

INHALTSÜBERSICHT

1.	VORWORT	2
2.	PERSONELLE BESETZUNG DES INSTITUTS	6
3.	LEHRE	8
	3.1. VORLESUNGEN	8
	3.2. PRAKTIKA.....	11
	3.3. EXKURSIONEN	12
	3.4. STUDIEN- UND DIPLOMARBEITEN	12
4.	PROMOTIONEN.....	15
5.	FORSCHUNGSARBEITEN.....	18
6.	VERÖFFENTLICHUNGEN.....	84
7.	MITARBEIT IN FACHGREMIEN / VORTRÄGE	87
8.	EREIGNISSE UND KONTAKTE	89
9.	PRÜF- UND MESSEINRICHTUNGEN.....	92
10.	LAGEPLAN	93

1. VORWORT

Liebe Freunde des Institutes für Energieübertragung und Hochspannungstechnik,

auch in diesem Jahr wollen wir Ihnen mit diesem Bericht Einblicke in unsere Arbeit geben und auf einige Entwicklungen und Ergebnisse hinweisen.

Sehr erfreulich ist die Tatsache, dass der Staat trotz leerer Kassen die Universitäten im Rahmen von Exzellenzclustern fördern will. Allerdings werden im bundesweiten Hochschulbereich zunächst nur 15 Cluster gefördert werden, so dass leider nur wenige Institute in den Genuss dieser Gelder kommen werden. Nichtsdestotrotz hat sich unser Institut auf Grund seiner breiten Forschungstätigkeiten an Anträgen für drei verschiedene Exzellenzcluster der Universität Stuttgart beteiligen können. Die exzellente Qualität der Forschung und Lehre des Fachbereichs Elektrotechnik an der Universität Stuttgart ist im übrigen wieder durch hervorragende Plätze bei verschiedenen Rankings beeindruckend dokumentiert worden. So belegten wir im SPIEGEL-Ranking den ersten und im aktuellen FOCUS-Ranking bundesweit den dritten Platz.

Trotz zahlreicher Proteste sollen an den baden-württembergischen Universitäten zum Sommersemester 2007 Studiengebühren eingeführt werden. Die eigentliche Zielsetzung dieses Vorhabens, die Betreuung der Studierenden wesentlich zu verbessern, ist aber stark gefährdet, da nach den Vorstellungen des Landes nur studentische Tutoren mit diesen Mitteln bezahlt werden dürfen. Zudem wird durch das beabsichtigte hochgradig bürokratische Verfahren der Gebührenerhebung ein großer Anteil der Gelder zweckentfremdet für administrative Prozesse verwandt werden müssen. Außerdem stellt sich die Frage, wie sich die Gebühren auf die ohnehin zu geringe Zahl von Studierenden in den Ingenieurwissenschaften auswirkt.

In wissenschaftlicher Sicht können wir auf ein erfolgreiches Jahr zurückblicken. Zahlreiche Veröffentlichungen belegen eindrucksvoll unsere vielfältigen Forschungsaktivitäten. Allein mit acht Beiträgen haben wir am 14. International Symposium on High Voltage Engineering (ISH) teilgenommen, das in Peking stattfand. Auf Grund der zahlreichen Anregungen aus der Industrie konnten wir in diesem Jahr fünf neue Forschungsthemen beginnen. Dabei steht der Leistungstransformator im Mittelpunkt zweier Arbeiten. Dipl.-Ing. Andreas Weinsläder wird mittels FEM-Programmen kombiniert mit CFD-Codes die Temperaturverteilung und Ölströmung im Aktivteil untersuchen. Das Ziel der Arbeit von Frau M. Sc. Jackelyn Aragón-Gómez wird die verbesserte Interpretation der Gas-in-Öl Analyse zur Fehlerdiagnose sein. Herr M. Sc. Denis Denisov wird sich mit der onsite Teilentladungsmessung an Kabelsteckern befassen. Auf dem Forschungsgebiet der Elektromagnetischen Verträglichkeit bearbeitet Herr Dipl.-Ing. Heinz Rebholz das Thema „EMV-Simulationen im Automobilbereich“ und Herr Dipl.-Ing. Franz Streibl wird den Schutz von KfZ-Steuergeräten vor elektrostatischen Entladungen (ESD) untersuchen.

Das 50-jährige Jubiläum der Hochspannungstechnik an der Universität Stuttgart haben wir am 23. Juni mit vielen Freunden, Förderern und Ehemaligen des Institutes gefeiert. Nach den Festvorträgen konnten die Labors besichtigt werden. Insbesondere die vielen Gespräche während der Hocketse im Innenhof unseres Institutes haben dieses Jubiläum für alle Teilnehmer zu einem schönen Erlebnis gemacht. Flankiert wurde dieses Ereignis zum einen durch das DFG-Kolloquium im Schwerpunktprogramm „Zustandsbewertung von Betriebsmitteln und Anlagen der elektrischen Energieversorgung“ und durch ein Arbeitstreffen des K124.

Im März haben wir zum ersten Mal in Zusammenarbeit mit dem VDE ein Seminar zum Thema „Moderne Diagnoseverfahren für Leistungstransformatoren“ durchgeführt. Nach einer theoretischen Einführung in die Diagnose von Leistungstransformatoren wurden mit praktischen Versuchen in unseren Labors die Durchführung und Interpretation von Teilentladungsmessung, Übertragungsfunktionsbestimmung und dielektrischer Diagnostik erarbeitet. Das Interesse an dieser Veranstaltung war so groß, dass wir kurzfristig noch einen zweiten Termin anbieten mussten. Deswegen haben wir uns entschlossen, dieses Seminar am 28.-29.3.06 wieder durchzuführen. Weitere Informationen dazu können Sie auf unserer Homepage finden.

Auch im nächsten Jahr werden wir Gastgeber einer großen Fachkonferenz sein. Das im zweijährigen Turnus in Stuttgart durchgeführte MICAFIL- bzw. HAEFELY-Symposium zum Thema „Hochspannungsprüftechnik und Diagnostik“ wird im bekannten Rahmen als Stuttgarter Hochspannungssymposium am 15.-16.3.2006 in der Filderhalle in Leinfelden fortgeführt. Dankenswerterweise wird diese Veranstaltung von mehreren Industriepartnern unterstützt, so dass der sehr praxisnahe und vor allem unabhängige Charakter dieser Veranstaltung gewahrt bleiben wird. Wir freuen uns schon jetzt auf interessante Beiträge und eine lebhaftige Diskussion rund um das Thema „Zustandserfassung und -beurteilung von Betriebsmitteln des elektrischen Netzes“, und ich möchte Sie dazu sehr herzlich einladen.

Allen unseren Freunden möchte ich an dieser Stelle recht herzlich für Ihre Anregungen und Ihre Hilfe danken. Mein besonderer Dank gilt der Deutschen Forschungsgemeinschaft und jenen Firmen, die uns durch Aufträge und Spenden unterstützt haben. Wir hoffen, dass dieser Jahresbericht auch dazu beiträgt, die bestehenden Kooperationen auszubauen und neue Kontakte zu knüpfen.

Für das kommende Jahr wünsche ich Ihnen Gesundheit, Glück und alles Gute, auch im Namen von Herrn Professor Feser und allen Mitarbeitern des Instituts.

Stuttgart, im Dezember 2005

Prof. Stefan Tenbohlen

PREFACE

Dear Friends!

Our annual report 2005 offers an overview of our institute's work and refers to some interesting developments and results.

Despite empty public funds it is planned to support the universities by the German government financially in the context of „Exzellenzclusters“. However the number of these clusters is limited to 15 (for all German universities) so that only very few institutes will benefit from this funding. Due to our wide spectrum of research activities our institute could take part in proposals for three clusters of excellence of the University of Stuttgart. By the way the excellent quality of research and teaching at our faculty was also shown recently in several rankings of German magazines (SPIEGEL: first place, FOCUS: third place).

Despite many protests the government of Baden-Württemberg plans to charge study fees, beginning in summer term 2007. The aim is to strengthen the universities and to allow a better support of our students. But a lot of bureaucratic measures and procedures and some incomprehensible regulations (up to now only students working as tutors can be paid from these new funds) will in my opinion prevent a real improvement. Furthermore the introduction of student fees probably will not help to increase the already too small number of students in engineering sciences.

As a result of our successful scientific work in 2005 numerous papers and conference publications have been written, among others we gave 8 presentations at the 14th International Symposium on High Voltage Engineering (ISH) in Beijing, China.

In collaboration with our industrial partners we have started five new research projects in this year. The work of Andreas Weinläder and Jackelyn Aragon Gomez focuses on the field of power transformers. Mr. Weinläder will investigate the modelling of the thermal distribution in power transformers using FEM-codes. The aim of Ms. Aragón-Gómez's research project is the interpretation of dissolved gas analysis (DGA) for diagnostic purposes. Denis Densissov's project deals with on-site PD measurement at cable connectors. Heinz Rebholz and Franz Streibl both are working in the field of Electromagnetic Compatibility of automotive systems. Mr. Rebholz is working on the description and modelling of electronic components and devices under EMC aspects. The project of Mr. Streibl deals with the protection of control devices against electrostatic discharge (ESD).

On June 23rd we celebrated our jubilee „50 Years of High Voltage Technology at Stuttgart University“ with lots of friends, partners and former staff members. The program consisted of presentations and visits in our laboratories. In the evening the interesting day concluded with a casual get together in the court of the institute. At the

same time we hosted two meetings of the Deutsche Forschungsgemeinschaft and the DKE.

On March 2005 we carried out our first VDE-course „Modern Diagnostics of Power Transformers“. After a theoretical introduction the participants achieved experimental knowledge in the field of measurement and interpretation of partial discharges, transfer function (FRA) and dielectric diagnostics. As the demand for this course was so high, we repeated it two weeks later. In 2006, the course will take place on March 28th and 29th. For further information please contact our homepage or see www.vde.com/weiterbildung.

In tradition of the MICAFIL- and HAEFELY-Symposium we will organize an international conference on “Condition Monitoring and Diagnosis of HV Electric Power Apparatus” on March 15th and 16th. The conference will take place in the Filderhalle in Leinfelden. We are glad to announce that several important industrial partners will sponsor the meeting. We are looking forward to the presentation of new developments and results and to interesting discussions.

Our sincere thanks we would like to send to all our friends and partners who have contributed in many ways to our success. Especially we want to thank the Deutsche Forschungsgemeinschaft as well as our industrial partners for their support. One aim of this annual report is to even improve our good relationships with our friends and naturally to contact new partners.

Our best wishes accompany you into the next year.

Stuttgart, December 2005

Prof. Stefan Tenbohlen

2. PERSONELLE BESETZUNG DES INSTITUTS

	e-mail:	Telefon / phone:
	vorname.nachname@ieh.uni-stuttgart.de firstname.surname@ieh.uni-stuttgart.de	+49 (0)711-
Institutsleiter / Head of Institute:	Prof. Dr.-Ing. Stefan TENBOHLEN	-685-7871
Prof. im Ruhestand:	Prof. i. R. Dr.-Ing. Dr. h. c. Kurt FESER	-685-7875
Honorarprofessoren und Lehrbeauftragte:	Prof. Dr.-Ing. Heinz BRÜDERLIN (entpflichtet) <i>Ehemaliger Vorsitzender des Vorstandes der Technischen Werke Stuttgart AG</i>	
	Prof. Dr.-Ing. Peter F. HEIDINGER (entpflichtet) <i>Ehemaliger Vorsitzender des Vorstandes der Energie-Versorgung Schwaben AG</i>	
	Prof. Dr.-Ing. Ernst HAGENMEYER (entpflichtet) <i>Ehemaliges Mitglied des Vorstandes der Energie-Versorgung Schwaben AG</i>	
	Dipl.-Ing. Ulrich SCHERER <i>EnBW Transportnetze AG</i> u.scherer@enbw.com	-128-2437
Oberingenieure:	Dr.-Ing. Wolfgang KÖHLER <i>(Leiter des Hochspannungslabors Nellingen-Zinsholz)</i> Dr.-Ing. Ulrich SCHÄRLI	-341 2075 -685-7878
Wissenschaftliche Mitarbeiter / Scientific Staff:	M. Sc. Jaquelyn ARAGÓN GÓMEZ (ab 1.6.2005) Dipl.-Ing. Enzo CARDILLO M. Sc. Denis DENISSOV (ab 1.2.2005) Dipl.-Ing. Markus FISCHER (ab 1.10.2005) M. Sc. Tammam HAYDER Dipl.-Ing. Stefan HOEK Dipl.-Ing. Maik KOCH	-685-7867 -685-7869 -341 2075 -685-7868 -685-7838 -685-7858 -685-7857

	Dipl.-Ing. Martin KULL	-341 2075
	Dipl.-Ing. Sacha MARKALOUS	-685-8061
	Dipl.-Ing. Jozsef OSZTERMAYER	-685-7868
	Dipl.-Ing. Heinz REBHOLZ (ab 1.3.2005)	-685-7858
	Dipl.-Ing. Franz STREIBL (ab 24.10.2005)	-685-7858
	M. Sc. Rummiya VILAITHONG	-685-7857
	Dipl.-Ing. Andreas WEINLÄDER	-685-7838
	Dipl.-Ing. René WIMMER	-685-7867
	Dipl.-Ing. Michael ZERRER	-341 2075
Sekretariat / Secretary:	Nicole SCHÄRLI <i>(Institutsteil Stuttgart-Vaihingen)</i>	-685-7870
	Renate KINSKI <i>(Hochspannungslabor Nellingen-Zinsholz)</i>	-341 2075
	Hermine LWOWSKI	-685-7876
Technische Angestellte / Technical Staff:	Erwin BECK, <i>Mechanikermeister</i>	-685-7836
	Marija BERGLEZ, <i>Raumpflegerin</i>	-341 2075
	Lucian GLASS, <i>Elektrotechnischer Assistent</i>	-685-7863
	Michael HERDTLE, <i>Mechaniker</i>	-341 2075
	Herbert KAUSSEN, <i>Elektrotechniker</i>	-341 2075
	Dieter MAJEWSKI, <i>Mechaniker</i>	-685-7847
	Hartmut RÖNISCH, <i>Elektrotechniker</i>	-685-7856
	Kurt SCHILL, <i>Meister und Zentralwerkstattleiter</i>	-685-7847
	Karl SOBING, <i>Elektromeister</i>	-341 2075

Die Rufnummern -685-xxxx werden sich voraussichtlich Ende April 2006 ändern und lauten dann: -685-6xxxx.

3. LEHRE

3.1. VORLESUNGEN

Prof. Dr.-Ing. S. TENBOHLEN

Einführung in die Energietechnik II

Sommersemester, 2 V, 1 S, für 4. Semester

- *Aufgabe und Bedeutung der elektrischen Energieversorgung*
- *Energieumwandlung in Kraftwerken*
- *Aufbau von Übertragungs- und Verteilnetzen*
- *Betriebsverhalten elektrischer Energieversorgungsnetze*
- *Kurzschlussströme und Kurzschlussstrombegrenzung*
- *Überspannungen und Isolationskoordination*
- *Sicherheitsfragen*

Prof. Dr.-Ing. S. TENBOHLEN

Hochspannungstechnik I

Wintersemester, 2 V, 2 S, für 5. Semester

- *Auftreten und Anwendung hoher Spannungen bzw. Ströme*
- *Einführung in die Hochspannungsversuchstechnik*
- *Grundlagen der Hochspannungsisoliertechnik*
- *Isolierstoffsysteme in Hochspannungsgeräten*

Prof. Dr.-Ing. S. TENBOHLEN

Hochspannungstechnik II

Sommersemester, 2 V, 2 S, für 6. Semester

- *Schaltvorgänge und Schaltgeräte*
- *Die Blitzentladung*
- *Repräsentative Spannungsbeanspruchungen*
- *Darstellung von Wanderwellenvorgängen*
- *Begrenzung von Überspannungen*
- *Isolationsbemessung und Isolationskoordination*

Prof. Dr.-Ing. S. TENBOHLEN

Elektrische Energienetze I

Wintersemester, 2 V, 2 S, für 5. Semester

- *Aufgaben des elektrischen Energienetzes*
- *Einpolige Ersatzschaltungen der Betriebselemente für symmetrische Betriebsweise*
- *Energieübertragung über kurze Leitung*
- *Berechnung von Energieübertragungsanlagen und -netzen*
- *Betrieb elektrischer Energieversorgungsnetze*
- *Kurzschlussströme bei symmetrischem Kurzschluss*
- *Symmetrische Komponenten*
- *Einpoliger Erdschluss und Erdkurzschluss*

Prof. Dr.-Ing. S. TENBOHLEN

Dr.-Ing. U. SCHÄRLI

Elektrische Energienetze II

Sommersemester, 2 V, 2 S, für 6. Semester

- *Kennwerte von Drehstrom-Freileitungen und Kabeln*
- *Einpoliger Erdschluss und Erdkurzschluss*
- *Lastflussberechnung*
- *Zustandserkennung - state estimation*
- *Netzurückwirkungen*
- *Probleme beim Parallelschalten von Teilnetzen*
- *Kippschwingungen im Netz*

Prof. Dr.-Ing. S. TENBOHLEN

Dr.-Ing. W. KÖHLER

Hochspannungsprüf- und -messtechnik

Wintersemester, 2 V, für 7. Semester

- *Erzeugung hoher Prüfspannungen*
- *Erzeugung hoher Prüfströme*
- *Messung hoher Spannungen*
- *Messung hoher Ströme*
- *Zerstörungsfreie Hochspannungsmessungen*
- *Prüfvorgänge und statistische Auswerteverfahren*
- *Abmessungen, Erdung und Abschirmung in Hochspannungslaboratorien*

Prof. Dr.-Ing. S. TENBOHLEN

Dr.-Ing. W. KÖHLER

Elektromagnetische Verträglichkeit

Sommersemester, 2 V, für 8. Semester

- *Einführung, Begriffsbestimmung*
- *EMV-Gesetz*
- *EMV-Umgebung*
- *Allgemeine Maßnahmen zur Sicherstellung der EMV*
- *Aktive Schutzmaßnahmen*
- *Nachweis der EMV*
- *Einwirkung auf biologische Systeme*
- *Beispiele zur Lösung von EMV-Problemen*

Dipl.-Ing. U. SCHERER

Energiewirtschaft in Verbundsystemen

Sommersemester, 2 V, für 8. Semester

- *Verbundbetrieb großer Netze*
- *Besonderheiten bei der Kupplung von Netzen*
- *Netzführung, Energie-Dispatching und Netzleittechnik*
- *Netzregelung in Verbundsystemen*
- *Elektrizitätswirtschaftliche Verfahren und Kostenfragen*
- *Stromhandel und Marktliberalisierung*
- *Energiewirtschaft bei Erdgas*

Prof. Dr.-Ing. S. TENBOHLEN

Dipl.-Ing. T. RUDOLPH

Schutz- und Leittechnik für Hochspannungsnetze

Wintersemester, 2 V, für 7. Semester

- *Monitoring und Diagnose von Betriebsmitteln*
- *Asset Management*
- *Grundlagen der Schutztechnik*
- *Digitale Schutztechnik*
- *Leittechnik*
- *Kommunikationstechnik*

3.2. PRAKTIKA

Dr.-Ing. U. SCHÄRLI

Elektrotechnisches Grundlagenpraktikum

Dieses Praktikum ist Pflicht für die Studierenden des Studiengangs Elektrotechnik und Informationstechnik im 1., 2. und 4. Semester. Auch Studierende der Informatik mit Nebenfach Elektrotechnik nehmen teil. Die insgesamt etwa 55 Versuche wurden von den elektrotechnischen Instituten der Fakultät Informatik, Elektrotechnik und Informationstechnik speziell für dieses Grundlagenpraktikum entwickelt und eingerichtet. Herr Dr. Schärli hat im Auftrag der Fakultät die Gesamtorganisation des Grundlagenpraktikums inne.

Die Versuche und Veranstaltungen unseres Instituts sind:

- *Sicherheitsseminar*
- *Schutzmaßnahmen I (Personen- und Sachschutz) nach DIN VDE 0100*
- *Schutzmaßnahmen II*
- *Entladungen bei hohen Spannungen*
- *Erzeugung und Messung von Stoßspannungen*

Dr.-Ing. W. KÖHLER

Fachpraktikum Hochspannungstechnik

Das Fachpraktikum Hochspannungstechnik wird vom IEH für Studierende im Hauptdiplom in der Regel nur im Sommersemester angeboten. Jeder Versuch wird von einer kleinen Gruppe (i.d.R. drei Studierende) an einem Dienstag- bzw. Donnerstagnachmittag bearbeitet.

Zur Zeit werden 8 Versuche angeboten, aus denen 7 ausgewählt werden können:

Versuch 1: Erzeugung und Messung hoher Wechselspannungen

Versuch 2: Erzeugung und Anwendung hoher Stoßspannungen

Versuch 3: Netzschutz in Hochspannungsnetzen: Digitaler Schutz

Versuch 4: Elektrisches Feld: Messmethoden, Berechnungsmöglichkeiten (am PC)

Versuch 5: Wanderwellenvorgänge: Experiment und Simulation

Versuch 6: Stoßvorgänge an Transformatoren

Versuch 7: Gasentladungen und Isolierstoffe

Versuch 8: Elektromagnetische Verträglichkeit: Grundlagen der EMV-Messtechnik

3.3. EXKURSIONEN

17. – 20. Mai 2005: Fahrt mit den Hörern der Fachvorlesungen zu

- AREVA Energietechnik GmbH, Kassel:
Fertigung von Leistungsschaltern
- EON Energie AG:
Pumpspeicherwerk Waldeck
- RWE Power AG:
Braunkohlekraftwerk Niederaußem, Tagebau Garzweiler
- AREVA Energietechnik GmbH, Mönchengladbach:
Fertigung von Leistungstransformatoren

24. Mai 2005, ganztägig

Besichtigung der beiden Blöcke des Kernkraftwerks Philippsburg der „EnBW Kraftwerke AG“ mit ausführlicher Diskussion aktueller Fragen der Energiepolitik und -versorgung

21. Juni 2005, ganztägig

Besuch des Heizkraftwerks Altbach/Deizisau mit Rundgang; Besichtigung der 380- und 110-kV-GIS-Schaltanlage und Erläuterung der Besonderheiten; zum Vergleich Besichtigung der 380-kV-Freiluftschaltanlage Pulverdingen

3.4. STUDIEN- UND DIPLOMARBEITEN

Abgeschlossene Diplomarbeiten vom 1.11.2004 bis 31.10.2005:

Name	Thema
Bella, Francisco Magraner	Untersuchung elektromagnetischer Teilentladungssignale in Beziehung zu IEC 60270 Investigation of electromagnetic Partial Discharge signals in relation to the IEC 60270 standard
Denissov, Denis	Simulation of the Thermal Behavior of a Natural Oil-Cooled Transformer Winding using the FEM-Software ANSYS
Ertl, Harald	Messung und Analyse von Teilentladungssignalen unter Öl im UHF-Bereich und Kopplung der UHF- mit der akustischen Methode Measurement and analysis of Partial Discharge signals in oil in the UHF range and coupling of the UHF-method with the acoustic PD method
Fischer, Markus	Fuzzy-Logische Zustandsbeurteilung von Leistungstransformatoren zum Asset-Management Fuzzy logic based condition evaluation of power transformers in the scope of asset management

Gonzalo, Manuel	Erweiterung des Ortungsprogramms Padialo – signal-theoretische Analysewerkzeuge zur Entrauschung und automatischen Laufzeitbestimmung Enhancements in the localization program Padialo - signal theoretical analysis tools for denoising and automated arrival time determination
Graf, Julia	Diffusionsvorgänge im Öl-Papier-Dielektrikum Diffusion Processes in the Oil-Paper-Dielectric
Klein, Steffen	Optimierung eines mehrkanaligen Messsystems mit optischer Übertragung für Bordnetzuntersuchungen im Automobilbereich Optimization of a multichannel measuring system with optical link for automotive applications
Langnese, Ivo	Akustische Vibrationsmessungen an Leistungs-transformatoren Acoustic measurements of vibrations at power transformers
Rebholz, Heinz	Dielektrische Festigkeit verschiedener Gase in GIS Dielectric strength of different gases in GIS
Schneider, Torsten	Entwicklung eines Breitbandrauschgenerators für KFZ-Emissionsmessungen Development of a broadband noise source for automotive emission measurement
Streibl, Franz	Untersuchung von elektrostatischen Entladungen an Kraftstofffördermodulen Investigation of electrostatic discharges at automotive fuel pump systems
Stubicar, Karsten	Charakterisierung des Kopplungsverhaltens von Fahrzeugen durch S-Parameter Characterisation of the coupling behaviour of vehicles by means of S-parameters
Teufel, Benjamin	Entwicklung des Steuer- und Auswertemoduls eines mehrkanaligen Messsystems mit optischer Übertragung für den Einsatz im Automobilbereich Design of the control- and analysis-module for a multichannel measuring system with optical link for automotive applications
Werner, Jörg	Entwurf und Aufbau eines mehrkanaligen Empfängers für digital-optisch übertragene Messdaten Design and construction of a multichannel receiver for digital-optical transmitted measuring data

Abgeschlossene Studienarbeiten vom 1.11.2004 bis 31.10.2005:

Name	Thema
Berger, Jesko	Datenkonvertierung/Datenexport aus dem Online-Messsystem/TFMon-Programm Data conversion/data export of the online measuring system/TFMon-program
Kuhnle, Daniel	Detektion und Ortung von Teilentladungen mit Hilfe von akustischen Sensorarrays Detection and localization of Partial Discharges by means of acoustic sensor arrays
Kuhnle, Daniel	Aufbau und Inbetriebnahme einer optisch-digitalen Übertragungsstrecke Construction and implementation of an optical-digital transmission line
Langnaese, Yvo	Untersuchung der Einflüsse von nichtlinearen Schutz-elementen auf die Transferfunktion Research of the influence of nonlinear safety elements on the transfer function
Merella, Demistoklis	Messung und Analyse von Teilentladungssignalen unter Öl im UHF-Bereich bei Verwendung eines GIS-Fenstersensors Measurement and analysis of Partial Discharge signals in oil in the UHF range using a GIS window coupler
Neumaier, Philipp	Laufzeitbestimmung von akustischen Signalen unter Berücksichtigung der Entrauschung mit Wavelets Arrival time determination of acoustic signals in consideration of wavelet denoising
Schmid, Thomas	Erstellung einer Software für ein Online-Monitoring-System zur Datenerfassung, Datenverarbeitung und Visualisierung Development of an online monitoring system software for data acquisition, data processing and visualization
Schuldt, Holger	Software zur laufzeitbasierten Ortung von Teilentladungen Software for arrival-time-based localization of Partial Discharges
Shao, Qihua	Einfluss der Ölleitfähigkeit auf dielektrische Messmethoden Influence of Oil Conductivity on Dielectric Measurement Methods
Wohlhaupter, Uli	Simulation eines Transformators mit Schrägregelwicklung Simulation of a phase shifting transformer

4. PROMOTIONEN

- **High frequency modeling of power transformers: Stresses and Diagnostics**

Bjerkan, Eilert

Hauptberichter: Prof. Hans Kristian Høidalen
Department: Norwegian University of Science and Technology,
Trondheim,
Faculty of Information Technology, Mathematics and
Electrical Engineering
Mitberichter: Prof. Dr.-Ing. S. Tenbohlen, Uno Gäfvert
Tag der Mündlichen Prüfung: 2005-05-25

In this thesis a reliable, versatile and rigorous method for high frequency power transformer modeling is searched and established. The purpose is to apply this model to sensitivity analysis of FRA (Frequency Response Analysis) which is a quite new diagnostic method for assessing the mechanical integrity of power transformer windings on-site. The method should be versatile in terms of being able to estimate internal and external overvoltages and resonances. Another important aspect is that the method chosen is suitable for real transformer geometries. In order to verify the suitability of the model for real transformers, a specific test-object is used. This is a 20 MVA transformer.

The high frequency power transformer model is established from geometrical and constructional information from the manufacturer, together with available material characteristics. All circuit parameters in the lumped circuit representation is calculated based on these data. No empirical modifications need to be performed. Comparison shows capability of reasonable accuracy in the range from 10 kHz to 1 MHz utilizing a disc-to-disc representation. A compromise between accuracy of model due to discretisation and complexity of the model in a turn-to-turn representation is inevitable.

The importance of the iron core is emphasized through a comparison of representations with/without the core included. Frequency-dependent phenomena are accurately represented using an isotropic equivalent for windings and core, even with a coarse mesh for the FEM-model. This is achieved through a frequency-dependent complex permeability representation of the materials. This permeability is deduced

from an analytical solution of the frequency-dependent magnetic field inside the conductors and the core.

The importance of dielectric losses in a transformer model is also assessed. Since published data on the high frequency properties of pressboard are limited, some initial measurements are done on impregnated pressboard at different temperatures and moisture-levels. $\tan\delta$ is found to be twice the corresponding value for impregnated paper at frequencies from 50 kHz to 1 MHz. Moisture has a minor effect on the losses when frequency approaches 1 MHz. Service-aged paper (impregnated) is also tested in order to investigate other ageing-effects than produced water, but the test show the same decreasing influence at higher frequencies as impregnated pressboard with moisture added. The following main conclusions were drawn from this work:

- A simple, analytical approach cannot be used to build a versatile high frequency power transformer model. The reason being mainly the lack of a proper representation of the iron core, since a FEM-representation without the core did not increase coherence to measurements significantly.
- A proper representation of the iron core is very important for the calculation of inductances. Losses mainly originate from the core at intermediate frequencies (10-200 kHz), and not only from eddy currents in the windings as traditionally assumed. The permeability seem to be of less importance as long as it is well above permeability for oil, since the internal resonances mainly depends on the leakage inductances. The core leg equivalent is important for the leakage field and determines the leakage inductances and winding losses.
- Using a frequency-dependent complex permeability in a FEM-simulation makes possible an accurate representation of core and windings using a coarse mesh. If coating resistivity is sufficiently low to create interlaminar currents/ losses, the iron laminates should be represented by a 2-dimensional complex permeability. Coating parameters are seldom available.
- Dielectric properties of power transformer insulating materials depend on frequency, temperature, moisture, ageing and pressure. Temperature has minor influence on FRA-signatures, other parameters have practically no influence.
- Impulse- and resonant overvoltages both internally and on terminals can be analysed using this method with sufficient accuracy, provided the discretisation of the winding is sufficiently refined regarding the frequencies involved. Since terminal behaviour is given by the internal geometry and material parameters, it is assumed that internal behaviour is related to the accuracy of the terminal behaviour.

- FRA sensitivity to axial displacement is 1,2% of total axial height. The sensitivity to radial deformation (forced buckling) is found to be a buckling depth of 9% of the radius of the winding. Turn-to-turn short-circuits could not be modeled correctly since the lumped elements includes several turns. Disc-to-disc short circuits are easily detected. Axial bending is not detectable. Detection of loose windings and aged insulation is improbable and will be dependent on the available sensitivity (mainly related to the repeatability of the measurements and the reference utilized for comparison).

The contributions in this work relates to different topics such as; Frequency-dependent iron core representation in FEM, study of interlaminar currents and its effect on the internal magnetic field, characterization of high frequency dielectric properties of impregnated pressboard and service-aged impregnated paper, procedure for evaluation of internal/external overvoltages, and finally sensitivity guidelines for the application of FRA to mechanical deformations.

5. FORSCHUNGSARBEITEN

Das Institut befasst sich in seinen Forschungsarbeiten schwerpunktmäßig mit Themen, die zur Sicherstellung einer zuverlässigen Energieversorgung beitragen. Dabei werden hochspannungstechnische Aufgaben auf dem Gebiet der Isolationsfestigkeit genauso bearbeitet wie Themen, die den Einsatz der Informationstechnik in der Energieversorgung und in der Hochspannungstechnik betreffen. Ein besonderer Schwerpunkt der Forschungstätigkeit ist die Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV) bei energietechnischen und elektronischen Systemen.

Arbeitsgebiet: Schutz und Überwachung von Betriebsmitteln

Der Betrieb der Übertragungsnetze über Bemessungsgrenzen und projektierte Lebensdauer der Betriebsmittel hinaus bedingt eine genauere Überwachung des Betriebszustandes, um die Versorgungssicherheit weiter zu gewährleisten (Life Cycle Management). So werden zum einen die für die einzelnen Betriebsmittel notwendigen Diagnoseverfahren entwickelt und verbessert, um z. B. die Restnutzungsdauer vorhersagen zu können. Zum anderen werden anlagenübergreifende Instandhaltungsstrategien entwickelt (Asset Management).

Weiterhin erfordert der vermehrte Einsatz von Mikrorechnern für den Schutz und die Überwachung von Betriebsmitteln die Entwicklung und Analyse von Algorithmen, die speziell auf die Digitaltechnik zugeschnitten sind. Am Institut wurden in den letzten Jahren adaptive Verfahren für den Schutz von Freileitungen, Kabeln und Transformatoren entwickelt. Momentan werden neuartige Methoden zur Überwachung von Transformatoren und SF₆-Anlagen entwickelt.

