 mit der CPU 51) realisiert. Weiterhin sind der Versuchsstand und die Ansteuerung räumlich getrennt. Alle Steuer- und

Meßsignale werden durch Lichtwellenleiter übertragen. Ein Visual Basic Programm erlaubt die Bedienung der Anlage von einem PC aus.

Walter, Philipp:

Untersuchungen zur Auswertung orts aufgelöster Ultraschallmessungen an elastomeren Isolierstoffen mittels Verfahren der Mustererkennung

Die Arbeit untersucht die Weiterentwicklung eines Ultraschall-Diagnoseverfahrens zur Zustandsbewertung elastomerer Isolierstoffe. Die Auswertung der Ultraschallmessergebnisse wird dahingehend entwickelt, dass eine automatisierte Bewertung der vom Ultraschallsystem gelieferten Messdaten erreicht wird. Dabei kommen insbesondere der Detektion, der Lokalisation, der Evaluation und der Klassifikation eine besondere Rolle zu.

Wirz, Torsten:

Optische Untersuchungen der Struktur von koplanaren Barrierentladungen bei verschiedenen Betriebsfrequenzen

Barrierentladungen bestehen aus Stromimpulsen, die nur einige 10 ns existieren. Um Untersuchungen in diesem Frequenzbereich durchführen zu können, mußte eine Hochfrequenz-Hochspannungsquelle entwickelt werden. Mit Hilfe von Trioden wird ein Resonanzschwingkreis gespeist, der neben der Entladungsanordnung als Kapazität aus einer selbstentwickelten Luftspule besteht. So ist es nun möglich z.B. Frequenzen bis zu 1 MHz bei einer Spannung von 15 kV zu erzeugen. Mit Hilfe einer iCCD Kamera wurden auch erste Aufnahmen der Entladung in koplanaren Barrierentladung unter diesen Bedingungen erstellt.

Masterarbeiten

Chen, Ji:

Entwicklung von Ökobilanzierungsmodellen für Instandhaltungsstrategien an Anlagen und Betriebsmitteln in elektrischen Energieversorgungsnetzen

Im Rahmen der Masterarbeit wurde die Instandhaltungsphase in Energieversorgungsnetzen in Bezug auf ihre Relevanz für Ökobilanzmodelle näher untersucht werden. Die auftretenden Stoff- und Energieflüsse, die bei der Instandhaltung an Anlagen und Betriebsmitteln in elektrischen Energieversorgungsnetzen auftreten, wurden mit Hilfe einer Ökobilanzierungssoftware implementiert und bilanzier. Die Ergebnisse der Bilanzierung wurden weiterhin mit vorliegenden Ökobilanzergebnissen der Herstellungs- und Nutzungsphase von Anlagen und Betriebsmitteln eines städtischen Energieversorgungsnetzes verglichen und auf ihre Relevanz auf die Gesamtbilanz nach dem Lebenszyklusmodell überprüft.

Jitjing, Pinit:

Untersuchung von Material-Ablösungen an Grenzflächen in polymeren Isolierstoffen mit Hilfe von Ultraschallmessungen

In der Arbeit wird die Ultraschall-Diagnostik eingesetzt, um Grenzflächen innerhalb von Isolieranordnungen zu erkennen und zu bewerten. Als Isolierstoffe werden Silikonkautschuk und Epoxydharz analysiert. Im Rahmen der Arbeit wird neben Laborprüflingen auch ein industriell hergestellter GFK-Isolator bezüglich der Eigenschaften seiner Isolierstoff-Grenzflächen untersucht.

Hernández, Roberto Carlos Retana:

Berechnung des Druckanstiegs im Aufstellungsraum von gasisolierten Hochspannungsschaltanlagen

Die Arbeit umfasst den Entwurf eines Programms zur Berechnung der Druckentwicklung im Aufstellungsraum von Schaltanlagen im Störlichbogenfall mit MathCad und den anschließenden Vergleich der Ergebnisse mit dem Programmpaket Pressure und der CFD-Software CFX5. Parallel werden Druckluftversuche an einer gasisolierten Schaltanlage durchgeführt. Durch den Vergleich zwischen Experiment und Simulation werden Korrekturfaktoren für das entwickelte MathCad Programm ermittelt.

Prawit, Charoenkul:

Analyse des elektrotechnischen Aufbaus von on- und offshore Windenergieanlagen zur Modellentwicklung für die Ökobilanzierung

Im Rahmen der Masterarbeit wurden on- und offshore Windenergieanlagen sowie zugehörige Netzanschlussverfahren untersucht. Dazu ist ein Vergleich des technischen Aufbaus der Windenergieanlagen untersucht worden, der auch die unterschiedlichen Techniken zum Netzanschluss der Anlagen an das Hochspannungsnetz berücksichtigt. Aus den Untersuchungen des technischen Aufbaus der Windenergieanlagen wurde ein LCA-Modell der Windenergieanlagen mit Hilfe eines Softwaretools entwickelt. Mit Hilfe dieses Modells konnte eine Ökobilanz der Herstellungsphase einer einzelnen onshore Windkraftanlage sowie eines offshore Windparks durchgeführt werden.

Vilathong, Rummija:

Optische Untersuchungen der Struktur von koplanaren Barrierentladungen in Luft und Argon bei verschiedenen Betriebsfrequenzen

Optical investigations of the structure of coplanar barrier discharges in air and argon with different operation frequencies

In dieser Arbeit wurden Aufnahmen von Entladungen in koplanaren Barrierentladungs-Anordnungen mit Hilfe einer iCCD Kamera erstellt. Verändert wurden die Frequenz der Speisespannung, das Gas (Argon und Sauerstoff) und konstruktive Parameter der Anordnung, wie Dielektrikumsdicke Δ und Elektrodenabstand d . Ein Ergebnis dieser Arbeit war, dass die Anzahl von Entladungskanälen für kleine Δ und d bei hohen Frequenzen (10 kHz) bei steigender Spannungsamplitude nicht weiter zunimmt. Desweiteren wurde herausgefunden, dass die Entladungen nicht immer neue Kanäle ausbilden, sondern beim Polaritätswechsel zum Teil im selben Kanal verlaufen.

Studienarbeiten

Kahlen, Jan-Christoph:

Untersuchungen zur Detektierbarkeit inhomogener Vernetzungsdichten in elastomeren Isolierstoffen mittels Ultraschalldiagnostik

Kessler, Michael:

Dimensionierung, Aufbau und Test von Hochleistungssicherungen zum Schutz eines synthetischen Prüfkreises

Kuest, Thomas:

Analyse der Resonanzphänomene in Transformatoren

Schuchardt, Marcus:

Analyse von Einflussparametern auf die Schalldruckintensität bei Impuls-Echo-Messungen im Rahmen der Ultraschalldiagnostik polymerer Isolierstoffe

Tang, Ming-Chark:

Optimierung von AMF-Kontakten in Vakuum-Leistungsschaltern anhand von Magnetfeld-Simulationen

Walter, Philipp:

Dielektrische Dimensionierung von Dead-Tank-Leistungsschaltern

Weller, Burkhardt:

Literaturrecherche über experimentelle Möglichkeiten zur Untersuchung der Wiederverfestigung von Schaltstrecken

Wirz, Torsten:

Entwicklung eines Herstellungsverfahrens für koplanare dielektrische Barrierentladungsanordnungen aus Glas und Teflon, sowie die Ermittlung ihrer charakteristischen Kennwerte

Veröffentlichungen / Publications

F.-J. Trompeter, W. J. Neff, O. Franken, M. Heise, M. Neiger, S. Liu, G. J. Pietsch, A. B. Saveljew:
Reduction of Bacillus Subtilis and Aspergillus Niger Spores Using Non-thermal Atmospheric Gas Discharges
 IEEE Trans. On Plasma Science, Vol. 30, No. 4, pp. 1416-1423 (2002)

