

Jahresbericht 2014

der Lehrstühle für

- Elektrische Antriebssysteme
- Elektrische Netze und Alternative Elektroenergiequellen
- Elektromagnetische Verträglichkeit
- Leistungselektronik



FAKULTÄT FÜR
ELEKTROTECHNIK UND
INFORMATIONSTECHNIK

Anschrift

Fakultät für Elektrotechnik und Informationstechnik

Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg

Universitätsplatz 2

39106 Magdeburg

Postfach 4120

39016 Magdeburg

Sekretariate

- Lehrstuhl für Elektrische Antriebssysteme

Frau Wohner

Gebäude 03 – Raum 129

Telefon (0391) 67-18596

E-Mail andrea.wohner@ovgu.de

Telefax (0391) 67-12481

- Lehrstuhl für Elektrische Netze und Alternative Elektroenergiequellen und
Lehrstuhl für Leistungselektronik

Frau Baumgarten

Gebäude 09 – Raum 124

Telefon (0391) 67-18592

E-Mail melanie.baumgarten@ovgu.de

Telefax (0391) 67-12408

- Lehrstuhl für Elektromagnetische Verträglichkeit

Frau Morscheck

Gebäude 09 – Raum 226

Telefon (0391) 67-58868

E-Mail janet.morscheck@ovgu.de

Telefax (0391) 67-11236

URLs

- Lehrstuhl für Elektrische Antriebssysteme
<http://www.iesy.ovgu.de/Lehrstuehle/Elektrische+Antriebssysteme>
- Lehrstuhl für Elektrische Netze und Alternative Elektroenergiequellen
<http://www.ovgu.de/lena>
- Lehrstuhl für Leistungselektronik
<http://www.ovgu.de/llge>
- Lehrstuhl für Elektromagnetische Verträglichkeit
<http://www.emv.ovgu.de>

Vorwort

Sehr geehrte Leserinnen und Leser,

mit diesem Jahresbericht möchten wir Ihnen wiederum einen Einblick in unsere Arbeiten geben und unsere aktuellen Entwicklungen und Ergebnisse vorstellen. Wie auch schon in den beiden letzten Jahren umfasst der Bericht zusätzlich zu den Lehrstühlen des Instituts für Elektrische Energiesysteme (IESY) auch den Lehrstuhl für Elektromagnetische Verträglichkeit des Instituts für Medizintechnik (IMT).

In der Lehre sind wir in zahlreichen Studiengängen vertreten. Auf den nun folgenden Seiten können Sie sich über unser umfangreiches Lehrangebot mit mehr als 30 Lehrveranstaltungen ein ausführliches Bild machen. 72 abgeschlossene studentische Forschungsprojekte, 16 Bachelorarbeiten sowie 60 Masterarbeiten zeugen von der Beliebtheit unsere Lehrstühle bei den Studierenden.

Ausbauen konnten wir in diesem Jahr den Aufbau einer internationalen Kooperation mit der Universidad Nacional de Rio Cuarto in Argentinien. Diese Kooperation wurde von der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) gefördert, so dass Mitarbeiter beider Universitäten sowohl hier, als auch in Argentinien arbeiten und sich somit einen umfangreichen Einblick in die jeweiligen Forschungsarbeiten verschaffen konnten. Mehrere gemeinsame Publikationen entstanden durch diese Zusammenarbeit. Aufgrund der aktuellen politischen Lage gestaltet sich allerdings die Kooperation mit der TU Donezk und der TU Charkow schwierig. Auch unsere Studenten aus der Ukraine haben unter dieser Situation zu leiden und wir hoffen natürlich, dass es bald eine friedliche politische Lösung geben wird. Die Kooperation mit der TU Wrocław hat sich dafür sehr positiv weiterentwickelt. Dabei hat sich das Doppeldiplom weiter etabliert; sechs Studenten erlangten ihren Abschluss. Traditionellerweise fand die feierliche Übergabe der Zeugnisse im Rahmen der Inauguration an der TU Wrocław statt. Erfreulicherweise konnten wir in diesem Zusammenhang auch Herrn Prof. Dr. Waldemar Rebizant, dem Dekan der Fakultät für Elektrotechnik der TU Wrocław, die Ehrenpromotion der Otto-von-Guericke-Universität verleihen. Die Feierlichkeiten zur Verleihung im Oktober 2014 in Wrocław zeugen von der engen Verbundenheit beider Universitäten.

Im Jahr 2014 haben wir an verschiedenen Tagungen aktiv teilgenommen. So z. B. an der 7. IET International Conference on Power Electronics, Machines and Drives (PEMD 2014) in Manchester, an der EMV 2014 in Düsseldorf, dem IEEE PES GM 2014 in Washington D.C., der EPE-ECCE Europe in Lappeenranta und der EMC Europe in Göteborg. Dabei konnten wir unsere Forschungsergebnisse durch Vorträge und Veröffentlichungen auch einem größerem Publikum präsentieren.

Auch in diesem Jahr können wir stolz auf unsere Ergebnisse sein. An unseren Lehrstühlen haben erfreulicherweise 4 Mitarbeiter promovieren können. Mehr als 82 wissenschaftliche Veröffentlichungen in angesehenen Zeitschriften bzw. Vorträge bei nationalen und internationalen Tagungen belegen den Erfolg unserer Arbeit.

An dieser Stelle möchte ich all unseren Freunden wiederum recht herzlich für ihre Anregungen und ihre Hilfe danken. Unser Dank gilt erneut der Deutschen Forschungsgemeinschaft, dem BMWi, dem BMU und dem BMBF, dem Land Sachsen-Anhalt und jenen Firmen, die uns durch Aufträge und durch ihre Spenden unterstützt haben.

Für das kommende Jahr wünsche ich Ihnen im Namen der Professoren und aller Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter der berichtenden Lehrstühle Gesundheit, Glück und alles Gute.