Arbeitsgebiet: Hochspannungsprüf- und -messmethoden

Am Institut werden moderne Messmethoden zur Erfassung hoher Stoßspannungen und schnellveränderlicher elektromagnetischer Felder untersucht und weiterentwickelt. Besondere Schwerpunkte sind Untersuchungen zur Genauigkeit von Hochspannungsmessungen und die Erfassung der Messgrößen mittels digitaler Messgeräte mit eingebauter Intelligenz. Zu einem besonderen Schwerpunkt hat sich in den letzten Jahren die Teilentladungs-(TE)-Messtechnik entwickelt. Wir beschäftigen uns hier vor allem mit fortschrittlichen Verfahren der Störgrößenunterdrückung, mit der akustischen TE-Messtechnik und mit der UHF-Methode zur Erfassung und Ortung von TE.

Arbeitsgebiet: Gasförmige Isolierstoffe

Aus ökologischen und ökonomischen Gründen wird seit längerem untersucht, das reine SF₆ als Isoliermedium in metallgekapselten gasisolierten Schaltanlagen (GIS) durch SF₆-Mischungen und alternative Isoliergase zu ersetzen. Für die Auswahl eines umweltfreundlichen und wirtschaftlichen Gases sowie für die dielektrische Auslegung der GIS sind Schott- bzw. Stützisolatoren von großer Bedeutung. So wird an Modellanordnungen mit typischen Fehlstellen die elektrische Festigkeit von verschiedenen Gasgemischen untersucht. Weiterhin ist für technische Isolieranordnungen die

Kenntnis des Einflusses der atmosphärischen Bedingungen auf die Spannungsfestigkeit von großer Bedeutung. An Modellanordnungen wird deshalb der Einfluss der Feuchtigkeit und der Temperatur auf die Durchschlagfestigkeit bei verschiedenen Spannungsbeanspruchungen untersucht.

Arbeitsgebiet: Elektromagnetische Verträglichkeit

Das Gebiet der Elektromagnetischen Verträglichkeit (EMV) ist am Institut seit vielen Jahren einer der Schwerpunkte. Begonnen haben diese Aktivitäten mit der Erzeugung und Messung elektromagnetischer Feldimpulse mit extrem hohen Amplituden und sehr kurzen Anstiegszeiten. Dabei stand die Nachbildung von NEMP, LEMP und die Simulation von Trennerschaltungen in SF₆-Anlagen im Vordergrund. Neuere EMV-Forschungsarbeiten befassten sich mit schnellen Emissionsmessverfahren im Zeitbereich (FEMIT: **F**ast **E**mission **M**easurement in **T**ime **D**omain) und mit der Modellierung und messtechnischen Untersuchung von elektrostatischen Entladungen von Kunststoffoberflächen.

Die momentan laufenden Forschungsarbeiten sind im Bereich der Automobil-EMV angesiedelt. Eine Arbeit befasst sich mit Korrelationsbetrachtungen zwischen im Automobilbereich üblichen Komponentenmessverfahren und den EMV-Messungen an Gesamtfahrzeugen. Eines der Ziele dabei ist, durch Messungen an einzelnen Fahrzeugkomponenten (z. B. Steuergeräten) auf das spätere Verhalten dieser Komponenten im Fahrzeug zu schließen. Eine weitere Arbeit befasst sich mit der EMV von Fahrzeugbordnetzen. Durch neue elektrische Aggregate in modernen Fahrzeugen können neuartige impulsartige Störgrößen verursacht werden, welche für alle an diesem Bordnetz betriebenen Baugruppen u. U. Störgrößen darstellen, die durch die bisherigen EMV-Prüfverfahren nicht abgedeckt sind. Ziel dieser Arbeit ist es, diese Störgrößen zu erfassen und zu klassifizieren und auch neue Messtechnik zu entwickeln, mit deren Hilfe diese sporadisch auftretenden Störgrößen im Fahrzeug sicher und ohne wesentliche Störbeeinflussung aufgezeichnet werden können.

Nicht unerwähnt bleiben sollten die Aktivitäten auf dem Gebiet der potentialfreien Messung elektrischer und magnetischer Felder. Seit mehreren Jahrzehnten waren Mitarbeiter unseres Instituts auf diesem Gebiet erfolgreich tätig. In jüngster Zeit wurden auch hier weitere Neuentwicklungen gemacht, wobei der Einsatz neuartiger VCSEL-Laserdioden mit sehr geringem Stromverbrauch im Vordergrund stand.

- **Einfluss der Ölviskosität auf das thermische Verhalten von ON – gekühlten Transformatorwicklungen**

Dipl.-Ing. Enzo Cardillo

Die Kühlung des Aktivteils von Leistungstransformatoren erfolgt durch das Isolieröl. Dabei wird die Wärme vom Öl als inneres Kühlmedium über die Wärmetauscher an das externe Kühlmedium, Luft oder Wasser, abgeführt. Der Wärmetransfer wird dabei durch die Temperaturgradienten Kupfer zu umgebendem Öl, dem vertikalen Temperaturgradienten des Öls in der Wicklung und vom Temperaturunterschied zwischen Kühllöl und umgebendem Kühlmedium begleitet. Sie hängen von der abgeführten Wärmemenge, der Geometrie der hydraulischen Profile, den Kühlflächen und den Eigenschaften der Kühlflüssigkeit ab.

Gemäß IEC 60354 müssen die Transformatorenhersteller folgende Temperaturanstiege gewährleisten (Temperatur abzüglich der Temperatur des äußeren Kühlmediums): Deckelöltemperatur (Θ_{ot}), mittlere Wicklungstemperatur (Θ_{wa}) und Heißpunkttemperatur (Θ_{hs}). Diese Temperaturanstiege werden während des Entwurfsprozesses des Transformators berechnet und sind Gegenstand der Erwärmungsprüfung.

Wie bereits erwähnt hängen die Temperaturgradienten von den Ölparametern ab. Vom Transformatorenhersteller wird normalerweise ein bestimmter Öltyp verwendet, so dass er aufgrund seiner Erfahrung im Stande ist, entsprechende thermische Eigenschaften vorhersagen zu können. Seit kurzem vollziehen sich jedoch bedeutende Änderungen auf dem Markt von Transformatorenöl. Wahrscheinlich werden in Zukunft die Hersteller dazu gezwungen sein, auf einen anderen Öltyp umzusteigen. Deswegen stellt sich die Frage, welchen Einfluss dieser Wechsel des Öltyps auf die thermischen Eigenschaften haben wird – besonders, wenn dessen Viskosität erhöht ist. Eine weitere Frage stellt sich im Zusammenhang mit der Wartung von Transformatoren: Können durch den Austausch von Kühllölen unterschiedlichen Typs irgendwelche Risiken entstehen?

Aus diesem Grund wurden an einer Versuchswicklung Wärmeläufe mit unterschiedlichen Ölsorten (weitere Benennung: Typ A und Typ B) durchgeführt, die sich vor allem in ihrer Viskosität um bis zu 30% voneinander unterscheiden (Bild 1). Untersucht wurde dabei die Kühllart ON, da sie besonders sensibel auf die Variation der Stoffparameter reagiert. Der gegenüber den Stoffwerten empfindlichste Temperaturgradient ist der vertikale Temperaturanstieg des Öls in der Wicklung. Insbesondere wird durch die Viskosität die Fließgeschwindigkeit durch die Wicklung stark beeinflusst. Eine höhere Viskosität hat eine längere Verweildauer des Öls in der Wicklung zur Folge, somit nimmt der vertikale Temperaturgradient zu. Das Verhältnis der Öltemperaturgradienten bei den unterschiedlichen Öltypen wird durch Gleichung 1 beschrieben.

- **Influence of the oil viscosity on thermal characteristics of ON – cooled transformer windings**

Dipl.-Ing. Enzo Cardillo

The active part of a standard power transformer is cooled by the transformer oil. Thereby the generated heat is transferred by the oil as the inner cooling medium through the heat exchangers to the external cooling medium, which can be water or air. Due to the heat transfer some temperature gradients appear: the copper to oil temperature gradient, the vertical temperature rise of the oil inside the transformer winding and the temperature difference between the cooling oil and the surrounding cooling medium. They depend on the transferred heat rate, the geometry of the hydraulic profiles, the cooling surface and the physical properties of the internal liquid cooling medium, e.g. the transformer oil.

According to the valid IEC 60354 standard the transformer manufacturers have to guarantee that the following temperature gradients in respect to the ambient temperature are not exceeded: top-oil temperature gradient (Θ_{ot}), average winding copper temperature gradient (Θ_{wa}) and the hot-spot temperature gradient (Θ_{hs}). These temperature differences are calculated during the designing process of the transformer. They are the objective of the heat run test experiment in the manufacturers test field.

As above mentioned the temperature gradients depend on the properties of the used transformer oil. Usually the transformer manufacturer use a certain oil type. As a result of long time experience he is able to predict the corresponding thermal behaviours. Recently on the world market of transformer oil significant changes happen. Most probably the transformer manufacturers will be forced to change the oil type in the near future. Hence the question concerning the influence on thermal attributes of the transformer by a change of the oil type arise, especially in case of higher oil viscosities. Another question arises in the connection with the transformer maintenance: is it possible that due to the oil type change some risk for the transformer in operation will be effected?

That is why extensive heat run tests on an experimental test winding arrangement have been carried out. The heat run tests have been made using two different types of transformer oil (subsequently denoted by type A and type B). They differ significantly in their viscosities, which is up to 30 % higher for the oil type A, as shown in Figure 1. Investigated is the natural cooling mode (ON), since this one is most sensitive on the oil property variation. In this context the vertical oil temperature gradient inside the winding is the most responsive one. By the oil viscosity the oil velocity is influenced in a great extend. A higher viscosity leads to lower oil velocities and thus to a longer retention time of the oil inside the winding. Consequently the temperature

$$\frac{\Theta_{\text{Oel,LW}}|_A}{\Theta_{\text{Oel,LW}}|_B} = \frac{\rho_{\text{Oel,B}} \cdot c_{P,\text{Oel,B}}}{\rho_{\text{Oel,A}} \cdot c_{P,\text{Oel,A}}} \cdot \sqrt{\frac{\mu_A}{\mu_B}} \cdot \sqrt{\frac{\rho_{\text{Oel,0,A}} \cdot \beta_B \cdot \rho_{\text{Oel,B}} \cdot c_{P,\text{Oel,A}}}{\rho_{\text{Oel,0,B}} \cdot \beta_A \cdot \rho_{\text{Oel,A}} \cdot c_{P,\text{Oel,B}}}} \quad (1)$$

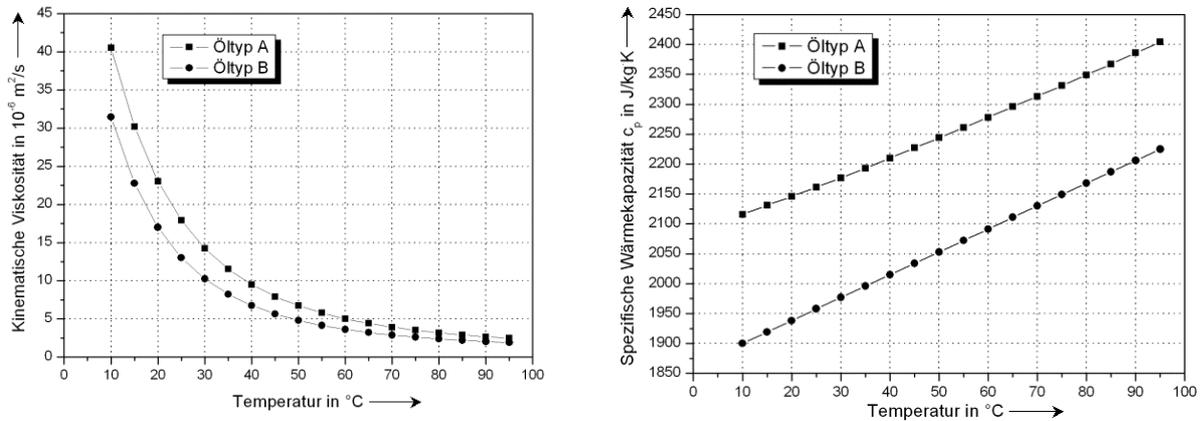


Fig. 1: Kinematische Viskosität und Wärmekapazität der untersuchten Öltypen
Kinematic viscosity and specific heat capacity of the different oil types used

In Bild 2 sind die Temperaturgradienten des Öls in der Wicklung für beide Öltypen in Abhängigkeit von der Wärmestromdichte dargestellt.

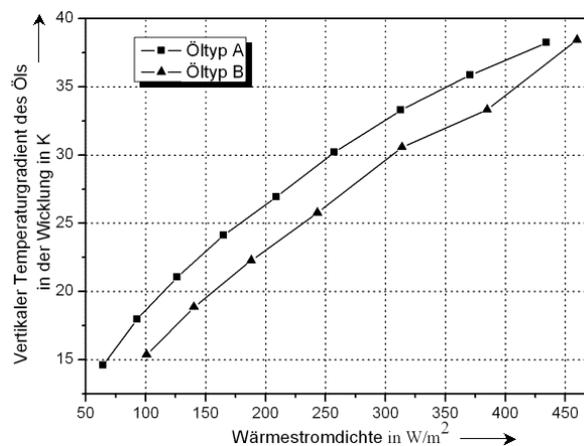


Fig. 2: Vertikaler Temperaturgradient des Öls in der Wicklung
Vertical temperature gradient of the oil inside the winding

Für die Wärmestromdichte $q = 313 \text{ W/m}^2$ ist der Temperaturanstieg beim Öltyp A (33,3 K) um 8,9 % höher als beim Öltyp B (30,6 K). Der theoretisch zu erwartende Wert ergibt sich aus Gleichung 1 zu 10 %. Der gemessene Wert trifft den theoretisch berechneten Wert relativ gut. Die Abweichungen ergeben sich einerseits aus den bei der Herleitung von Gleichung 1 angenommenen Vereinfachungen. Andererseits wurden die Versuche unter harten Strömungsbedingungen für das Kühlöl durchgeführt. Praktisch bedeuten die Ergebnisse, dass die bisherigen Sicherheitsmargen bei der thermischen Auslegung von Transformatorwicklungen auch in dem Fall der Verwendung von Isolierölen mit bis zu 30 % höheren Viskositäten genügen.

gradient will increase. The ratio of the vertical oil temperature gradients for two different oil types can be calculated using Equation 1.

Figure 2 shows the experimentally determined temperature gradient curves for both of the examined oil types dependent on various heat flux densities. For the heat flux density of $q = 313 \text{ W / m}^2$ the analysed temperature gradient for the oil type A is 8,9 % (mean oil temperature was 33,3 K) as for the oil type B (mean oil temperature was 30,6 K). Using Equation 1 the theoretical value of 10 % can be calculated. The measured ratio matches the calculated one very close. On the one hand the difference is caused because of simplifications made in the derivation of Equation 1. On the other hand the experiments are made under hard conditions for the oil flow, e.g. low positioned radiators and high hydraulic resistance of the examined winding type (disc type winding).

For the practical benefit it can be concluded that based on the measurements the safety margin of 3 K in winding design could be recommended in case of using oil having 30 % higher viscosity. In the most of the real cases absolutely no correction is needed. The values of 3 K margin is established based on the presented measurement results. The results have been obtained for quite severe oil flow conditions such as low positioned radiators and using a winding type with a long oil path and consequently high hydraulic resistance. So, the 3 K margin seems as a reasonable recommendation for HV transformers, particularly for the HVDC transformers, where higher hydraulic resistances to the oil circulation due to the insulations systems below and above the winding exist. For all OD and OF, and also for ON transformer for voltages up to 110 kV, 1 K seems to be a satisfactory safety margin for the characteristic temperature rises in case of oil with lower viscosity is used.

▪ **Dielektrische Festigkeit verschiedener Gase und Gasgemische in GIS**

M.Sc. Denis Denissov

Aus ökologischen und ökonomischen Gründen wird seit längerem versucht, das reine SF₆ als Isoliermedium in metallgekapselten gasisolierten Schaltanlagen (GIS) durch SF₆-Mischungen und alternative Isoliergase zu ersetzen. Für die Auswahl eines umweltfreundlichen und wirtschaftlichen Gases sowie für die dielektrische Auslegung der GIS sind Schott- bzw. Stützisolatoren von großer Bedeutung. Sie stellen im ungünstigsten Fall sensible Schwachstellen für die gesamte Isolation dar. Maßgebend für die Beurteilung der Durchschlagsfestigkeit der GIS ist daher unter anderem der Zustand der Grenzfläche zwischen Isoliergas und Feststoffisolation. Eine weitere Beeinflussung der Durchschlagsfestigkeit ergibt sich durch anhaftende, leitfähige Partikelverunreinigungen, wie sie z. B. durch Abrieb in bewegten Teilen innerhalb der GIS auftreten können. Zur Reduktion des in der Energietechnik verwendeten SF₆-Anteils werden CO₂, N₂ und Druckluft sowie die CO₂/SF₆- und N₂/SF₆-Mischgase als Alternative zu SF₆ im Druckbereich von 0,1 bis 1 MPa auf ihre Isolierfestigkeit überprüft.

Versuchsaufbau

Die Modellanordnung setzt sich aus einem Modellstützer und einem Prüfeinsatz zusammen (Bild 1). Ohne metallische Verunreinigung erhält man die Durchschlagsfeldstärke im Homogenfeld an der Grenzfläche von Isoliergas/Feststoffisolator. Bei der Simulation von in GIS auftretenden Störpartikeln (6) ist ein 4 mm langer NiCr-Draht (Ø 0,2 mm) in der Mitte des Stützers (5) mit Silikonkleber angebracht. Die gesamte Anordnung besteht aus zwölf Modellstützern (Prüfeinsätzen), welche in einer Elektrodenanordnung (1,2) mit Rogowski-Profil untergebracht sind. Die als Feststoffisolator verwendeten Modellstützer sind zylindrisch mit einem Durchmesser von 25 mm und einer Höhe von 45 mm. Sie bestehen aus Epoxydharz mit Aluminiumoxyd (Al₂O₃) als Füllstoff. Für jeden Probeneinsatz erzeugen zwei aus V2A-Stahl hergestellte Elektroden (3, 4) mit Rogowski-Profil das jeweilige Homogenfeld der Modellumgebung. Die komplette Modellanordnung ist in einem zylindrischen Versuchsgefäß untergebracht, welches Arbeiten bei Gasdrücken bis zu 1,4 MPa erlaubt. Die Prüfspannungen werden durch einen einphasigen Hochspannungstransformator (WS) sowie einen achtstufigen Marx'schen Stoßgenerator (LI) erzeugt. Bei der Wechselfeldspannungsprüfung wird die Spannung mit ca. 6 kV/s bis zum Durchschlag gesteigert. Zur Ermittlung der Durchschlagfeldstärke bei Blitzstoßspannungen wurde die Spannung von etwa 50% der erwarteten Durchschlagspannung schrittweise in 10%-Schritten bis zum Durchschlag gesteigert.

Dielectric Strength of Different Gases and their Mixtures with SF₆ in GIS

M.Sc. Denis Denisov

Pure SF₆ has excellent insulating and arc-quenching properties. Therefore it constitutes the main H.V. insulation medium in gas-insulated equipment nowadays. However, there are some serious concerns about its further employment from the ecological point of view. SF₆ has been classified at the Kyoto conference on climate change among the greenhouse gases. So its emission in the atmosphere should be reduced. For this reason one looks intensively for the possible environmentally friendly substitutes. For dimensioning the gas insulated systems the support insulators (spacers) are of special interest. Contaminations on the insulator surface can cause field distortions and may lead to a significant reduction of the breakdown strength. For this reason the gases CO₂, N₂ and dry air as well as CO₂/SF₆, N₂/SF₆ gas mixtures are examined as possible substitutes for SF₆ in the pressure range from 0.1 to 1 MPa. Their behaviour under AC and LI stresses is investigated. The study compares the breakdown characteristics of these gases and their mixtures in case of clean boundary surfaces as well as for contamination with metallic particles.

Test Setup

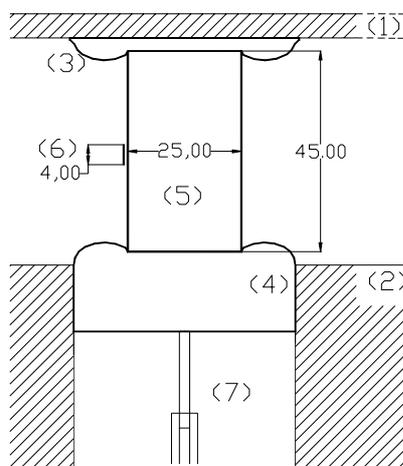


Fig. 1: Test setup

1. HV electrode; 2. ground electrode; 3, 4. specially shaped grading electrodes; 5. spacer model; 6 metallic particle; 7 piston

Modified components of a commercial 525 kV GIS were used as a test chamber, inside of which the experimental electrode arrangement was installed. This arrangement contains two aluminium plates as HV and ground electrodes (1,2) as shown in Fig.1. It can host up to 12 spacers (5) shielded by specially shaped grading electrodes (3,4). Each test spacer can be selected by pushing out a pneumatic controlled piston (7). A cylindrical solid insulator, made of epoxy resin and filled with aluminium oxide (Al₂O₃), is used as a spacer model. To simulate the possible particle contamination (6) in GIS a 4 mm long NiCr-wire (Ø 0,2 mm) is attached to the surface with silicon glue in the middle of the spacer. The test chamber can be filled with gas at pressures up to 1,4 MPa. In the present work the pressure range between 0,1-10 MPa is investigated. Voltage stresses were produced either

by a GIS encapsulated H.V. test transformer (AC), or by an eight-stage impulse generator with standardized LI stress of 1,2/50 µs (LI). The LI voltage was normally increased from approximately 50% of the expected flashover voltage in 10% steps until flashover occurred. The AC voltage was raised with a rate of 6 kV/s.

Versuchsergebnisse

Zur Bestimmung der mittleren Überschlagsspannung $U_{\bar{u},m}$ bzw. Durchschlagsfeldstärke $E_{\bar{u},m}$ wurden jeweils 8-12 Versuche pro Überschlagsexperiment durchgeführt. Alle Werte der Durchschlagsfeldstärken beziehen sich auf den jeweils ermittelten Scheitelwert der angelegten Spannung mit dem dazugehörigen Vertrauensbereich nach der Student-Verteilung. Der jeweils angegebene Gasdruck des Isoliergases ist als Absolutdruck [MPa] aufgetragen.

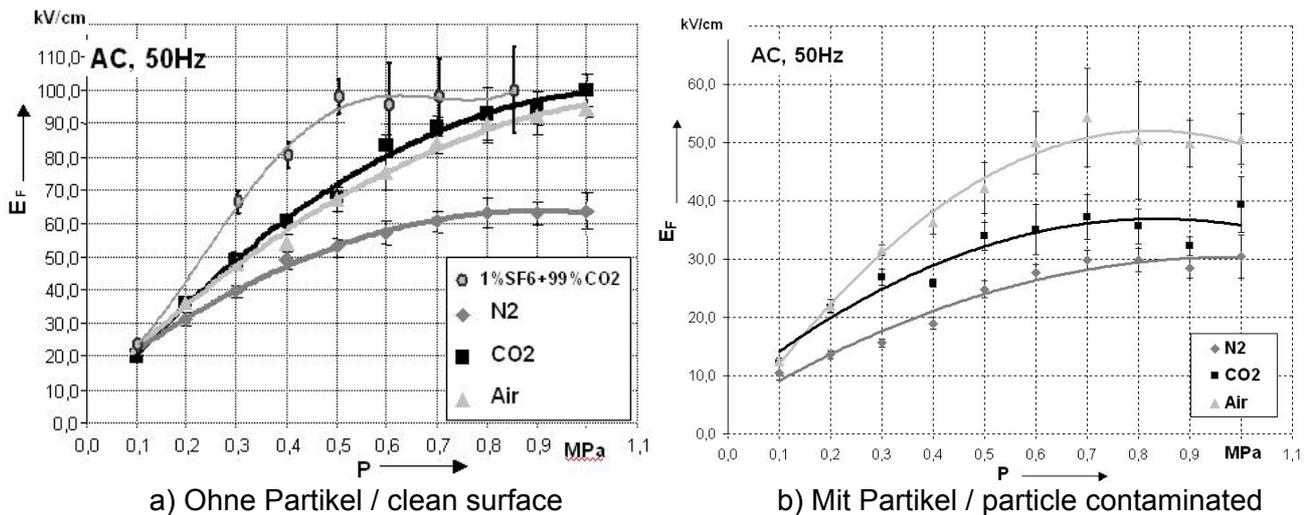


Fig. 2: Überschlagsfeldstärke als Funktion des Gasdruckes in N_2 , CO_2 , Luft und $1\%SF_6+99\%CO_2$

Flashover field strength vs. pressure for N_2 , CO_2 air and a mixture $1\%SF_6+99\%CO_2$

Abbildung 2a zeigt die Durchschlagsfeldstärken der Isoliergase N_2 , CO_2 , Druckluft und des Gasgemisches $1\%SF_6+99\%CO_2$ als Funktion des Gasdruckes ohne metallische Partikelverunreinigung. Die elektrische Festigkeit der Anordnung steigt dabei monoton mit wachsendem Gasdruck. CO_2 und Druckluft weisen kaum Unterschiede in ihrer elektrischen Festigkeit auf. Stickstoff dagegen bleibt über dem gesamten Druckbereich von 0,1 bis 1 MPa weit unter der Durchschlagsfeldstärke von CO_2 bzw. Druckluft. Durch Zugabe einer geringen Menge SF_6 (1%) wird die Durchschlagsfeldstärke von CO_2 erheblich gesteigert.

Bei der Modellanordnung mit Metallpartikel (Bild 2b) bringt die leitende Verunreinigung eine deutliche Herabsetzung ($\sim 50\%$) der Überschlagsspannung und damit auch der Überschlagsfeldstärke mit sich. Das Ausmaß der Absenkung ist im Allgemeinen von der Spannungsart sowie vom Feldverlauf in der Anordnung abhängig.

Soll komplett auf den Einsatz von reinem SF_6 oder von SF_6 -Mischgasen verzichtet werden, stellen Druckluft und CO_2 unter erhöhtem Druck eine Alternative dar, solange ihr Lichtbogenlöschvermögen irrelevant ist. Jedoch ist die erheblich geringere elektrische Festigkeit sowie der steigende Einfluss auf Verunreinigungen im Design der Anlagen zu berücksichtigen.

Test Results and Discussion

To determine the mean flashover voltage $U_{F,m}$ and the corresponding field strength $E_{F,m}$ a set of 12 spacer models was stressed in each test cycle. All values of flashover field strengths are referenced to the calculated peak values of applied voltages with the inherent confidence interval of 95% according to Student's distribution. Gas pressure values marked on the graphs below correspond to the absolute pressures in MPa.

Fig.2 presents the Flashover field strength vs. pressure for N_2 , CO_2 , air and a mixture of 1% SF_6 +99% CO_2 . The dielectric strength of the arrangement rises steadily with increasing pressure. Carbon dioxide and compressed air show nearly no difference in their dielectric strengths. On the contrary, nitrogen has a lower strength over the whole pressure range. Adding a little amount of SF_6 to CO_2 results in a significant increase of the breakdown field strength, but only in the pressure range 0,2-0,7 MPa as shown in Fig.2a. In case of the metal particle contamination a significant reduction of breakdown voltage (up to 50%) can be observed in the Fig.2b.

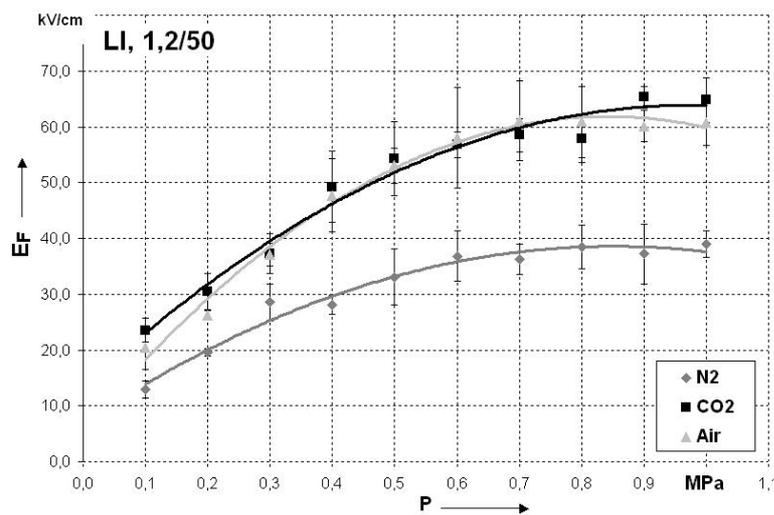


Fig. 3: Flashover field strength vs. pressure for N_2 , CO_2 and air with particle contamination
Überschlagsfeldstärke als Funktion des Druckes in N_2 , CO_2 und Luft mit Partikel

During the LI stress with positive polarity the surface charge accumulates on the particle contaminated spacer surface, once the PD-inception voltage is exceeded even if no breakdown occurs. The results for this case shown in Fig. 3 prove again the similarity in CO_2 and air flashover behaviour. However, there is some increase in the flashover strength due to existent surface charge. Further investigations at this point are necessary.

If the use of the pure SF_6 insulation and its mixtures will be restricted in the future, compressed air or carbon dioxide could be used as possible substitutes as long as arc-quenching properties are irrelevant. However, higher gas pressures together with an increased impact of surface contamination on the insulation performance have to be considered in the design of future GIS equipment.

▪ **Untersuchung der Fehlergasentstehung in Leistungstransformatoren**

M.Sc. Jackelyn Aragón Gómez

Leistungstransformatoren sind teure Bestandteile des Energienetzes, und ihre Leistungsfähigkeit ist in hohem Maße vom Zustand des Isolationssystems, das aus Zellulosepapier und Transformatoröl besteht, abhängig. Das Transformatoröl, das hauptsächlich zur Kühlung und Isolation dient, wird allgemein durch Raffinierung der Rohöldestillate gewonnen. Mineralöl, dessen Zusammensetzung in bestimmten Verhältnissen aus Kohlenwasserstoffen wie Paraffin, Naphthene und aromatischen Komponenten besteht, ist als Isolationsöl weit verbreitet.

In der Vergangenheit wurde hauptsächlich Mineralöl wegen seiner dielektrischen Festigkeit, geringen Viskosität und Kosteneffizienz eingesetzt. In den letzten Jahren hat sich die Nachfrage nach umweltfreundlichen Transformatorölen erhöht. Deswegen gewinnt das pflanzliche Isolieröl immer mehr an Bedeutung als möglicher Ersatz für das Mineralöl. Das pflanzliche Isolieröl bietet gegenüber dem Mineralöl verschiedene Vorteile, wie gute Leistungsfähigkeit, geringe Giftigkeit, biologische Abbaubarkeit, bessere Wärmeübertragung und schwerere Entflammbarkeit. Die dielektrischen Eigenschaften des Pflanzenöls müssen hingegen noch überprüft werden, um sicherzustellen, dass sie die Anforderungen in Leistungstransformatoren erfüllen.

Die Alterung des Transformatoröls steht im direkten Zusammenhang zu einem Oxidationsprozess. Hierbei entstehen bestimmte Gase, die in Öl gelöst sein können. Ursache dieser Gasentstehung sind Fehler wie Teilentladung (TE), Überhitzung „Hot-Spots“, schlechte Kompatibilität zwischen dem Öl und den internen Materialien und die Degradation der Zellulose. Die Zusammensetzung und Konzentration der Gase hängt vom Fehlertyp und von der Intensität ab. Folglich können die Hauptbestandteile der Gase Wasserstoff, Methan, Ethan, Ethylen, Acetylen, Kohlenmonoxid und Kohlendioxid sein. Die Oxidationsprozesse des Transformatoröls und die Gasentwicklung sind jedoch bisher noch nicht vollständig bekannt.

Mit Hilfe eines Versuchs sollen die Fehlerfälle Teilentladung (TE) und „Heißpunkte“ nachgebildet und die Entstehung der im Transformatoröl gelösten Gase untersucht werden. Der experimentelle Aufbau besteht aus einem Hochspannungsstromkreis, einem Ölbehälter, der den Leistungstransformator ersetzt, dem Öldurchflusssystem einschließlich Ölaufbereitung und der Ölrückführung zum Ölbehälter sowie die DGA (Dissolved Gas Analyse) für die Überwachung des Öls (siehe Bild 1 und 2). In Bild 3 wird das experimentelle Verfahren gezeigt.

Die Überwachung von Leistungstransformatoren ist sehr wichtig, um die auftretenden Fehler, die als Folge der Zustandsverschlechterung des isolierenden Systems vorkommen, festzustellen. Online-Monitoring-Systeme, die auf der DGA-Technik basieren, werden als sehr zuverlässige und genaue Werkzeuge angesehen.