A. R. Murtazin, G. J. Pietsch, A. B. Saveliev:
Experimental investigation of SO₂ removal from air with dielectric barrier discharges
 16th International Symposium on Plasma Chemistry, Contrib. Po A10, 6 p., Taormina, Italy, 22.-27. June 2003

A. B. Saveliev and G. J. Pietsch:
Structure and Dynamics of Surface Barrier Discharges
 DPG-Spring Meeting Plasma Physics, 24.-28.03.2003 in Aachen
 Verhandlungen der DPG (VI) 38, Heft 4, Seite 26

A. B. Saveliev, A. R. Murtazin, G. J. Pietsch:
Chemical kinetics of SO₂ removal from air with dielectric barrier discharges
 16th International Symposium on Plasma Chemistry, Contrib. Or 4.8, 6 p., Taormina, Italy, 22.-27. June 2003

L. Hulka, G. Pietsch:
On the structure of coplanar dielectric barrier discharges
 DPG-Spring Meeting Plasma Physics, 24.-28.03.2003 in Aachen
 Verhandlungen der DPG (VI) 38, Heft 4, Seite 51

O. Franken, M. Heise, P. Muranyi, W. Neff, G. J. Pietsch, A. B. Saveliev, J. Wunderlich:
Influence of homogeneity of dielectric barrier discharges at atmospheric pressure on spore inactivation
 16th International Symposium on Plasma Chemistry, Contrib. Po A10, 5 p., Taormina, Italy, 22.-27. June 2003

C. Cornelissen, A. Wiesmath, A. Schnettler, B. Blümich:
Ultrasonic and Nuclear Magnetic Resonance for non-destructive diagnostics of cable systems
 Seventh International Conference on Properties and Applications of Dielectric Materials, ICPADM Nagoya (Japan), 2003

C. Cornelissen, A. Schnettler:
Ultrasonic for non-destructive diagnostics of cable systems
 Proc. XIIIth International Symposium on High Voltage Engineering, ISH 2003, Delft, The Netherlands, 25.-29. August 2003

R. Puffer, A. Schnettler, A. Tröger, H. Negle:

Foam based high voltage insulation concepts
Proc. XIIIth International Symposium on High Voltage Engineering, ISH 2003, Delft, The Netherlands, 25.-29. August 2003

V. V. Timatkov, G. J. Pietsch, A. B. Saveliev, M. V. Sokolova, A. G. Temnikov, I. P. Vereshchagin:

Streamer corona structure in an air gap near the surface of a thin dielectric plate
Proc. XIIIth International Symposium on High Voltage Engineering, ISH 2003, Delft, The Netherlands, p. 405, 25.-29. August 2003

T. Suwanasri, A. Schnettler, D. Fricke, A. Noack:

Non-invasive condition monitoring of a high voltage circuit breaker
Proc. XIIIth International Symposium on High Voltage Engineering, ISH 2003, Delft, The Netherlands, 25.-29. August 2003

V. I. Gibalov, G. J. Pietsch:

On the efficiency and the saturation concentration level of ozone generators
16th World Congress of the International Ozone Association, Las Vegas, Nevada, USA, pp. 1-16 (2003)

A. Schnettler, M. Schwan, W. H. Wellßow:

Einflußfaktoren auf die Zuverlässigkeit
ETG-Fachbericht 92, VDE Verlag GmbH, Berlin, 2003

M. Schwan, U.-H. Weck, A. Schnettler, A. Schneider, W. H. Wellßow:

Asset Management von Verteilungsnetzen unter Anwendung eines Kostenrisiko-Managements
ETG-Fachbericht 94, VDE Verlag GmbH, Berlin, 2003

T. Smolka, I. Mersiowsky, C. Neumann, A. Schnettler:

Ökobilanz von Verteilungsnetzen unter Berücksichtigung verschiedener Technologien und Einflussfaktoren
ETG-Fachbericht 94, VDE Verlag GmbH, Berlin, 2003

C. Cornelissen:

Ultraschall-Diagnostik an polymeren Kabelisoliersystemen
ETG-Fachbericht 94, VDE Verlag GmbH, Berlin, 2003

A. Saveliev, G. Pietsch:

Aspects of SO₂ removal in dielectric barrier discharges
6TH EUREGIONAL WELT-PP Workshop on the Exploration of Low Temperature Plasma Physics November 27th and 28th, 2003 'Rolduc' Kerkrade, The Netherlands

V. I. Gibalov, T. Murata, G. J. Pietsch:

Productivity and efficiency of ozone synthesis in coplanar discharge arrangements
Ozone Science & Engineering, Vol. 25, No. 5, pp. (2003)





Lehre am ifht

Teaching at ifht

Lehre am ifht

Hochspannungstechnik I (SS)

Dozent: Prof. Dr.-Ing. A. Schnettler
V 2, Ü 1, für 6. Semester

Inhalt

- Überspannungen in Hochspannungsnetzen: äussere Überspannungen, innere Überspannungen, Wanderwellen, Überspannungsschutz
- Durchschlagsvorgänge: Statistik, Gasdurchschlag, Feststoffdurchschlag, Flüssigkeitsdurchschlag, Vakuumdurchschlag, Lichtbogen, Fremdschichtüberschlag
- Hochspannungs-Isolierstoffe: Kenngrössen, anorganische Isolierstoffe, organische Isolierstoffe

High Voltage Engineering I (Summer Term)

Dozent: Prof. Dr.-Ing. A. Schnettler
V 2, Ü 1, for 6th semester

Content

- Overvoltages in power systems: Travelling waves, overvoltage protection
- Breakdown-phenomena: Statistics, breakdown in gases, solids and liquids
- Insulation systems and dielectrics

Hochspannungstechnik II (WS)

Dozent: Prof. Dr.-Ing. A. Schnettler
V 2, Ü 1, für 7. Semester

Inhalt

- Erzeugung und Messung hoher Gleich-, Wechsel- und Stoßspannungen
- Hochspannungsgeräte: Konstruktionsmerkmale, Kondensator, Durchführungen und Ausleitungen, Transformator, Schalter, Wandler
- EMV
- Technische Exkursion

High Voltage Engineering II (Winter Term)

Dozent: Prof. Dr.-Ing. A. Schnettler
V 2, Ü 1, for 7th semester

Content

- Generation and measurement of high AC, DC and impulse voltages
- High voltage equipment: Construction, capacitors, transformers, breakers, instrument transformers
- Electromagnetic compatibility (EMC)
- Technical excursion

Grundlagen der Gasentladungstechnik (WS)

Dozent: Prof. Dr. rer. nat G. J. Pietsch
V 2, Ü1, ab 5. Semester

Inhalt

- Grundbegriffe der kinetischen Gastheorie, Stoßgesetze, Maxwell-Boltzmannsche und Druyvestynsche Geschwindigkeitsverteilung, Wärmeleitung, innere Reibung, (ambipolare) Diffusion, Boltzmannsche Transportgleichung
- Elementarprozesse im Plasma Elektronenanregung, Ionisierung, Dissoziation, Stöße zweiter Art, negative Ionen;
- Ladungsträgererzeugung Volumenionisation; Oberflächenionisation (durch Teilchenstöße, Felder, thermische Ionisation);
- Zünden von Gasentladungen Lawinenzündung, Paschengesetz, Vakuumdurchschlag; Kanaldurchschlag;
- Glimmentladung, Kathodenmechanismen, Ähnlichkeitsbeziehungen; Sonderformen, Dielektrische Barrieren-Entladung
- Lichtbogenentladung, Elektrodenbereiche, Plasmaströmungen, Bogensäule, Charakteristik; Elenbaas-Heller-Gleichung; Wechselstromlichtbogen, dynamische Strom-Spannungs-Charakteristik; Funke und Blitz.