Magdeburg, im Dezember 2014

Prof. Dr.-Ing. Roberto Leidhold
Geschäftsführender Leiter des Instituts für elektrische Energiesysteme

Inhaltsverzeichnis

1	Personalia	1
1.1	Lehrstuhl für Elektrische Antriebssysteme	1
1.1.1	Hochschullehrer	1
1.1.2	Wissenschaftliche Mitarbeiter	1
1.1.3	Mitarbeiter in Technik und Verwaltung	1
1.1.4	Stipendiaten	1
1.2	Lehrstuhl für Elektrische Netze und Alternative Elektroenergiequellen	1
1.2.1	Hochschullehrer	1
1.2.2	Lehrbeauftragte	2
1.2.3	Wissenschaftliche Mitarbeiter	2
1.2.4	Mitarbeiter in Technik und Verwaltung	2
1.3	Lehrstuhl für Elektromagnetische Verträglichkeit	3
1.3.1	Hochschullehrer	3
1.3.2	Wissenschaftliche Mitarbeiter	3
1.3.3	Mitarbeiter in Technik und Verwaltung	3
1.4	Lehrstuhl für Leistungselektronik	3
1.4.1	Hochschullehrer	3
1.4.2	Wissenschaftliche Mitarbeiter	3
1.4.3	Mitarbeiter in Technik und Verwaltung	3
1.5	Institutsebene	4
1.5.1	Technik	4
1.5.2	Verwaltung	4
2	Studium und Lehre	5
2.1	Lehrstuhl für Elektrische Antriebssysteme	5
2.1.1	Vorlesungen, Übungen und Praktika	5
2.1.2	Abgeschlossene Forschungsprojekte	11
2.1.3	Abgeschlossene Bachelor- und Studienarbeiten	11
2.1.4	Abgeschlossene Master- und Diplomarbeiten	12
2.2	Lehrstuhl für Elektrische Netze und Alternative Elektroenergiequellen	13
2.2.1	Vorlesungen, Übungen und Praktika	13
2.2.2	Abgeschlossene Forschungsprojekte	19
2.2.3	Abgeschlossene Bachelor- und Studienarbeiten	21
2.2.4	Abgeschlossene Master- und Diplomarbeiten	22
2.3	Lehrstuhl für Elektromagnetische Verträglichkeit	24
2.3.1	Vorlesungen, Übungen und Praktika	24
2.3.2	Abgeschlossene Forschungsprojekte	28
2.3.3	Abgeschlossene Bachelor- und Studienarbeiten	28
2.3.4	Abgeschlossene Master- und Diplomarbeiten	28
2.4	Lehrstuhl für Leistungselektronik	29
2.4.1	Lehrveranstaltungen für Bachelor-Studiengänge	29
2.4.2	Lehrveranstaltungen für Master-Studiengänge	31
2.4.3	Abgeschlossene Forschungsprojekte	35
2.4.4	Abgeschlossene Bachelor- und Studienarbeiten	35
2.4.5	Abgeschlossene Master- und Diplomarbeiten	35

2.5	Institutsebene	36
2.5.1	Kooperationen	36
2.5.2	Gremien	36
2.5.3	Exkursionen	38
2.5.4	Studienwerbung	43
3	Forschung	47
3.1	Lehrstuhl für Elektrische Antriebssysteme	47
3.1.1	Forschungsprofil	47
3.1.2	Forschungsprojekte	49
3.1.3	Veröffentlichungen	63
3.2	Lehrstuhl für Elektrische Netze und Alternative Elektroenergiequellen	64
3.2.1	Forschungsprofil	64
3.2.2	Forschungsprojekte	64
3.2.3	Ausgründungen	79
3.2.4	Promotionen	80
3.2.5	Veröffentlichungen	84
3.3	Lehrstuhl für Elektromagnetische Verträglichkeit	88
3.3.1	Forschungsprofil	88
3.3.2	Forschungsprojekte	89
3.3.3	Veröffentlichungen	98
3.4	Lehrstuhl für Leistungselektronik	102
3.4.1	Forschungsprofil	102
3.4.2	Forschungsprojekte	102
3.4.3	Promotionen	125
3.4.4	Veröffentlichungen	126
3.5	Institutsebene	129
3.5.1	Kooperationen	129
3.5.2	Technische Gremien und Verbände	129
3.5.3	Kolloquien	131

1 Personalia

1.1 Lehrstuhl für Elektrische Antriebssysteme

1.1.1 Hochschullehrer

- Prof. Dr.-Ing. Roberto Leidhold
(Lehrstuhlleiter, geschäftsführender Leiter des Instituts für elektrische Energiesysteme)

1.1.2 Wissenschaftliche Mitarbeiter

- Dipl.-Ing. Andreas Bannack
- Dr.-Ing. Denis Draganov (bis 30.06.2014)
- Dipl.-Ing. Niklas Förster
- Dipl.-Ing. Andreas Gerlach
- Dr.-Ing. Thomas Schallschmidt
- Dipl.-Ing. Mario Stamann

1.1.3 Mitarbeiter in Technik und Verwaltung

- Andrea Wohnner (Sekretärin)

1.1.4 Stipendiaten

- Kemal Ibrahim Yassin, Adama Science and Technology University, Äthiopien
- Dr. Pablo de la Barrera, Universidad Nacional de Rio Cuarto, Argentinien
- Dr. Emad Ahmed Hussein Abdelkarim, South Valley University Aswan, Ägypten
- Dr. Guillermo R. Catuogno, Universidad Nacional de Rio Cuarto, Argentinien

1.2 Lehrstuhl für Elektrische Netze und Alternative Elektroenergiequellen

1.2.1 Hochschullehrer

- Prof. Dr.-Ing. Zbigniew Antoni Styczynski
(Lehrstuhlleiter)
- Prof. Dr.-Ing. Rainer Krebs – Siemens AG, Erlangen
(Honorarprofessor: Fachgebiet Netzschutz und Leittechnik)
- Prof. Dr.-Ing. Antje Orths – Energinet.dk, Dänemark
(Honorarprofessorin: Fachgebiet Windenergie)