■ Investigation of Fault Gases Generation in Power Transformers

M.Sc. Jackelyn Aragón Gómez

Power transformers are costly components of the electrical network and their operational efficiency relies to a great extent on the adequate condition of the insulating system, which is composed by cellulose paper and transformer oil. Transformer oil, whose main function is to serve as insulating and cooling media, is commonly obtained by refination of crude oil distillates. Mineral oil is frequently used as transformer oil, its composition is based on a mix of certain proportion of hydrocarbons of different nature such as paraffin, naphtenes and aromatic.

During decades, mainly mineral oil had been widely employed in power transformer because of its good dielectric strength, low viscosity and cost effectiveness. However, in the last years, the demand for environmentally friendly transformer oils has increased and vegetable-based insulating oils have gained great importance as potential substitutes of mineral oil, which offer advantages such as good performance, lower toxicity, biodegradability, better heat transfer and lower flammability. However, dielectric properties of vegetable oil has to be proven in order to verify that it meets the performance requirements of power transformers.

Aging of transformer oil is associated with an oxidation process. Certain gases originate at this process that can be dissolved in oil. The reason for the gas formation are failures such as partial discharges (PD), overheating “hot-spots”, poor compatibility of oil and internal materials and degradation of cellulose. The gas composition and concentration depend on the failure type and intensity, thus the main gas products can be hydrogen, methane, ethane, ethylene, acetylene, carbon monoxide and carbon dioxide. Nevertheless, the oxidation process of transformer oil and mechanisms of gas formation have not yet been fully identified.

The mechanisms of fault gases dissolved in transformer oil are to be investigated applying an experimental setup that resembles faulty operations of a power transformer by partial discharges (PD) and hot spots. The experimental setup is composed by a high voltage circuit that includes an oil-filled tank representing a power transformer, an oil flow system including treatment and recirculation to the tank and monitoring of oil by Dissolved Gas Analysis (DGA) technique (see Fig. 1 and Fig. 2). The experimental conduction can be seen in Fig. 3.

Monitoring of power transformer is very important in order to detect incipient faults as a result of degradation of the insulating system. Online monitoring applying Dissolved Gas Analysis (DGA) technique is considered as a highly reliable and accurate tool, suitable to identify and quantify gases dissolved in oil, to warn of critical problems and to provide an early diagnosis in order to implement a maintenance plan for the power transformer.

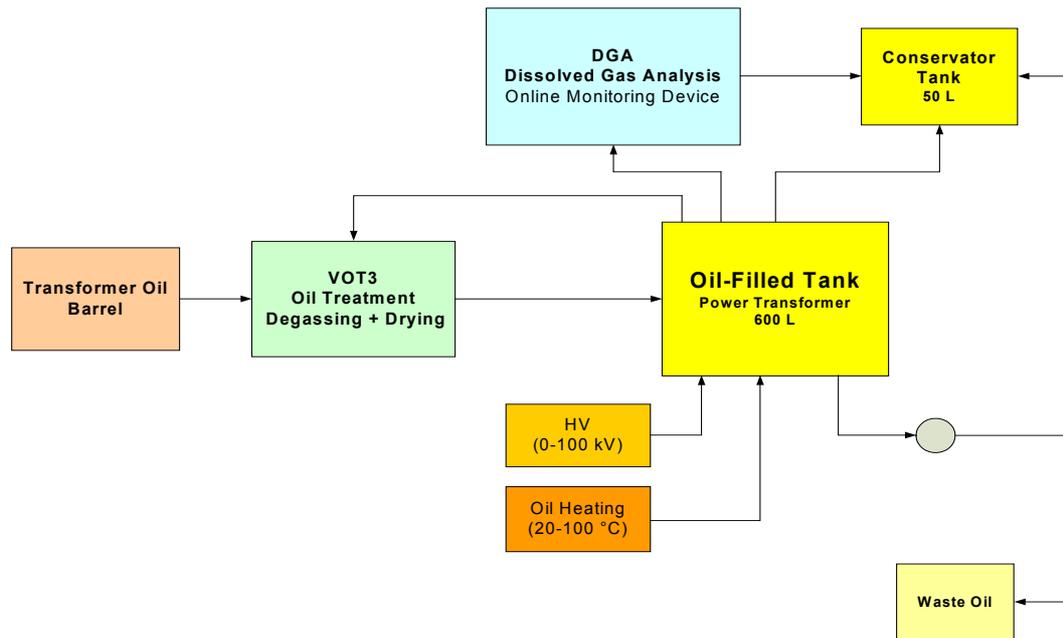


Fig. 1: Block diagram of components of the experimental setup
 Blockdiagramm der Bestandteile des experimentellen Versuchsaufbaus

Mit solch einem System ist man in der Lage, die im Öl gelösten Gase zu identifizieren und zu quantifizieren, aber auch vor kritischen Problemen des Transformators zu warnen sowie eine frühzeitige Diagnose zu erstellen, um eine geeignete Wartung des Leistungstransformators umsetzen zu können.

Mittels einer Vakuumpumpe werden die Gase von den Ölproben, die aus unterschiedlichen Tiefen des Ölbehälters entnommen werden, extrahiert und mit einem Gaschromatographen (GC) analysiert. Eine entsprechende Fehlerdiagnose kann dann mittels vorhandener Schemen erfolgen, wie zum Beispiel die Dreieckmethode nach Duval, die Methoden nach IEC, Dornenburg oder die Methode nach Rogers.

Die Beschaffenheit, Menge und Konzentration der Gase, die im Transformatoröl gelöst sind, werden kontinuierlich durch eine DGA analysiert. Die Interpretation der Ergebnisse zielt darauf ab, den Gasgehalt, der im Transformatoröl aufgelöst und ein Indiz der Fehlerstärke ist, zu überprüfen. Außerdem wird der Mechanismus der Gasentstehung durch ein numerisches Modell nachgebildet und mit den experimentellen Resultaten verifiziert.

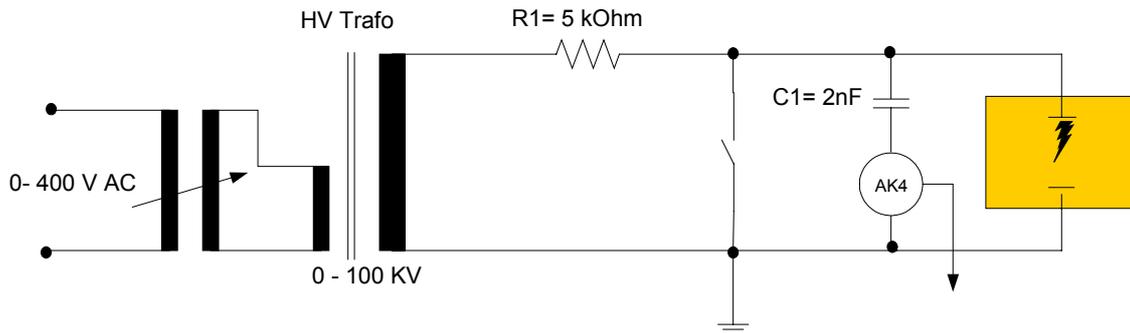


Fig. 2: High voltage circuit of the experimental setup
Hochspannungsschaltung des Versuchsaufbaus

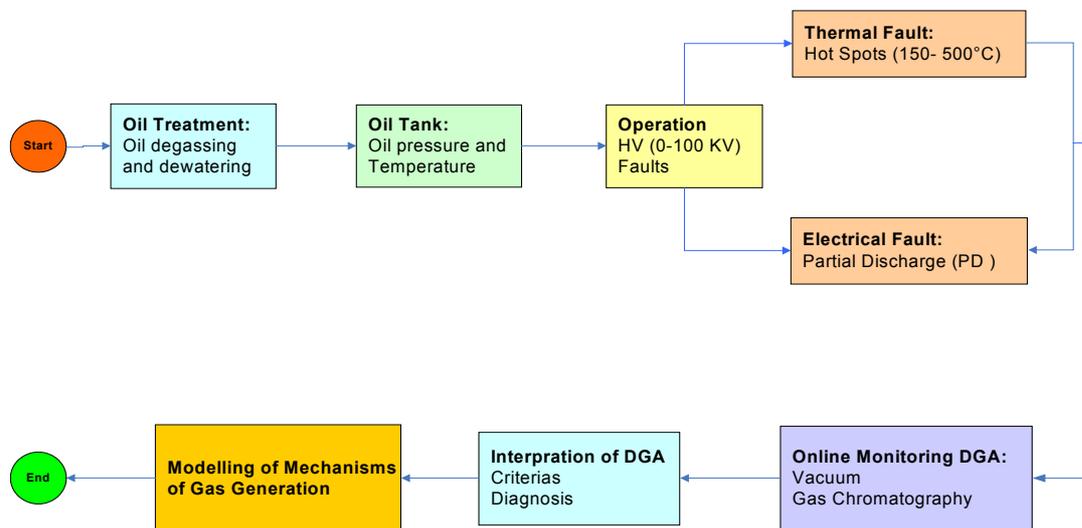


Fig. 3: Block diagram of the experimental conduction
Blockdiagramm der Verfahrensschritte

Oil samples will be taken at different depths of the oil-filled tank that represent the power transformer. Then gas is extracted by vacuum pump and analysed by Gas Chromatography (GC). Diagnosis of the failure can be done by means of several interpretation criteria available, such as the Duval triangle method, the IEC, Dornenburg and Rogers.

The nature, amount and concentration of gases dissolved in transformer oil will be continuously analysed by DGA and interpretation of results will be aimed at verifying the gas content dissolved in the transformer oil corresponding to the fault intensity. Furthermore, modelling of the mechanisms of gas formation by numerical modelling will be verified with the experimental results.

▪ **Universales Differentialschutzkonzept für Regeltransformatoren**

Dipl.-Ing. Tammam Hayder

Die Vielfalt von Regeltransformatoren hinsichtlich der Bauform stellt eine Herausforderung an die Schutztechnik dar. Die derzeitige Vorgehensweise bei der Differentialschutzkonzeption für Regeltransformatoren besteht darin, dass entweder die Differentialschutzkennlinie um ca. 30 % bis 35 % des Nennstromes hochskaliert wird (bei Transformatoren für direkte Spannungsregelung), wodurch jedoch die Empfindlichkeit des Schutzes erheblich beeinträchtigt wird, oder dass für jede Bauform ein eigenes Schutzkonzept entwickelt wird, was nicht unbedingt einfach und wirtschaftlich ist (bei Blocktransformatoren für indirekte Regelung).

Ein funktionsbasiertes Schutzkonzept ermöglicht sowohl die Verbesserung der Empfindlichkeit des Schutzes als auch die Vereinfachung der Schutzkonzeption. Dieses Konzept setzt aber die Fähigkeit des Schutzes zu einer adaptiven Anpassung der Primär- und Sekundärströme als Funktion der Stufenschalterstellung voraus. In Fig. 1 ist die Prinzipskizze des Konzeptes dargestellt.

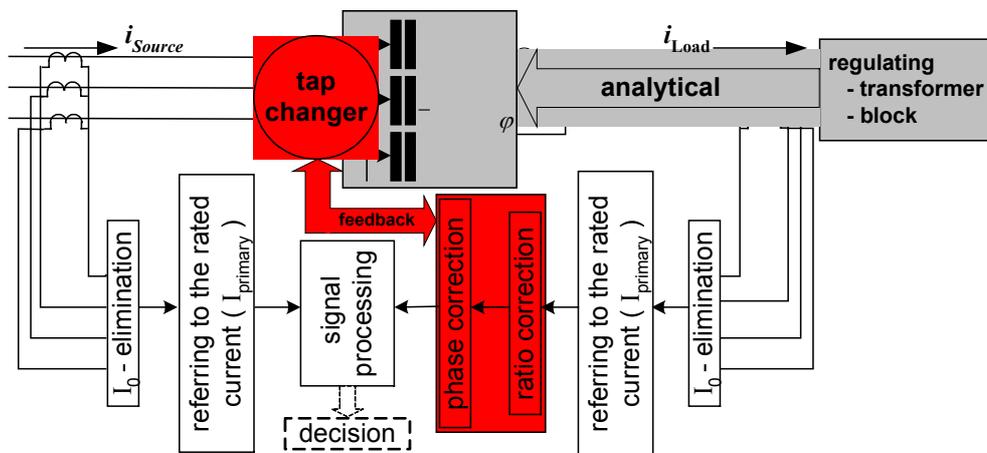


Fig. 1: Prinzipskizze des Konzeptes
Sketch of the concept

Die Kernidee des Konzeptes ist die Beschreibung des Transformators durch eine analytische komplexe Funktion, bestehend aus der Windungsanzahl der Wicklungen, einschließlich der Regelwicklungen als Variable und aus weiteren Regelgrößen (z. B. Winkel), welche in Anlehnung an die Stellung des Stufenschalters bestimmt und online korrigiert werden. Mit Hilfe dieser Funktion werden die Amplitude und die Schaltgruppe der Sekundär- an die Primärströme angepasst.

Aus der komplexen Übersetzung des Regeltransformators $\underline{\hat{u}} = A e^{j\varphi}$ erfolgt die Amplituden- und Schaltgruppenanpassung folgendermaßen:

Amplitude: $[i'_{Load}] = [i_{Load} - i_0]_{(p.u.)} / A$

▪ A Universal Concept for Differential Protection of Regulating Transformers

Dipl.-Ing. Tammam Hayder

The variety of the regulating transformer's design poses a challenge for protection planner. The current approach to the conception of differential protection for regulating transformers is as follows: either the minimum bias of protection characteristic is selected to be greater than the maximum tap of the transformer by about 30-35% of I_n (in the case of transformer for direct voltage regulation (standalone regulating transformer)), whereby the protection sensibility is significantly reduced, or for every arrangement of regulating block a separate concept of protection has to be developed.

A concept of protection on the basis of adaptive function representing the regulating transformer enables the attainment of two goals, the improvement of the protection sensitivity and the simplification of the protection conception. For an implementation of the concept the protection ability to adaptive adjustment of the secondary currents as a function of tap changer position is required. In Fig. 1 the concept is illustrated.

The main idea of the concept is the description of transformers by an analytical complex function consisting of turn number of the windings including the regulating windings as variables, which are determined and adjusted online depending on the tap changer position likewise other controlled variables in the function (e.g. angle).

From the complex function $\underline{\hat{u}} = A e^{j\varphi}$ occur the ratio and phase correction in the following way:

Ratio: $[i'_{Load}] = [i_{Load} - i_0]_{(p.u.)} / A$

Phase:

$$[i''_{Load}] = \frac{2}{3} \cdot \begin{pmatrix} \cos(\varphi) & \cos\left(\varphi + \frac{2\pi}{3}\right) & \cos\left(\varphi - \frac{2\pi}{3}\right) \\ \cos\left(\varphi - \frac{2\pi}{3}\right) & \cos(\varphi) & \cos\left(\varphi + \frac{2\pi}{3}\right) \\ \cos\left(\varphi + \frac{2\pi}{3}\right) & \cos\left(\varphi - \frac{2\pi}{3}\right) & \cos(\varphi) \end{pmatrix} \cdot [i'_{Load}]$$

The adjustment functions depend on the type, that means for every design there is an analytical function to derive. A catalogue containing adjustment functions for several common designs of regulating transformers has been compiled.

A sensitivity analysis of the concept by means of simulations of two types:

Simulations of two real transformers of different type have been carried out. The first type is a phase shifting transformer with a symmetrical dual core (PST), which

Wobei $[i'_{Load}]$: Spaltenmatrix der in Amplitude angepassten Leiterströme.

$[i_{Load} - i_0]_{(p.u.)}$: Spaltenmatrix der normierten Leiterströme nach der Eliminierung des Nullstromes.

Schaltgruppe: Nach der Eliminierung des Nullstromes lässt sich eine allgemeine Anpassungsmatrix mit Hilfe der symmetrischen Komponenten ermitteln. Es gilt folgende Gleichung:

$$[i''_{Load}] = \frac{2}{3} \cdot \begin{pmatrix} \cos(\varphi) & \cos\left(\varphi + \frac{2\pi}{3}\right) & \cos\left(\varphi - \frac{2\pi}{3}\right) \\ \cos\left(\varphi - \frac{2\pi}{3}\right) & \cos(\varphi) & \cos\left(\varphi + \frac{2\pi}{3}\right) \\ \cos\left(\varphi + \frac{2\pi}{3}\right) & \cos\left(\varphi - \frac{2\pi}{3}\right) & \cos(\varphi) \end{pmatrix} \cdot [i'_{Load}]$$

$[i''_{Load}]$: Spaltenmatrix der in Phase angepassten Leiterströme.

Die Anpassungsfunktionen sind typbezogen, d.h. je nach Bauform wird analytisch eine entsprechende Anpassungsfunktion abgeleitet. Es wurde ein Katalog aufgestellt, der die Anpassungsfunktionen für mehrere gängige Regeltransformatortypen enthält.

Empfindlichkeitsanalyse des Konzepts anhand der Simulation von zwei Typen:

Es wurden Simulationen von zwei realen Transformatoren verschiedenen Typs durchgeführt. Der erste Trafo ist ein symmetrischer Phasenschiebertransformator (PST). Dieser PTS besteht aus einem Erregertransformator, dessen Sekundärwicklung die Regelwicklung darstellt und die wie die Primärwicklung in Stern geschaltet ist, und einer Serieneinheit, deren Sekundärseite in Dreieck geschaltet und mit der Erregereinheit verbunden ist (Fig. 2 a). Ein Transformator dieser Bauform mit den folgenden Nenndaten wurde simuliert: 240/320/400 MVA, Erregereinheit 230/38.66 kV, die Regelwicklung ist in 16 Stufen geteilt und 91.41/66.96 kV (Serieneinheit). Der zweite Typ ist ein Spartransformator mit Tertiärwicklung als Erregereinheit und einem Zusatztransformator, mit dessen serieller Wicklung man die Spannungsamplitude verändern kann. Die Primärwicklung des Zusatztransformators eines Stranges kann wahlweise allen drei Tertiärsträngen des Haupttransformators zugeordnet werden, so dass eine Schrägregelung ($\pm 60^\circ$) realisiert werden kann (Fig. 2 b). Das hier simulierte Exemplar besteht aus einem Haupttransformator mit 220/220/66 MVA und 400/231/30 kV und einem Zusatztransformator mit 40 MVA, 30/24 kV und einer Regelwicklung mit 15 Stufen.

Sowohl die Analyse im fehlerfreien Betrieb (Fig. 3 und Fig. 4), bei der der maximale Differenzstrom unter 0.02 % I_n liegt (beim zweiten Typ sogar noch weit darunter), als auch die Simulation verschiedener Fehlerarten zeigen die Gültigkeit und Plausibilität des funktionsbasierten Differentialschutzkonzeptes.

consists of exciting- and series unit. The exciting unit is equipped with a fully tapped winding and is connected in Y as is the HV winding itself. The series unit consists of a centre-tapped HV winding connected into the transmission path and a LV winding, each phase of them is connected to the other phases of the LV windings of the exciting unit (Fig. 2 a). The simulated transformer of this type has following rated data: 240/320/400 MVA, exciting unit: 230/38.66 kV (the regulating winding has 16 taps, and 91.41/66.96 kV for the series unit). The second type consists of an autotransformer with tertiary winding as exciting unit and a series transformer, whose serial winding allows a change of the voltage ration. Every phase of the primary winding of series unit can be connected arbitrary to any phase of the tertiary winding of the exciting unit. In such a way a shift regulation ($\pm 60^\circ$) is realised (Fig. 2 b). The simulated transformer of this type consists of an exciting unit with 220/220/66 MVA and 400/231/30 kV and a series unit with 40 MVA and 30/24 kV; the regulating winding has 15 taps.

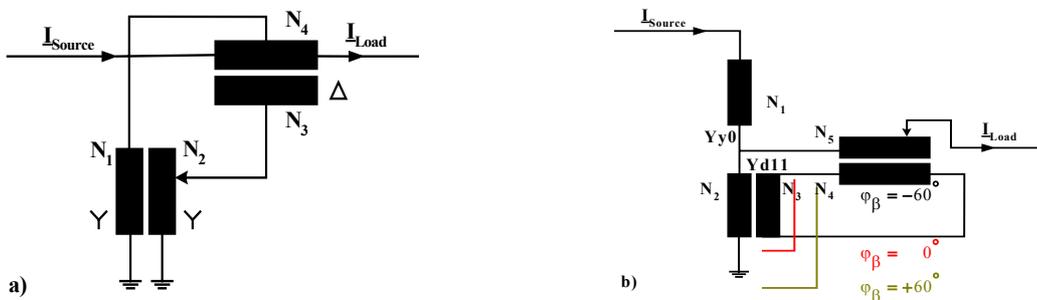


Fig. 2: Einphasiges Ersatzschaltbild der zwei Regelblöcke
Single phase equivalent circuit of two regulating blocks

Both the analysis of faultless operation (Fig. 3 and Fig. 4), where the maximal differential current amounts less than 0.02 % of I_n (even less than 0.0024 of I_n with the second type) and simulations of various fault types evidences the validity of the concept.

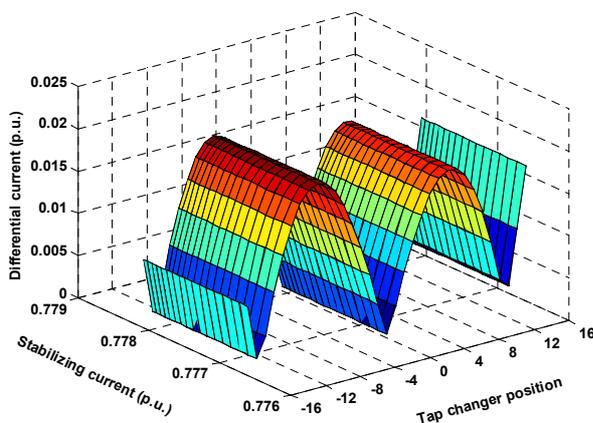


Fig. 3: Stabilisierungs- und Differenzstrom in Abhängigkeit der Schalterstellung (Typ a)
Stabilizing- and differential current in relation to changer position (type a)

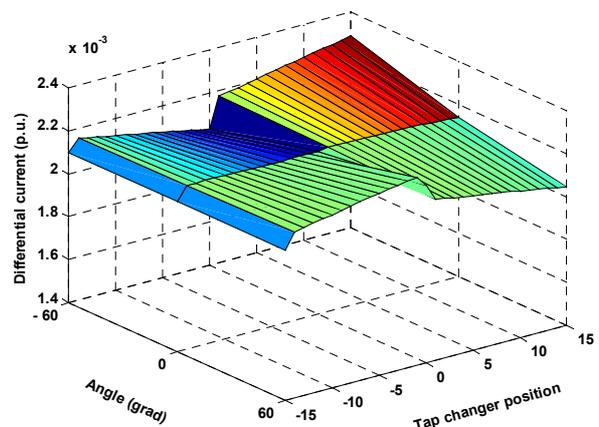


Fig. 4: Differenzstrom in Abhängigkeit von Schalterstellung und -winkel (Typ b)
Differential current in relation to changer position and regulating phase, type b

▪ Ortung von Teilentladung in gasisolierten Schaltanlagen im Frequenzbereich

Dipl.-Ing. Stefan Hoek

Die Liberalisierung des Energiemarktes drängt Energieversorger dazu, Kosten zu reduzieren. Daher ist eine zustandsabhängige, effektive und schnelle Instandhaltungsstrategie notwendig. Die Ortung der Fehlstelle ist wichtig zur Abschätzung des Gefährdungsrisikos der Anlage. Eine empfindliche TE-Detektion mit einer schnellen und exakten Ortung ist also vorteilhaft. Der Bedarf an zuverlässigen und wirtschaftlichen Messsystemen zur Lokalisierung von TE-Quellen ist weiterhin steigend.

TE-Ortung mittels Interferenz in GIS

Eine neue Methode zur Ortung von TE in GIS nutzt den Frequenzbereich. Die Interferenz zweier überlagerter Signale gibt Aufschluss über die Laufzeitdifferenz der Signale. Die Positionbestimmung der Fehlstelle ist mit Hilfe der Laufzeitdifferenz Δt , dem Abstand X der Sensoren und der Ausbreitungsgeschwindigkeit c_0 möglich (Fig. 1). Ein Messverfahren mit einem Spektrumanalysator (Frequenzbereich) anstelle eines teuren, schnellen digitalen Oszilloskops im Zeitbereich kann eine ökonomische Alternative sein. Die Idee basiert auf dem Verschiebungssatz der Fourier-Transformation der empfangenen Signale:

$$FFT[f(t - \Delta t)] = FFT[f(t)] \cdot e^{-j\omega\Delta t} \quad (1)$$

Messverfahren

Um das Interferenzphänomen sichtbar zu machen werden drei Energiespektren ausgewertet, die in einer charakteristischen Weise verglichen werden. Wegen der Dispersionseffekte der höheren Moden in den GIS ist nur ein bestimmter Frequenzbereich nutzbar. Die Energiespektren (Betragsfunktion) von Sensor 1 $F(\omega)$, Sensor 2 $G(\omega)$ und dem addierten Signal von Sensor 1 und 2 $H(\omega)$ werden mit einem herkömmlichen Spektrumanalysator gemessen (Fig. 1). Diese drei Resultate werden in der folgenden Weise (2) kombiniert. Der Laufzeitunterschied ist aus der resultierenden Kosinusfunktion bestimmbar.

$$\frac{H(\omega)}{F(\omega) + G(\omega)} = \left| \cos\left(\frac{\omega \cdot \Delta t}{2}\right) \right| \quad (2)$$

Die Kosinusfunktion hat äquidistante Minima, die als Interferenz gedeutet werden können. Der Abstand zwischen den Minima gibt Aufschluss über die gesuchte Laufzeitdifferenz Δt .

■ Procedure for Partial Discharge Localization in Gas-Insulated Switchgear in Frequency Domain

Dipl.-Ing. Stefan Hoek

The liberalization of the energy market forces utilities to reduce costs. A condition based, effective and fast maintenance strategy is essential. To assess the risk of a defect in GIS its location is very important. Thus, a sensitive PD detection with estimation of the nature of the defect and a fast and exact locating is advantageous. Hence the demand for reliable and economic measurement tools to locate PD-sources is still increasing.

PD locating in GIS with interference

A new method to localize PD in GIS is to use the frequency domain. The interference phenomena of two sensor signals which are added should give information about the time delay Δt between the signals. With the time delay Δt , the distance X between the sensors and the propagation speed c_0 , the location of the defect estimable. A measurement procedure with a spectrum analyser (frequency domain) instead of a cost-intensive fast digital oscilloscope (time domain) could be an economic alternative. The idea is based on the displacement law of a Fourier-Transformation of the received signals.

$$FFT[f(t - \Delta t)] = FFT[f(t)] \cdot e^{-j\omega\Delta t} \quad (1)$$

Measurement procedure

To visualise the interference phenomena, three power spectrums are evaluated, which are compared in a characteristic way. Due to the dispersion effects of higher modes in GIS only a certain frequency range is useful for the measurement. The three power spectrums are obtained from sensor 1 $F(\omega)$, sensor 2 $G(\omega)$ and the superimposed signal of sensor 1 and 2 $H(\omega)$ with a conventional spectrum analyser. These three results are combined in (2). So the time difference Δt can be estimated with the resulting cosine function.

$$\frac{H(\omega)}{F(\omega) + G(\omega)} = \left| \cos\left(\frac{\omega \cdot \Delta t}{2}\right) \right| \quad (2)$$

This theoretical cosine function has equidistant minima which can be interpreted as interference phenomena. The distance of the minima give information about the time difference Δt .

Analyse der Messung

Es gibt unterschiedliche Methoden, diese Messergebnisse (Fig. 2) zu analysieren.

1. Suche bzw. Auswertung der Minima

Es ist möglich, die Minima über ein Schwellwertkriterium festzulegen und so die Laufzeitdifferenz über dem Abstand der Minima zu erhalten. Zur Steigerung der Genauigkeit kann der Mittelwert über mehrere Minima gebildet werden. Die erzielbare Genauigkeit hängt von der Frequenzschrittbreite des Spektrumanalysators und von der Anzahl der aufeinander folgenden sichtbaren Minima ab.

2. Kreuz-Kovarianz zwischen Messwert und theoretischer Kosinusfunktion

Die Kreuz-Kovarianz bietet die Möglichkeit, das Messergebnis mit der theoretischen Kosinusfunktion verschiedener Δt zu vergleichen. Das Maximum der Kreuz-Kovarianz-Funktion dieser Signale gibt Aufschluss über das Δt . Allerdings ist Erfahrung notwendig, da der betrachtete Frequenzbereich einen Einfluss auf das Resultat hat.

3. Waveletanalyse

Um die Laufzeitdifferenz Δt zu ermitteln ist es möglich, eine Waveletanalyse durchzuführen. Dazu muss ein zweckmäßiges Wavelet benutzt werden. Das Wavelet muss der theoretischen Funktion (2) sehr ähnlich sein. Das Resultat der Analyse gibt Informationen über die Laufzeitdifferenz Δt . Ein gutes Resultat zeichnet sich durch ein eindeutiges Δt über einen breiten Frequenzbereich aus.

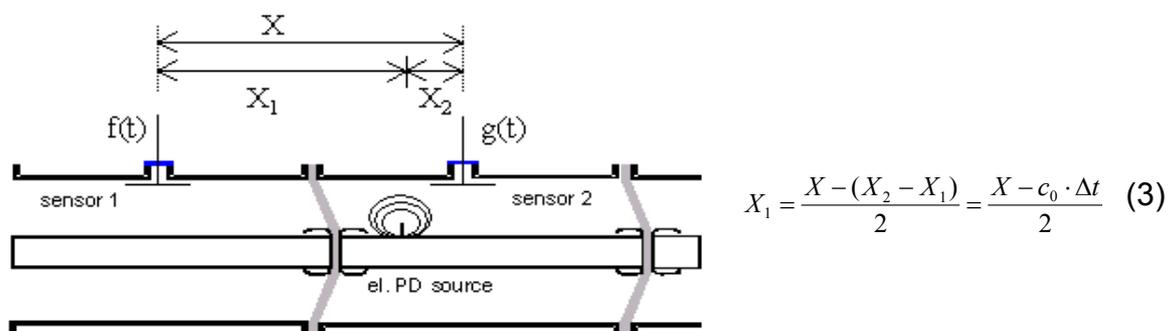


Fig.1: TE-Ortung mit der Laufzeitdifferenzenmethode und die Berechnung von X_1
 PD location by time-of-flight measurement and calculation of X_1

Diese neue Methode erlaubt zumindest für einfache Konstruktionen eine kosteneffektive Ortung von Fehlstellen in GIS oder in Gas-Insulated Lines (GIL). Für die Messprozeduren werden zwei ähnliche Sensorsignale benötigt. Daher darf nur im dispersionsarmen Frequenzbereich des TEM-Mode gemessen werden. Die korrekte Deutung dieser Signale ist in einigen Fällen nicht ganz einfach.

Analysis of the measurement

There exist different methods to analyse the measurements (Fig. 2).

1. Search for minima within the combined measurement

It is possible to identify the minima with a threshold criteria. The Δt is estimable with the distance between the minima. For a higher accuracy the average of several minima can be used. The accuracy also depends on the frequency increment of the spectrum analyser and the number of minima which are visible in a sequence of minima.

2. Cross-covariance between combined measurement and theoretical cosine function

Another way is to compare the combined measurement with the theoretical cosine function of different Δt in a defined frequency range. The maximum of the cross-covariance of these signals gives informations about the desired Δt . Experience is necessary because the considered frequency range has an impact on the results.

3. Wavelet analyse

To find out Δt it is possible to use the wavelet analysis. Important for this analyse is the usage of a functional wavelet. The wavelet has to be very similar to the theoretical function. A good result shows a stable Δt over a wide frequency range.

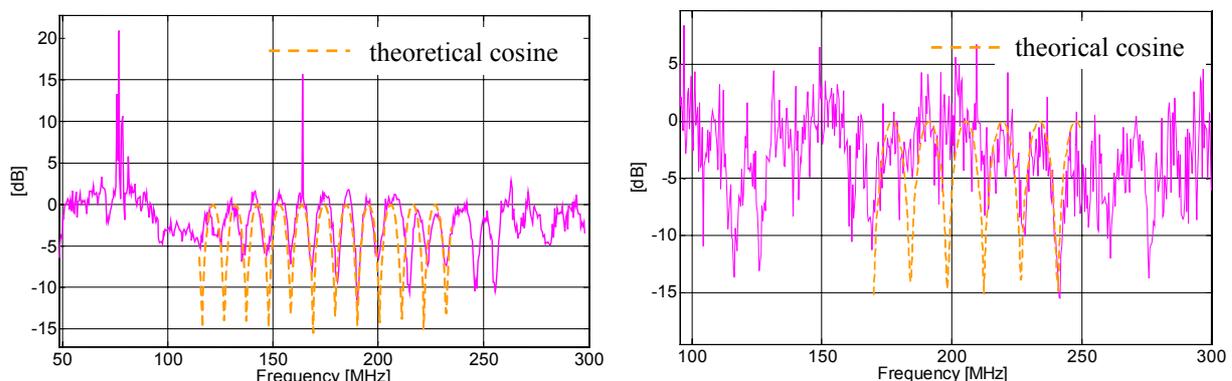


Fig.2: Die Auswertung mit der Kreuz-Kovarianz am Beispiel von Messungen an einer 550 kV / 362 kV-GIS im Labor

Confirmation by measurements at a 550 kV / 362 kV-GIS in the lab.