Basics of Gas Discharge Engineering (Winter Term)

Dozent: Prof. Dr. rer. nat G. J. Pietsch
V 2, E1, from 5th semester

Content

- Fundamentals of kinetic gas theory, collision processes, velocity distributions of Maxwell-Boltzmann and Druyvesteyn, heat conduction, viscosity, (ambipolar) diffusion, Boltzmann equation
- Elementary processes in plasmas, electron excitation, ionization, dissociation, collisions of the second kind, negative ions
- Generation of charge carriers in the gas volume, on surfaces (by particles, fields, thermal effects)
- Ignition processes, avalanche ionization, Paschen law, vacuum breakdown, streamer mechanism
- Glow discharges, cathode mechanisms, similarity relations, special types, dielectric barrier discharge
- Arcs, electrode regions, plasma flows, arc column, current-voltage characteristic, Elenbaas-Heller equation, AC discharges, dynamic characteristic, high frequency discharges, sparks and lightnings.

Gasentladungstechnik (SS)

Dozent: Prof. Dr. rer. nat G. J. Pietsch
V 2, Ü1, für 6. Semester

Inhalt

- Gasentladungslampen, Grundlagen der Lichttechnik, Lichtausbeute, Farbwiedergabe, Glimmlampen, Metalldampf- und Edelgasentladungslampen, Beschaltung
- Kontrollierte Kernfusion, physikalische Grundlagen, magnetischer Einschluß, Trägheits-einschluß, Reaktorkonzepte;
- Ozonerzeugung, Elektrische Staubfilter
- Schaltlichtbogen, Beanspruchungen bei Ausschaltvorgängen; Schaltprinzipien in Nieder-, Mittel- und Hochspannungsschaltern; Magnetblas-, Hartgas-, Ölschalter, Öl als Dielektrikum, Druckluft-, SF₆-Schalter, Eigenschaften von SF₆, Vakuumschalter, Lichtbogen im Vakuum, Kontakte
- Beschreibung von Schaltlichtbögen, Elementarprozesse beim Ausschaltvorgang, physikalische Lichtbogenmodelle, Zweipolmodelle.

Gas Discharge Engineering (Summer Term)

Dozent: Prof. Dr. rer. nat G. J. Pietsch
V 2, E1, from 6th semester

Content

- Gas discharge lamps, basics of lighting engineering, efficacy and efficiency, colour-rendering index, glow discharge lamps, metal vapour and noble gas discharge lamps, wiring
- Controlled nuclear fusion, fundamentals, magnetic inclusion, inertial inclusion, experimental devices, concepts of reactors, risks and endanger
- Ozone generation, electrostatic precipitation
- Switching-arcs, electric stress during the breaking process, switch-off principles, magnetic blow-out-, hard-gas-, oil circuit-breaker, properties of insulating oil, SF₆ circuit breaker, properties of SF₆, vacuum breaker, arcs in vacuum, contacts of vacuum breakers
- Description of circuit breaker arcs, elementary processes during switch-off, physical models, black-box models.

Vorlesung Schutzmaßnahmen und Schutzeinrichtungen in elektrischen Netzen und Anlagen

Dozent: Prof. Dr. rer. nat G. J. Pietsch
V 2, Ü1, für 5. Semester

Inhalt

- Sicherheitsvorschriften und Normen, nationale, regionale und internationale Normen, rechtliche Grundlagen der Normung; Prüfzeichen
- Gefahren durch elektrischen Strom, Unfallstatistik, Stromwirkungen auf den Menschen; Sicherheitsgrenzen; Gefährdung durch hochfrequente Felder
- Schutzmaßnahmen in Niederspannungsanlagen gegen direktes und bei indirektem Berühren; Netzformen; Schutz- und Funktionskleinspannung; Bewertung
- Schutzmaßnahmen in Hochspannungsanlagen, Erdung; Überspannungs- und Blitzschutz
- Schutz von Leitungen und Kabeln, Überlast; Kurzschluß
- Schutzeinrichtungen und deren Wirkungsweise, Schutzkriterien; Sicherungen; LS- und FI-Schutzschalter; Relais; Überspannungsableiter
- Schutzsysteme, Motor-, Generator-, Transformatorenschutz.

Protective Measures and Equipment in Power Supply Systems and Electrical Installations

Lecturer: Prof. Dr. rer. nat G. J. Pietsch
L 2, E 1, Master program in Electrical Power Engineering

Content

- Regulations and standards, national, regional and world-wide safety regulations and standards, legal authority of standardisation, test certificates
- Risk of electric currents, accident statistics, effects of current on human body, safety limits, endangering by high-frequency fields
- Protective measures of low voltage installations against direct and indirect contact, configurations of the network, safety, protectional and functional extra low voltage, evaluation
- Protective measures of high voltage installations, earthing, overvoltage and lightning protection
- Protection of lines and cables against overload and short circuits
- Protective equipments and their modes of action, protection criteria, fuses, line protective switches and current-operated earth-leakage circuit breakers, relays, surge arresters
- Protection systems for motors, generators and transformers

Fachdidaktik der Elektrotechnik I-III

Dozent: Prof. Dr. rer. nat G. J. Pietsch
WS V2, SS TÛ2, SS TÛ4, für Lehramtsstudierende SII

Inhalt

- Lehr- oder Lernziel, Lernzieltypen, -kategorien, -niveaus, Gewinnung von Lernzielen, Lernerfolgskontrolle;
- Lernpsychologische und soziologische Aspekte des Unterrichts, Lernformen; Speichervorgang im Gehirn; Lernmotivation, Sozialformen des Unterrichts;
- Lehrstoff, Auswahl, Lehrstoff-Zeit-Problem; Strukturierung, didaktische Reduktion;
- Medien, bildliche Darstellungen, Bild- und raumseitige Anforderungen bei Projektionen;
- Lehrmethoden, Unterrichtsprinzipien, deduktive und induktive Methode; Analogmethode, Projektverfahren, programmierter Unterricht; handlungsorientierter Unterricht; Unterrichtsvorbereitung, pädagogische Vorbereitung, didaktische Analyse, Unterrichtsverlaufsplanung;
- Seminarvorträge;
- Betreuung von Grundlagenpraktika.

Didactics of Electrical Engineering I-III

Dozent: Prof. Dr. rer. nat G. J. Pietsch
WS V2, SS TÛ2, SS TÛ4, for students of the teaching career at vocational schools

Content

- Teaching and educational objectives, types, categories, levels, development of educational objectives, success control of teaching and learning
- Psychological and sociological aspects of teaching, types of learning, storage processes in the brain, learning motivation, social types of teaching
- Subject matters, choice, subject-time problem, structuring, didactical reduction
- Teaching aids, kinds of figures, demands on illustrations and drawings for projections
- Teaching methods, principles of teaching, deductive and inductive method, method of analogy, project method, programmed instruction, action orientated teaching, preparation of teaching, didactical preparation and analysis, planning of the sequence of teaching steps, types of occupations in the field of electrical engineering.
- Seminar lectures prepared by students
- Preparations of practical courses by students

Energiekabel (WS)

Dozent: Dr.-Ing. D. Meurer
V2, Ü1, ab 5. Semester

Inhalt

- Einleitung: Kabelindustrie, Kabelmarkt, Energiekabel in Netzen, Geschichte, technische Normen, Uebertragungseigenschaften
- Aufbauelemente: Werkstoffe, Leiter, Isolierung, Schirm, Mantel, Armierung
- Bauarten: Nieder-/Mittel-/Hochspannungskabel, EVU-/Spezialkabel
- Produktion: Papierisolierung, extrudierte Isolierung, Leiter/Ader/Kabel
- Qualitätsmanagement: ISO 9000, Qualitätssicherung, Typ-/Auswahl-/Stueckpruefung, Pruefung nach Verlegung, Alterung, Lebensdauer
- Garnituren: Endverschluesse, Muffen, Feldsteuerung, Montagetechniken
- Kabelprojekte: Kabeltrasse, Belastbarkeit, Transport, Verlegung
- Hochleistungskabel: Verluste, Kuehlung, HVDC, gasisolierte Kabel, Tieftemperaturkabel, supraleitende Kabel (LTSC, HTSC)