1.2.2 Lehrbeauftragte

- Dr.-Ing. Michael Buchholz, NTB Pyrbaum, Elektrounternehmen, Organisation
- Dr.-Ing. Przemyslaw Komarnicki, Fraunhofer Gesellschaft, IFF Magdeburg: Test- und Messverfahren
- Prof. dr. hab. inż. Dr.-Ing. E. h. Waldemar Rebizant, TU Wroclaw, Polen: Digitale Schutztechnik
- Prof. Dr.-Ing. habil. Krzysztof Rudion, Universität Stuttgart
- PD Dr.-Ing. habil. Martin Wolter, 50Hertz Berlin
- Dr.-Ing. André Naumann, Fraunhofer Gesellschaft, IFF Magdeburg

1.2.3 Wissenschaftliche Mitarbeiter

- M. Sc. Bartlomiej Arendarski (in Zusammenarbeit mit der Fraunhofer Gesellschaft, IFF Magdeburg)
- M. Sc. Stephan Balischewski (seit 15.07.2014, in Zusammenarbeit mit der Fraunhofer Gesellschaft, IFF Magdeburg)
- Dipl.-Ing. Paul Anton Bernstein (bis 31.12.2014)
- M. Sc. Illia Bielchev
- M. Sc. Iryna Chychykina (seit 01.08.2014)
- M. Sc. Anatolii Fedorov (seit 01.07.2014)
- Dr.-Ing. Ines Hauer
- Dr.-Ing. Günter Heideck
- Dr.-Ing. Maik Heuer
- M. Sc. Christian Klabunde (seit 01.10.2014)
- M. Sc. Philipp Kühne
- Dr.-Ing. Pio Lombardi
- B. Sc. Genevieve de Mijolla (Stipendiatin, bis 30.06.2014)
- Dr.-Ing. Natalia Moskalenko (in Zusammenarbeit mit der Siemens AG)
- Dr.-Ing. Cuong Nguyen Mau (bis 31.03.2014)
- Dipl.-Ing. Steffen Rabe
- M. Sc. André Richter (seit 01.05.2014)
- M. Sc. Marc Richter
- Dr.-Ing. Christian Röhrig (bis 30.06.2014)
- Dr.-Ing. Martin Stötzer (bis 31.01.2014)
- M. Sc. Przemyslaw Trojan
- Dr.-Ing. Christoph Wenge (in Zusammenarbeit mit der Fraunhofer Gesellschaft, IFF Magdeburg)
- Dipl.-Ing. Michael Wenske

1.2.4 Mitarbeiter in Technik und Verwaltung

- Melanie Baumgarten (Sekretärin)

1.3 Lehrstuhl für Elektromagnetische Verträglichkeit

1.3.1 Hochschullehrer

- Prof. Dr.-Ing. Ralf Vick
(Lehrstuhlleiter am Institut für Medizintechnik)

1.3.2 Wissenschaftliche Mitarbeiter

- Dr. rer. nat. Sergey Tkachenko
- Dr.-Ing. Moawia Al-Hamid
- Dr.-Ing. Mathias Magdowski
- Dipl.-Phys. Jörg Petzold
- M. Sc. Anke Fröbel
- M. Sc. Xiaowei Wang
- M. Sc. Matthias Hirte
- M. Sc. Ahmed Hassan
- M. Sc. Enrico Pannicke

1.3.3 Mitarbeiter in Technik und Verwaltung

- Janet Morscheck (Sekretärin)

1.4 Lehrstuhl für Leistungselektronik

1.4.1 Hochschullehrer

- Prof. Dr.-Ing. Andreas Lindemann
(Lehrstuhlleiter, Dekan der Fakultät für Elektrotechnik und Informationstechnik)

1.4.2 Wissenschaftliche Mitarbeiter

- Dipl.-Ing. Julia Bauch (bis 30.11.2014)
- Dr.-Ing. Reinhard Döbbelin
(Mitglied des Vorstandes des Instituts für elektrische Energiesysteme)
- Dr.-Ing. Wolfgang Fischer
- Dipl.-Ing. Folkhart Grieger
- M. Sc. Xudan Liu
- M. Sc. Lars Middelstädt
- Dipl.-Ing. Bastian Strauß

1.4.3 Mitarbeiter in Technik und Verwaltung

- Melanie Baumgarten (Sekretärin)

1.5 Institutsebene

1.5.1 Technik

- Dipl.-Ing. Uwe Göranson (Leiterplattenlabor und Rechnernetz)
- Dipl.-Ing. Katharina Mecke (Werkstofflabor und Videotechnik)
- Jens-Uwe Schulz (Meister, Werkstatt)
- Lothar Griep (Werkstatt)
- Helge Müller (Werkstatt)
- Solveig Kramer (bis 31.01.2014)
- Sebastian Knittel (bis 31.01.2014)
- Kevin Pesch (Auszubildender, Werkstatt)
- Maximilian Halt (Auszubildender, Werkstatt)

1.5.2 Verwaltung

- Martina Krieger (Ökonomie, Buchhaltung am Institut für elektrische Energiesysteme)
- Katja Gottschling (Ökonomie, Buchhaltung am Institut für Medizintechnik)

2 Studium und Lehre

Abkürzungen:

SS Sommersemester

WS Wintersemester

V Vorlesung

Ü Übung

P Praktikum

S Seminar

SWS Semesterwochenstunden

2.1 Lehrstuhl für Elektrische Antriebssysteme

2.1.1 Vorlesungen, Übungen und Praktika

Allgemeine Elektrotechnik 2

— Electrical engineering and electronics —

SS	V 2 SWS:	Prof. Dr.-Ing. Roberto Leidhold
	P 1 SWS:	Dipl.-Ing. Andreas Bannack
	P 1 SWS:	Dr.-Ing. Peter Milde
	P 1 SWS:	Dipl.-Ing. Gerd Kuhlemann
	P 1 SWS:	Dipl.-Ing. Niklas Förster
	P 1 SWS:	Dipl.-Ing. Detlef Baumecker
	P 1 SWS:	M.Sc. Marc Richter
	Ü 1 SWS:	Dr.-Ing. Reinhard Döbbelin
	Ü 1 SWS:	Dr.-Ing. Thomas Schallschmidt
	Ü 1 SWS:	Dipl.-Ing. Julia Bauch