This new method allows a cost-effective localization of PD in GIS in at least basic configurations or in gas-insulated lines (GIL). Two similar sensor signals are required to receive useable results from this measurement procedure. Only the TEM-mode is useful for the measurement, because of dispersion effect of higher modes. However, the correct interpretation of these signals is in some cases a complex procedure and requires sophisticated knowledge.

▪ **Feuchtemessung in Öl-Papier-isolierten Leistungs-
transformatoren**

Dipl.-Ing. Maik Koch

Wasser in Öl-Papier-isolierten Leistungstransformatoren entwickelt sich zu einem häufig diskutierten und für die Betreiber sehr wichtigen Thema. Wasser ist ein Alterungsprodukt und spaltet die Zelluloseketten der Feststoffisolierung weiter hydrolytisch auf. Dadurch kann die Kraftwirkung äußerer Kurzschlussströme bei gesunkener mechanischer Festigkeit zum inneren dielektrischen Fehler führen. Dieser zieht den Totalausfall des Transformators als teuerstem Betriebsmittel in der Energieübertragungskette nach sich. Weitere Schadenswirkungen von Wasser sind begünstigte Teilentladungen, Bläschenbildung (Bubbling) und eine verringerte Durchschlagsspannung des Isolieröls.

Dielektrische Diagnosemethoden im Vergleich

Dielektrische Messverfahren werden seit etwa 10 Jahren optimiert, um den Feuchtegehalt der Zellulose in Leistungstransformatoren zu bestimmen. Das großvolumige Modell einer Öl-Papier-Isolierung diente zum Vergleich der verbreiteten Methoden Recovery Voltage Method RVM, Polarisation and Depolarisation Currents PDC und Frequency Domain Spectroscopy FDS. Untersucht wurden drei Parameter: Isolationsgeometrie, Isolationstemperatur und Ölleitfähigkeit. Dabei blieb die Feuchte in Papier und Pressboard konstant. Ideal wäre die vollständige Kompensation der drei Parameter durch die Analysemethoden.

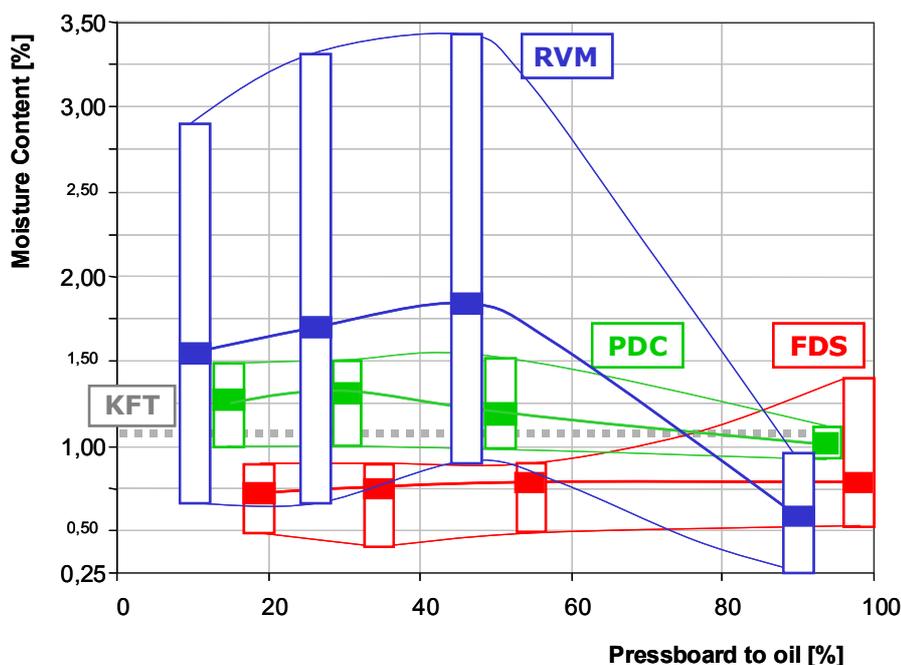


Fig. 1: Einflüsse von Isolationsgeometrie, -temperatur und Ölleitfähigkeit auf die Analyseergebnisse dielektrischer Diagnosemethoden

■ Moisture Measurement in Oil-Paper-Insulated Power Transformers

Dipl.-Ing. Maik Koch

Water in oil-paper-insulated power transformers becomes a frequently discussed topic with great importance for the utilities. Water is an ageing product and causes depolymerisation of cellulose chains through hydrolysis. Thereby the dynamic force of an outer short circuit current may cause an interior dielectric breakdown. This means the blackout of the most expensive apparatus in the transmission network. Beside ageing water causes bubble evolution and decreases the PD inception voltage and the breakdown voltage.

Dielectric diagnostic methods in comparison

Dielectric diagnostic methods to access the water content were widely discussed and occasional used during the last decade. A large insulation model called “Pancake Model” was used to compare the Recovery Voltage Method RVM, the Polarisation and Depolarisation Currents PDC and the Frequency Domain Spectroscopy. The following parameters were investigated: insulation geometry, insulation temperature and oil conductivity. Thereby the moisture content in cellulose remained constant. In the ideal case the analysis methods should be able to compensate these three parameters.

Actually the systematic benchmarking in Fig. 1 shows specific strengths and weaknesses. FDS achieves the best compensation of the insulation geometry. The moisture result of PDC is very close to the moisture content in paper measured with coulometric Karl-Fischer-titration (in Fig. 1 marked with KFT). Oil conductivity shifts all results to higher moisture values, particularly that of the RV-Method. The further research work focuses on four points: Temperature of the dielectric, moisture diffusion between cellulose and oil, oil conductivity and influence of ageing products.

Properties and influence of oil conductivity

Fig. 2 presents the influence of measurement voltage, ageing state and moisture content on oil conductivity. Water enables ionisable ageing products (e.g. carbonic acids) to dissociate and therefore *indirectly* changes conductivity.

Polarisation mechanisms are often modelled by a linear RC-network. This model is not sufficient to emulate the peculiar properties of ionic conduction and interfacial effects.

Conditions to decrease disturbing influences are a low field strength ($E < 5 \text{ V/mm}$) and a limited measurement window in time and frequency domain ($3 \text{ s} < t < 20 \text{ s}$ bzw. $1 \text{ Hz} < f < 0,02 \text{ Hz}$), particularly with regard to new and dry oil.

Tatsächlich zeigt Fig. 1 beim systematischen Vergleich der Analyseergebnisse spezifische Stärken und Schwächen. Die FDS kompensiert die Isolationsgeometrie am besten, während die Ergebnisse der PDC der Feuchtigkeit im Pressboard, gemessen mit coulometrischer Titration nach Karl Fischer, am nächsten kommt (in Fig. 1 mit KFT gekennzeichnet). Eine größere Ölleitfähigkeit verschiebt die Ergebnisse aller Methoden hin zu höheren Feuchten, besonders jedoch die der RVM. Die weitere Forschungsarbeit konzentriert sich auf folgende vier Punkte: Temperatur des Dielektrikums, Feuchtediffusion zwischen Zellulose und Öl, Ölleitfähigkeit und Einfluss von Alterungsprodukten.

Charakter und Einfluss der Ölleitfähigkeit

Fig. 2 verdeutlicht den Einfluss von Messspannung, Alterungszustand und Feuchtegehalt auf die Leitfähigkeit im Isolieröl. Wasser ermöglicht ionisierbaren Alterungsprodukten (z.B. Karbonsäuren) die elektrolytische Dissoziation und ändert somit *indirekt* die Leitfähigkeit.

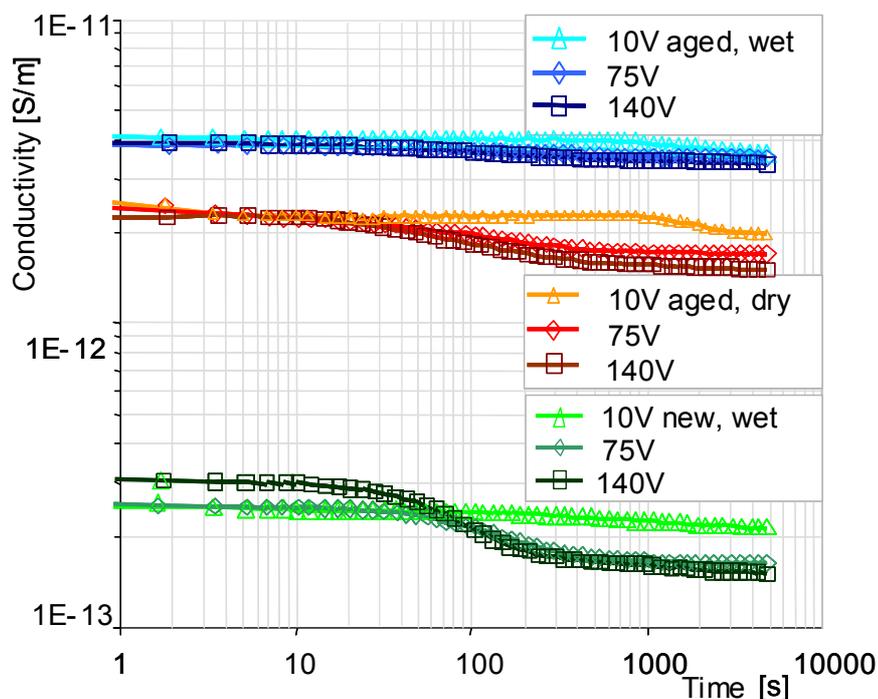


Fig. 2: Ölleitfähigkeit mit den Parametern Messspannung, Feuchte und Alterung
Oil conductivity under the influence of measurement voltage, moisture and ageing

Polarisationsmechanismen werden oft durch Netzwerke linearer Bauelemente modelliert. Die besonderen Eigenschaften der Ionenleitung und die Diffusion der Ladungsträger an der Grenzfläche zum Pressboard machen diese Nachbildung nur zu einer Näherung.

Voraussetzungen für Messungen ohne Störeinflüsse sind eine niedrige Feldstärke ($E < 5 \text{ V/mm}$) und die Beschränkung auf ein Zeit- bzw. Frequenzfenster ($3 \text{ s} < t < 20 \text{ s}$ bzw. $1 \text{ Hz} < f < 0,02 \text{ Hz}$), besonders bei neuem und/oder trockenem Isolieröl.

Diffusion and moisture equilibrium

Moisture equilibrium diagrams represent the moisture equilibrium between oil and cellulose (paper, pressboard) at different temperatures. Utilities often use them to derive moisture in cellulose from moisture in oil. Substantial errors effect the result: Sampling, transportation to laboratory and moisture measurement via Karl Fischer Titration, shift of equilibrium through ageing and others.

A comprehensive investigation considers the influence of ageing on equilibrium charts. Ageing increases the water absorption in mineral oil essentially but decreases that of cellulose, see Fig. 3. The equilibrium curves were established with a special method using moisture relative to saturation level. The diagrams discern cellulose in “Kraft Paper”, thermally upgraded paper and pressboard.

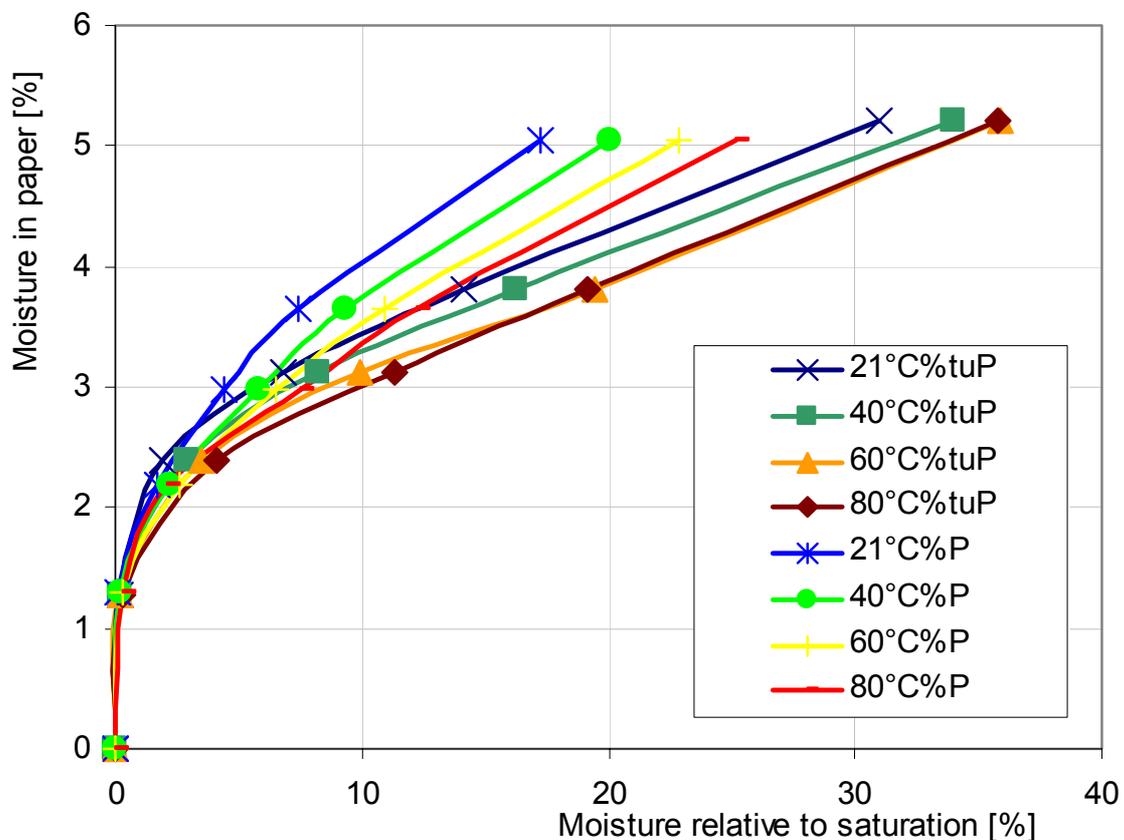


Fig. 3: Moisture in Kraft paper (P) and thermally upgraded paper (tuP) at different temperatures
 Feuchte in Kraft Papier und thermisch stabilisiertem Papier bei verschiedenen Temperaturen

An approach to improve equilibrium diagrams is the usage of moisture in oil relative to *saturation level* (in %) instead of moisture relative to *weight* (in ppm), see Fig. 5. Relative moisture in oil advantageously contains the influence of ageing. It is easy, continually and more accurate to measure than moisture by weight. Such specialized equilibrium diagrams determine water in cellulose much more precise.

Diffusion und Feuchtegleichgewicht

Um den Wassergehalt der Zellulose in der Öl-Papier-Isolierung zu bestimmen, setzen Betreiber häufig Gleichgewichtsdiagramme ein. Diese stellen das diffusiv erreichte Gleichgewicht zwischen Feuchte in Öl und Feuchte in der Zellulose (Papier, Pressboard) bei verschiedenen Temperaturen dar. Eine Reihe von Fehlern macht das Ergebnis hochgradig unsicher: Probenentnahme und Transport zum Labor, Bestimmung des Wassergehalts im Öl durch Karl-Fischer-Titration, Alterung der Öl-Papier-Isolierung und andere.

Eine umfassende Untersuchung berücksichtigt im Besonderen den Einfluss der Alterung auf Gleichgewichtsdiagramme. Im gealterten Zustand erhöht sich die Wasseraufnahmefähigkeit von Isolieröl beträchtlich, während die von Zellulose sinkt, siehe Fig. 3. Die Gleichgewichtskurven für neue und gealterte Öl-Papier-Isolierungen werden mit einem speziellen Verfahren erstellt, welches die Feuchte relativ zur Wassersättigung verwendet. Die Diagramme unterscheiden weiterhin die Zellulose in „Kraft Paper“, thermisch stabilisiertes Papier und Pressboard.

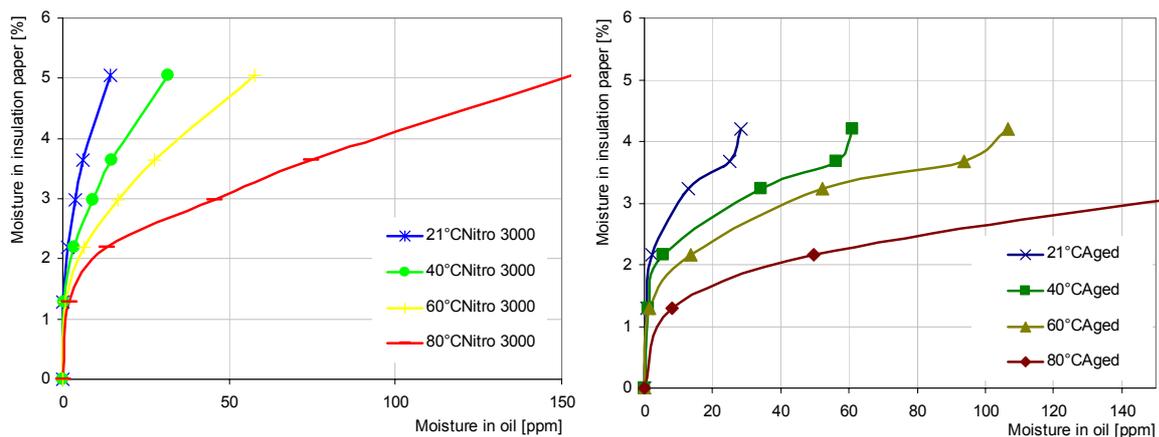


Fig. 4 Gleichgewichtsdiagramm für ein neues (links) und ein gealtertes Öl-Papier-Isolationssystem

Equilibrium diagram for a new (left) and an aged oil-paper-insulation-system

Im Gegensatz zur herkömmlichen Probenentnahme und Messung mit coulometrischer Karl Fischer-Titration kann ein kapazitiver Sensor die Feuchte im Öl relativ zur Sättigungsfeuchte ermitteln. Dadurch werden die Gleichgewichtsdiagramme in vier Punkten verbessert: Kontinuierliche Messung, keine Fehler bei der Probenentnahme, nur geringe Messfehler, der Einfluss der Ölalterung auf die Gleichgewichtsdiagramme wird gegenstandslos, da dieser in der relativen Feuchte bereits enthalten ist. Derartig spezialisierte Gleichgewichtsdiagramme (siehe Fig. 5) bestimmen dann den Wassergehalt in der Zellulose als Alterungsindikator wesentlich genauer.

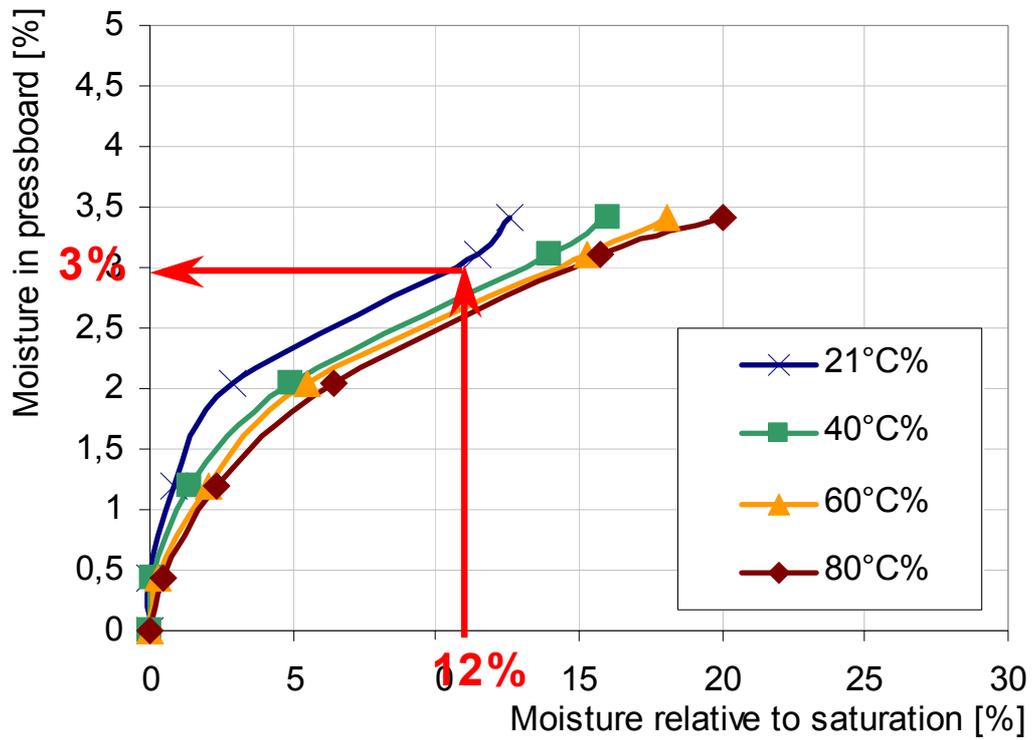


Fig. 5 Gleichgewichtsdiagramm für gealtertes Pressboard als Funktion der relativen Ölfuchte und der Temperatur
 Equilibrium diagram for aged pressboard as a function of relative moisture content in oil and temperature

▪ **Eindimensionale magnetische Feldsonde zur Messung breitbandiger transienter Feldimpulse**

Dr. Ing. W. Köhler

Es wurde eine eindimensionale magnetische Feldsonde für die Echtzeit-Messung magnetischer Felder mit Amplituden bis ca. 400 A/m entwickelt. Die Anwendung liegt im Bereich der Messung transienter magnetischer Feldimpulse in NEMP-Simulatoren. Die Feldsonde ist batterieversorgt und hat eine potentialfreie analoge Signalübertragung über Lichtwellenleiter zu einem analog/optischen Empfänger, welcher direkt auf ein digitales Speicheroszilloskop aufgesteckt ist. Die potentialfreie Messung ist eine Grundvoraussetzung für Feldsonden, die in einer Hochspannungsumgebung eingesetzt werden.

Die verwendete Batterie hat eine Kapazität von mehr als 2000 mAh, was bei einem Versorgungsstrom von ca. 90 mA eine maximale Betriebszeit von etwa 20 h ermöglicht. Der Sensor ist induktiv (geschirmte magnetische Schleifenantenne), wodurch nur Wechselfelder gemessen werden können. Der Frequenzbereich reicht von ca. 1 kHz bis über 200 MHz.

Bild 1 zeigt das Prinzipschaltbild der Magnetfeldsonde MFMS. Die geschirmte Schleifenantenne befindet sich außerhalb des Metallgehäuses und dient als Sensor für das zu messende magnetische Feld. Durch die ohmsche Beschaltung der Schleife ist ihr Ausgangssignal bis zu einer Frequenz von etwa 5 MHz differentiell. Ein aus einem breitbandigen FET-Operationsverstärker bestehender aktiver Integrierer für den Frequenzbereich von 1 kHz bis 5 MHz sorgt für den erforderlichen glatten Frequenzgang (Integration des differentiellen Sensorsignals). Für größere Signalfrequenzen ist der Sensor selbstintegrierend (konstanter Signalpegel über der Frequenz bis über 200 MHz). Dadurch entsteht ein Ausgangssignal, welches im ganzen Frequenzbereich von 1 kHz bis über 200 MHz proportional zum magnetischen Feld ist. Das niederimpedante Ausgangssignal wird auf einen HF-Pufferverstärker gegeben, welcher die VCSEL-Laserdiode ansteuert. Der Ruhestrom dieser Laserdiode wird aus der geregelten 5-V-Versorgung und einem Vorwiderstand erzeugt.

Durch Schirmdämpfung des Metallgehäuses wird erreicht, dass das bei transienten NEMP-Feldimpulsen stets vorhandene elektromagnetische Feld nicht in die Sonden-elektronik eindringen und das Messsignal verfälschen kann. Dies ist ein wesentlicher Aspekt. Die Schirmwirkungen des Sondengehäuses und des Schleifensensors gegenüber transienten elektrischen und magnetischen Feldern müssen so sein, dass keine wesentliche Störsignaleinkopplung in das eigentliche Messsignal auftritt.

Bild 2 zeigt die Magnetfeldsonde in der Nähe einer durch ESD-Pistole erzeugten ESD-Entladung (Luftentladung). Das durch diese ESD-Entladung verursachte magnetische Feld wurde mit der Feldsonde gemessen (Bild 3). Der Scheitelwert des Feldimpulses war etwa 40 A/m.

▪ **One Dimensional Magnetic Field Probe for the Measurement of Broadband Transient Field Signals**

Dr.-Ing. Wolfgang Köhler

MFMS is a one dimensional magnetic field probe for the real time measurement of magnetic fields in the range up to 400 A/m that has been especially developed for the measurement of transient electromagnetic field pulses such as NEMP. It has a battery supply and a potential-free signal transmission via a fibre optic cable. The optical signal is transmitted to an analogue fibre optic receiver which is directly connected to a digital storage oscilloscope. The potential-free signal transmission is a basic requirement for field sensors which are used in an H.V. environment.

The battery supply has a capacity of about 2000 mAh, the total supply current of the system is 90 mA resulting in a maximum operating time of more than 20 h. The sensor is an inductive one (screened inductive loop antenna) thus only A.C. field signal can be measured. The frequency range is about 1 kHz to more than 200 MHz.

Figure 1 shows the principal diagram of the magnetic field probe MFMS. The screened loop antenna, which is located outside on the top end of the housing picks up the magnetic field signal. Due to the resistive loading of the loop the output signal is differential up to about 5 MHz and above it is constant (self integrating). A high bandwidth FET operational amplifier acts as an integrator for frequencies from 1 kHz up to 5 MHz and has a constant frequency response up to more than 200 MHz. Thus the output signal is directly proportional to the magnetic field in the frequency range from 1 kHz to about 300 MHz. This OPA provides a low impedance signal that can drive a high frequency signal buffer. This buffer amplifier then feeds the signal to the VCSEL laser diode. The bias current of the VCSEL is generated from the regulated +5 V supply with the bias resistor.

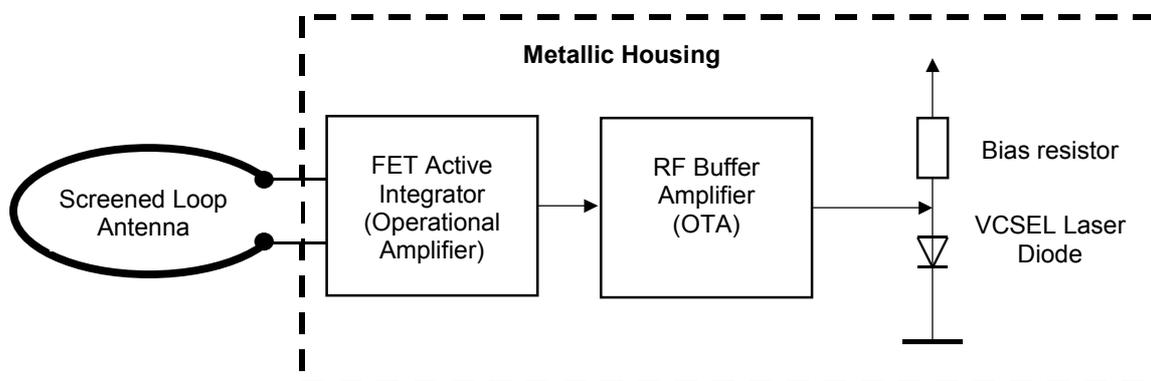


Fig. 1: Functional diagram of the magnetic field probe MFMS
 Prinzipschaltbild der Magnetfeldsonde MFMS

Bild 4 zeigt das in der Streifenleiterantenne eines 400-kV-NEMP-Simulators gemessene magnetische Feldsignal. Der Scheitelwert des Signals beträgt etwa 100 A/m.

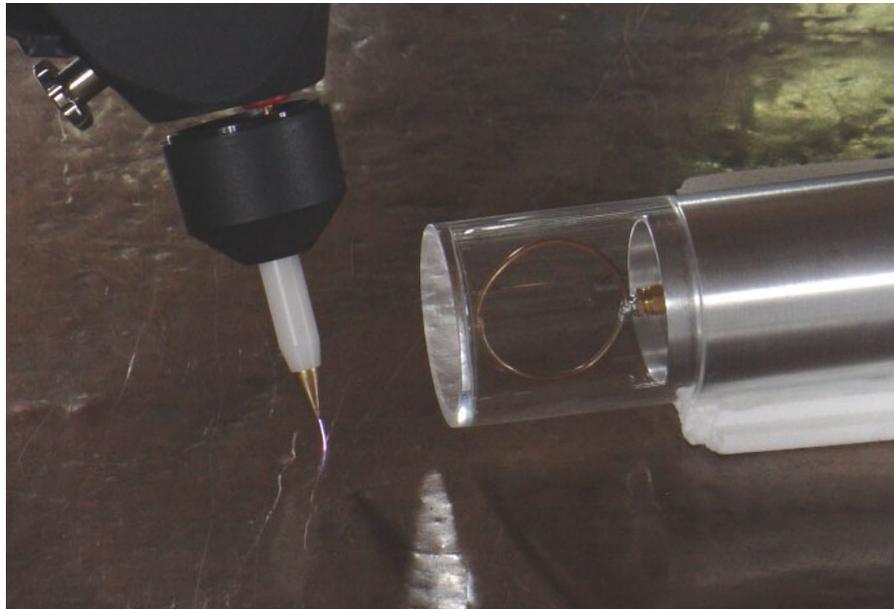


Fig. 2: Magnetic field probe MFMS located close to an ESD gun (air discharge)
Magnetfeldsonde MFMS in der Nähe einer ESD-Pistole (Luftentladung)

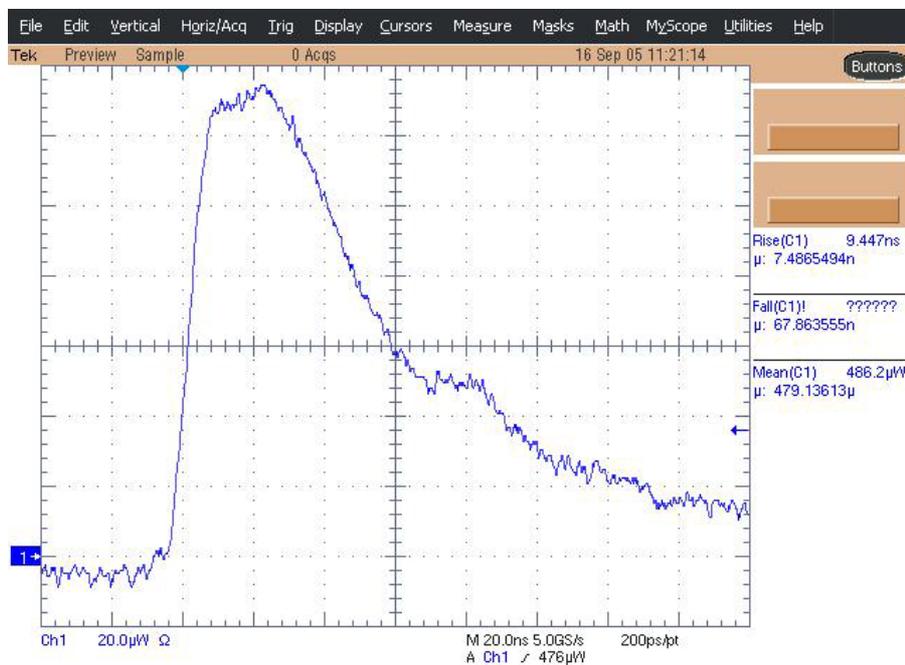


Fig. 3: Magnetic field signal caused by a nearby ESD event (air discharge)
Magnetfeldimpuls einer ESD-Entladung nahe an der Feldsonde
(Luftentladung, siehe Bild 2)

Due to the mechanical design of the metallic housing it is achieved that the electric and magnetic field, which is always also present during transient electromagnetic field pulses, does not penetrate into the electronics and disturb the magnetic field signal. This is a very important point. The transient electric and magnetic field screening performance of the housing has to be such, that no essential signal is coupled in the sensor electronics and in the loop antenna and disturb the magnetic field signal.

Figure 2 shows the field probe during a nearby ESD discharge. The magnetic field generated by this discharge was measured with the field probe. The peak value was about 40 A/m. Figure 3 shows the corresponding oscillogram.

Another example is presented in figure 4. The field probe was used to measure the transient magnetic field signal inside of a 400 kV NEMP simulator. The peak value was about 100 A/m.