Power Cable Engineering (Winter Term)

Dozent: Dr.-Ing. D. Meurer
V2, E1, for 5th Semester

Content

- Introduction: cable industry, cable market, power cables in networks, history, technical standards, transmission properties
- Cable Components: materials, conductor, insulation, screen, sheath, armour
- Design: low-/medium-/high-voltage cables, utility/special cables
- Production: paper insulated/extruded cables, conductor/core/cable
- Quality Management: ISO 9000, quality assurance, type-/sample-/routine-test, commissioning test, ageing, lifetime
- Accessories: termination, joints, field control, installation techniques
- Cable Projects: cable route, current carrying capacity, transport, laying
- High Power Cables: cable losses, forced cooling, HVDC, gas-insulated cables, cryogenic cables, superconducting cables (LTSC, HTSC)

Fachdidaktik der Elektrotechnik - Schulpraktische Studien (WS)

Dozent: Stud.-Dir. K. Alscher
V 2, für Lehramtskandidaten S II

Inhalt

- Sekundarstufe II: Ziel, Dauer, Aufnahmebedingungen, Unterricht, Abschlüsse - Mitwirkungsorgane bei der beruflichen Aus- und Weiterbildung - Duale Ausbildung: Schule und Betrieb, Zuständigkeiten. Analyse der Lehr- und Lernsituation, Auswahl und Abgrenzung des Lernstoffes: Vorbildung, schulische Situation, Lernbereitschaft - Ausbildungssituation, Handwerk/Industriebetrieb, überbetriebliche Ausbildung.
- Auswahl und Abgrenzung des Lernstoffes: Wert des Themas für den Schüler, didaktische Analyse - Richtlinien und Lehrpläne industrielle und handwerkliche Elektroberufe nach der Neuordnung - didaktische und fachwissenschaftliche Orientierungspunkte für Unterrichtsmethoden - Prinzip des Exemplarischen - Grundsätze der Lernerfolgsüberprüfung.
- Vor- und Nachbereitung des schulpraktischen Einsatzes: Berufe, Auswahl der entsprechenden Schulformen - Erstellung von Unterlagen für den Einsatz in der Schule - Berichterstattung, Referat, evtl. Unterrichtsversuch sowie Hilfestellung zu fachdidaktischen Fragen - Qualifikationsanforderungen elektrotechnischer Berufe.

Schaltgeräte und Schaltanlagen (SS)

Dozent: Prof. Dr.-Ing. A. Schnettler
Dr.-Ing. M. Schumacher,
ABB Calor Emag
Hochspannung GmbH

ab 6. Semester

Inhalt

- Schaltgeräte: Grundlagen, Bauarten, Funktionsweisen, Normen
- Schaltanlagen: Bauweise, Instandhaltungsmanagement

Siehe Bericht auf Seite 112

Praktika am ifht

Energietechnisches Praktikum I (SS)

TÜ 4, für 6. Semester

Inhalt

Das energietechnische Praktikum I wird von mehreren Lehrstühlen durchgeführt. Drei Versuche finden am Institut für Hochspannungstechnik statt:

- Wechsellspannungsmessung und Durchschlagsuntersuchungen
- Gleichspannungserzeugung und -messung
- Stoßspannungserzeugung

Laboratory in Electrical Power Engineering I (Summer Term)

TÜ 4, for 6th Semester

Content

The laboratory in Electrical Power Engineering I is carried out by several institutes. Three experiments take place at the Institute for High Voltage Engineering:

- Measurement of alternating voltages / Breakdown measurements
- Generation and measurement of direct voltages
- Surge voltages

Energietechnisches Praktikum II (WS)

TÜ 4, für 7. Semester

Inhalt

Das energietechnische Praktikum II wird von mehreren Lehrstühlen durchgeführt. Drei Versuche finden am Institut für Hochspannungstechnik statt:

- Messen mit Teilern
- Stoßspannungsverteilung an Transformatorwicklungen
- Elektromagnetische Verträglichkeit

Laboratory in Electrical Power Engineering II (Winter Term)

TÜ 4, for 7th Semester

Content

The laboratory in Electrical Power Engineering II is carried out by several institutes. Three experiments take place at the Institute for High Voltage Engineering

- High Voltage Divider
- Transient Processes on Wires, Travelling Waves
- Electromagnetic Coupling

Hochspannungstechnisches Praktikum

TÜ 4, für 7. Semester für Elektrotechniker

Inhalt

- Durchschlagsuntersuchungen
- Gleichspannungsuntersuchungen
- Teilentladung
- EMV Störungseinkopplung
- Stoßspannungsuntersuchung
- Transiente Vorgänge auf Leitungen
- Hochspannungsmeßtechnik
- Dimensionierung synthetischer Prüfkreise

High Voltage Laboratory

TÜ 4, for 7th Semester

Content

- Breakdown measurements
- Experiment on DC voltage
- Partial discharge
- EMC Interference Launch
- Surge voltages
- Transient processes on wires
- High voltage divider
- Dimensioning of a synthetic test circuit

Elektrotechnisches Praktikum I (SS)

TÜ 3, für 2. Semester Elektrotechniker und Lehramtskandidaten

Inhalt

Das Praktikum enthält 8 Grundlagenversuche zur Einarbeitung in die elektrische Versuchstechnik mit folgenden Themenkreisen:

- Strom- und Spannungsquellen
- Spannungsteiler
- Messung in linearen Netzen
- Simulation linearer Netzwerke
- Dioden und Transistoren
- Operationsverst. (Messung)
- Operationsverst. (Simulation)
- Messung nichtelektr. Größen

Laboratory in Electrical Engineering I (Summer Term)

Content

This laboratory contains 8 basic experiments to achieve knowledge in measurement and experimental techniques:

- Current and voltage sources
- DC Voltage divider
- Measurement in linear networks
- Simulation of linear networks
- Diodes and Transistors
- Op-amp (Measurement)
- Op-amp (Simulation)
- Measurement of non-electrical parameters

Physikalisch-technische Laborübungen für Maschinenbauer (SS)

TÜ 4, für 4. Semester für Maschinenbauer und Lehramtskandidaten
Gemeinschaftsveranstaltung der Fakultäten für Elektrotechnik, Maschinenwesen und der Mathematisch-Naturwissenschaftlichen Fakultät

Inhalt

Im Rahmen dieses Praktikums werden vom Institut vier Versuche angeboten:

1. Spannungsquelle, Transformator
2. Meßbereichserweiterung, Meßwandler, Leistungsmessung im Drehstromnetz
3. Elektronenstrahloszilloskop, Gleichrichtung
4. Digitale Meßtechnik

Physical Technical Laboratory (PTL) for students in mechanical engineering (Summer Term)

Teamwork of the Faculty of Electrical Engineering, the Faculty of Mechanical Engineering and the Faculty of Mathematics and Natural Sciences.