Die Lehrveranstaltung wendet sich an Studenten nichtelektrotechnischer Studienrichtungen und vermittelt anwendungsbezogenes Grundwissen. Die Studierenden sollen in die Lage versetzt werden, die grundlegende Wirkungsweise und das Verhalten von elektrischen Maschinen und elektronischen Schaltungen nachzuvollziehen. Die wichtigsten Einsatzmöglichkeiten der Elektrotechnik sollen erkannt werden. Einfache Berechnungen und elementare Versuche im Labor werden durchgeführt.

- Elektrische Maschinen
- Analog- und Digitalschaltungen
- Grundlagen der Elektronik
- Leistungselektronik
- Messung elektrischer Größen

- Schutzmaßnahmen in elektrischen Anlagen

— Allgemeine Elektrotechnik 1 vgl. auch Abschnitt 2.4.1 —

Elektrische Antriebssysteme

— Electrical drive systems —

WS	V 2 SWS:	Prof. Dr.-Ing. Roberto Leidhold
	Ü 1 SWS:	Dr.-Ing. Thomas Schallschmidt
	P 1 SWS:	Dr.-Ing. Thomas Schallschmidt
		Dipl.-Ing. Mario Stamann
SS	P 1 SWS:	Dr.-Ing. Thomas Schallschmidt
		Dipl.-Ing. Andreas Bannack

Die Studierenden werden durch das Modul in die Lage versetzt, die Einsatzmöglichkeiten der elektrischen Maschinen zu bewerten und elektrische Antriebssysteme grundlegend zu berechnen. Nach Abschluss des Moduls können die Studierenden, die stationären und dynamischen Modelle der einzelnen Bestandteile eines Antriebssystems, sowie dessen Wechselwirkung nachvollziehen. Sie sind befähigt, elektrische Maschinen und einfache Antriebssysteme im Labor zu prüfen.

- Aufgaben, Funktionsgruppen und Struktur der elektrischen Antriebssysteme
- Stationäres und dynamisches Verhalten der Arbeitsmaschinen
- Modell der Gleichstrommaschine
- Drehmomentregelung
- Raumzeigerdarstellung zur Analyse von Drehfeldmaschinen
- Modell der permanenterregten Synchronmaschine
- Vereinfachtes Modell der Asynchronmaschine
- Thermische Vorgänge
- Wirkungsgrad des Antriebssystems

Geregelte elektrische Antriebe

— Controlled electrical drives —

SS	V 2 SWS:	Dr.-Ing. Thomas Schallschmidt
	Ü 1 SWS:	Dipl.-Ing. Mario Stamann
	P 1 SWS:	Dr.-Ing. Thomas Schallschmidt
		Dipl.-Ing. Mario Stamann

Die Studierenden verfügen am Ende des Moduls über Kenntnisse zur Regelung von elektrischen Antrieben. Sie lernen geeignete Methoden für die Optimierung des Führungs- und Störverhaltens im Zeit- und Frequenzbereich kennen und anzuwenden. Neben kontinuierlichen Systemen, werden auch die speziellen Eigenschaften abgetasteter Systeme behandelt und die Möglichkeiten diskontinuierlicher, rechnergestützter Antriebsregelungen aufgezeigt. In Themenbezogenen Praktika und Übungen werden die vermittelten Methoden vertieft, eigenständig implementiert und nach technischen Gesichtspunkten beurteilt.

- Einführung geregelte elektrische Antriebe

- Dynamische Eigenschaften von elektrischen Antrieben
- Reglerentwurfsverfahren für kontinuierliche und abgetastete (digital) Antriebssysteme
- Sollwertvorsteuerung und optimale Trajektorienplanung
- Störgrößenbeobachter

Regelung von Drehstrommaschinen, früher Elektrische Antriebe II

— Control of AC Machines —

SS V 2 SWS: Prof. Dr.-Ing. Roberto Leidhold
Dr.-Ing. Thomas Schallschmidt
Ü 1 SWS: Dipl.-Ing. Mario Stamann

Die Studierenden werden durch das Modul in die Lage versetzt, die Modelle der einzelnen Drehstrommaschinen und die damit verbundene Raumzeigerdarstellung nachzuvollziehen. Sie sind befähigt die Methoden zur Regelung von Drehstrommaschinen anzuwenden und die entsprechenden Regelkreise auszulegen. Sie können Vor- und Nachteile der unterschiedlichen Maschinentypen und Regelungsmethoden je nach Anwendung bewerten.

- Optimierung von Regelkreisen
- Wechselrichter als Stellglied
- Raumzeigerdarstellung
- Modell der permanenterregten Synchronmaschine
- Feldorientierte Regelung der permanenterregten Synchronmaschine
- Modell der Asynchronmaschine
- Feldorientierte Regelung der Asynchronmaschine
- Direct Torque Control (DTC)
- Doppelt-gespeiste Asynchronmaschine als Generator
- Fremderregte Synchronmaschine als Generator

Elektrische Fahrtriebe

— Electric traction drives —

WS V 2 SWS: Prof. Dr.-Ing. Roberto Leidhold
Ü 1 SWS: Prof. Dipl.-Ing. Mario Stamann