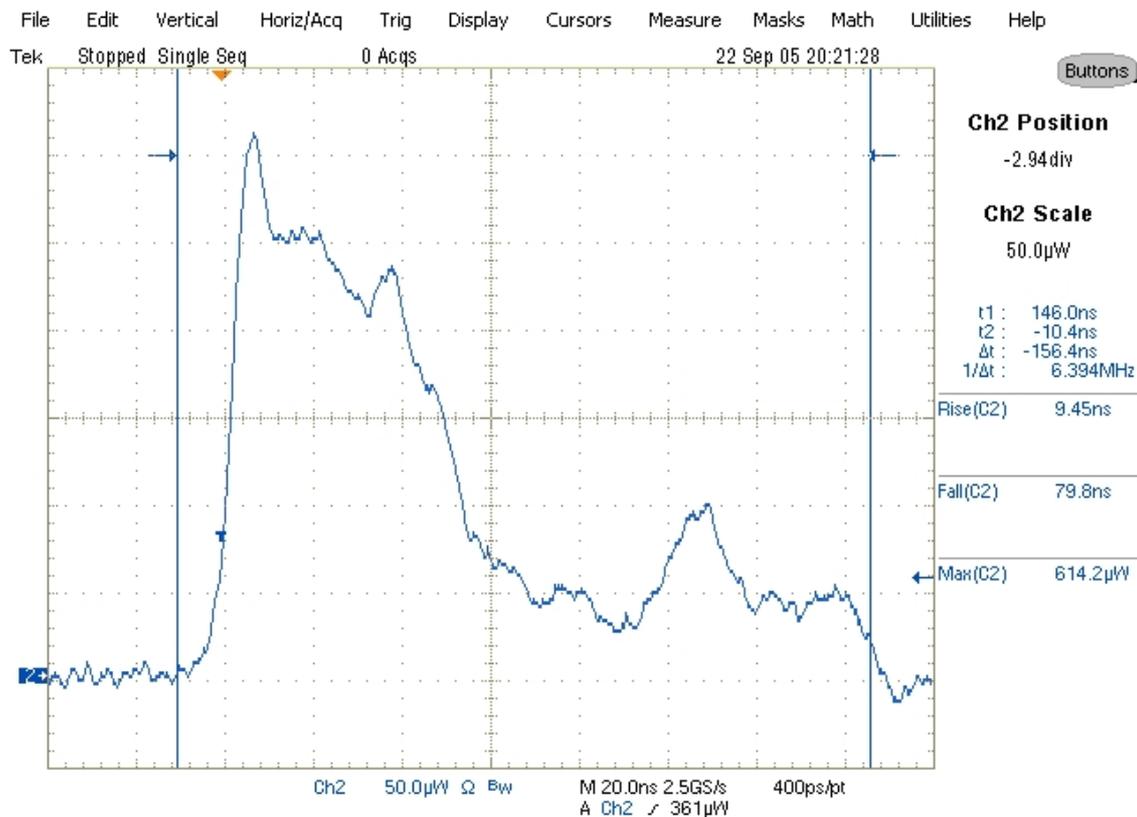


Fig. 4: Magnetic field signal of a 400- kV-NEMP-simulator (strip line antenna)
 Magnetischer Feldimpuls in einem 400-kV-NEMP-Simulator (Streifenleiterantenne)

▪ **Beurteilung neuartiger Verbraucher in Kraftfahrzeugen bezüglich ihres Störpotentials bei transienten Störgrößen**

Dipl.-Ing. Martin Kull

In 2005 konnte das Jubiläum „25 Jahre Elektronik im Automobil“ begangen werden. Vor allem in den letzten zehn Jahren hatte die Verbreitung der Elektronik im Fahrzeug einen rasanten Anstieg zu verzeichnen. Heutige Fahrzeuge bieten schon deutlich höhere Rechenleistungen, als z.B. beim Flug zum Mond zur Verfügung stand. Viele negative Berichte in den Medien machen jedoch deutlich, dass diese Menge an Elektronik nicht immer zur Zufriedenheit der Kunden beherrscht wird. Daraus entstand der Wunsch, einen Überblick über die in heutigen Fahrzeugen verbauten Verbraucher bezüglich ihrer transienten Störungen zu bekommen. Die Prüfvorschriften, die diesen Bereich abdecken, wurden 1990 verabschiedet und später nur geringfügig überarbeitet. Somit stellt sich die Frage, ob die bisherigen Prüfimpulse auch noch für die seither neu hinzugekommenen Verbraucher gültig sind. Zu diesen neuartigen Verbrauchern gehören unter anderem das Xenonlicht und Geräte mit PWM-Signalen, die für eine Vielzahl von Aufgaben eingesetzt werden. Beispiele sind Sitz- und Scheibenheizungen, Drehzahlsteller bei Antrieben oder der Sanftanlauf bei Fensterhebern.

Als erster Schritt wurden deshalb sämtliche erreichbaren Verbraucher in mehreren Fahrzeugen bezüglich ihrer leitungsgeführten Störaussendung untersucht.

Zusätzlich wurden einige weitere Daten des Bordnetzes ermittelt, die Einfluss auf die Impulsausbreitung haben. Dazu gehören Leitungsimpedanzen und Eingangskapazitäten der angeschlossenen Verbraucher. Aus diesen Daten wurde für zwei Fahrzeuge je ein möglichst einfaches Spice-Simulationsmodell erstellt, das zur Berechnung der Impulsausbreitung eingesetzt werden kann. Zusätzlich ermöglicht es auch die Berechnung von Einschaltstoßströmen, die beim Anschließen der Versorgungsspannung an Teile des Bordnetzes entstehen. Dieser Fall wird in Zukunft möglicherweise häufiger auftreten, da das moderne Bordnetzmanagement Lastschalter vorsieht, die Teile des Bordnetzes deaktivieren können.

Fig. 1 zeigt eine der erstellten Ersatzschaltungen für die Versorgungsleitungen des Bordnetzes. Die Punkte **SK-F**, **SK-B** und **SK-H** entsprechen den Sicherungskästen auf der **F**ahrerseite, auf der **B**eifahrerseite und im **H**eck des Fahrzeugs. **VSD** steht für Vorsicherungsdose, **-B** für den Beifahrerfußraum und **-H** für das Fahrzeugheck.

Mit dem Modell nach Fig. 1 lässt sich die Ausbreitung von Impulsen auf den Hauptversorgungsleitungen zwischen den Sicherungskästen und weiteren Verteilern bis zu Anstiegszeiten von etwa 1 μ s relativ gut berechnen.

▪ **Disturbances created by new devices in modern passenger cars**

Dipl.-Ing. Martin Kull

In 2005 there was the 25th anniversary of electronics in automotive applications. Especially in the last 10 years there was a steep rise of the use of electric and electronic systems in cars. Today's vehicles have significant more computing power than the Apollo project on the way to the moon. A lot of negative publicity in all media shows that this amount of electronics is not always handled in a manner that satisfies the customers.

This led to the desire for an extensive analysis of all transient disturbances at the wiring harness of modern passenger cars. Today's test pulses are based on the knowledge of the late 80s of the last century and were passed in 1990. Since that time only small adjustments were made to this standard and the question raised if these test pulses are still valid and sufficient while there are some new devices in cars with new types of disturbances like Xenon lights and PWM-signals for control of the speed of electric motors or heatings.

As a first step all pulses generated by the devices in different cars were measured to get an overview. Additionally some other parameters of the wiring harness with influence on the propagation of pulses were acquired. This included the impedance of the lines and the input capacitances of the devices. Spice simulation circuits were created for two different cars for the calculation of the pulse propagation.

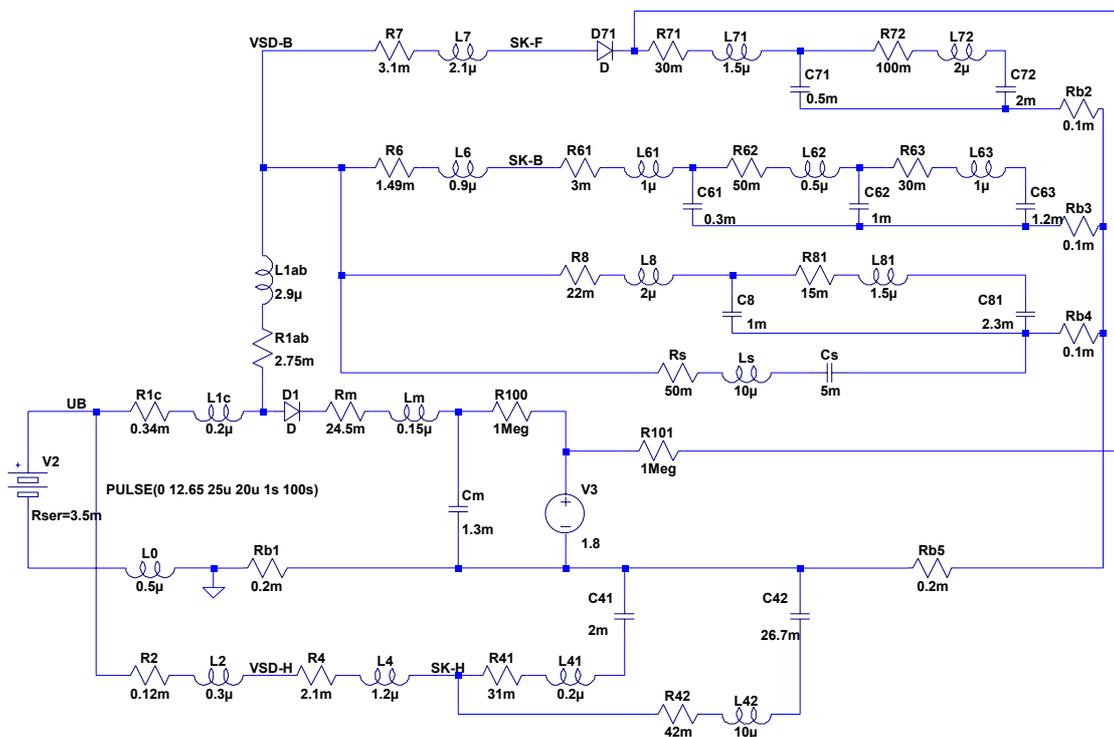


Fig. 1: Simulationsmodell der Versorgungsleitungen
Simulation circuit of power lines

Fig. 2 und Fig. 3 zeigen den gemessenen und den berechneten Verlauf einer Störung. Der direkt am Verbraucher gemessene Verlauf (obere Kurve) fehlt bei der Berechnung, da hier die einzelnen Anschlussleitungen zu den Verbrauchern nicht nachgebildet werden. Die gemessene Störung am nächstliegenden Verteiler dient deshalb als anregende Spannung am entsprechenden Punkt im Simulationsmodell, in diesem Fall am Sicherungskasten auf der Beifahrerseite SK-B (vgl. Fig. 1).

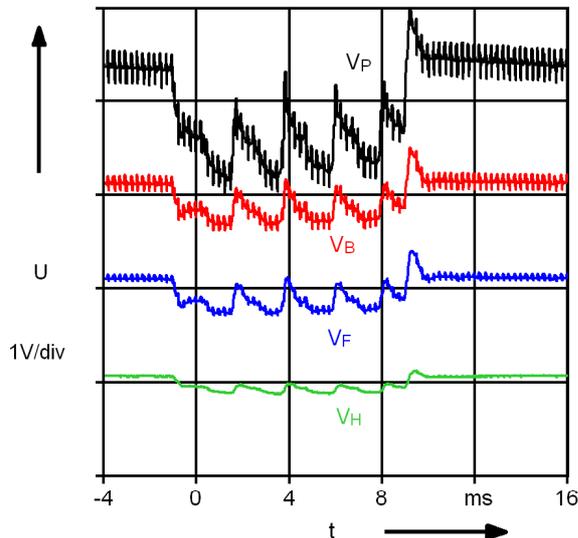


Fig. 2: Messergebnis / Measurements

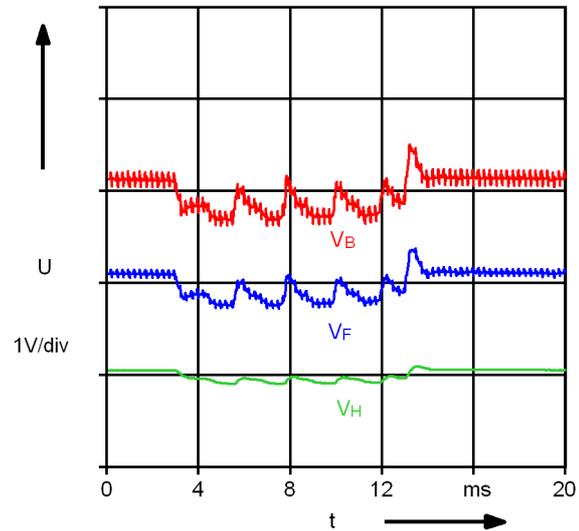


Fig. 3: Berechnung / Calculation results

Man erkennt eine geringe Dämpfung der Störung auf dem Weg zum Sicherungskasten auf der Fahrerseite (Kurve V_F , Punkt SK-F im Schaltbild) und eine stärkere Dämpfung am Sicherungskasten im Heck (V_H an SK-H) bei einer guten Übereinstimmung von Messung und Simulation.

Die Messungen an sämtlichen erreichbaren Verbrauchern im Fahrzeug haben ergeben, dass die bisher gültigen Prüfvorschriften nach wie vor ihre Berechtigung haben. Es fehlen allerdings die oben erwähnten PWM-Signale und der Einschaltimpuls des Xenonlichts, der eine starke Ähnlichkeit mit den Störungen der Hupe besitzt. Die beiden letztgenannten Störungen sind stark von Resonanzen auf den Leitungen geprägt, die von der Funkenbildung beim Zünden der Lampe bzw. vom Kontaktprellen in der Hupe angeregt werden.

PWM-Signale erzeugen auf den Leitungen des Bordnetzes in der Regel nur geringe Amplituden bis etwa 200 mV_{pp} . Da die Frequenzen mit einigen kHz oft im Bereich der Bordnetzwelligkeit liegen, entsteht dadurch keine extreme zusätzliche Belastung. Allerdings geht hier der Trend zu höheren Frequenzen, die dann eventuell die Kommunikation von Steuergeräten oder Sensorsignalen stören könnten, da es sich meist um länger andauernde Störungen handelt.

Anders sieht es beim Xenonlicht und der Hupe aus. Hier entstehen sehr große Amplituden (mehrere 10 V) mit sehr hohen Frequenzen von einigen 10 MHz . Dies hat, vor allem bei der Einführung des Xenonlichts, zu starken Problemen bei der Datenübertragung auf den Datenbussen des Fahrzeugs geführt.

The simulation circuits can also be used for the computation of the inrush currents when connecting parts of the harness. This is important for the rating of power switches and relays that are used for the power management of modern cars.

Fig. 1 shows one of the equivalent networks of the supply lines of a car. There are some measuring points at the fuse boxes of the vehicle named SK-F at the drivers side, SK-B at the co-drivers side and SK-H in the back of the car.

The simulation is capable of calculating the propagation of pulses between the different fuse boxes quite good up to risetimes of about $1 \mu\text{s}$. Fig. 2 and Fig. 3 show the measurement and the calculation of a real pulse, created by a device connected to SK-B. At the simulation the measured voltage at SK-B is used as a voltage source at the same point. There is little attenuation on the lines to SK-F and more on the lines to SK-H. Simulation and measurement show the same behavior.

Measurements in cars at many devices showed that the 15 year old test pulses are still valid and reasonable. But the new disturbances caused by the new devices mentioned above are not included in these tests. PWM-signals usually cause amplitudes of 200 mV or lower and the frequencies are in the range of the noise caused by the generator. Depending on frequency or location this could be a problem for some sensor signals or communication networks but generally this is not an additional problem at the moment. In future there would be higher frequencies especially for DC-DC converters and it could become necessary to test all devices with an additional PWM test sequence.

The Xenon lights and the horn produce very high amplitudes and frequencies. There are some 10 V at frequencies of more than 10 MHz. Especially when Xenon lights were used the first time this became a problem for the surrounding electronics and their communication. The pulses are created by spark discharges in the lamp or the bouncing of mechanical contacts at the horns. The length of the cables influences the resonances created by these pulses.

Test pulses for PWM-signals can be implemented very easy in modern test generators because they use arbitrary signals generators for pulse shaping. So only a new data record has to be loaded.

The fast transients of horns and Xenon lights are a little bit more difficult to simulate. Arbitrary generators can also be used to create the signal. But for the amplification of the signal an additional Hf- or pulse-amplifier with a minimum power of 25 W is required. Such an amplifier is available in many test labs but not included in the pulse test setup. First test justify the extra effort to connect the amplifier to the device, but in future test generators it should be included to allow an automatic test cycle for all pulse tests with one setup and connection.

Fig. 4 shows a simulation circuit for the test of the generation and efficiency of test pulses. The voltage source "Imp" is the pulse generator with an output impedance of 50Ω . "Batt" is the power supply with an impedance of $5 \text{ m}\Omega$ and an inductor L_2 for

Störfestigkeitstests mit diesen neuartigen Störimpulsen sind mit relativ geringem Aufwand machbar. Bei PWM-Signalen kann teilweise der vorhandene Aufbau genutzt werden, da moderne Prüfgeneratoren oft als Signalquelle einen Arbiträrgenerator nutzen, bei dem lediglich eine neue Kurvenform in den Speicher geladen werden müsste. Bei den schnelleren Störungen kann das Signal ebenfalls mit einem Arbiträrgenerator erzeugt werden, muss dann aber mit einem Hf- oder Impulsverstärker mit einer Leistung von etwa 25 W verstärkt werden, um die erforderlichen Prüfpegel zu erhalten. Dieser Verstärker ist in vielen EMV-Laboren vorhanden, wird allerdings bei anderen Tests eingesetzt, was meist einen entsprechenden Umbau erfordert. Für erste Versuche mit diesen neuen Prüfimpulsen wäre dieser Aufwand jedoch gerechtfertigt. Bei zukünftigen Generatoren könnte ein entsprechender Verstärker mit integriert werden, so dass ein Prüfling alle Tests automatisiert durchlaufen könnte, ohne die Anschlüsse zu wechseln.

Fig. 4 zeigt ein Simulationsmodell, mit dem die Erzeugung und Wirksamkeit von Prüfimpulsen überprüft werden kann. Die Spannungsquelle „Imp“ bildet zusammen mit dem $50\ \Omega$ -Widerstand den Impulsgenerator. Die Versorgungsspannung wird von der Quelle Batt mit $5\ \text{m}\Omega$ Innenwiderstand bereitgestellt und über eine Induktivität von $5\ \mu\text{H}$ abgekoppelt. Der Prüfimpuls wird über den $100\ \text{nF}$ -Kondensator C_2 auf den Prüfling geleitet, der eine Eingangsbeschaltung aus einer Leitung, einer Induktivität und Kondensatoren besitzt. Der Anschluss des Prüflings erfolgt am Punkt „con“. Danach folgen die Zuleitung und die Eingangs(filter)beschaltung des Prüflings. Verschiedene Werte für L_1 , von $100\ \text{nH}$ als reine Leitung bis $10\ \mu\text{H}$ als diskretes Bauteil und Teil einer Filterschaltung, sollen die Wirksamkeit des Aufbaus zeigen.

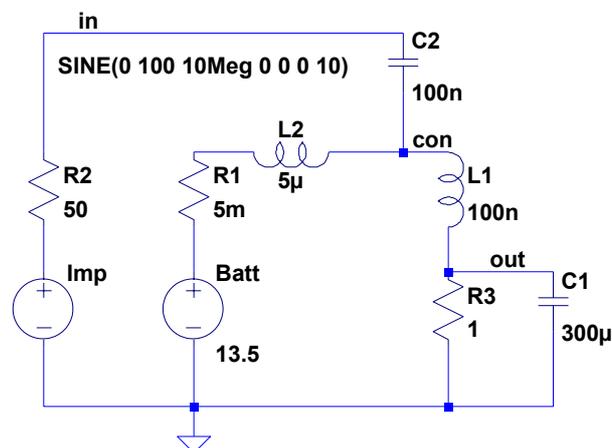


Fig. 4: Erzeugung von Prüfimpulsen
Generation of test pulses

Fig. 5 und Fig. 6 zeigen die Ergebnisse für beide Fälle. „Imp“ liefert in beiden Fällen eine Spannung von 200 Vpp. Bei $L_1 = 100\ \text{nH}$ fällt allerdings schon der größte Teil am Innenwiderstand R_2 ab. Bei $L_1 = 10\ \mu\text{H}$ wirkt die Schaltung aus L_1 und C_1 als Filter und die Störspannung V_{out} am Verbraucher wird stark reduziert. Beide Fälle zeigen ein realistisches Verhalten und lassen eine sinnvolle Prüfung des Verbrauchers erwarten.

decoupling of higher frequencies. The pulse signal is coupled to the device under test by the capacitor C_2 . Two different values for L_1 should show the influence of different lengths of the lines and additional inductors at the input of some devices.

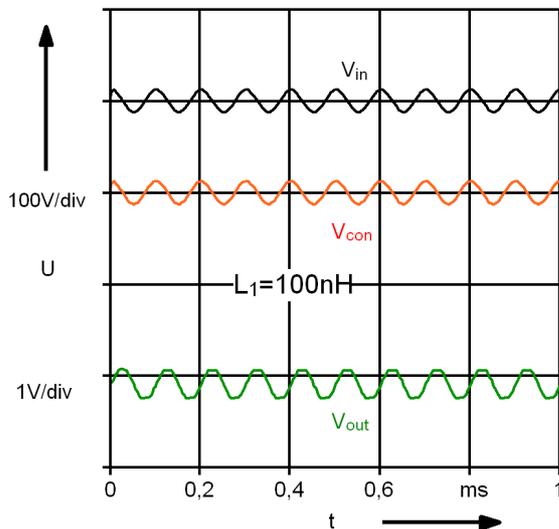


Fig. 5: Berechnung Prüfspannung
Calculation of test voltage

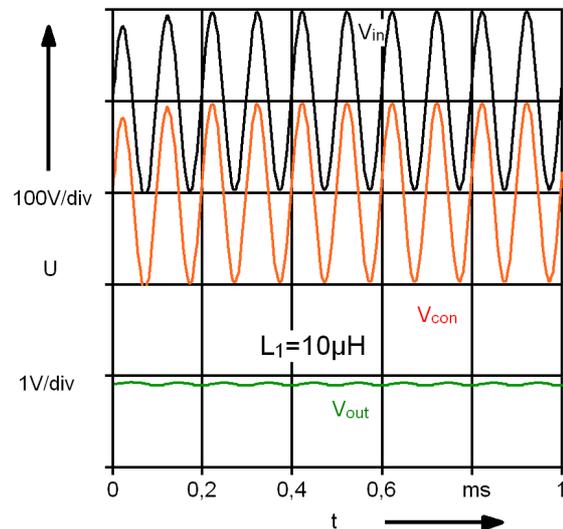


Fig. 6: Berechnung Prüfspannung
Calculation of test voltage

The device under test is connected at point „con“. Fig. 5 and Fig. 6 show the results for two different values of L_1 . $L_1 = 100 \text{ nH}$ represents a cable with no additional input circuitry. $L_1 = 10 \text{ } \mu\text{H}$ is used for calculations of a device with a filter at the input.

In both cases „Imp“ has an AC voltage of 200 Vpp . Most of this voltage is absorbed in the output resistor R_2 of the pulse generator if L_1 is 100 nH . There is almost no voltage drop at R_2 if L_1 has a much higher value like the $10 \text{ } \mu\text{H}$ in the second case. Then the combination of L_1 and C_1 is a filter and the voltage V_{out} at the power lines of the device is reduced significantly.

The results show in both cases a reasonable behavior and the test setup should give usable results at real test with automotive devices.

- **Diagnose und Ortung von Teilentladungen in Leistungstransformatoren auf der Basis akustischer und elektro-magnetischer UHF-Signale**

Dipl.-Ing. Sacha Markalous

Zur Überprüfung der Isolationsqualität hochspannungstechnischer Geräte wird in den Prüflabors klassischer Weise auch die Messung von Teilentladungen (TE) durchgeführt. Als Diagnose-Werkzeug ist die TE-Messung jedoch nicht nur für die Abnahmeprüfung neuer Produkte, sondern in zunehmendem Maße auch für gealterte Betriebsmittel ein konkretes Hilfsmittel zur Zustandsbeurteilung. Vielfach sind Vor-Ort-Messungen oder auch In-Betrieb-Messungen („online-Monitoring“) gefordert. Beim Betriebsmittel Transformator kann für eine umfassende TE-Diagnose eine Ergänzung der elektrischen Methode durch die akustische oder elektromagnetische Messung (UHF-Bereich) sinnvoll sein.

Die Vorteile der unkonventionellen TE-Messmethoden (elektromagnetisch und akustisch) sind ihre weitgehende Unabhängigkeit von äußeren Störsignalen vor Ort und dass die Sensorik ohne elektrische Verbindung zum Hochspannungskreis auskommt. Die Montage der Sensoren (kapazitive elektromagnetische Sensoren, die über die vorhandenen Ölschieber appliziert werden bzw. außen am Transformator-kessel angebrachte piezo-elektrische akustische Sensoren) während des Betriebs wird damit ermöglicht. Korona als stark störender elektrischer Vorgang behindert beispielsweise die akustische Messung aus Gründen des Messprinzips nicht. Bei der speziell für Transformatoren relativ neuen Methode der UHF-Messtechnik werden durch die Schirmungseigenschaften des Transformator-kessels externe Störungen, beispielsweise innerhalb einer Schaltanlage, minimiert und Messungen mit sehr gutem Signal-Rausch-Abstand ermöglicht. Nachteilig bei den unkonventionellen Methoden wirkt sich die bisher nicht verfügbare gesicherte Information über die Größe der scheinbaren Ladung der TE aus.

Bei der (Online-)TE-Messung ist eine klare Entscheidung über eine TE-Aktivität des Prüflings zu treffen. Eine Information über den TE-Ort liefert zusätzlich entscheidende diagnostische Hinweise für die Ursachenforschung und Risikoabschätzung. Für eine dreidimensionale geometrisch exakte Ortung der TE-Fehlerstelle sind das empfindliche Messen der akustischen Laufzeiten und verlässliche Ortungsalgorithmen erforderlich. Verbesserungen bei der Signalverarbeitung und Interpretation akustischer Signale auch in Bezug auf eine objektive Laufzeitextraktion machen die Ortung in komplexen Aufbauten möglich. Sind die TE-Pegel sehr klein, helfen empfindliche UHF-TE-Messungen unter Öl, bis dato akustisch nicht erfassbare Fehler durch Mittelwertbildung (Averaging) sicher zu erkennen und zu lokalisieren.

- **Diagnostics and Localization of Partial Discharges in Power Transformers on the basis of acoustic and electromagnetic UHF signals**

Dipl.-Ing. Sacha Markalous

To check the quality of the insulating system of high voltage devices the measurement of partial discharges (PD) is normally carried out in test bays. As a diagnostic tool PD measurements are not only suitable to control new products after a manufacturing process but are with an increasing degree a distinct means for condition assessment of aged devices. In many cases on-site or even on-line measurements (monitoring) is required. To get a comprehensive PD diagnostic for transformers it can be reasonable to complement the electric PD method with the acoustic or the electromagnetic measurement (UHF range).

The advantages of the unconventional PD measuring methods (electromagnetic and acoustic) are their wide independency of outer disturbing signals on-site and the fact that the sensor technology does not need an electric connection to the high voltage circuit. The application of the sensors (capacitive electromagnetic sensors, which can be applied via existing oil drain valves and piezoelectric acoustic sensors mounted on the outside of the tank wall respectively) while the transformer stays in full service is possible. Corona as strongly interfering electrical process has no influence on the acoustic measurement for reasons of the measuring principle. Using the especially for transformers rather new electromagnetic (UHF) technique, external disturbances e.g. in substations are minimized, since the transformer tank acts similar to a Faraday cage and measurements with very high signal-noise-ratio are feasible. A drawback appearing with the unconventional methods is that up to now no assured apparent charge information (electric level in pC) is delivered.

With (online) PD measurements a clear decision whether the device under test has a PD activity or not should be reached. Information about the PD origin gives additional diagnostic hints for cause studies and risk assessment. For a three dimensional geometric exact localization of the PD flaw sensitive measurements of the acoustic arrival times and robust positioning algorithms are necessary. Improvements in the signal processing and interpretation of acoustic signals also regarding an objective arrival time extraction render localizations in complex arrangements possible. If the PD levels are very small sensitive UHF PD measurements in oil help by the use of averaging to reliably identify and localize failures so far not detectable acoustically.

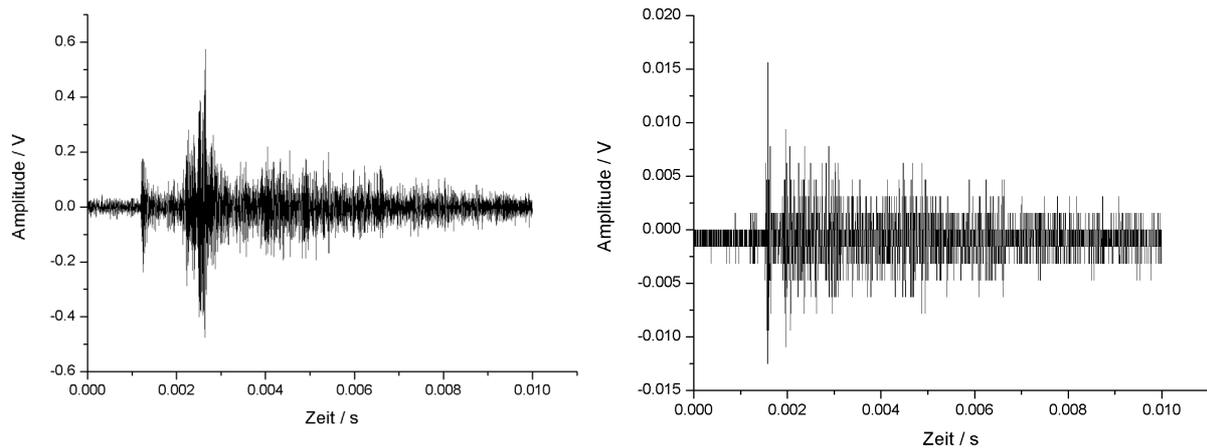


Fig. 1: Akustischer Impuls einer 575 pC TE (links) und gemitteltes akustisches Signal des gleichen Kanals mit maximalem TE-Pegel von 9 pC nach 500 Überlagerungen (rechts)
Acoustic impulse of a 575 pC PD (left) and the averaged signal of the same channel with a maximum PD level of 9 pC using 500 superpositions (right)

Die entauschende Wirkung der UHF-getriggerten Mittelwertbildung (Averaging) akustischer TE-Signale wurde in einer Labormessung untersucht. Als Versuchsaufbau diente ein Wicklungspaket an Hochspannung, umgeben von einem doppelten Pressboard-Zylinder innerhalb eines Transformatorkegels mit den Abmessungen 1.77 m in x-Richtung (Länge), 0.77 m in y-Richtung (Tiefe) und 1.56 m in z-Richtung (Höhe).

Während des Versuchs wurde auf der Innenseite der auf Hochspannungspotential liegenden Spule an bekannter Stelle eine TE generiert. Die Triggerung der mit 60 dB verstärkten akustischen Kanäle erfolgte mit den UHF-Signalen der TE, die unverstärkt mit einer analogen Bandbreite von 1 GHz aufgezeichnet wurden. Parallel wurde eine IEC 60270-konforme TE-Bewertung vorgenommen, um korrespondierende elektrische Pegel zu erhalten.

Fig. 1 (links) zeigt einen akustischen Impuls einer TE mit der scheinbaren Ladung 575 pC. Ab ca. 100 pC waren in dem unveränderten Aufbau keine akustischen Einzelimpulse mehr erfassbar. Durch Anwendung des Averaging-Verfahrens mit UHF-Triggerung konnten nach 500 Überlagerungen akustische Signale von maximal 9 pC großen TE aufgezeichnet werden (Fig. 1, rechts). Ein Vergleich der Amplituden zeigt offensichtlich, dass Signale deutlich unter dem akustischen Rauschpegel messbar wurden (Rauschpegel 0.038 V der „Referenz-Messung“ mit 575 pC, verglichen mit der maximalen Amplitude des gemittelten Signals von 0.0156 V).

Zusammen mit drei weiteren Kanälen ergab sich über die akustischen Laufzeiten (Pseudozeiten-Ansatz) bei der Einzelimpulsmessung eine räumliche Abweichung von 1.6 cm, während der Ortungsfehler für die 9 pC-Mittelwertmessung 10,4 cm betrug.

The denoising effect of the UHF-triggered averaging of acoustic PD signals has been investigated in a laboratory experiment. The experimental setup consisted of a coil at high voltage surrounded by two pressboard cylinders immersed in an oil-filled transformer tank with the dimensions of 1.77 m in x-direction (length), 0.77 m in y-directions (depths) and 1.56 m in z-direction (height).

During the experiment a PD at a known position was stimulated at the inner side of the coil at high voltage. The triggering of the 60 dB amplified acoustic channels was carried out with the UHF signals of the PD, which have been recorded unamplified with an analogue bandwidth of 1 GHz. Parallel the electric impulses were rated in accordance with the IEC 60270 standard to obtain the corresponding PD levels.

Fig. 1 (left) shows an acoustic impulse of a PD with an apparent charge of 575 pC. In the unchanged arrangement no acoustic single PD impulses were detectable for PD smaller than approx. 100 pC. Using the averaging procedure with UHF-triggering acoustic signals of maximum 9 pC PD have been recorded after 500 superpositions (Fig. 1, right). A comparison of the amplitudes obviously reveals that signals clearly below the acoustic noise level became detectable (noise level 0.038 V of the “reference measurement” with 575 pC compared to the maximum amplitude of the averaged signal of 0.0156 V).