Content

Within this laboratory four experiments are offered by the Institute of High Voltage Engineering:

1. Power sources, transformers
2. Enlargement of measuring range, instrument transformers, power meters in three-phase systems
3. Electron beam oscilloscope, rectification
4. Digital measurement techniques





Chronik

VDE Seminar

Aktivitäten 2003

Exkursion Hochspannungstechnik

Brasilien Exkursion

Chronicle

VDE Seminar

Activities in 2003

Excursion High-Voltage Engineering

Brazil Excursion

105

Chronik 2003

- | | |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>29.11.02
Besuch von Dr. Takaaki Sakakibara, TM T&D Co. Research & Development Center Japan</p> <p>06.12.02
Besuch bei Mr. de Schrijver, Nexans Erembodegen
Teilnehmer: Christian Cornlissen</p> <p>12.12.02
Eishockey - UNI Cup der RWTH Aachen. Fakultät der Elektrotechnik und Informationstechnik gewinnt!
Teilnehmer: Armin Schnettler, Ralf Puffer</p> <p>13.12.02
Tag der Elektrotechnik und Informationstechnik an der RWTH Aachen</p> <p>10.01.03
CFX-Seminar in Berlin
Teilnehmer: Carsten Lüders</p> <p>10.01.03
ETG-Vorstandssitzung in Frankfurt am Main
Teilnehmer: Armin Schnettler</p> <p>11. - 18.01.03
DAAD - Vorauswahlsitzung für Studienbewerber aus der russ. Föderation in Moskau
Teilnehmer: G. Pietsch</p> <p>17.01.03
Vortrag von Dr. Urban Keussen, E.ON Netz GmbH Bayreuth, am Institut.
Thema: „Aktuelle Herausforderungen eines Übertragungsnetzbetreibers“</p> | <p>22.01.03
Besuch von Dr. Stefanovic, General Electric, USA</p> <p>26.01.03
Dr. Tongonokov von der Techn. Universität St. Petersburg verläßt unser Institut nach einem dreimonatigem Forschungsaufenthalt</p> <p>31.01.03
Letzter Arbeitstag von Bianca Kühn</p> <p>03.02.03
Erster Arbeitstag von Thomas Smolka und Alexander Tröger</p> <p>04.02.-05.02.03
ETG-Tagung „Zuverlässigkeit in der Stromversorgung“ in Mannheim
Teilnehmer: Armin Schnettler</p> <p>07.02.03
Studenten-Exkursion zur Vorlesung „Energiekabel“ zum Nexans Kabelwerk in Charleroi mit Dietmar Meurer</p> <p>12.02.03
Fachkongress „Landesinitiative Zukunftsenergien NRW“ in Essen
Teilnehmer: Thomas Smolka</p> <div style="text-align: center;">  </div> <p>14.02.03
Promotionsprüfung von Kerstin Jenkes</p> |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

- 28.02.03
Letzter Arbeitstag von Erika Böhm
- 03.03.03
Ausrichtung des traditionellen „Hochspannerballes“ in unserer Hochspannungshalle
03. - 05.03.03
Auswahlsitzung des Russlandfonds der Deutschen Wirtschaft für russ. Führungsnachwuchskräfte in Moskau
Teilnehmer: G. Pietsch
10. - 11. 03.03
11. Bundesdeutsche Fachtagung Plasmatechnologie in Ilmenau
Teilnehmer: G. Pietsch
- 10.03.-12.03.03
FGH-Fachtagung 'IEC 61 850' in Mannheim
Teilnehmer: Armin Schnettler
12. - 13.03.03
DAAD-Auswahlsitzung von Stipendiaten aus der russ. Föderation in Bonn-Bad Godesberg
Teilnehmer: G. Pietsch
- 14.03.03
ETG-Fachbereichssitzung V2 in Frankfurt am Main
Teilnehmer: Armin Schnettler
- 20.03.03
ETG-Workshop „Silikonelastomere“ in Berlin
Teilnehmer: Christian Cornelissen
- 21.03.03
Sitzung der NWO-Technologie-Stichting in Eindhoven / NL
Teilnehmer: G. Pietsch
- 24.- 28.03.03
Frühjahrstagung „Plasmaphysik“ u. „Kurzzeitphysik“ der Deutschen Physik. Ges. zusammen mit den entsprechenden Verbänden aus Belgien, Großbritannien u. den Niederlanden in Aachen unter Beteiligung des Instituts an der Organisation
Teilnehmer: G. Pietsch, L. Hulka, M. Schmale, A. Saveliev
- 31.03.03
Letzter Arbeitstag von Kerstin Jenkes
- 01.04.03
Auswahlsitzung von Stipendiaten aus ausgewählten osteuropäischen Staaten der Mummert-Stiftung in Bonn-Bad Godesberg
Teilnehmer: G. Pietsch
- 02.04.03
Parlamentarischer Abend zum Thema „Energieversorgung der Zukunft“ in Hannover
Referent: Armin Schnettler
- 07.04.-08.04.03
Vortrag „Auswirkungen von Teilladungen auf elektrische Isolierstoffe“ an der Technischen Akademie Esslingen
Referent: Christian Cornelissen

- | | |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>08.04.03
VDI-Fachgespräch „Neuartige Plasmaquellen“ in Düsseldorf
Teilnehmer: G. Pietsch</p> | <p>26.05.-27.05.03
DFG-Kolloquium Schwerpunktprogramm „Zustandsbewertung von Betriebsmitteln und Anlagen der elektrischen Energieversorgung“ in Ilmenau
Teilnehmer: Armin Schnettler, Christian Cornelissen, Carsten Lüders</p> |
| <p>29.04.03
DAAD-Auswahlsitzung zum Leonhard-Euler Stipendienprogramm in Bonn-Bad Godesberg
Teilnehmer: G. Pietsch</p> | <p>28.05.03
Besuch der Herren Chatterjee und de Schrijver, Nexans am Institut</p> |
| <p>02.05.03
Erster Arbeitstag von Torsten Wirz</p> | <p>02.06.-06.06.03
7th ICPADM-Konferenz in Nagoya, Japan
Teilnehmer: Christian Cornelissen</p> |
| <p>07.05.03
Besuch von Mitarbeitern des Instituts für Plasmaphysik, Forschungszentrum Jülich</p> | <p>03.-05.06.03
VDEW-Kongress in Berlin
Teilnehmer: Armin Schnettler</p> |
| <p>08.05.03
Besuch von Dr. Stephan Rahmesohl und Dipl.-Phys. Frank Merten, Wuppertaler Institut für Klima, Umwelt, Energie GmbH</p> | <p>11.06.03
18 Monats-Meeting zu einem EU-Project zur Luftreinhaltung mittels nicht-thermischer Entladungen in Aachen
Teilnehmer: G. Pietsch, A. Saveliev, A. Murtazin</p> |
| <p>08. - 09.05.03
Plenarversammlung des Fakultätentages Elektrotechnik und Informationstechnik in Duisburg
Teilnehmer: G. Pietsch</p> | <p>13.06.-15.06.03
Traditionelles Segelwochenende am Veerse Meer in den Niederlanden</p> |
| <p>15.05.03
Erster Arbeitstag von Junliang Wu</p> | <p>22.06.-27.06.03
16th Int. Symposium on Plasma Chemistry in Taormina / Sizilien
Teilnehmer: G. Pietsch, A. Saveliev, A. Murtazin</p> |
| <p>19.05.-21.05.03
Meeting CIGRÉ Study Committee B3 in Aachen
Teilnehmer: Armin Schnettler</p> | <p>30.06.-01.07.03
Seminar „Hoch- und Mittelspannungsschaltgeräte und -anlagen“, RWTH Aachen in Kooperation mit VDE Regio Aachen und der FGH Mannheim
Leiter: Dr. Martin Schumacher, ABB</p> |
| <p>21.05.-23.05.03
Kolloquium der Firma Highvolt in Dresden
Teilnehmer: Alexander Tröger</p> | |

03.07.-05.07.03

Studenten-Exkursion zum Seminar „Hoch- und Mittelspannungsschaltgeräte und -anlagen“ nach Dresden



11.07.03

Betriebsausflug zum Rheinischen Freilichtmuseum in Kommern

16.07.03

Keithley-Seminar in Köln
Teilnehmer: Alexander Tröger

29.07.03

Veranstaltung „Low Level Measurements“ in Köln
Teilnehmer: Alexander Tröger

01.08.03

Besuch von Prof. Dr.-Ing. Ernst Gockenbach, Universität Hannover



01.08.03

Promotionsprüfung von Christian Cornelissen

06.08.03

Besuch von Prof. Sang Tae Choi von der Kyongju Universität und Prof. Kwang-Sik Lee von der Yeungnam Universität aus Südkorea

18.-24.08.03

Im Rahmen eines Wissenschaftlich-Technischen Zusammenarbeits-Projekts besuchen G. Pietsch und L. Hulka das Moskauer Energetische Institut (MEI).