- Aufgaben und Struktur von Antriebssystemen
- Kenngrößen von Bewegungsvorgängen und Lasten - insbesondere elektrischer Fahrtriebe
- Mechanik des Antriebssystems, typische Widerstandsmomenten-Kennlinien von Lasten - insbesondere elektrischer Fahrtriebe
- das mechanische Übertragungssystem
- stationäres und dynamisches Verhalten von ausgewählten elektrischen Maschinen, ihre Drehzahl-Drehmomenten-Kennlinien, sowie Verfahren und Funktionsgruppen für die Drehzahlstellung
- Schaltungsanordnungen und Steuerverfahren für den Anlauf, die Bremsung und die Drehzahlstellung von Drehstromantrieben
- Strukturen geregelter elektrischer Antriebe

Modellierung und Simulation elektrischer Antriebe, Seminar

— Modelling and simulation of electrical drives —

WS V 3 SWS: Prof. Dr.-Ing. Roberto Leidhold
Dipl.-Ing. Niklas Förster

Die Studierenden werden befähigt, komplexe elektromechanische Systeme zweckmäßig zu modellieren. Sie erwerben Kenntnisse zur Nutzung geeigneter Simulationssoftware (MATLAB, Comsol) und zur Interpretation von Simulationsergebnissen. Anhand von Modellen und unter Verwendung von Simulationen lernen die Teilnehmer elektromechanische Systeme zu analysieren, auszulegen und zu optimieren sowie Regelungen zu entwerfen.

- Simulationssoftware
- Modellbildung von elektrischen Maschinen, mechanischen Systemen, leistungselektronischen Stellgliedern, Sensoren und Regler in Betrachtung der Komplexität und Qualität
- Modellreduktion
- Schnittstellen zwischen mechanischen, elektrischen, magnetischen und thermischen Systemen
- Einheitlicher Ansatz zur Modellierung von elektromechanischen Systemen
- Modellierung komplexer elektromechanischer Systeme
- Regelungstechnische Modelle
- Validierung der Modelle, Planung der Simulationsversuche und Auswertung der Ergebnisse
- Simulationsbasierte Auslegung elektromechanischer Systeme

Speicherprogrammierbare Antriebssteuerungen

— Programmable-logic controlled drives —

SS V 2 SWS: Dipl.-Ing. Andreas Bannack
Ü 1 SWS: Dipl.-Ing. Andreas Bannack
P 1 SWS: Dipl.-Ing. Andreas Bannack

- Aufgaben und Einsatzgebiete von Speicherprogrammierbaren Antriebssteuerungen
- Steuerschaltung für Asynchronmaschinen (zum Anlassen, Bremsen, Reversieren und zur Drehzahlsteuerung)
- binäre Steuerungstechnik (Realisierungsarten, Automatenstrukturen, dynamisches Verhalten und Optimierung binärer Steuerungen, Vollständigkeit und Widerspruchsfreiheit)
- SPS-Anlagen für Antriebssteuerungen (Darstellung, Beschreibungsarten, Fachsprachen, Programmierung, Testung und Inbetriebnahme)
- binäre Maschinen- und Anlagensteuerungen
- Programmierübungen an SPS-gesteuerten Antriebsanlagen
- speicherprogrammierbare Antriebsregelungen (Realisierungsarten, Programmstrukturen, digitale Messwerterfassung von Strom, Spannung, Drehzahl und Lage, Beschreibungsarten und Programmieroberflächen, Parametrierung von Umrichteranlagen, praktische Übungen an einer Antriebsautomatisierungsanlage)

Elektrische Maschinen

— Electrical machines —

SS V 2 SWS: Prof. Dr.-Ing. Roberto Leidhold
Ü 1 SWS: Dipl.-Ing. Niklas Förster
Dr.-Ing. Thomas Schallschmidt
Dipl.-Ing. Mario Stamann

Studierende sollen in die Lage versetzt werden, die Wirkungsweise der relevanten elektrischen Maschinen nachzuvollziehen. Sie können Vor- und Nachteile der unterschiedlichen Maschinentypen und Aufbauvarianten bewerten. Sie sind befähigt die Modelle der Maschinen in stationären Zustand, zur Analyse des Betriebsverhaltens und Berechnung grundlegenden Einsatzfällen, anzuwenden. Sie können einschlägige Maßnahmen zur Wirkungsgradverbesserung der elektrischen Maschinen ergreifen.

- Magnetkreise
- Gleichstrommaschine
- Transformator
- Drehfeld
- Asynchronmaschine
- Synchronmaschine
- Wirkungsgrad
- Auswahl elektrischer Maschinen

Unkonventionelle elektrische Maschinen

— Unconventional Electrical Machines —

WS V 2 SWS: Prof. Dr.-Ing. Roberto Leidhold
Ü 1 SWS: Dr.-Ing. Thomas Schallschmidt

Die Lehrveranstaltung vermittelt erweiterte Kenntnisse zu den elektrischen Maschinen und Aktoren, die in den Grundvorlesungen nicht angesprochen werden. Die Studenten können somit die Wirkungsweise, das dynamischen Verhalten und die Regelung der behandelten Maschinen nachvollziehen. Sie werden befähigt, die Integration der Maschinen in mechanischen Systemen zu analysieren und zu projektieren.

- Elektromechanische Energiewandlung
- Elektrische Maschinen mit begrenzter Bewegung
- Reluktanzmaschinen
- Schrittmotoren
- Elektronisch kommutierte Gleichstrommaschine
- Linearmotoren
- Piezoaktoren

Generatorsysteme zur regenerativen Energieerzeugung

— Generator Systems for Renewable Energy —

SS V 2 SWS: Prof. Dr.-Ing. Roberto Leidhold

Ü 1 SWS: Dr.-Ing. Thomas Schallschmidt

Dieses Modul soll die Studierenden in die Lage versetzen, die Randbedingungen der regenerativen Energieerzeugung und die Einsatzmöglichkeiten der unterschiedlichen elektrischen Maschinen nachzuvollziehen. Die Studierenden sind befähigt die elektrische Maschinen zu dimensionieren und die grundlegende Regelungsmethoden zur Optimierung der Energiegewinnung auszulegen (Maximum-Power-Point-Tracking).