Localization results on the basis of acoustic arrival times (pseudo-time approach) with three additional channels showed for the single impulse measurement a spatial deviation of 1.6 cm, while the localization error of the 9 pC averaging measurement was 10.4 cm.

▪ **Unterstützung der risikoorientierten Instandhaltungsstrategie durch den Einsatz des zustandsbasierten und funktionsübergreifenden Asset-Managements**

Dipl.-Ing. Jozsef Osztermayer, Dipl.-Ing. Markus Fischer

Optimierungspotenziale auf der Ebene von einzelnen Betriebsmitteln sind mit den traditionellen Asset-Management-Ansätzen nahezu völlig ausgeschöpft worden. Um noch bestehende Kosteneinsparungspotenziale durch die konsequente Anwendung der risikoorientierten Instandhaltungsstrategie realisieren zu können, bedarf es eines zustandsbasierten und funktionsübergreifenden Asset-Management-Konzeptes (ZB&FÜAM). Das übergeordnete Ziel unserer Entwicklung ist ein Konzept bereit zu stellen, welches Kostensenkungspotenziale durch die zustandsbasierte Koordination von IH-Maßnahmen realisieren lässt.

Die Schlüssel zu einem funktionsübergreifenden, technisch-wirtschaftlichen Asset-Management sind Datenintegration, Datenaufbereitung und auf konkrete Entscheidungssituationen abgestimmte Informationsbereitstellung. Dabei soll die jeweilige Entscheidungssituation als lösungsrelevante Grenzbedingung für die Ausführung der Datenintegration bzw. der Datenaufbereitung betrachtet werden.

Instandhaltung und Budgetierung sind zu optimieren, wobei sowohl der Er-satzzeitpunkt einer Instandhaltungsmaßnahme als auch deren Kostenbudget eine Entscheidungssituation darstellen. Nachstehende Fig. 1 illustriert den Berechnungsablauf von maßgebenden Indikatoren für das finanzielle und technische Risiko, die als Entscheidungsunterstützung für die Budgetierung bzw. für die Bestimmung der Instandhaltungsreihenfolge von fehlerbehafteten Anlagen herangezogen werden sollen. Es zeigt auch, dass die obigen Risikoindikatoren auf der Basis des aktuellen Betriebsmittelzustandes berechnet werden. Das Verfahren ist Fuzzy-Logik basiert, wo neu gewonnene Erkenntnisse über die aktuellen Fehlerarten und deren geschätzten monetären Kostenkonsequenzen in den jeweiligen Beurteilungsalgorithmus im Laufe der Zustandsdegradation fortlaufend eingepflegt werden können (siehe auch Fig. 2 und Fig. 4).

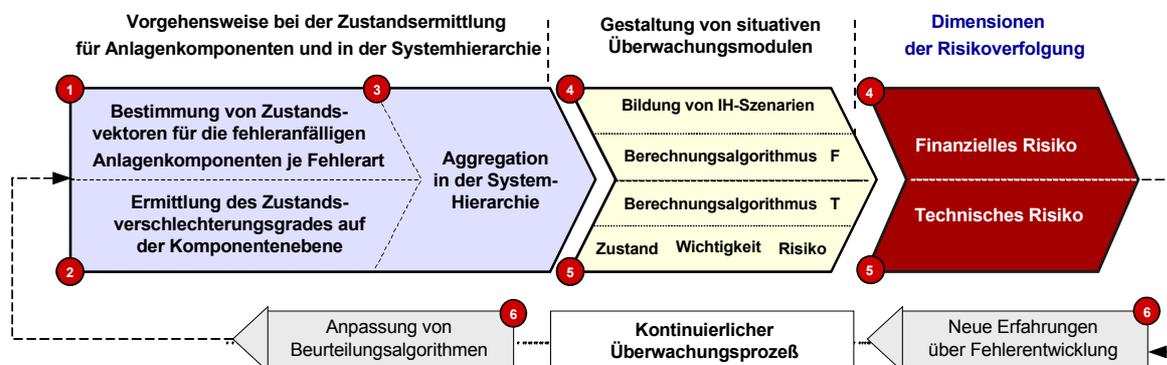


Fig. 1: Bilddiagramm der iterativen Bestimmung von Risikoindikatoren für die Entscheidungsunterstützung im Bereich Budgeting und Instandhaltung

▪ **Decision Support for the Risk-oriented Maintenance Strategy by Deploying the Condition-based Crossfunctional Asset-Management Concept**

Dipl.-Ing. Jozsef Osztermayer, Dipl.-Ing. Markus Fischer

The potentials for cost saving have been fully utilised till now, by means of using traditional asset management approaches, carrying out the cost optimisation on equipment level. In order to deploy the Risk-based Maintenance Strategy properly the cost optimisation should be implemented on the system level. For that reason the utilities need a **Conditionbased** and **Crossfunctional Asset-Management** concept (CB&CFAM) providing hierarchical decision support for the coordination of maintenance activities. According to the **CB&CFAM**-concept, worked out at the IEH, the timing and the content of maintenance measures are supposed to be defined on the basis of the current condition of the particular equipment component.

The key-tasks to be solved according to the CB&CFAM are integration of condition-relevant measurement data, data processing and decision support. Reports should be designed for decision situations and regarded as a basis for the task solution.

Maintenance and budgeting are subjected to optimisation and they can be regarded as significant decision situations. In order to compromise the maximum power supply reliability to low maintenance budget, the condition based planning of maintenance activities is highly required. Fig. 1 shows how to build up risk-indicators that help decision makers to balance the tradeoff; it also demonstrates that the calculation of the risk indicators has been implemented in a closed loop, which allows the service personnel to update the algorithm for condition calculation in course of condition deterioration. The model which represents the calculation of the grade of current condition deterioration is fuzzy-logic based. It is given in Fig. 4. The financial risk is defined as the expected scaled value of all maintenance scenarios assigned to the controlled units of equipment. The financial risk assessment chart is shown in Fig. 2.

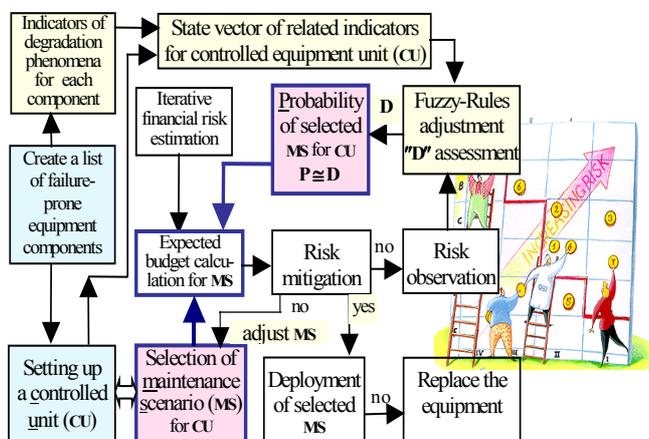


Fig. 2: Flowchart of iterative financial risk assessment

Der Vorteil des ZB&FÜAM-Konzepts ergibt sich aus der Integration eines Fuzzy-Logik basierten Zustandsbeurteilungssystems, das es ermöglicht, relevante Messgrößen mit Hilfe von Erfahrungswissen vorteilhaft auf Zustandsgrößen abzubilden.

Fig. 3 zeigt die sich durch die Fuzzy-Logik vollziehenden Abbildungsschritte. Im „Fuzzyifizierungsschritt“ werden mit Hilfe von Zugehörigkeitsfunktionen Ein- und Ausgangsgrößen in linguistische Ein- und Ausgangsvariablen transformiert und somit das ursprünglich mathematische Problem in ein natürlichsprachliches überführt. Natürlichsprachliches Erfahrungswissen, das in Produktionsregeln gefasst wird, bildet das Bindeglied zwischen linguistischen Eingangs- und Ausgangsvariablen und sorgt so für eine durchgängige Abbildungskette. Das damit gelöste natürlichsprachliche Problem wird im „Defuzzyifizierungsschritt“ schließlich in ein gelöstes mathematisches überführt. Damit ist implizit die ursprünglich unbekannte Funktion bestimmt.

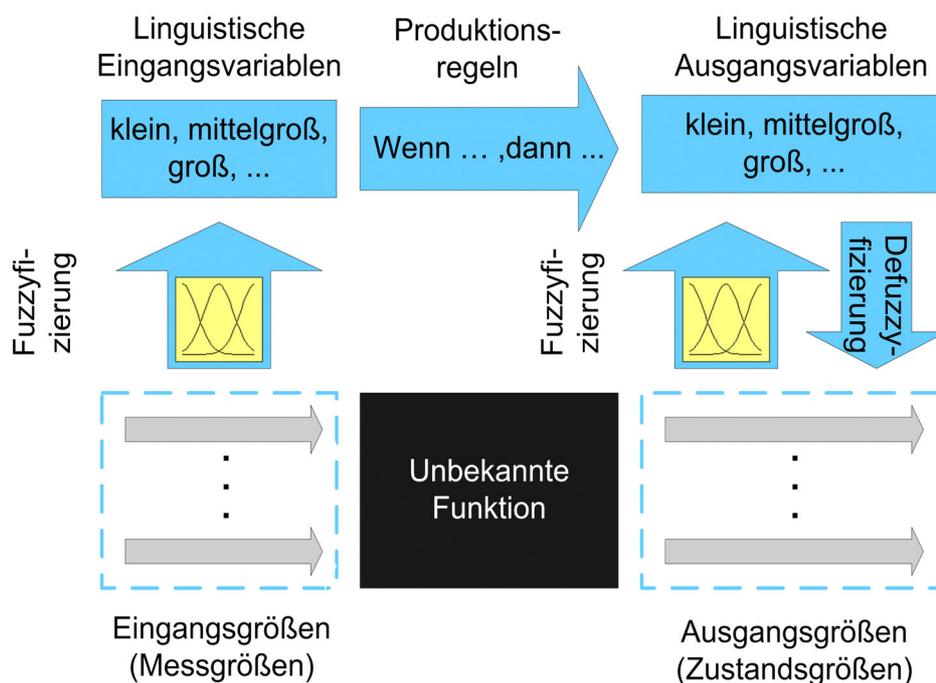


Fig. 3: Übersicht über die Abbildungskette der Fuzzy-Logik

In einer Diplomarbeit wurden verschiedene klassische DGA-gestützte Diagnoseverfahren für Leistungstransformatoren untersucht und deren Nachteile und Vorteile festgestellt. Die Erkenntnisse flossen in die Entwicklung eines leistungsfähigen Fuzzy-Logik gestützten Fehlerdiagnosesystems, das in der Lage ist, auf Grundlage der DGA fünf bekannte Fehlerarten zu detektieren.

Bild 4 zeigt das Teilmodell für die Detektion des Fehlerzustands „Teilentladung“. Durch die Berücksichtigung des Verhältnisses von Wasserstoff zu Methan findet das charakteristische Merkmal der Gasrelation Anwendung, das sich bereits in traditionellen Diagnoseverfahren bewährt hat. Darüber hinaus wird das charakteristische Merkmal der Gasentwicklungsgeschwindigkeit in Gestalt der Änderungsgeschwindigkeit von Wasserstoff ausgewertet. Der dadurch erzielbare Informationsgewinn spiegelt sich einerseits in einer verbesserten Sensitivität der Fehlerdiagnose wieder, andererseits aber auch in einer verbesserten Erkennungsleistung.

The CB&CFAM concept takes advantage of the integration of a fuzzy logic based condition determination system. This system aims to find an adequate function to map measurements to state variables.

Fuzzy logic works by applying a chain of transformation steps that are shown in an overview (Fig. 3). With the step of “fuzzyfication” membership functions transform measurements and state variables into linguistic input and output variables. Thus the original mathematical problem is transformed into a linguistic one. Then the know-how, that is verbalized in natural language, has to be embedded into production rules. The embedded know-how works as a connector to achieve a continuous and transparent mapping between the linguistic input and output variables. Therefore the linguistic problem is solved. Finally, in the step of ”defuzzyfication”, the solved linguistic problem is transformed back into a solved mathematical problem, because the required function is implicitly determined.

Within the scope of a diploma thesis different DGA based diagnostic methods for power transformers have already been analyzed to identify their advantages and disadvantages. The results were used to develop a powerful DGA based method to diagnose five well known types of faults by means of fuzzy logic.

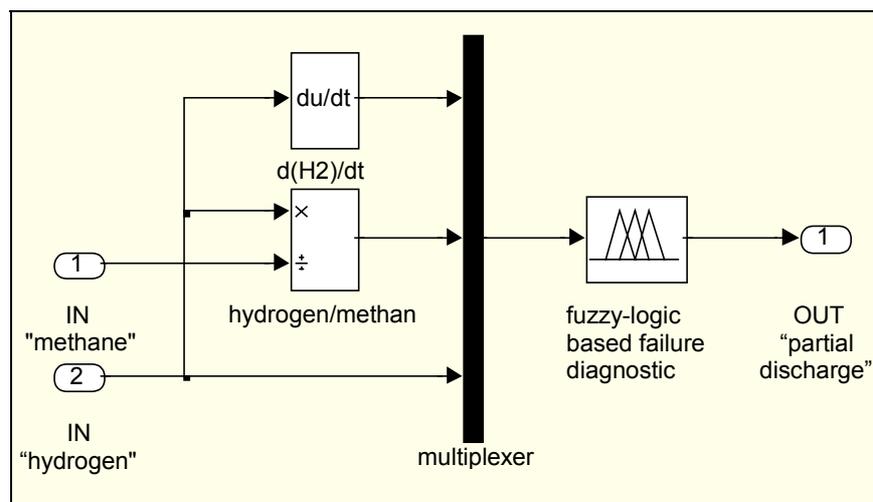


Fig. 4: Sub model for diagnosis of the important fault type “partial discharge”

Fig. 4 shows the applied sub model for detecting the important fault type “partial discharge” (PD). This sub model takes into account the ratio of hydrogen and methane and therefore uses the gas ratio as a traditional symptomatic criterion. Furthermore, the powerful symptomatic criterion of gas formation speed is used by utilizing the derivation of hydrogen. The outcomes result in a more sensitive fault detection as well as a better performance.

▪ **Charakterisierung von Baugruppen zur Einbindung in die EMV-Simulation in automotive Anwendungen**

Dipl.-Ing. Heinz Rebholz

Die Problemstellung der Elektromagnetischen Verträglichkeit gewinnt mit steigender Komplexität der Anwendungen eine immer höhere Bedeutung. Diese Entwicklung ist auch in der steigenden Anzahl von elektronischen Komponenten im Fahrzeug zu bemerken, welche neue Herausforderungen sowohl auf dem Gebiet der Eigen-Fremdstörfestigkeit, als auch der Störaussendung hervorruft. Um den genannten Problemstellungen frühzeitig entgegenzutreten, wird bereits heute im Entwicklungsstadium neuer Komponenten die Möglichkeit zur Simulation einzelner Teilprobleme genutzt.

Gängige EMV-Simulationen beschränken sich zur Zeit auf die Simulation der Karosserie, Kabelbaumabschnitte und der Antenne. Dabei wird vor allem die Übertragungsfunktion der Teilabschnitte bzw. die Einkopplung auf die Fahrzeugantenne betrachtet. Eine Einbindung kompletter Schaltungen und Steuergeräte in die 3D-Simulationsumgebung ist aufgrund einer beschränkten Rechenleistung sowie des anfallenden Speicherbedarfs nur bedingt möglich.

Ein erreichbares Ziel muss es jedoch sein, eine aussagekräftige Simulation der Komponentensysteme zu erhalten. Dabei wird nicht das gesamte Fahrzeug betrachtet, sondern nur einzelne Komponenten, z.B. Steuergerät mit angehängtem Testkabelbaum und Terminierung (nachfolgend Komponentensystem genannt). Es wird dadurch möglich, bereits während der Entwicklungsphase die EMV-Eigenschaften der folgenden Komponentenprüfung zu beeinflussen und dadurch aufwändige Trial- und Error-Entwicklungen zu verhindern.

Für die Simulation der Komponentensysteme müssen die dazugehörigen Subsysteme getrennt voneinander charakterisiert werden. Dadurch erhält man eine Aussage über das Verhalten der Systeme im betrachteten Frequenzbereich und auch die Möglichkeit, eine Aussage zu treffen, welches Subsystem den größten Einfluss auf die EMV-Eigenschaften der Komponente hat. Die Reihenfolge der Simulation erfolgt dabei von der Terminierung in Richtung des zu untersuchenden Steuergerätes.

Die Simulationsreihenfolge kann dabei wie folgt aussehen. Im ersten Simulationsschritt wird die Terminierung (z.B. CAN-Abschluss) an den anschließenden Kabelbaum angebunden. Nachdem ein Modell für den Kabelbaum inklusive Terminierung erstellt wurde, wird das erhaltene Modell an die Simulation des Steuergerätes angebunden und man erhält eine Aussage über die am Kabelbaum anliegenden Strom- und Spannungsverhältnisse. Mit den so erhaltenen Informationen ist es möglich, eine Bewertung der Störaussendung vorzunehmen, da die Strom- und Spannungsverhältnisse auf den Leitungen bekannt sind.

▪ Characterisation of discrete Elements for EMC-Simulations in automotive applications

Dipl.-Ing. Heinz Rebholz

Due to the increasing level of component packaging and the rise of electronic devices in car systems, the problem of EMC became one of the major tasks within automotive engineering. To get an adequate forecast of arising EMC problems the whole electronic system has to be evaluated from the beginning of the design to the following component test level. Computer simulation is employed to simulate and to localise critical EMC parts of components and systems at early stages of the development process.

Existing EMC modelling techniques are limited in accuracy since primarily the car environment is modelled. These models include the car chassis, cable harness and antenna. Powerful 3D solvers are employed to solve the system, characterised by the transfer function. The lack of infinite computer resources makes it not possible to embed a complete PCB (printed circuit board) or describing circuit into the simulation up to now.

On the other hand, it should be possible to derive a simulation for a closed component system. Unlike existing 3D solvers, the system consists primarily of the control unit with connected cable harness and the following termination. For a simulation of the whole component system the included subsystems have to be described independent of each other. This way will lead us to a statement for the model behaviour within the concerned frequency range and also gives the possibility to make investigations about the subsystem with biggest EMC influence. The simulation queue for the component system is starting reverse which means from the termination up to the control unit. Simulation Step one considers the cable harness and the adjacent artificial network including the termination of the cable harness. Step two combines the received model out of step one with the device under test (DUT).

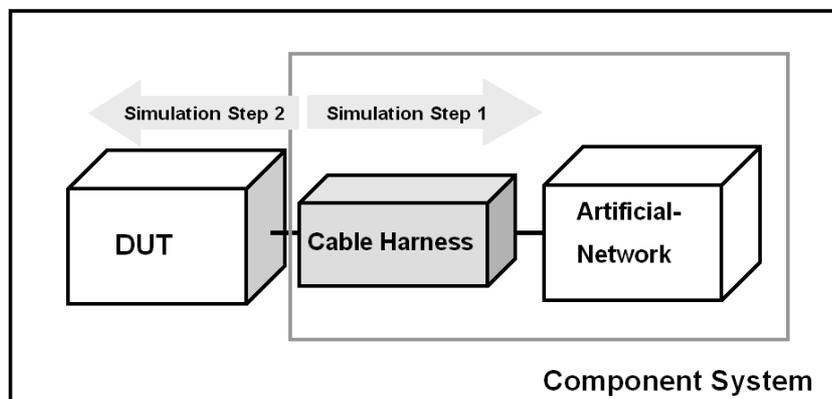


Fig. 1: Simulation queue for an arbitrary Component System
 Simulationsreihenfolge für ein beliebiges Komponentensystem

Im Folgenden wird ein Teilaspekt, der zu einer Beschreibung des Komponentenmodells führt, näher herausgegriffen. Um ein exaktes Gesamtmodell zu erhalten ist es unerlässlich, die einzelnen Subsysteme so genau wie möglich zu beschreiben, da sich die dort gemachten Fehler im Komponentenmodell wieder finden. Herausgegriffen wird hier die Beschreibung einfacher Kabelbaumstrukturen, die zur Steuerung und Messwerterfassung von Sensoren und Aktoren im KFZ verwendet werden.

Beschreibung einfacher Kabelbaumstrukturen

Ziel der nachfolgenden Untersuchung ist es, eine Aussage darüber zu erhalten, wie genau einfache Kabelbaumstrukturen beschrieben werden können, im Vergleich zur durchgeführten Messung. Untersucht wurden Flachbandleitungen mit einer, zwei und vier Leitungen, bei verschiedenen Abschlussvarianten. Fig. 2 zeigt den Versuchsaufbau im Labor zur Bestimmung der Streuparameter.

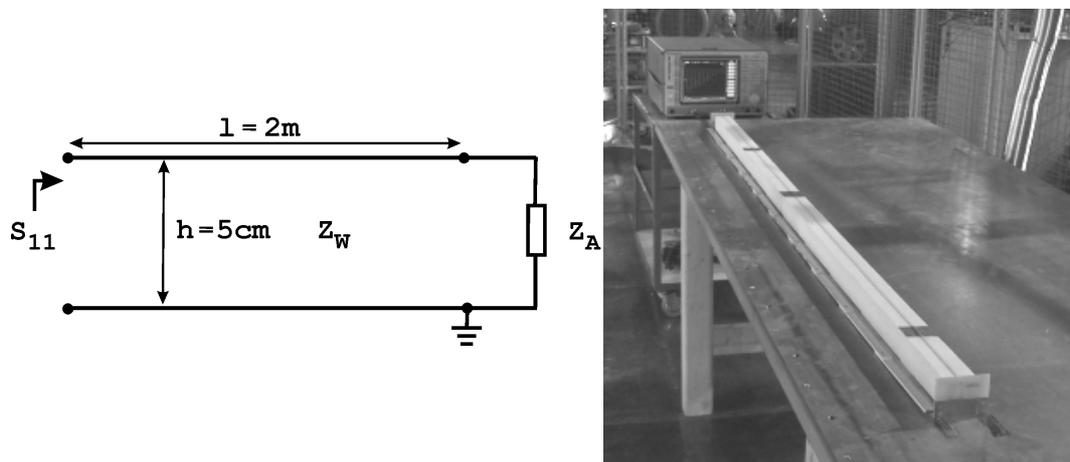


Fig. 2: Setup for scattering parameter measurement
Laboraufbau zur Ermittlung der Streuparameter

Für die einfachste Form der Kabelbaumanordnung (Fig. 2) stimmen Simulation und Messung sehr gut überein. Deutlich zu sehen ist, dass aufgrund der Simulationemethode (PEEC) keine Abstrahlung des Kabelbaums, im Vergleich zur Messung (Fig. 3), berücksichtigt wird.

Deutlichere Unterschiede zeigen sich bereits bei der Betrachtung von Zwei- und Vierdrahtsystemen. Eine nicht ideale Kabelführung sowie eine teils nur unzureichende Beschreibung der Zuleitung erschweren hier die Simulation. Aus den gemessenen bzw. simulierten S-Parametern ist es nun möglich, mittels Vector Fitting ein diskretes, passives Ersatzschaltbild zu generieren, für die weitere Simulation im Netzwerksimulator Gl. (1), (2).

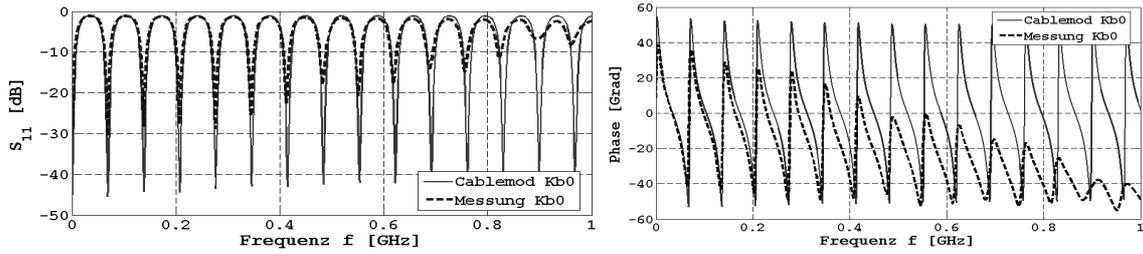


Fig. 3: Measurement and simulation for a single wire, single ended (Fig. 2)
Messung und Simulation der S-Parameter, entsprechend dem Aufbau in Fig. 2

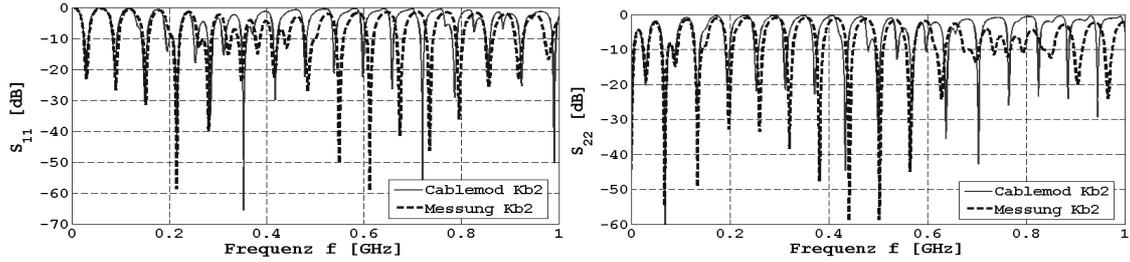


Fig. 4: Measurement and simulation for double wire with balanced load
Messung und Simulation eines Zweidrahtsystems mit differentiellem Abschluss

Now, we try to model one part of the component system in detail. To receive an adequate simulation model it is necessary to describe each submodel as good as possible to reduce the resulting simulation error for the whole component system. The chosen wiring harnesses are typically used for sensor or actuator applications.

Description of simple cable harness structures

Different investigations took place with simple cable harness structures from one to four wires with single ended or differential terminations. Fig. 2 shows the measurement setup for the single wire constellation to obtain a scattering parameter result. As seen in Fig. 3. the simulation results as well as the measured device show the same behaviour over the whole frequency range from 0.3 to 1000 MHz. Due to the chosen simulation method (PEEC, Partial Element Equivalent Circuit) there is no radiated emission considered compared to the measurement results. A bigger difference between simulation and measurement shows Fig. 4, wherein a dual wire system with differential termination at the end is considered. Non ideal connections as well as inhomogeneous cable routing lead to a more difficult comparison between measurement and simulation. With the obtained s-parameter it is possible to receive a proper network model to describe the aperture in current network simulators.

$$(Y) = R \cdot [(E) - (S)]^{-1} [(E) + (S)] \longrightarrow Y_{11} \cong Y_{Fit}(s) = \sum_{m=1}^N \frac{c_m}{s - a_m} + d + s \cdot e \quad (1), (2)$$

After converting the s-parameter into the corresponding \underline{Y} and \underline{Z} Matrices, equation 1 and 2 will lead to the network model of the device. The obtained network models are now a part of the component system out of Fig. 1.

▪ **Modell zur Berechnung der Deckelöltemperatur von Leistungstransformatoren im Betrieb**

M.Sc. Rummiya Vilaithong

Durch den Vergleich der online gemessenen Deckelöltemperatur und der mittels eines physikalisch mathematischen thermischen Modells berechneten Temperatur können bei Leistungstransformatoren sich schnell entwickelnde Betriebsstörungen, wie beispielsweise der Ausfall von Pumpen oder Lüftern, erkannt werden. Um das Modell zur Überwachung des Betriebszustandes in einem Online-Monitoring – System verwenden zu können, muss es zunächst anhand von online Messdaten auf das dynamische Langzeitverhalten untersucht werden.

Für die Berechnung der Deckelöltemperatur von ölgekühlten Leistungstransformatoren gibt es mehrere Modelle. Das erste Modell (**Modell A**) basiert auf einem Konzept, welches ursprünglich von IEEE / ANSI C57.115 entwickelt wurde. Die Änderung der Deckelöltemperatur wird in diesem Modell durch die Änderung der Belastung des Transformators und der Umgebungstemperatur berücksichtigt. Von Nachteil ist jedoch, dass schnelle Veränderungen der Umgebungstemperatur, wie sie im täglichen Zyklus auftreten, im dynamischen Verhalten keine zufriedenstellenden Ergebnisse liefern. Daher ist es zur Detektion von Lüfter- oder Pumpenausfällen für eine Online-Anwendung nicht geeignet. Der Einfluss der Umgebungstemperatur wird durch das modifizierte Modell (**Modell B**), welches am MIT (**M**assachusetts **I**nstitute of **T**echnology) entwickelt wurde, besser erfasst, da sie direkt als Größe in die Differentialgleichung mit einbezogen wird. Zur Diskretisierung der zeitlichen Ableitungen wird die Forward – Euler – Approximation mit Rückwärtsdifferenzen angewendet. Das Modell setzt jedoch voraus, dass der Transformator die Kühlart ODAF besitzt.

In einem weiteren thermischen Modell (**Modell C**) werden zwei wichtige physikalische Parameter mitberücksichtigt: Die Wärmekapazität des Transformators und der thermische Widerstand der Kühlanlage, der den Wärmetransport vom Kühlöl in die umgebende Luft beschreibt. Dieses Modell setzt jedoch voraus, dass die gesamten Verluste über den konstanten thermischen Widerstand (R_{th}) der Kühlanlage an die Umgebung abgeführt werden. Die zeitliche Schwankung der Umgebungstemperatur wird in diesem Modell ebenfalls mitberücksichtigt.

Die genannten Modelle wurden anhand von Online-Messdaten, die an einem 150-MVA-ONAF-Transformator aufgezeichnet wurden, verglichen. Der Betriebszustand der Kühlanlagen war dabei stets derselbe. Die Messdaten wurden jeweils mit einem Online-Monitoring-System von AREVA Energietechnik GmbH erfasst (MS 2000). Da nicht alle Parameter, die für die Modelle benötigt werden, aus den Datenblättern der Transformatoren entnommen werden konnten, mussten sie durch numerische Optimierungsverfahren aus den Online-Messdaten ermittelt werden.

■ **Top-oil Temperature Model for Unsteady-State Conditions of Power Transformers**

M.Sc. Rummiya Vilaithong

Through on-line comparison of a measured and calculated value of top-oil temperature, which is obtained by means of a physical model, some rapidly developing failures in power transformers such as the malfunction of pumps or fans can be detected. Therefore, a long-term period investigation of some dynamic top-oil temperature models is important to be considered for further application in an on-line monitoring and diagnostic system for power transformers.

There are several fundamental models that can be used to calculate transformer top-oil temperature. The first model (Model A) is based on the IEEE/ANSI C57.115 standard. The concept behind is that the change of top-oil temperature is caused by changes in loading conditions and ambient temperature. However, this fundamental model is limited because it does not accurately account for the effect of daily variations in ambient temperature, and therefore is not applicable for an on-line monitoring system. Later, a group at the MIT (Massachusetts Institute of Technology) has proposed a modified top-oil temperature model (Model B) developed from the IEEE top-oil rise temperature model by considering the ambient temperature at the first-order characterization. The forward Euler approximation was used for the time derivative. Then through linear regression technique applied to the model a simplified model was achieved. However, this simplified model is under the assumption of the cooling type ODAF.

Therefore, another modified model (Model C) based on two important thermal parameters of a cooling system of transformer which are heat capacity and thermal conductivity were considered. This model assumes that all losses are transferred to an environment via a thermal resistance (R_{th}) of the cooling equipment and it also includes the variation of ambient temperature.

The three different top-oil temperature models were applied to a 150 MVA-ONAF transformer unit. The status of the cooling units in those transformer was constant. The required measured data during unsteady-state of load current and ambient temperature was obtained from an on-line monitoring system MS 2000 supplied by the AREVA Energietechnik GmbH.

Because of the complicated transformer configuration and uncertainty associated with parameters that were supplied by some manufacturers some constant parameters of the models were estimated from the least square optimization technique. Results indicated that these estimated parameters were not constant values. They varied by different periods of time of the year and different operating states of pumps and fans.

Die Ergebnisse zeigen, dass die geschätzten Parameter nicht konstant sind. Sie ändern sich einerseits jahreszeitenabhängig und andererseits auch durch unterschiedliche Betriebszustände von Pumpen und Lüfter. Deshalb wird für die Anwendung im Modell der jeweils über den Zeitraum von einem Jahr ermittelte Wert des betreffenden Parameters verwendet.

Die Qualität der Modelle wurde anhand der Abweichung zwischen berechneter und gemessener Deckelöltemperatur überprüft. Die Ergebnisse zeigen, dass die Modelle B und C die besseren Langzeitübereinstimmungen zwischen den gemessenen und berechneten Deckelöltemperaturverläufen liefern. In Bild 1 sind die Abweichungen in den Temperaturen dargestellt. Die durchschnittliche Abweichung liegt unter 2 K. Diese Genauigkeit ist für die Anwendbarkeit der beiden Modelle in einem Online-Monitoring-System ausreichend.