22.08.03

Besuch von Professor Dr. Gevorg Gharepetian, Amirkabir University of Technology, Teheran, Iran

25.08.-29.08.03

ISH in Delft
Teilnehmer: Ralf Puffer, Christian Cornelissen, Thanapong Suwanasri, Alexander Tröger

29.08.-13.09.03

Vorlesungen an der Thai German Graduate School (TGGS) in Bangkok, Thailand; Ausrichtung des Seminars „Insulation Coordination“ in Bangkok Thailand mit über 150 Teilnehmern
Referent: Armin Schnettler

31.08.-06.09.03

16th Ozone World Congress in Las Vegas, USA
Teilnehmer: Gerhard Pietsch

01.09.03

Erster Arbeitstag von Philipp Walter und Alexandra Hoffelner

15.09.-19.09.03

Umzug der Mechanischen Werkstatt in neue Räume



16.09.-02.10.03
 Brasilien-Exkursion der wissenschaftlichen Mitarbeiter
 Gerhard Pietsch, Armin Schnettler, Christian Cornelissen, Robert Dommerque, Bernhard Heil, Lutz Hulka, Carsten Lüders, Anatolij Saveliev, Michael Schmale, Michael Schwinne, Thomas Smolka, Thanapong Suwanasari, Alexander Tröger, Torsten Wirz

30.09.03
 Letzter Arbeitstag von Ralf Puffer

01.10.03
 Erster Arbeitstag von Christian Cornelissen als Obergeringenieur

07.10.-08.10.03
 ETG-Kongress „Energietechnik für die Zukunft“ in Hamburg
 Vortrag: Armin Schnettler, Christian Cornelissen, Thomas Smolka

15.10.03
 Besuch von Schülern des Viktoria Gymnasiums Aachen

16.10.-17.10.03
 Besuch der Herren Kaltenborn und Dr. Eschermann, ABB Corporate Research

19.-26.10.03
 Prof. V. Gibalov von der Moskauer Staatsuniversität besucht das Institut im Rahmen einer Zusammenarbeit

03.11.03
 Erster Arbeitstag von Piotr Margiel und Roberto Retana

06.11.03-10.11.03
 Besuch von Prof. Dr. Jan Maksymiuk und Dr. Koch, Elektrotechnisches Institut der Technischen Universität Warschau, Polen

13.11.-23.11.03
 Prof. Dr. Yuri Akishev, Troitsk Institute for Innovation and Fusion Research (TRINITI), besucht das Institut

14.11.03
 Besuch bei Dr. Manfred Jansen, Kerpenwerk Stolberg
 Armin Schnettler, Dietmar Meurer, Wolf-Dieter Schuppe



15.11.03
 “Hochwissenschaftliches Kolloquium“ zum 11.11, Prof. Schnettler wird als neuer Hektiker gewählt (“Mann mit der ruhigen Kugel“)

16.11.-26.11.03
 Dr. Marina Sokolova und Sergei Poznakhirko, Moskauer Energietechnisches Institut (MEI), besuchen das Institut im Rahmen eines WTZ-Projekts

- | | |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 17.11.03
Erster Arbeitstag von Pinit Jitjing | 01.12.-02.12.03
VDE-Fachkongress "Netztechnik / Kabeltagung 2003" in Nürnberg
Teilnehmer: Christian Cornelissen |
| 18.11.-19.11.03
CIGRÉ Informationsveranstaltung
„Schwerpunktthema Erneuerbare
Energien - Windenergie“ in Berlin
Teilnehmer: Armin Schnettler | 09.-11.12.03
24 Monats-Meeting zu einem EU-
Project zur Luftreinhaltung mittels
nicht-thermischer Entladungen in Ly-
on / Frankreich
Teilnehmer: G. Pietsch, A. Saveliev |
| 27.11.03
VDE-Konferenz zum Thema: „Strom-
Blackouts: VDE Studie zu den Ursa-
chen und Konsequenzen“ in Berlin
Referent: Armin Schnettler | 11.12.03
Eishockey - UNI Cup der RWTH Aa-
chen
Teilnehmer: Armin Schnettler |
| 27.-28.11.03
6th Euregional Workshop on the Ex-
ploration of Low Temperature Plasma
Physics in Kerkrade / NL
Teilnehmer: G. Pietsch, A. Saveliev | 12.12.03
Tag der Elektrotechnik und Informa-
tionstechnik von der RWTH Aachen
organisiert durch das Institut
Antrittsvorlesung Prof. Schnettler |
| 01.12.03
Erster Arbeitstag von Uwe Macharey | |



VDE-Seminar Hoch- und Mittelspannungsschaltgeräte und -anlagen 30.6. - 1.7. 2003

Das Blockseminar wurde als Weiterbildungsveranstaltung des Instituts für Hochspannungstechnik in Zusammenarbeit mit dem VDE-Regio Aachen am 30. Juni - 1. Juli 2003 angeboten.

Insgesamt 13 Referenten aus der Industrie gaben einen umfassenden Überblick über den Aufbau, die Funktionsweise von Komponenten und Anlagen der elektrischen Energieübertragung und -verteilung. Für die Seminarleitung konnte, wie schon im letzten Jahr, Herr Dr.-Ing. Schumacher gewonnen werden.

Ausgehend von den physikalischen Grundlagen wurde die Schaltgeräte- und Anlagentechnik bis zu wirtschaftlichen Aspekten umfassend behandelt.

wurde das Seminar um Beiträge über Leistungstransformatoren und Ortsnetzstationen erweitert.

Das Seminar-Programm gliederte sich in folgende Vorträge:

- **Begrüßung**
Dipl.-Ing. Michael Angenend
VDE
- **Einführung in die Thematik**
Dr.-Ing. Martin Schumacher,
ABB Calor Emag Schaltanlagen
AG, Hanau-Großauheim
- **Schaltlichtbögen**
Dr.-Ing. Max S. Claessens,
ABB Hochspannungstechnik
AG, Zürich
- **SF₆-Hochspannungsleistungsschalter**
Dr.-Ing. Roland von Starck,
Siemens AG, Berlin
- **Vakuumschalter**
Dr.-Ing. Burkhard Fenski,
ABB Calor Emag Mittelspannung
GmbH, Ratingen
- **Last-/Trennschalter**
Dr.-Ing. Thomas Betz,
ABB Calor Emag Schaltanlagen
AG, Hanau-Großauheim
- **Hochspannungssicherungen**
Dipl.-Ing. Ulrich Haas,
Sicherungen GmbH, Lünen
- **Leistungstransformatoren**
Dr.-Ing. Stefan Tenbohlen,
Alstom T&D, Mönchengladbach



Teilnehmer im Hörsaal

Neben der Funktionsweise eingesetzter Geräte, wie z.B. Schaltgeräte, Schaltanlagen oder Schutzeinrichtungen wurden Betriebserfahrungen mit moderner Anlagentechnik aus Sicht der Energieversorgungsunternehmen präsentiert und Informationen über gültige Vorschriften und Normen gegeben. Im Vergleich zum letzten Jahr