- Ziele der Regelung in Generatorsystemen
- Elektrische Maschinen im Generatorbetrieb
- Leistungselektronische Systeme für Generatoren
- Generatorsysteme mit konstanter Drehzahl
- Drehzahlvariable Generatorsysteme
- Optimierung der Energiegewinnung durch Regelung
- Generatorsysteme für alternierenden Energiequellen (z. B. Wellenkraftwerke)
- Lineargenerator
- Glättung der Ausgangsleistung (z. B. Schwungradspeicher, Ultracaps)

Analyse und Berechnung elektromechanischer Strukturen Teilmodul II, Seminar

— Analysis and calculation electromechanical structures —

WS S 3 SWS: Prof. Dr.-Ing. Roberto Leidhold

Dr.-Ing. Niklas Förster

- Modellbildung von elektrischen Maschinen, mechanischen Systemen, leistungselektronischen Stellgliedern, Sensoren und Regler in Betrachtung der Komplexität und Qualität
- Simulationssoftware
- Modellreduktion
- Einheitlicher Ansatz zur Modellierung von elektromechanischen Systemen
- Schnittstellen zwischen mechanischen, elektrischen, magnetischen und thermischen Systemen
- Regelungstechnische Modelle
- Modellierung komplexer elektromechanischer Systeme

2.1.2 Abgeschlossene Forschungsprojekte

1. Christian Hasselmann: Auslegung und Entwurf einer C2000 Breakoutboardes zur Ansteuerung eines Linearmotors
2. Philipp Wollmann: Auslegung und Entwurf einer C2000 Breakoutboardes zur Ansteuerung eines Linearmotors
3. Oleksil Poldiak: Erstellung eines Simulationsmodells einer ASM mit Drehzahlregelung
4. Oleksandr Meniakini: Modellierung, Simulation und Regelung eines inversen Doppelpendels
5. Maksym Samusenko: Modellierung, Simulation und Regelung eines inversen Doppelpendels
6. Viktor Spesyvtsev: Modellierung, Simulation und Regelung eines inversen Doppelpendels
7. Anton Illarionov: Feldorientierte Regelung einer Synchronmaschine mit einem C2000
8. Dennis Richter: Systemüberwachung eines Elektrorollers
9. Sebastian Bode: Konzeptionierung und Aufbau einer CAN-basierten Überwachungseinheit eines Elektrorollers
10. Sebastian Hieke: Simulation und Parameteridentifikation einer Transversalflussmaschine
11. Johanna Kasper: Inbetriebnahme eines AC-Solution-Systems
12. Sebastian Benecke: FEM-Simulation eines Hallbach-Arrays
13. Jens Möhring: Batterie und Batteriemanagementsystem für den FS2015E
14. Jan Pilarski: Batterie und Batteriemanagementsystem für den FS2015E
15. Danylo Basatskyi: Modellierung eines Zwischenkreises
16. Kai Becker: Bestückung und Erstinbetriebnahme einer Kopplungsplatine
17. Kevin Leps: Inbetriebnahme und Parametrierung eines Servoantriebssystems

2.1.3 Abgeschlossene Bachelor- und Studienarbeiten

1. Tim Wiesensee: Entwurf einer Betriebsstrategie zur Kombination von Verbrennungs- und Elektromotor
2. Arvid Goldau: Finisheinheit zur Erzeugung mikrobälliger Strukturen
3. Martin Würkner: Rührreibschweißen
4. Carsten Kempiaak: Entwicklung und Inbetriebnahme eines digitalen Steuerungssystems einer Prüfstandsbremse
5. Tom Engel: Identifizierung wichtiger Kenngrößen eines Range Extenders

2.1.4 Abgeschlossene Master- und Diplomarbeiten

1. Norman Täschner: Linearmotor mit Zahnspulenwicklung
2. Carsten Rehse: Antriebsregelung für einen Kippkonverter
3. Rando Steffen: Suchverfahrenbasierte Leistungsregelung von Drehstromgeneratoren
4. Sebastian Bode: Aufbau und Inbetriebnahme einer CAN-basierten Testumgebung für einen Elektroroller
5. Danylo Basatskyi: FE-basierte Modellierung und Optimierung einer Transversalflussmaschine
6. Sebastian Hieke: Aktive Dämpfung von Drehmomentschwingungen einer dreisträngigen Transversalflussmaschine

2.2 Lehrstuhl für Elektrische Netze und Alternative Elektroenergiequellen

2.2.1 Vorlesungen, Übungen und Praktika

Regenerative Elektroenergiequellen - Systembetrachtung

— Renewable Energy Sources —

WS V 2 SWS: Prof. Dr.-Ing. Zbigniew Antoni Styczynski
Ü 1 SWS: M. Sc. Marc Richter

- Einführung, Energiebegriffe, Elektrische Energiesysteme, Smart Grid
- Grundlagen des regenerativen Energieangebots, Energiebilanz
- Photovoltaische Stromerzeugung
- Stromerzeugung aus Wind
- Stromerzeugung aus Wasserkraft
- Brennstoffzellen
- Elektrische Energiespeicher
- Netzintegration regenerativer Erzeuger
- Netzbetrieb lokaler Energieerzeuger

Elektrische Energienetze I

— Electric Power Network I —

SS V 2 SWS: Prof. Dr.-Ing. Zbigniew Antoni Styczynski
Ü 1 SWS: M. Sc. Marc Richter
P 1 SWS: M. Sc. Marc Richter

- Einführung (ENTSO-E, Netze in Deutschland)
- Zukünftige Entwicklungen der Netze
- Freileitungen und Kabel
- Leit- und Schutztechnik
- Betrieb von kurzen und langen Leitungen
- Transformatoren, Spulen und Kondensatoren in elektrischen Energiesystemen
- Frequenz- und Spannungsregelung
- Per-Unit-Rechnung
- Symmetrische Komponenten
- Lastfluss- und Kurzschlussberechnungen