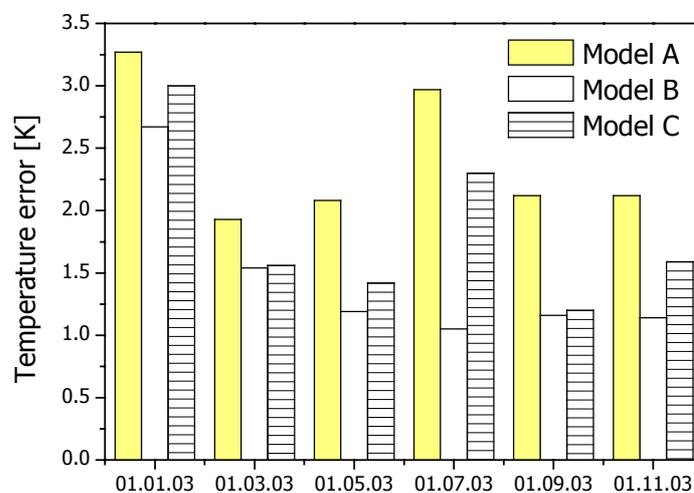


Fig.1: Temperature error comparison between different models
Die Temperaturabweichungen zwischen den Modellen

In Fig. 2 sind die berechneten und gemessenen Deckelöltemperaturverläufe für den 150-MVA-Transformator, in zwei Zeiträume aufgeteilt, dargestellt. Bei der Berechnung der Deckelöltemperatur wurden jeweils dieselben ermittelten Parameter verwendet. Man erkennt, dass für die unterschiedlichen Zeiträume die Genauigkeit in der Berechnung unterschiedlich ist. Ebenfalls geht hervor, dass die Modelle B und C im Allgemeinen die besseren Übereinstimmungen liefern. Außerdem zeigt sich, dass im zweiten betrachteten Zeitraum, in dem alle Modelle größere Abweichungen zeigen, keine wesentlichen Unterschiede zwischen den Modellen bestehen.

Die Deckelöltemperatur ist von der Belastung des Transformators und der Umgebungstemperatur abhängig. In Bild 3 ist daher die Abweichung zwischen gemessener und berechneter Deckelöltemperatur im Vergleich zum Umgebungstemperaturverlauf dargestellt. Die Ergebnisse zeigen, dass die großen Fehler durch eine starke Schwankung der Umgebungstemperatur zu Stande kommen. Dagegen haben Laständerungen (Bild 4) einen geringen Einfluss auf die Genauigkeit der Deckelöltemperaturberechnung.

The applicability of the models was checked by calculation of the error between calculated and measured top-oil temperature. In long-term investigation the thermal model B and C provided a better result in top-oil temperature calculation than model A. The calculated errors using the average estimated parameters from each model are illustrated in Fig.1. The average error in long-term supervision is below 2 K, which is sufficient to be used in an on-line monitoring system.

A plot for calculated and measured top-oil temperature from two periods is represented in Fig. 2. The curves which are plotted from the lowest and highest temperature error taken from Fig.1 represent the behaviour of these three models. They indicate that in lowest temperature error period (Fig. 2a) only models B and C perform a good capture of measured top-oil temperature behavior. During the highest temperature error period (Fig. 2b) all models show similar deviations between the calculated and the measured top-oil temperature.

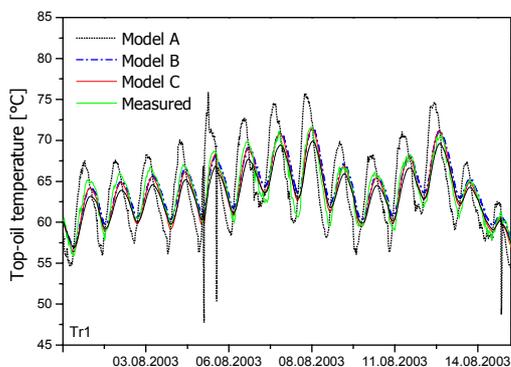


Fig.2a: Temperature in lowest error period
Bereich mit kleinen Abweichungen

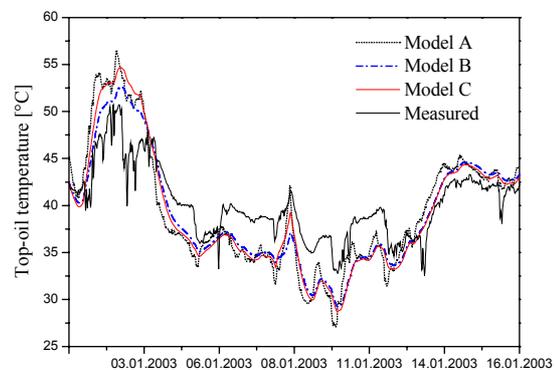


Fig.2b: Temp. in highest error period
Bereich größerer Abweichung

Further, ambient temperature and load factor were considered because they are known as the main factors that effect top-oil temperature. The relation between transient-state of ambient temperature and error from top-oil temperature calculation in some periods can be clearly seen from Fig. 3. The results have revealed that the transient-state of ambient temperature has a negative effect on top-oil temperature calculation, whereas a transient-state of loading condition (Fig. 4) has a minor effect on the accuracy of the investigated models.

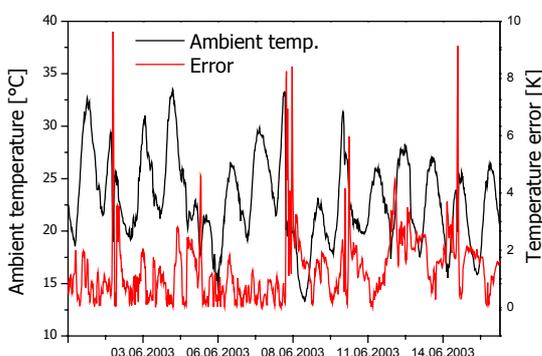


Fig.3: Transient-state of ambient temperature
Schwankung der Umgebungstemperatur

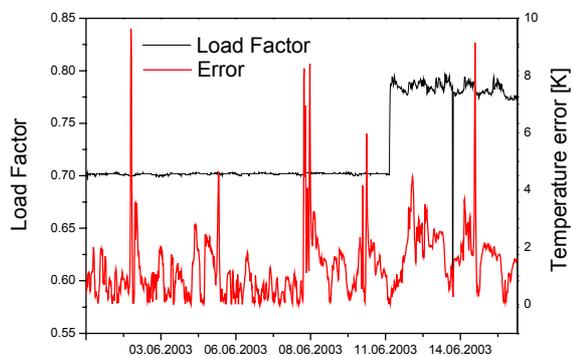


Fig.4: Transient-state of load factor
Laständerungen

▪ **Numerische Berechnung der Temperaturverteilung in Gießharz-Trockentransformatoren**

Dipl.-Ing. Andreas Weinläder

Gießharztransformatoren werden vorwiegend als Verteiltransformatoren in verbrauchernahen Lastschwerpunkten, z. B. in Stockwerksverteilungen in Kliniken oder Hochhäusern eingesetzt, wo ihre im Vergleich zu konventionellen Öltransformatoren niedrige Brandlast zur Geltung kommt. Gegenüber Öltransformatoren besitzen sie den Nachteil einer schlechteren Kühlung, da zwar ebenfalls eine konvektive Wärmeübertragung an die Umgebungsluft stattfindet, jedoch anstelle des konvektiven Wärmetransports im Öl die relativ schlechte Wärmeleitung im Gießharz tritt. Es ist daher gerade bei diesen Transformatoren wünschenswert, ihre im Vergleich zu Öltransformatoren etwas grösseren Abmessungen durch gezielte Analyse und die hierdurch gestützte Beeinflussung des Temperaturfeldes zu verringern. An die Stelle der bisherigen eher groben Berechnungsverfahren soll die Finite-Elemente Methode treten.

Um den numerischen Aufwand (vor allem die Rechenzeit) in Grenzen zu halten, wurden für die Modellierung der Transformatorwicklung einige vereinfachende Modellannahmen gemacht. Es wurde im wesentlichen nur eine Scheibe der Oberspannungswicklung in Betracht gezogen, während die Unterspannungswicklung mit genügender Näherung analytisch berechnet werden kann. Die gemachten Vereinfachungen sind im folgenden aufgezählt und erläutert:

- Das Problem ist rotationssymmetrisch, was in guter Näherung, aber nicht exakt erfüllt ist.
- Die modellierte Scheibe ist bezüglich ihrer axialen Mitte spiegelsymmetrisch, was exakt zutrifft.
- Die Anordnung ist von Scheibe zu Scheibe periodisch symmetrisch. Dies ist nicht exakt, entspricht jedoch dem worst case, da so nicht die Verbesserung der Kühlung durch die axialen Stirnflächen der Wicklung berücksichtigt wird.
- Das Materialverhalten wird als linear angenommen. Ein nichtlineares Materialverhalten stellt zwar für die Modellierung kein großes Problem dar, jedoch waren die Transportgrößen des Harzes vom Hersteller nicht zu bekommen.
- Der Filmkoeffizient auf der Außenfläche, welcher ein Maß für die konvektive Kühlung durch die Außenluft ist, wurde als halbempirische Funktion der Temperatur angenommen. Da eine Strömungsanalyse der konvektiven Außenströmung einerseits aufwändig, andererseits auf genaue Kenntnis der Oberflächenbedingungen angewiesen wäre, scheinen hier fundierte empirische Ansätze lohnenswerter.

▪ **Numerical computation of the temperature distribution in cast-resin transformers**

Dipl.-Ing. Andreas Weinläder

Cast-resin transformers are mainly applied as distribution transformers at the center of concentrated loads e.g. in floor distributions of hospitals or high rises, where their low fire load -compared with conventional oil-transformers- is appreciated.

Compared with oil-transformers they have the drawback of a worse cooling. They also have a convective heat transfer to the surrounding but the convective heat transfer in the oil is replaced by the relatively bad heat conduction in the resin.

Therefore especially for these kind of transformers it is desirable to reduce their geometrical measures -which are larger than those of oil-transformers- by the directed influence of the temperature distribution in the winding supported by the analysis of the field of temperature. Instead of the formerly applied rather rough methods of calculation now the finite-element method will be performed.

To clip the numerical effort -especially the processing time- some simplifications were made for the modelling of the winding. Mainly only a single disc of the upper voltage winding was modelled while the lower voltage winding can be accurately calculated with analytical methods. In the following these simplifications are mentioned and commented.

- The problem is rotationally symmetric; this is not exactly true but a good approximation.
- The modelled disc is mirror symmetric with respect to its middle plane. This assumption is fulfilled exactly.
- The arrangement is periodically symmetric from disc to disc. This is not exactly correct but the worst case because of the neglect of the axial top- and bottom surfaces, which contribute to the cooling of the winding.
- The behaviour of the material is assumed to be linear. A nonlinear behaviour of the material wouldn't be a problem but the manufacturer of the resin wasn't able to deliver us the exact material properties.
- The film coefficient of the outer surface which is a quantity for the convective cooling through the surrounding air is assumed as a half empiric function of temperature. Because an analysis of the convective outer fluid-flow would be expensive in effort and additionally it would require a detailed description of the conditions on the surface, accurate empirical approaches seem to be more efficient.

Das verwendete Modell lässt sich automatisch generieren und liefert sehr schnell Ergebnisse (z. B. in 30 s) für einen bestimmten Trafo bei gegebener Belastung

Es ist andererseits kritisch anzumerken, dass mehr als der halbe Temperaturabfall an der Grenzschicht entsteht und daher ein kleiner Fehler beim Filmkoeffizient schon einen merklichen Fehler in der Temperatur verursacht. Da die Grenzschicht nicht in ihren Einzelheiten modelliert, sondern durch einen empirischen Filmkoeffizient beschrieben wird, ist man diesbezüglich auf zuverlässige experimentelle Werte angewiesen. Anderenfalls wird die durch den Einsatz der Finite-Elemente Methode gewonnene Genauigkeit durch solche Defizite wieder zunichte gemacht.

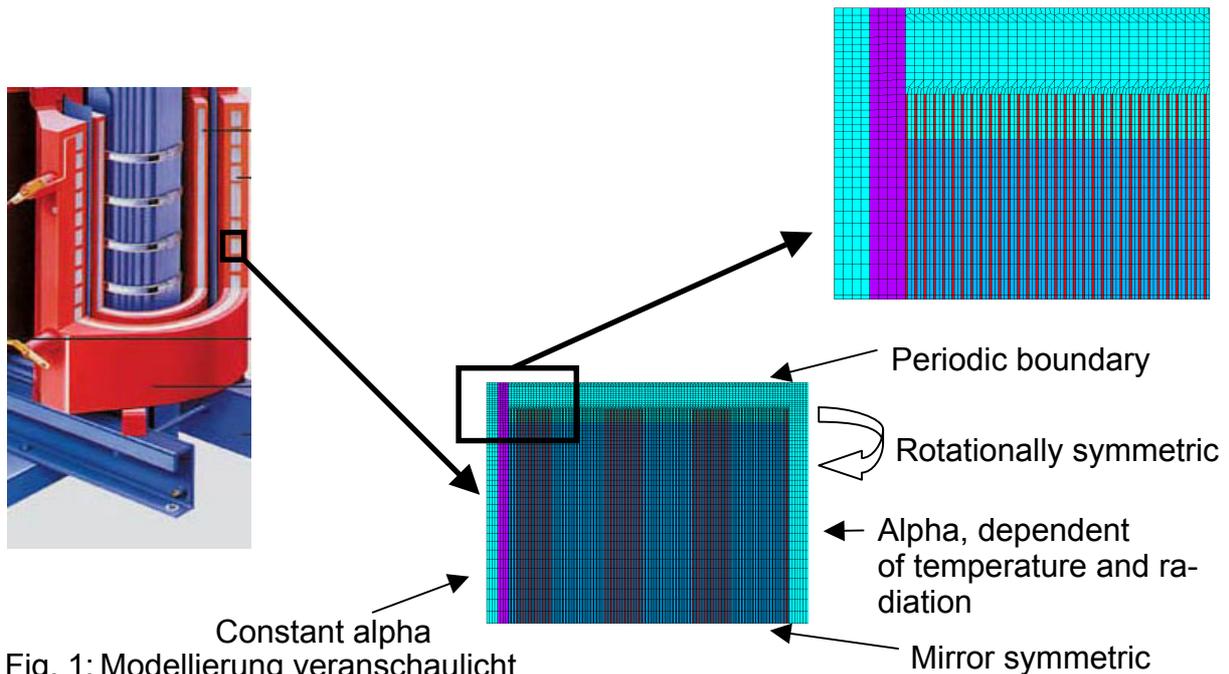


Fig. 1: Modellierung veranschaulicht
The Model used for simulation

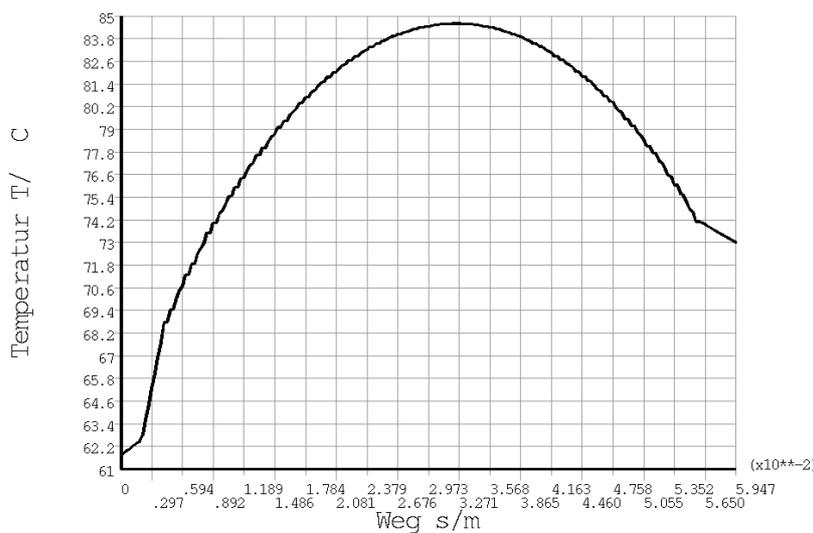


Fig. 2: Temperature in the inner of the disc along its radial thickness
Temperaturverlauf im Innern der Scheibe entlang der radialen Dicke

The used model can be generated automatically and delivers very fast (e.g. in 30 s) the results for a particular transformer in a given load case.

Since more than 50% of the decay of temperature happens at the boundary layer, a small error in the film coefficient will cause a relevant error in temperature. Because the boundary layer isn't modelled in its details, but described by an empirical film coefficient, the accuracy of the results depend on the quality of the underlying experimental results. Otherwise the decreased accuracy won by the finite-element method is destroyed again.

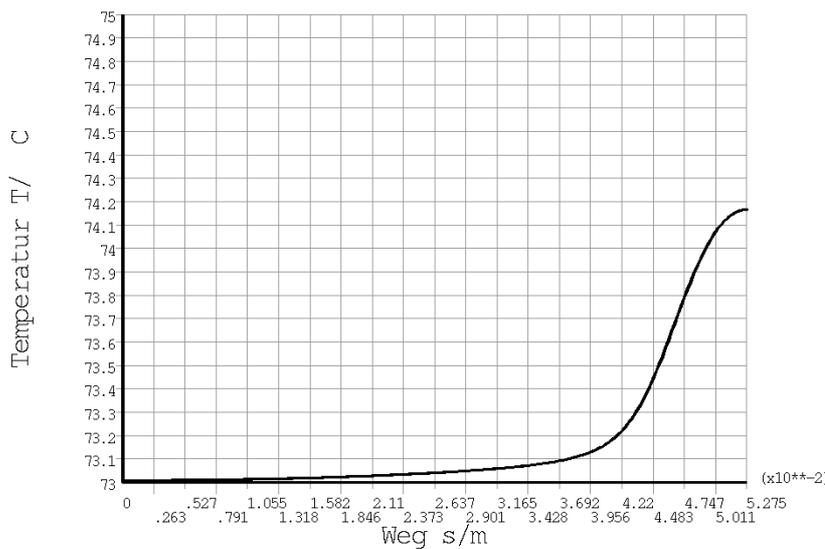


Fig. 3: Temperatur at the outer surface of the disc along the axial hight of the disc
 Temperaturverlauf auf der Aussenfläche der Wicklung entlang der axialen Höhe der Scheibe

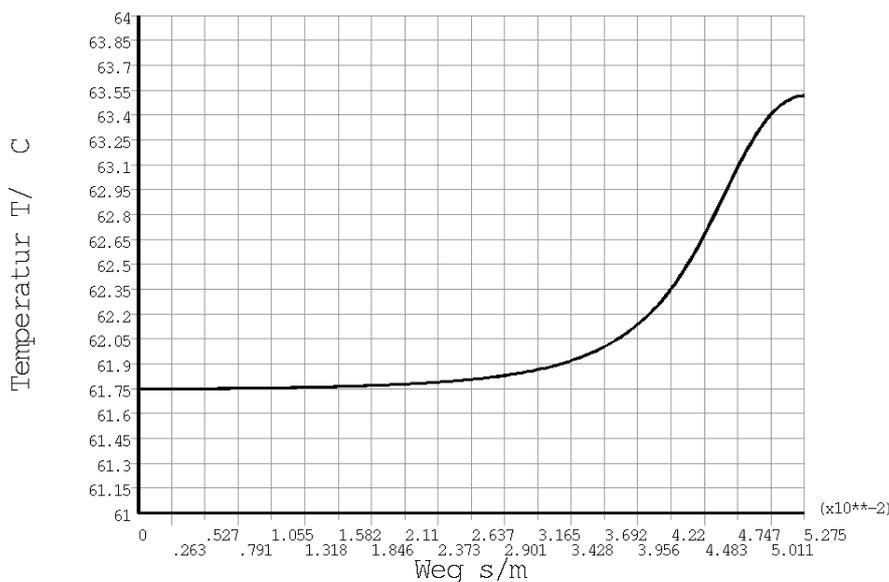


Fig. 4: Temperatur at the inner surface of the disc along the axial hight of the disc
 Temperaturverlauf auf der Innenfläche der Wicklung entlang der axialen Höhe der Scheibe

Die FRA als vergleichende Methode zur Detektion von Wicklungsschäden

Dipl.-Ing. René Wimmer

Für die Kurzschlussspannung haben die Wicklungsgeometrien, insbesondere die Streukanäle, einen entscheidenden Einfluss. Sie ist daher die derzeit einzige anerkannte Prüfmethode zur Detektion von Wicklungsschäden. Eine weitere Prüfmethode ist die Bestimmung der Übertragungsfunktion, auch FRA (**F**requency **R**esponse **A**nalysis) genannt. Sie ist wie die Prüfung der Kurzschlussspannung eine vergleichende Prüfmethode und muss auf eine Referenz bezogen werden. Die Auswertung der FRA erfolgt bis 1 MHz oder 2 MHz. Aufgrund dieser Tatsache ist es notwendig, ein hohes Maß an Reproduzierbarkeit zu erreichen und daher auf einen einwandfrei konzipierten Messaufbau zu achten. Fig. 1 und 2 zeigen eine Wiederholungsmessung nach 6 Jahren an einem 200-MVA- Kuppelumspanner.

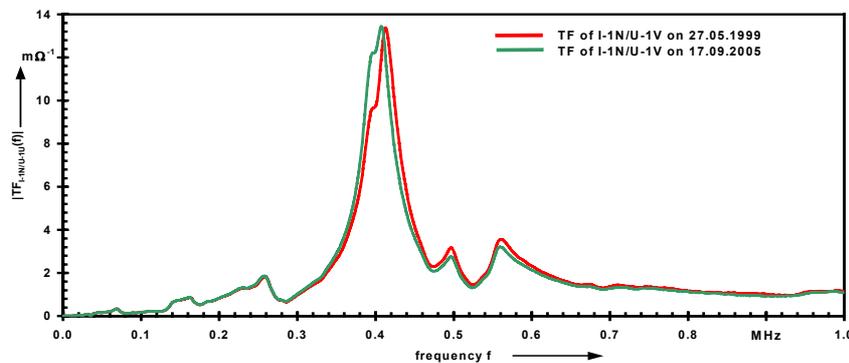


Fig. 1: FRA of neutral point current

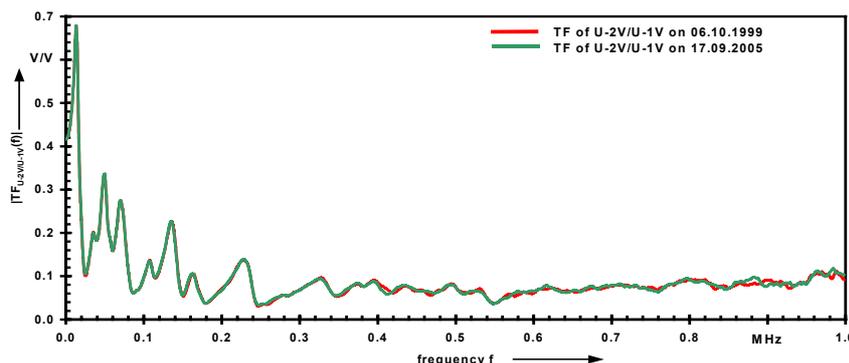


Fig. 2: FRA of the transferred voltage

Die Rahmenbedingungen für diese Wiederholungsmessung waren hierbei wie folgt:

- FRA-Messung 1999 in UA Limburg
- FRA-Messung 1999 mit nicht angelegten Varistoren (vgl. Fig. 3)
- FRA-Messung 2005 im Werk
- FRA Messung 2005 komplett ohne Varistoren (vgl. Fig. 4)

▪ **FRA as a Comparative Method for Detection of Winding Deformations**

Dipl.-Ing. René Wimmer

The determination of the impedance voltage which is influenced by the winding geometries particularly the leakage ducts, is currently the only accredited test method for the detection of winding deformations. Another test method is the determination of the transfer function, better known as FRA (**F**requency **R**esponse **A**nalysis). In both test measurement methods comparisons have to be undertaken as regard to a reference. The analysis of the FRA is carried out up to 1 MHz or 2 MHz, therefore it is necessary to achieve a high degree of reproducibility applying a faultless design of the measuring setup. Fig. 1 and 2 show repetitive measurements on a 200 MVA line transformer after 6 years.

The basic conditions for these repetitive measurements were as follow:

- FRA measurements 1999 in substation Limburg
- FRA measurements 1999 with floating arrester (cp. fig. 3)
- FRA measurements 2005 in a factory
- FRA measurements 2005 without any arrester (cp. fig. 4)

From Fig. 2 can be observed a good reproducibility that is achieved by the repetitive measurement. It is obvious that the floating arrester did not have an influence on the FRA. Also it was verified that these measurements were independent of the place. The differences which are visible on the FRA of the neutral point current (cp. fig. 1) can be explained by an insufficient measurement technique. The measurement of the current was carried out with an unshielded signal line between the bushing and the Rogowski coil in order to have the possibility to compare between the current measurements and the measurements of 1999. In addition it was found out in the past that a measuring setup with unshielded signal lines isn't ideal for a good reproducibility.

Fig. 5 to 7 show further repetitive measurements. This transformer, also a 200 MVA line transformer, was located in the substation Mündelheim and transported to the factory because of a short circuit incident. In 1999 a FRA measurement was done on site for that transformer. For that reason it is also possible to compare the current FRA measurement in Halle with the previous one. It is remarkable to mention that there were no significant differences at the FRA of the HV neutral point current (fig. 5). On the other hand, a clear shift of the resonance frequencies was evident from the comparison of the FRA of the transferred voltage (fig. 6). Moreover, significant differences were visible by regarding the FRA of the MV neutral point current. The hypothesis derived from the results was that the MV winding might have had an extensive damage.

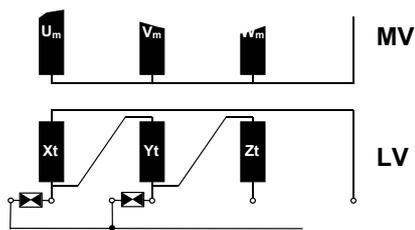


Fig. 3: Externe Verschaltung der Tertiärwicklung während der FRA-Messungen 1999
External circuit of the tertiary winding during the FRA measurements in 1999

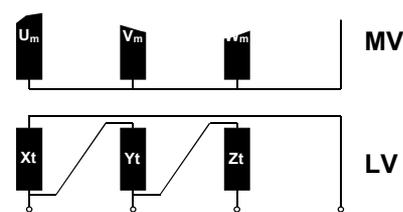


Fig 4: Externe Verschaltung der Tertiärwicklung während der FRA-Messungen 2005
External circuit of the tertiary winding during the FRA measurements in 2005

Wie Fig. 2 zu entnehmen ist, ist bei der Wiederholungsmessung eine gute Reproduzierbarkeit erreicht worden. Offensichtlich haben die nicht angelegten Varistoren keinen Einfluss auf die FRA. Auch die Ortsunabhängigkeit konnte mit dieser Messung nachgewiesen werden. Die Unterschiede, die bei der FRA des Sternpunktstromes auftreten (vgl. Fig. 1), sind mit der unzureichenden Messtechnik für den Erdstrom zu erklären. Um eine Vergleichsmöglichkeit zu den Messungen von 1999 zu erhalten, erfolgte die Stromauskopplung über eine ungeschirmte Leitung zu der am Boden befindlichen Rogowskispule. Ein Messaufbau mit ungeschirmten Leitungen ist, wie schon früher herausgefunden wurde, nicht zu empfehlen.

Fig. 5 bis 7 zeigen eine weitere Wiederholungsmessung. Dieser Transformator, ebenfalls ein 200-MVA-Kuppelumspanner, stand in der UA in Mündelheim und wurde aufgrund eines Kurzschlussfalls ins Werk gebracht. 1999 wurde vor Ort an diesem Transformator eine FRA-Messung durchgeführt, so dass die aktuelle FRA-Analyse mit der früheren verglichen werden kann. Auffällig hierbei ist, dass es bei der FRA des OS-Sternpunktstromes keine signifikanten Unterschiede gibt (Fig. 5). Bei der FRA der übertragenen Spannung treten allerdings Verschiebungen der Resonanzstellen auf (Fig. 6). Bei der Betrachtung der FRA des MS-Sternpunktstromes treten auch signifikante Abweichungen auf. Sie legen die Vermutung nahe, dass die MS-Wicklung erheblich deformiert ist.

Der Vergleich der relativen Kurzschlussspannungen zeigt ein ähnliches Verhalten wie die FRA. Beim Limburgtrafo wurde 1970 beim Hersteller eine relative Kurzschlussspannung von 12,52 % als Mittelwert angegeben. Bei der Eingangsprüfung des Werks wurde nun eine relative Kurzschlussspannung von 12,48 % festgestellt. Die Abweichung um 0,32 % und die FRA-Analyse lassen bei diesem Transformator keine Wicklungsdeformation erwarten. Beim Mündelheimtrafo hingegen wurde eine um 7,1% höhere Kurzschlussspannung gemessen. Sowohl die Abweichung der Kurzschlussspannung als auch die FRA-Analyse lassen deutliche Wicklungsdeformationen erwarten. Die höhere Kurzschlussspannung lässt auch die Vermutung zu, dass der Hauptstreukanal zwischen OS- und MS-Wicklung im Mittel größer geworden ist.

A comparison of the impedance voltages shows the same behaviour as the FRA. The Limburg-transformer had a relative impedance voltage of 12.52 % as an average value at the manufacturer in 1970. During the receiving inspection an average relative impedance voltage of 12.48 % was measured, thus the difference of just 0.32 % and the FRA-analysis did not indicate any winding deformations on the transformer. Through inspection of the Müdelheim-transformer an increase of 7.1 % of the relative impedance voltage was noticed. Both, the difference of the impedance voltage and the FRA-analysis indicated an extensive winding deformation. Furthermore, the higher impedance voltage allowed to assume that the main leakage duct between HV- and MV-winding became bigger.

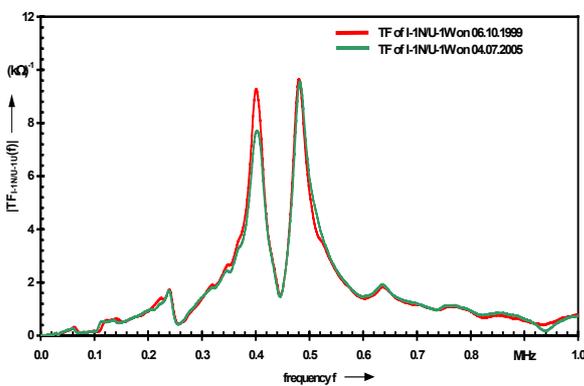


Fig. 5: FRA of HV-neutral point current
FRA des OS-Sternpunktstromes

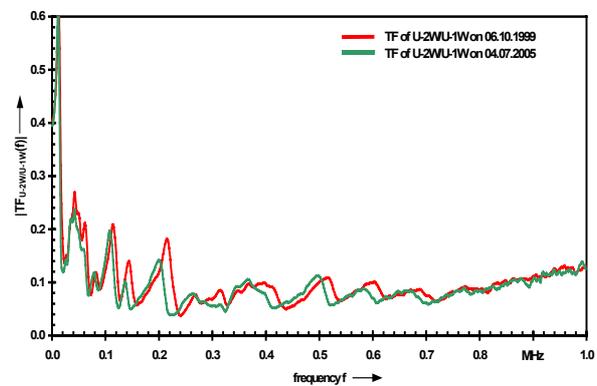


Fig. 6: FRA of the transferred voltage
FRA der übertragenen Spannung

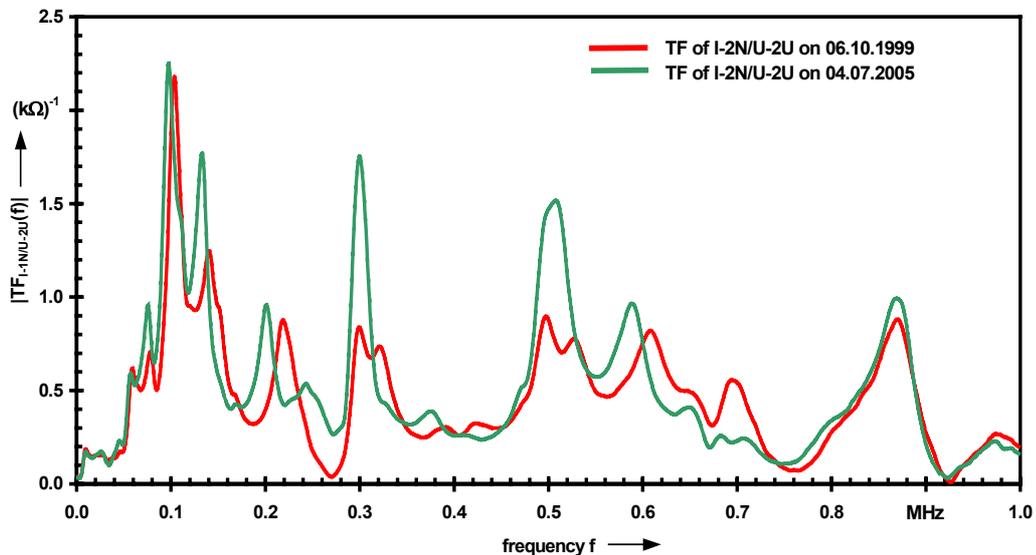


Fig. 7: FRA of MV-neutral point current
FRA des MS-Sternpunktstromes

▪ **Vergleichbarkeit verschiedener Emissionsmessverfahren in der Automobil-EMV**

Dipl.-Ing. Michael Zerrer

Um die EMV in modernen Kraftfahrzeugen sicherzustellen sind bereits im Vorfeld Messungen an einzelnen Komponenten, die im Fahrzeug verbaut werden sollen, nötig. Diese Messungen sollen darüber Aufschluss geben, wie sich die Geräte im eingebauten Zustand verhalten werden. Dabei muss u.a. besonders darauf geachtet werden, dass ein störungsfreier Rundfunkempfang gewährleistet ist. Da die EMV-Messungen am kompletten Fahrzeug erst zu einem sehr späten Zeitpunkt durchgeführt werden können, müssen die Komponenten im Vorfeld mit Hilfe von Ersatzmessverfahren auf ihre Emission getestet werden. Hauptproblem dabei ist eine sinnvolle Festlegung von Grenzwerten. Liegen diese zu tief, ist zu befürchten, dass ein störungsfreier Betrieb im Fahrzeug nicht sichergestellt werden kann. Werden die Grenzwerte dagegen zu hoch angesetzt, hat dies zur Folge, dass die Geräte stärker entört werden, als dies nötig wäre, was die Kosten für die Steuerelemente unnötig in die Höhe treibt.