- **Einführung in die Anlagentechnik**
Dr.-Ing. Martin Schumacher,
ABB Calor Emag Schaltanlagen
AG, Hanau-Großauheim
- **Hochspannungsschaltanlagen**
Dr.-Ing. Uwe Kaltenborn,
ALSTOM Energietechnik
GmbH, Transmission & Distribution,
Frankfurt am Main
- **Schutz- und Stationsleittechnik**
Dr.-Ing. Siegfried Lemmer,
Siemens AG, Nürnberg
- **Betriebserfahrungen mit moderner Anlagentechnik**
Dr.-Ing. Heinrich Hoppe-Oehl,
RWE Net AG, Dortmund
- **Ortsnetzstationen**
Dr.-Ing. Gisbert Brüggemann,
Schneider Electric, Ratingen
- **Mittelspannungsfelder und -schaltanlagen**
Dr.-Ing. Stefan Göttlich,
ABB Calor Emag Mittelspannung
GmbH, Ratingen

- **Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen in der Entwicklung**
Dr.-Ing. Hartmut Knobloch,
Siemens AG, Berlin
- **Instandhaltungsstrategien**
Prof.Dr.-Ing. Armin Schnettler,
RWTH Aachen, Institut für
Hochspannungstechnik



Vortragender

Die Teilnehmerzahl lag bei insgesamt 80 Personen. Aufgrund der hohen Resonanz und positiven Kritik soll das Seminar auch 2004 wieder angeboten werden. Bei allen Vortragenden möchten wir uns an dieser Stelle noch einmal herzlich bedanken.



Betriebsausflug am 11.07.2003 nach Mechernich/Kommern

Der diesjährige Betriebsausflug ging dieses Mal ins Freilichtmuseum Kommern in der Eifel. Dort wurde ausgiebig gewandert und nach einem kleinen Imbiss konnte anschließend jeder der wollte, Mut und Geschick auf der benachbarten Sommerrodelbahn unter Beweis stellen. Wieder in Aachen setzte sich die Mehrheit der Mitarbeiter aufs Rad und fuhr nach Korneliemünster, um den Tag gemütlich im Garten von Professor Schnettler beim Grillen unter strahlend blauem Himmel mit netten Gesprächen ausklingen zu lassen.

Freilichtmuseum Kommern

Um 8:00 Uhr ging es los in Richtung Kommern. Ziel war das Freilichtmuseum, in dem auf einem weitläufigen Areal 65 Gebäude aus verschiedenen Regionen des Rheinlandes wieder errichtet wurden, die für das Bauen, Wohnen und Wirtschaften der Landbevölkerung seit Ende des 15. Jahrhunderts beispielhaft sind. Diese Gebäude sind in eine Museumslandschaft mit Äckern, Gärten und Obstwiesen eingebettet.



Hof im Freilichtmuseum

Bei einer Wanderung durch diese Landschaft haben wir IFHTler einen Eindruck davon gewinnen können, wie unsere Vorfahren vor mehreren Hundert Jahren gelebt und gearbeitet haben. Bei gutem sonnigen Wetter durften auch Erfrischungsgetränke natürlich nicht fehlen, deswegen wurden sie in zwei Bollerwagen mitgezogen. Der alten Sitte folgend wurden diese

Bollerwagen natürlich von den beiden "dienstjüngsten" Mitarbeitern am Institut gezogen. Wie man sieht, war dies bei strahlendem Sonnenschein ein eher schweisstreibendes Vergnügen.



Gute Stimmung am Bollerwagen

Sommerrodelbahn

Zwei Kilometer neben dem Freilichtmuseum wurde 1997 auf dem ehemaligen Landesgartenschau Gelände Mechernich/Kommern eine Sommerrodelbahn mit einer Gesamtlänge von 680 m gebaut. Während einige sich auf die Terasse des angeschlossenen Restaurantbetriebes setzten, um die Mittagssonne zu genießen, nutzten andere die Gelegenheit, um das eine oder andere Mal den Hang "herunterzurodeln". Dies mündete in einem sportlichen Wettstreit, da natürlich jeder möglichst schnell den Hang herunterrodeln wollte.



Auf der Rodelbahn

Als Abschluss des offiziellen Teils wurde vor der Rückfahrt nach Aachen noch ein kleiner Imbiss serviert. Nach der kurzen Stärkung wanderte die Gruppe den Rodelhang hinunter, wo uns der wartende Bus wieder aufnahm und zurück in die Heimat brachte.



Rast im Freilichtmuseum

Ausklang

Zum Abschluss stand ein weiteres Highlight des Tages auf dem Programm: Familie Schnettler hatte zum Grillen eingeladen. In guter Erinnerung an das letzte Grillfest vor zwei Jahren, setzte sich die Mehrheit der Mitarbeiter ins Auto oder aufs Fahrrad und fuhr nach Kornelimünster. Zu Essen und zu Trinken gab es mehr als genug und schon nach kurzer Zeit waren Hunger und Durst gestillt.



Grillen bei Familie Schnettler

Wer wollte, konnte noch sein sportliches Geschick an der bereitstehenden Tischtennisplatte demonstrieren. Der Rest des Abends wurde darauf verwendet, die Ereignisse des Tages und des letzten Jahres in gemütlicher Runde Revue passieren zu lassen.



Exkursion nach Dresden vom 3.- 5.7.2003

Im Rahmen der Vorlesung Hochspannungstechnik und des Seminars Hoch- und Mittelspannungsschaltgeräte und -anlagen fand dieses Jahr eine dreitägige Exkursion für Studenten und Assistenten statt. Besichtigt wurden die Firma High Volt, das Umspannwerk Dresden-Mitte, eine Schaltanlage sowie das Alstom Schaltanlagenwerk. Weiterhin bestand die Gelegenheit zur Stadtbesichtigung.

Donnerstag, 3.7.2003

Um 5.30 Uhr begann die Exkursion mit der Abfahrt vor dem Hauptgebäude der RWTH in Richtung Dresden. Teilnehmer waren 45 Studenten, 4 Assistenten und Prof. Schnettler. Um 14.00 Uhr trafen wir bei High Volt in Dresden ein, wo uns in einem interessanten Vortrag zunächst ein Überblick über das Unternehmen gegeben wurde. Die anschließende Werksbesichtigung rundete den Besuch ab.



Semper-Oper

116



Firma High Volt

Der Abend stand zur freien Verfügung, womit die Möglichkeit zur Stadtbesichtigung gegeben war.

Freitag, 4.7.2003

Unser erster Besuch am Freitag führte uns zum Gas- und Dampfkraftwerk Dresden-Mitte. Nach einem umfassenden Vortrag über das Kraftwerk konnten wir bei der anschließenden Kraftwerksbesichtigung detaillierte Einblicke in das Werk gewinnen. Anschließend besichtigten wir eine benachbarte Schaltanlage, bei der uns viele Informationen über die Versorgungsstruktur der Stadt Dresden gegeben wurden.



Schaltanlage in Dresden

Samstag, 5.7.2003

Der Vormittag stand zur freien Verfügung, womit noch einmal die Gelegenheit bestand, einige Eindrücke von Dresden mitzunehmen.

Nachmittags erfolgte der Besuch des Schaltanlagenwerkes von Alstom. Nach einem interessanten Rundgang und umfangreicher Diskussion wurden wir mit der positiven Nachricht verabschiedet, dass engagierte Absolventen gerne als zukünftigen Leistungsträger im Schaltanlagenwerk willkommen sind.



Übergabe der Gastgeschenke bei Alstom, Schaltanlagenwerk

Das gelungene Abendprogramm, das in einem Dresdener Studentenrestaurant stattfand, wurde von den VDE-Jungmitgliedern Dresden organisiert.