Elektrische Energienetze II - Smart Grid

— Electric Power Network II - Smart Grid —

SS V 2 SWS: Prof. Dr.-Ing. Zbigniew Antoni Styczynski
Dr.-Ing. Przemyslaw Komarnicki
Ü 1 SWS: M.Sc. Marc Richter

- Einleitung, Grundlagen, Netzplanung
- Betriebsmittelmodellierung und Netzbetrieb, Regelung, Parallelbetrieb von Generatoren
- Beobachtbarkeit des Systems und State-Estimation, PMU und Wide-Area-Monitoring
- Windpark Modellierung: Elektrische Aspekte, Wake und Reduktion
- Elektrizitätswirtschaft, Diskontrechnung, Investitionsbewertung
- Netzzuverlässigkeit, Definition, Verfahren, Netzplanung
- Dynamic-Security-Assessment und Black-Out-Prevention
- Liberalisierte Energiemarkt – Unbundling, Energiebörse, Netznutzentgelte
- Stabilität des elektrischen Energiesystems - Statische Stabilität
- Netzbetrieb - Systemregelung und Netzdienstleistungen
- Netzsimulationen mit PSS®SINCAL & PSS®NETOMAC

Elektromobilität

— Electromobility —

SS V 2 SWS: Dr.-Ing. Przemyslaw Komarnicki
Ü 1 SWS: Dr.-Ing. Przemyslaw Komarnicki

- Einführung
- Physikalisch-technische Grundlagen (Stufen der Elektrifizierung, Kräfte, Energiewandlungskette)
- Modellierung und Simulation
- Komponenten (Energiespeicher, Bordnetz)
- Mobilitätssysteme (Motivation, Potential, Ladeinfrastruktur, Komponenten, Standardisierung, Softwareentwicklung)
- Geschäftsmodelle

Grundlagen der elektrischen Energietechnik

— Introduction to Electrical Power Systems —

WS V 2 SWS: Prof. Dr.-Ing. Zbigniew Antoni Styczynski
Ü 1 SWS: M. Sc. Marc Richter

- Einführung in elektrische Energiesysteme
- Planung, Betrieb und Regelung von Netzen
- Smart Grids
- Schaltanlagen und Betriebsmittel
- Schutztechnik und Fehlerarten
- Kurzschlussbetrachtung
- Konventionelle und regenerative Kraftwerksarten
- Grundlagen elektrischer Maschinen
- Grundlagen der Leistungselektronik

Hochspannungstechnik/Elektroenergieversorgung

— High-Voltage Engineering —

SS V 2 SWS: Dr.-Ing. Heinz-Peter Scheibe
Prof. Dr.-Ing. Zbigniew Antoni Styczynski
Ü 1 SWS: Dr.-Ing. Heinz-Peter Scheibe
Dipl.-Ing. Ines Hauer

- Aufbau und Funktion von Energieübertragungssystemen auf hohem Spannungsniveau
- Beanspruchung von Isolierungen, Isolationsberechnung
- Hochspannungsgerechte Auslegung von Betriebsmitteln
- Hochspannungsmesstechnik
- Grundlagen der Wirtschaftlichkeitsrechnung in der Energietechnik – statische und dynamische Methoden
- Zuverlässigkeitsrechnung
- Aufgaben der Netzplanung: Organisation des deutschen Energiemarktes
- Energiebörse

Modellierung und Expertensysteme in der elektrischen Energieversorgung

— Modelling and Expert Systems for Power Supply —

SS V 2 SWS: Prof. Dr.-Ing. Zbigniew Antoni Styczynski
Dr.-Ing. André Naumann
Ü 1 SWS: Dipl.-Ing. Ines Hauer

- Modellierung
 - Schaltvorgänge und Schaltgeräte (Definition, Konstruktion, Funktionsfähigkeiten und Modelle, Lichtbogen, Steuerung und Beherrschung)
 - Darstellung von Wanderwellenvorgängen im Netz
 - Begrenzung von Überspannung
- Expertensysteme
 - Expertensysteme in der Energieversorgung
 - Grundbegriffe der künstlichen Intelligenz
 - Wissensakquisition und Wissensrepräsentation
 - Entscheidungen bei nichtvollständigen Informationen
 - Fuzzy-Logik
 - Künstliche Neuronale Netze

Netzschutz und Leittechnik

— Power System Protection and Control —

WS V 2 SWS: Prof. Dr.-Ing. Rainer Krebs
Ü 1 SWS: Prof. Dr.-Ing. Rainer Krebs
Dipl.-Ing. Ines Hauer
M. Sc. Marc Richter

- Grundlagen
- Schutzgenerationen
- Schutzprinzipien
- Analoge und digitale Signalaufbereitung
- Digitale Messalgorithmen
- Entscheidungsmethoden und Logik
- Künstliche Intelligenz für Schutzzwecke
- Beispiele

Photovoltaische Energiesysteme

— Photovoltaic Energy Systems —

SS V 2 SWS: PD Dr.-Ing. habil. Martin Wolter
Ü 1 SWS: Dipl.-Ing. Ines Hauer

- Energetisches Potential der Sonne
- Physikalische Grundlagen
- Photoelektrische Effekte in Halbleitern
- Photovoltaische Energiewandlung mit Solarzellen
- Aufbau von Photovoltaikanlagen
- Berechnung und Auslegung von Photovoltaikanlagen
- Solar-Wechselrichter
- Anwendung photovoltaisch erzeugter Elektroenergie

Power Network Planning and Operation

WS V 2 SWS: Prof. Dr.-Ing. Zbigniew Antoni Styczynski
Dr.-Ing. André Naumann
Ü 1 SWS: Dipl.-Ing. Ines Hauer