Um dies näher zu untersuchen, wurde ein Vergleich von bestehenden Ersatzmessverfahren durchgeführt. Mit Hilfe von Transferfunktionen am Fahrzeug wurde untersucht, inwiefern sich die Mess- und Grenzwerte von Einzelkomponentenmessungen auf die Fahrzeugmessungen portieren lassen.

Vergleich von Antennen- und Stromzangenmessung

Um die Daten der verschiedenen Messmethoden besser vergleichen zu können, durchlaufen die Messwerte zunächst verschiedene Algorithmen. Dabei wird sichergestellt, dass nur Messwerte ausgewertet werden, die über dem Rauschniveau liegen. Im Weiteren werden kleine Frequenzverschiebungen ignoriert und die Anzahl der Datenpunkte stark reduziert, um eine bessere Vergleichbarkeit zu erreichen. Dabei bleibt der charakteristische Frequenzverlauf für das jeweilige Steuergerät erhalten.

Der Frequenzgang der Korrelationsfaktoren zwischen den verschiedenen Messmethoden gibt darüber Aufschluss, welches die hauptsächlich wirksamen Koppelwege sind. Mit diesen Faktoren und den gemessenen Emissionsspektren ist es möglich, Steuergeräte hinsichtlich ihres Emissionsverhaltens zu kategorisieren. Derzeitig laufende Simulationen und Messungen mit einem Standardstörer werden ebenfalls zur Untersuchung der Kategorisierung eingesetzt.

Messung von Transferfunktionen am KFZ

Weiterhin wurden Transferfunktionen an einem KFZ durchgeführt, um Korrelationsbetrachtungen zwischen Labormessungen und Fahrzeugmessungen zu ermöglichen.

■ **Comparison of Different Emission Measurement Methods in Automotive EMC**

Dipl.-Ing. Michael Zerrer

To ensure the EMC in modern passenger cars measurements of several electric components, which will be assembled in the car, have to be taken. These measurements are to be made at an very early stage of development and should give an indication how the components will behave in the built-in state. It is important that the control units and other electric and electronic components work properly and do not disturb each other. Overall the radio reception without perturbation plays an important role in the automotive EMC. One of the major problems is that EMC measurements with the whole vehicle or a prototype are only possible in a relative late state of the car-development time. Therefore all components have to be tested with alternative measurement methods as a replacement for the in-car measurements, to ensure that they will not exceed the allowed emission levels when they are built in. The point is to find the suitable limits for the emission levels of these alternative measurement methods. If the limits are too low, one have to worry, if the components will fail in the built-in state. If the limit levels are too high, the efforts for denoising the components would be greater than necessary. This would result in higher costs of the components and the whole car.

To get more information about this current alternative measurement methods are compared with each other. By means of measuring transfer functions in a car the differences of in-car measurements and alternative measurement methods are worked out.

Comparison of Antenna- and Current Probe Measurements

All data of the measurement first pass several algorithms to archieve a better comparability. In these algorithms all datapoints which are too close to the noise level are marked as invalid and are not processed further. The other datapoints are conditioned so that frequency offsets do not influence the result. Such frequency offsets have their reasons e.g. in small geometric differences of the cabel harness. At the same time the quantity of datapoints is reduced to get a smaller amount of measurement points, which allows a better handling of the data. Nevertheless, the characteristics of the components still is not destroyed.

Frequency dependent correlation coefficients which result from the comparison of different measuring methods give information about the predominant coupling mechanisms. These correlation coefficients and the measured emission spectrum allow to categorise the components concerning their emission. Current simulations and measurements with a standard noise source are also considered to investigate the classification in categories.

Um die verschiedenen Übertragungsfunktionen im Fahrzeug zu messen wurde ein Netzwerkanalysator verwendet. Der Aufbau ist in Fig. 1 zu sehen.

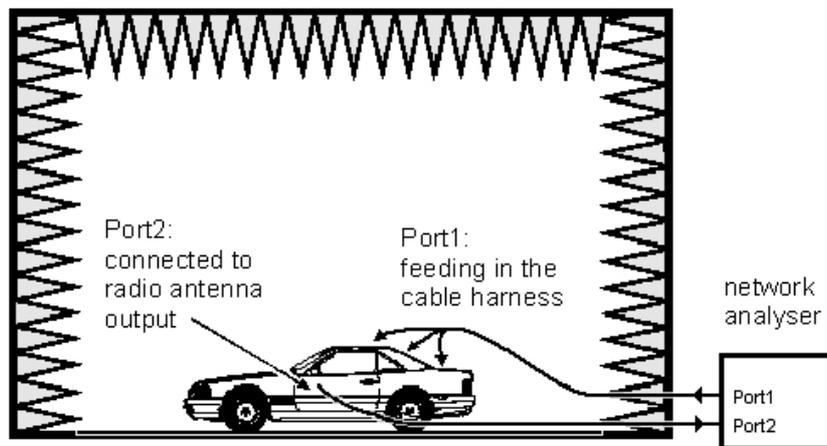


Fig.1: Setup for measuring transferfunctions in motor vehicles
Messaufbau für die Messung von Transferfunktionen am KFZ

Dabei wurde an verschiedenen Stellen des Kabelbaums eingespeist, wobei die fahrzeugeigene Rundfunkantenne als Empfangsantenne verwendet wurde. Dem störungsfreien Rundfunkempfang kommt in der Automobilindustrie eine besondere Rolle zu, weshalb den dazugehörigen Grenzwerten bei der Entstörung von Steuergeräten besondere Beachtung geschenkt werden muss. Die Messungen wurden sowohl mit eingeschaltetem als auch mit ausgeschaltetem im Fahrzeug integrierten Antennenverstärker durchgeführt. Vergleicht man die jeweiligen Transferfunktionen, kann dadurch eine Aussage über die relevanten Koppelwege getroffen werden. Um eine Aussage über den Einfluss der Impedanzen der Steuergeräte zu erhalten, wurden Messungen sowohl mit als auch ohne angestecktes Steuergerät durchgeführt. Mit diesen Messungen ist es möglich, verschiedene Einbauräume im Fahrzeug zu kategorisieren.

Insbesondere der Verlauf der Messkurven mit und ohne Antennenverstärker gibt Aufschluss darüber, in welchem geometrischen Bereich die hauptsächlichen Einkopplungen geschehen. Fig. 2 zeigt ein vereinfachtes Prinzipschaltbild von der Fahrzeugantenne bis zum Autoradio. Je nachdem, wie stark der Unterschied in den Frequenzbändern ist, der vom FM-Verstärker beeinflusst wird, kann beurteilt werden, ob die Einkopplung maßgeblich vor oder nach dem Verstärker stattfindet. Untersuchungen haben gezeigt, dass solche Transferfunktionen auch mit Hilfe von CAD-Daten bereits zu einem sehr frühen Entwicklungsstadium simuliert werden können. In derzeitig laufenden Messungen wird geklärt, inwiefern sich Transferfunktionen von geometrisch ähnlichen Orten im Fahrzeug verhalten.

Damit wird eine Kategorisierung von verschiedenen Einbauräumen im Fahrzeug erreicht, die es ermöglicht, Steuergeräte und Komponenten an entsprechenden Einbauorten zu platzieren, so dass im späteren Betrieb im Fahrzeug keine Störungen zu erwarten sind.

Measurement of Transferfunctions in Motor Vehicles

Furthermore transfer functions were measured in real motor vehicles (Fig. 1) to compare measurements in the laboratory with the built-in measurements. A network analyser was used to inject at different points of the harness and to measure the result at the car antenna. The measuring was done with and without the built-in antenna amplifier of the car radio. The comparison of the corresponding transfer functions gives information about the relevant coupling mechanisms. To get an indication about the influence of the electric impedance of the components, measurements were carried out with the component plugged to the harness and with the harness without the component. In that way it is possible to classify different installation locations.

Especially the gradient of the measuring with and without antenna amplifier displays the geometric area where the main immission takes place. Fig. 2 shows a simplified equivalent circuit diagram from the car antenna to the car radio. On the basis of the difference in the transfer functions the measurements predicate where the main immission occurs.

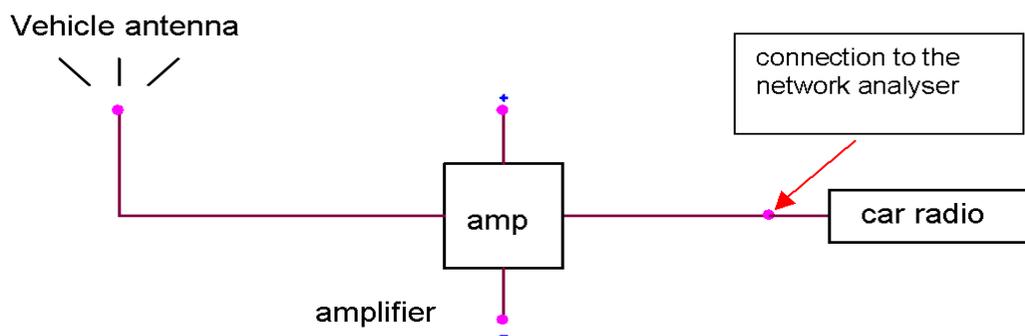


Fig.2: Simplified equivalent circuit diagram of the radioantenna
Vereinfachtes Ersatzschaltbild der Radioantennenverkabelung

Investigations show that such transfer functions can be gathered from simulations with CAD data, even at a early state of development. Current measurements also show, to what extent transferfunctions of geometric congenerous cars give similar characteristics.

In that way a categorisation of different installation locations in a motor vehicle is possible. This allows to place electric and electronic components in a manner, that disturbances in the built-in state are not to be expected.

6. VERÖFFENTLICHUNGEN

Die folgenden Beiträge können im Internet unter www.ieh.uni-stuttgart.de abgerufen werden.

Z. Radakovic, E. Cardillo, K. Feser, M. Schäfer

Design of the winding–bushing interconnections in large power transformers.

Electrical Engineering (Archiv für Elektrotechnik), Springer Verlag, 2005. Bisläng nur online veröffentlicht.

D. Denissov, H. Rebholz, W. Köhler, S. Tenbohlen

Dielectric Strength of Different Gases in GIS.

14th International Symposium on High Voltage Engineering, Beijing, China, August 25-29, 2005, Proceedings of the ISH, paper No. H-02

T. Hayder, U. Schärli, K. Feser

A Dynamic Model of Transformer with Tap Changer Using BCTRAN-Routine and 94-Type.

EEUG Meeting, Warsaw/Poland, 12-14 September, 2005, Conference Proceedings, S. 23 – 31

S.M. Hoek, U. Riechert, T. Strehl, S. Tenbohlen, K. Feser

A New Procedure for Partial Discharge Localization in Gas-Insulated Switchgear in Frequency Domain

14th International Symposium on High Voltage Engineering, Beijing, China, August 25-29, 2005, Proceedings of the ISH, paper No. G-005

M. Koch, S. Tenbohlen

Dielektrische Diagnosemethoden im Vergleich

“ew“ Magazin für Energie und Wirtschaft, Heft 3, 24. Januar 2005, S. 42 - 45, VWEW Energieverlag GmbH Frankfurt a.M.

M. Koch, S. Tenbohlen

Ölleitfähigkeit und Grenzflächenpolarisation am Öl-Papier-Dielektrikum

VDE-Fachtagung - Grenzflächen in elektrischen Isoliersystemen, ETG-Fachbericht 99, S. 171 – 176, Hanau, 2005

M. Koch

Improved Determination of Moisture in Oil-Paper-Insulations by Specialised Moisture Equilibrium Charts

14th International Symposium on High Voltage Engineering, Beijing, China, August 25-29, 2005, Proceedings of the ISH, paper No. H-46

M. Koch, S. Tenbohlen

Diagnostics of Oil-Paper-Insulations Using Relaxation Currents

14th International Symposium on High Voltage Engineering, Beijing, China, August 25-29, 2005, Proceedings of the ISH, paper No. H-45

M. Koch, T. Lange, G. Löhning, H. Schwarz

Optimierung und Feldberechnung an einer impulsbasierten EMV-Systemprüfanlage, HF-Report, September/Okttober 2005, S. 28 – 33, Baltz Verlag und Werbung GmbH, München

S. Markalous, R. Huber, S. Tenbohlen

Onsite-Teilentladungsmessung an Leistungstransformatoren, etz, Heft 1/2005

S. M. Markalous, S. Tenbohlen

Diagnose und Ortung von Teilentladungen in Leistungstransformatoren auf der Basis akustischer und elektromagnetischer UHF-Signale,

ETG-Fachtagung, Hanau, 2005, ETG-Fachbericht 99, S. 229 – 234

J. H. Kurz, S. M. Markalous, C. U. Grosse, H. Reinhardt

New approaches for three dimensional source location – examples from acoustic emission analysis

European Geosciences Union, General Assembly 2005, Wien, Österreich, 2005

S. M. Markalous, S. Tenbohlen, K. Feser

New robust non-iterative algorithms for acoustic PD-localization in oil/paper-insulated transformers

14th International Symposium on High Voltage Engineering, Beijing, China, August 25-29, 2005, Proceedings of the ISH, paper No. G-039

S. M. Markalous, S. Tenbohlen, K. Feser

Improvement of acoustic detection and localization accuracy by sensitive electromagnetic PD measurements under oil in the UHF range

14th International Symposium on High Voltage Engineering, Beijing, China, August 25-29, 2005, Proceedings of the ISH, paper No. G-040

J. Osztermayer, K. Feser, S. Tenbohlen

Real-time Condition Assessment of Power System Assets as a Vital Information Backbone for a Comprehensive Online Asset-Management

14th International Symposium on High Voltage Engineering, Beijing, China, August 25-29, 2005, Proceedings of the ISH, paper No. G-122

M. Zerrer, M. Aidam, K. Feser, W. Köhler, S. Tenbohlen

Korrelation verschiedener Messmethoden mit Hilfe der Statistik

GMM-Fachtagung, Ingolstadt, 26.-27. Oktober 2005

7. MITARBEIT IN FACHGREMIEN / VORTRÄGE

- 04.-05.11.04 Regensburger Transformatorsymposium, Vortrag Prof. Tenbohlen, M. Koch
- 17.-21.1.05 Teilnahme am Meeting der CIGRE WG A2.26 in Nürnberg. FRA-Messungen an einem 266-MVA-Einphasentransformator, Prof. Tenbohlen, R. Wimmer
- 28.1.05 Sitzung von DKE-K124-03, „Hochstrom-Prüftechnik“ in Frankfurt, Prof. Feser
- 1.-2.3.05 VDE-Seminar „Moderne Diagnosemethoden für Leistungstransformatoren“ in Stuttgart, Vorträge durch Prof. Tenbohlen, S. Markalous, R. Wimmer, M. Koch
- 8.-9.3.05 VDE-/ETG-Fachtagung, „Grenzflächen in elektrischen Isoliersystemen“ in Hanau, Deutschland, Vorträge durch H. Rebholz, S. Markalous und M. Koch
- 15.-16.3.05 Wiederholung des VDE-Seminars „Moderne Diagnosemethoden für Leistungstransformatoren“ in Stuttgart
- 27.-30.4.05 Treffen zum EU-Projekt REDIATOOOL in Stuttgart. Vorträge von E. Cardillo, M. Koch, S. Markalous, R. Wimmer
- 26.5.05 Promotionsprüfung von Herrn E. Bjerkan an der Norwegian University of Science and Technology, Trondheim, Prof. Tenbohlen
- 15.-19.5.05 Sitzungen von WG CIGRE D1-01 „Fluid Impregnated Systems“ und WG/AG CIGRE D1-03 „Insulating Gases“ in Kreta, Griechenland, Prof. Tenbohlen
- 22.-23.6.05 DFG-Kolloquium im Schwerpunktprogramm „Zustandsbewertung von Betriebsmitteln und Anlagen der elektrischen Energieversorgung“, Stuttgart, Vorträge durch S. Markalous, R. Wimmer, M. Koch
- 23.6.05 Festkolloquium „50 Jahre Hochspannungstechnik in Stuttgart“, Vortrag von Prof. Tenbohlen
- 24.6.05 Sitzung von K124 „Hochspannungsprüftechnik“ in Stuttgart, Prof. Feser, Prof. Tenbohlen
- 04.7.05 Antrittsvorlesung von Prof. Tenbohlen zum Thema „Moderne Diagnoseverfahren für Übertragungsnetze zur Gewährleistung der Versorgungssicherheit im deregulierten Markt“
- 24.-29.8.05 14th International Symposium on High Voltage Engineering (ISH) in Beijing, China, Vorträge durch S. Hoek, D. Denisov, Posterpräsentationen durch S. Markalous, R. Vilaithong, J. Osztermayer, M. Koch

- 30.8.-2.9.05 Sitzung von „IEC TC 42 High Voltage Test Technique“ in Peking, Sitzungsleitung: Prof. Feser
- 20.-21.9.05 SGB-Transformator-Symposium, Regensburg, Tagungsleitung: Prof. Feser, Vortrag durch Prof. Tenbohlen zum Thema „On-line Zustandsdiagnose von Leistungstransformatoren“
- 21.-22.9.05 Sitzung von WG CIGRE A2.27 „Recommendations for Condition Monitoring Facilities“ in Stuttgart, Prof. Tenbohlen
- 26.-30.9.05 Sitzung von CIGRE WG D1-03 „High Voltage Test Technique in Eforie, Rumänien, Prof. Feser, Prof. Tenbohlen
- 09.10.05 Sitzung des DK CIGRE A2 „Leistungstransformatoren“ in Gelsenkirchen, Arena „Auf Schalke“, Prof. Tenbohlen
- 26.-27.10.05 GMM-Fachtagung „Elektromagnetische Verträglichkeit in der KFZ-Technik“, Ingolstadt, Prof. Tenbohlen, Heinz Rebholz, Franz Streibl, Vortrag von M. Zerrer
- 15.-16.11.05 60-Jahrfeier der TU Wroclaw, Polen, Teilnahme von Prof. Feser als offizieller Vertreter der Universität Stuttgart
- 30.11.-1.12.05 Besuch der Universität Poznan, Polen, Vortrag Prof. Tenbohlen zum Thema „Online Condition Assessment of Power Transformers“



Überreichung der Ehrenurkunde des DKE an Prof. Feser durch Prof. Gockenbach anlässlich der Sitzung von K124 in Stuttgart am 24.06.2005

8. EREIGNISSE UND KONTAKTE

IEH Exkursion 2005

(Bericht von Anne Pfeffer)

„Am Dienstag, dem 17. Mai 2005, machten wir Studenten uns auf den Weg zu einer Exkursion des IEH, um die Theorie, die wir in den Vorlesungen Hochspannungstechnik und elektrische Energienetze gelernt haben, auch mal „live und in Farbe“ zu sehen. Damit wir auch keinen Unsinn anstellen konnten, wurden wir von zwei Assistenten und unserem Professor begleitet.

Der erste Programmpunkt war der Besuch der AREVA Energietechnik GmbH in Kassel. Nach einer kurzen Begrüßung und gestärkt vom Mittagessen wurden wir in die Hallen geführt, in denen Leistungsschalter gefertigt werden, und uns wurden die Funktionen und Aufbauarten der Leistungsschalter genauer erläutert. Nicht nur hier sondern auch am Abend konnten wir uns davon überzeugen, dass Kassel doch so einiges zu bieten hat.



Am nächsten Tag besichtigten wir das Pumpspeicherkraftwerk Waldeck der EON Energie AG, das Oberbecken und die Edertalsperre, die im 2. Weltkrieg zum Teil zerstört wurde, und konnten uns hier von der Kraft des Wassers aber auch vom Aufwand überzeugen, der zur Sicherung unserer Energieversorgung getrieben wird. Nach dieser sehr interessanten Führung ging es weiter nach Düsseldorf, um dort das Quartier für die nächsten zwei Tage zu beziehen, und wir konnten uns schon einmal auf den nächsten Programmpunkt - Braunkohlekraftwerk Niederaußem und Tagebau Garzweiler der RWE - am nächsten Tag vorbereiten. Wir wurden zuerst durch das

neue Braunkohlekraftwerk (BoA) geführt, was uns ganz schön ins Schwitzen brachte, denn die Öfen strahlen eine gute Wärme ab. Anschließend ging es mit dem Bus durch den Tagebau, wo wir auch einen Kohlebagger aus nächster Nähe betrachten konnten. Fasziniert von der Größe des Tagebaus stürzten wir uns das letzte Mal ins Nachtleben von Düsseldorf.

Am Freitag besuchten wir dann abschließend die AREVA Energietechnik GmbH in Mönchengladbach, um dort die Fertigung von Leistungstransformatoren kennen zu lernen. Uns wurden die einzelnen Abläufe genau beschrieben und wir konnten uns so aus nächster Nähe von der Komplexität der Fertigungsprozesse überzeugen.

Nach diesen sehr erlebnisreichen Tagen machten wir uns auf den Heimweg nach Stuttgart mit dem Wissen, dass ein hochspannendes und energiegeladenes Arbeitsleben auf uns wartet.“

Am 22. und 23. Juni 2005 fand an der Universität Stuttgart ein durch das Institut organisiertes Kolloquium im Schwerpunktprogramm „Zustandsbewertung von Betriebsmitteln und Anlagen der elektrischen Energieversorgung“ der Deutschen Forschungsgemeinschaft statt. 55 Teilnehmer präsentierten den Gutachtern ihre Forschungsergebnisse. Ein gemütlicher Grillabend im Freifeld des Nellingener Hochspannungslabors rundete die Veranstaltung ab.

Direkt im Anschluss an das DFG-Kolloquium feierte das Institut für Energieübertragung und Hochspannungstechnik sein 50-jähriges Bestehen mit einem Festkolloquium „50 Jahre Hochspannungstechnik in Stuttgart“, an dem über 170 Gäste teilnahmen. Prof. Feser berichtete dabei über die Mitwirkung in nationalen und internationalen Gremien der Hochspannungstechnik. Dr. Hans-Dieter Schlemper (ABB Schweiz) sprach über die Entwicklung von mit Schwefelhexafluorid isolierten Schaltanlagen. Dr. Thomas Krauß von der Robert Bosch GmbH stellte die Stuttgarter Beiträge zur Untersuchung der elektromagnetischen Verträglichkeit vor. Wie sehr sich die Hochspannungstechnik in den Jahrzehnten verändert hat, schilderte Dr. Wolfgang Hauschild von der Highvolt Prüftechnik Dresden. Prof. Tenbohlen schließlich stellte die aktuellen und künftigen Forschungsschwerpunkte am Institut vor.

Ende März und Anfang Oktober fanden die Workshops des Instituts auf dem Söllerhaus im Kleinwalsertal statt, bei dem die wissenschaftlichen Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter über den aktuellen Stand ihrer Arbeit berichteten und Lösungsvorschläge erarbeitet wurden. Im Frühjahr übten sich einige trotz mäßiger Schneeverhältnisse auch in der Kunst des Skifahrens.

Am „Tag der Wissenschaften“ der Universität Stuttgart am 18. Juni 2005 präsentierte das Institut einem interessierten und zahlreichen Publikum Experimentalvorführungen in der Hochspannungshalle.

Unser diesjähriger Betriebsausflug am 23. September führte uns mit der S-Bahn nach Marbach, wo wir das Geburtshaus von Friedrich Schiller besichtigen konnten. Eine Wanderung entlang des Neckars führte uns am Dampfkraftwerk Marbach vorbei nach Hoheneck. Leider gab es dort an einem Brunnen nur Wasser zu trinken. Nach einer kurzen Schleife am Favoritepark vorbei erreichten wir Ludwigsburg, wo wir am Marktplatz bei schönstem Sonnenschein unser Mittagessen beim Italiener genossen haben. Die folgende Schlossführung hat manch Interessantes aus dem Leben der ehemaligen Landesfürsten offenbart. Beim anschließenden Sonnenbad im Gras konnten wir uns von den Strapazen des Tages etwas erholen und später beim unterhaltsamen Kegeln und Abendessen den Tag ausklingen lassen.

Auch dieses Jahr haben wieder Gastwissenschaftler am IEH gearbeitet:

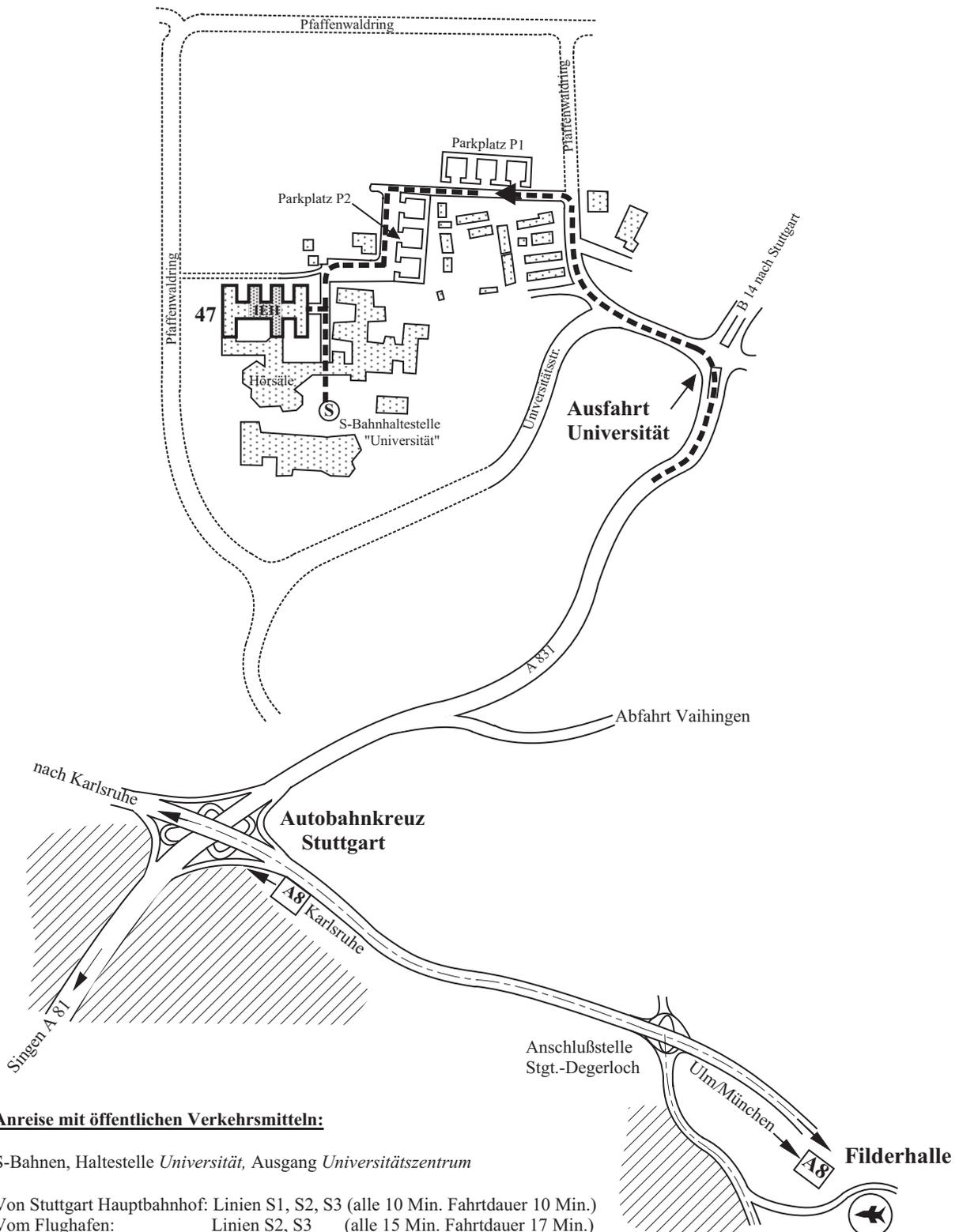
Herr Dipl.-Ing. Jaroslaw Szymanski und Herr Dipl.-Ing. Boleslaw Brodka, beide von der TU Poznan/Polen, waren von Mitte September bis Mitte Dezember 2005 für jeweils zwei Monate unsere Gäste.

9. PRÜF- UND MESSEINRICHTUNGEN

Stossspannungsanlagen	bis 2000 kV, 100 kJ
Generator für schwingende Schaltstossspannung	bis 1300 kV
Schwingende Blitzstossspannung	bis 1200 kV (transportable Anlage für Vor-Ort-Prüfungen)
Stossstromanlage	bis 200 kA, 100 kV, 80 kJ
Stossstromanlage	bis zu 6 Impulse wechselnder Polarität, 80 kV, 150 kJ
Wechselspannungskaskade	2 x 400 kV/2 A, 1500 kVA Speiseleistung
Wechselspannungsanlage	300 kV, 0,2 A mit Teilentladungsmessplatz
Gleichspannungsanlage	bis 600 kV, 10 mA
EMP-Generator	bis 800 kV, 5 ns/200 ns bzw. 2,3 ns/23 ns mit Freiluft-Streifenleiterantenne, Volumen bis $5 \times 10 \times 5 \text{ m}^3$ mit rechnergeführter Anlagensteuerung und Messwertverarbeitung
Spannungsteiler	drei gedämpft kapazitive bis 1600 kV (transportable Einheiten für Überspannungsmessungen im Netz)
E/H-Feldmeßsysteme	mehrere, Frequenzbereiche von 5 Hz bis 400 MHz (für Spannungs- und Feldstärkemessungen im Netz)
EMP/ EMV-Prüfgeräte	diverse kleinere für die Nachbildung elektrostatischer Entladungen, Einkopplung von Störspannungsimpulsen ins Netz, Prüfung von Bauteilen und Geräten mit Mikroelektronik-Schaltungen
CW-EMV-Absorberräume	mit Leistungsverstärkern, diversen Antennen, Feldmesssystem, opto-analoge Messwertübertragungsstrecke bis 1 GHz, Messempfänger bis 2,7 GHz, TEM-Messzelle
Klimakammer	$3 \times 3 \times 3 \text{ m}^3$, Spannung bis 650 kV, Temperatur von -20° bis $+65^\circ\text{C}$, rel. Luftfeuchtigkeit von 10 % bis 95 %
Verschmutzungskammer	$5 \times 5 \times 5 \text{ m}^3$, Spannung bis 150 kV
Hochgeschwindigkeitskamera, Bildwandlerkameras	
Einpolige SF6-Anlage	$U_n = 525 \text{ kV}$, Länge mit Abzweigen ca. 25 m
Dreipolige SF6-Anlage	$U_n = 110 \text{ kV}$, Länge ca. 3 m
Digitale und analoge Messgeräte für periodische und einmalige Vorgänge mit Abtastraten bis über 4 GHz, Netzwerkanalysatoren, Spektrumanalysatoren, Signalgeneratoren	
Teilentladungsmessgeräte zur phasenaufgelösten Messung und Interpretation	
Öllabor	Karl Fischer-Titrator, Säuregehaltsmeßgerät

10. LAGEPLAN

Lageplan
des Institutsteils Stuttgart-Vaihingen (IEH)
Pfaffenwaldring 47, 70569 Stuttgart, Tel. 0711/685 7870



Anreise mit öffentlichen Verkehrsmitteln:

S-Bahnen, Haltestelle *Universität*, Ausgang *Universitätszentrum*

Von Stuttgart Hauptbahnhof: Linien S1, S2, S3 (alle 10 Min. Fahrtdauer 10 Min.)

Vom Flughafen: Linien S2, S3 (alle 15 Min. Fahrtdauer 17 Min.)

Lageplan
 des Institutsteils Nellingen-Zinsholz (IEH)
 Nielsenstr. 18, 73 760 Ostfildern, Tel. 0711/3 41 20 75



Anreise mit öffentlichen Verkehrsmitteln:

Von Stuttgart Hauptbahnhof: Stadtbahn U7
 (Fahrtdauer 20 Min.)

**Anschlußstelle
 54 Esslingen/Ostfildern**