Exkursion nach Brasilien vom 16.9.-2.10.2003

Im Rahmen einer Exkursion bestand für vierzehn Mitarbeiter des ifht – Professor Schnettler, Professor Pietsch sowie zwölf Assistenten – die Möglichkeit, verschiedene Ziele in Brasilien zu besuchen. Die Gruppe hatte dabei die Gelegenheit, das weltgrößte Wasserkraftwerk zu besichtigen, interessante Einblicke in das brasilianische Hochschulsystem zu erhalten, mehrere Firmen aus dem Bereich der Energietechnik zu besuchen sowie einen Eindruck von Land und Leuten zu gewinnen.

Sao Paulo

Die erste Station der Reise war *Sao Paulo*, mit über 15 Millionen Einwohnern eine der größten Metropolen der Welt. Bei der Fahrt zum Transformatorwerk der Firma SIEMENS in *Jundiai*, einem kleinen Ort ca. 50 km nördlich von Sao Paulo, konnten bereits erste Eindrücke über Brasilien gewonnen werden. Dabei fiel insbesondere der deutliche Unterschied zwischen den armen und reichen Bevölkerungsschichten auf.

Im Werk der Firma Siemens bestand für die Gruppe die Gelegenheit, die Fertigung von Großtransformatoren hautnah mitzerleben. Insbesondere die in Handarbeit durchgeführte Herstellung der Trafowicklungen rief großes Interesse bei den Teilnehmern hervor. Aber auch die Produktionseinrichtungen für Gießharztransformatoren lieferten interessante Eindrücke in die Technologie dieser Betriebsmittel.

Florianopolis

Bereits einen Tag später erreichte die Gruppe ihre erste Station an der Küste Brasiliens: *Florianopolis*, die Hauptstadt des Bundesstaates St. Catharina im Süden des Landes. Professor Mohr vom Institut für Leistungselektronik an der örtlichen Hochschule UFSC übermittelte bei dieser Gelegen-

heit nicht nur interessante Eindrücke in die Forschungsarbeiten seines Instituts, sondern begleitete die Gruppe am Wochenende auf einem Tagesausflug in die Stadt *Blumenau*, die 1850 von einem deutschen Apotheker gegründet worden ist. Deutsche Aussiedler prägen auch heute noch das Erscheinungsbild der Stadt, was sich eindrucksvoll an den Vorbereitungen zum zweitgrößten Oktoberfest der Welt, welches alljährlich Anfang Oktober in *Blumenau* stattfindet, gezeigt hat.



ABB auf dem „Stammtisch“ in Blumenau

Zum Zeitpunkt unseres Besuchs fand gerade der sogenannte *Stammtisch* statt, ein Fest, zu dem quasi sämtliche Vereine, Organisationen und auch Betriebe der Stadt in der Fußgängerzone der Innenstadt Zelte aufbauen und dort mit den Mitbewohnern *Blumenaus* bei Musik, Bier und Barbeque feiern.

Iguacu

Itaipu, mit 12.600 MW elektrischer Leistung das weltgrößte Wasserkraftwerk, liegt im Landesinneren nahe der Stadt *Foz de Iguacu* an der Grenze zu Paraguay. Es bestand die Möglichkeit, eine spezielle technische Führung zu erhalten, die die Teilnehmer nicht nur die Maschinenhalle und den Staudamm des Kraftwerks besichtigen ließ, sondern sogar bis in die Ansaugschnecke einer der neuen Turbinen, die wenige Wochen nach dem Besuch in Betrieb genommen werden wird, geführt hat.

Neben diesem technischen Highlight der Fahrt konnten zudem nahe des Kraftwerks die Wasserfälle von *Iguacu* bewundert werden. Dabei wurden im Rahmen einer Bootstour die Gewalten der Wasserkraft hautnah erlebt.



Das größte Wasserkraftwerk Itaipu

Belo Horizonte

Eine weitere Station im Landesinneren war die Stadt *Belo Horizonte*, nördlich von Sao Paulo. Ein Besuch der Firma ABB, die in dieser Stadt ein Werk zur Herstellung und zum Test von Hochspannungsmasten besitzt, lieferte interessante Eindrücke über den Stand der Technik dieser vielleicht oftmals zu wenig beachteten Bestandteile von Hochspannungsnetzen.



ABB Gelände zum Testen von Hochspannungsmasten

Belo Horizonte liegt im Bundesstaat „Minas Gerais“ („Allgemeine Minen“). Dieser Name rührt von den reichen Bodenschätzen in dieser Gegend her, die beispielsweise dem kleinen, auf einem Berg gelegenen Ort *Ouro Preto* beträchtlichen Reichtum bescherten. Heute ist das Stadtbild von *Ouro Preto* in das Weltkulturerbe der UNESCO aufgenommen. Ein Tagesausflug dorthin führte die Gruppe neben dem Besuch in der örtlichen Hochschule für Bergbau (Professor Roeser) zusätzlich in eine ehemalige Goldmine und vermittelte somit einen kleinen Eindruck in die Goldgräberzeit.



Altehrwürdiger Sitzungssaal der Universität in Ouro Preto

Rio de Janeiro

Von *Belo Horizonte* führte die Route wieder an die Küste, nach *Rio de Janeiro*. Professor Stephan von der staatlichen Universität *UFRJ* empfing die Gruppe und stellte ihr nach ei-

nem Rundgang durch den Fachbereich Elektrotechnik insbesondere seine neuesten Forschungen auf dem Bereich der Supraleitungstechnik vor.



Rio de Janeiro: Der Zuckerhut im Nebel

Der Aufenthalt in *Rio de Janeiro*, der sich über ein Wochenende erstreckte, wurde auch dazu genutzt, die Stadt etwas genauer kennenzulernen. So stand neben der Fahrt auf den Zuckerhut auch ein Besuch des weltgrößten Fußballstadions (*Maracanã*-Stadion) sowie einer Sambaschule auf dem Programm. Dass jedoch eine (brasilianische) Metropole auch Schattenseiten besitzt, über die man als Besucher nicht hinwegsehen sollte, wurden der Gruppe bei einem geführten Rundgang durch eines der Armenviertel (*Favela*) *Rio de Janeiro*s bewußt.



Churrascaria

In *Rio de Janeiro* fand auch ein Treffen mit dem *Deutschen Akademischen Austausch Dienst (DAAD)* statt. Dr. Schwamborn, Leiter der Landes-

dependance des *DAAD*, lud die Gruppe zu einem Abendessen mit deutschen Studenten, die vorübergehend in Brasilien studieren, ein. Bei dieser Gelegenheit konnten eine Reihe von interessanten Kontakten geknüpft und zahlreiche Erfahrungen ausgetauscht werden.

Salvador di Bahia

Die letzte Station führte in den Norden Brasiliens, in die ehemalige Hauptstadt des Landes, die seit der Sklavenezeit sehr stark durch afrikanische Kultureinflüsse geprägt ist: *Salvador di Bahia*. Eine Besichtigung der privaten Universität *FTC* unter der Betreuung von Professor Queiroz zeigte aufgrund der deutlich besseren Gebäude- und Geräteausstattung den eklatanten Gegensatz zu staatlichen Hochschulen und die sehr guten Studienbedingungen an derartigen Hochschulen. Zum Abschluss der Fahrt konnten die Teilnehmer in Salvador, dessen historisches Stadtzentrum ebenfalls zum Weltkulturerbe gehört, in einem traditionellen Restaurant sowie bei einem Musikfestival die afrikanischen Einflüsse noch etwas auf sich wirken lassen, bevor am folgenden Tag die Rückreise nach Deutschland auf dem Programm stand.



Informal Discussion zum Abschluß eines anstrengenden Tages



Mitarbeiter des ifht 2003

Staff of ifht 2003