- ENTSO-E and German power network
- Per-unit calculation
- Overhead lines and cables
- Symmetrical components
- Future of power generation and power systems
- Operation of short and long lines
- Transformers, coils and capacitors in power systems
- Load flow
- Power system protection
- Short circuit calculation
- Frequency and voltage control

Power System Economics and Special Topics

WS 2013/14	V 2 SWS:	Dr.-Ing. Pio Lombardi Dr.-Ing. Martin Stötzer
	Ü 1 SWS:	Dipl.-Ing. Ines Hauer
WS 2014/15	V 2 SWS:	Prof. Dr.-Ing. Zbigniew Antoni Styczynski Dr.-Ing. Pio Lombardi
	Ü 1 SWS:	Dr.-Ing. Pio Lombardi

- Power market fundamentals (liberalised energy market, pricing power, energy and capacity, cost calculation, market structure)
- Network reliability (fundamentals in network reliability and investment policy, reliability and generation, VOLL-pricing, operating-reserve pricing, fundamentals of electricity markets)
- Market architecture repetitorium (real time market, ancillary services, system services)
- Power station scheduling (power transmission and losses, physical transmission limits, congestion pricing, auction)
- Locational pricing, PTDF
- New concepts (smart grids, virtual power plant, e-mobility)
- Emission trading and renewables (Kyoto-protocol and flexible mechanisms, EU and German energy policy, CO₂ capture and storage, impact of CO₂ on generation costs)

Renewable Energy Sources

SS	V 2 SWS:	Prof. Dr.-Ing. Zbigniew Antoni Styczynski Dr.-Ing. Maik Heuer
	Ü 1 SWS:	M. Sc. Marc Richter

- Cost calculation
- Energy Market
- Marginal Costs
- System Services

- Introduction to renewable energy sources (definition, classification, overview)
- Photovoltaic energy (physics and principle, potential, costs)
- Wind energy (physics, potential, costs, function of wind turbines)
- Fuel cells (fundamentals, types, applications)
- Hydroelectric power plants, geothermal energy, biomass
- Energy storage systems (hydro pump storage systems, compressed air storage systems, batteries, superconducting magnetic energy storage, flywheel)
- Grid connection of renewables
- Outlook

Windenergie

— Wind Energy —

SS V 2 SWS: Prof. Dr.-Ing. Antje Orths
Ü 1 SWS: Dipl.-Ing. Ines Hauer

- Geschichte der Windnutzung
- Potential der Windenergie
- Physikalische Grundlagen
- Aerodynamik
- Komponenten der Windkraftanlage
- Generatoren
- Netzanschluss
- Ökonomische Effizienz
- Windenergie in der öffentlichen Diskussion

2.2.2 Abgeschlossene Forschungsprojekte

1. Mario Lange: Analyse des Automatisierungsniveaus von Industriegebäuden
2. Meghana Budiguppe Shivaraju: Calculation methods for power system oscillations
3. Benny Raberger: Energieeffiziente Produktion. Nutzung des Energiemanagementsystems (EMS) in Industrieunternehmen
4. Paul Sandmann: Untersuchung von Gebäudekomponenten und deren Potenzial für das Lastmanagement
5. Minh Duc Pham: Technische und wirtschaftliche Analyse von Studien zum Thema Brennstoffzelle
6. Srivedi Mallappa: Hosur Reactive power influence during voltage stability problems
7. Christian Klabunde: Erweiterte Programmierung eines dynamischen Energiespeichermodells
8. Quang Vinh Nguyen: Grid connection of nuclear power plant study – vietnamese case
9. Nhut Tien Nguyen: Modern Power System Stability assessment tools – a review
10. Marcel Potz: Untersuchung des Einflusses von Elektromobilität auf ausgewählte Niederspannungsnetzstrukturen
11. Peter Körner: Definition von Kriterien für den adaptiven Lastabwurf
12. Jakub Chmielewski: Self-made Smart Home using Programmable Logic Controller (PLC)
13. Eike Göhmann: Neukonzeptionierung einer DC-Kabelnachbildung für ein VSC-HVDC-Labormodell

2 Studium und Lehre

14. Martin Berlin: Entwicklung und Implementierung einer Software zur modellbasierten Generierung von Last- und Erzeugungsprofilen für statische Netzberechnungen
15. Kateryna Kapinosova: Systemmodellierung eines VSC-HVDC-Laborteststandes mittels der Softwareumgebung PSIM
16. Valentyn Demchenko: Verbesserung der Einspeisevorhersage für Windenergieanlagen mit Berücksichtigung zusätzlicher Einflusskriterien
17. Tim Grote: Entwurf einer Laborstecktafel für die DC-Strecke des HGÜ-Labormodells
18. Björn Schiel: DC-Schutzsysteme bei HGÜ-Anlagen
19. Arslan Zafar: Impact of electric vehicles on the electric power system – A literature survey
20. Bohdan Vakula: Analyse und Auswertung von PMU-Testdaten
21. Oleksii Zakharchenko: Bestimmung der elektrischen Parameter von Freileitungen unter Berücksichtigung der Temperaturänderung
22. Jagdish Vajravelu: Development of a User Interface for Fuel Cell Management
23. Tanima De: Electrolysers and Redox flow batteries
24. Christopher Thost: Erstellung einer Zustandsmatrix für ein Brennstoffzellensystem zur USV-Nutzung
25. Rohit Kurana: Investigation of different simulation scenarios for combined DC/AC network operation
26. Lang Yuan: Cross-Energy Systems in smart grids: modelling and simulations
27. Son Thai Nguyen: Nachbildung der Primär- und Sekundärregelung zur Frequenzhaltung
28. Torsten Fromme: Veränderungen der Admittanzmatrix durch Netzstörungen
29. Stefan Hörner: Numerische Simulation einer H-Darrieus-Turbine im Wasser
30. Adrian Winkler: CAN(Bus)-Nutzung in Batteriemanagementsystemen (BMS)
31. Navid Torabpourshiraz: Development of an application web server for a fuel cell diagnostic device
32. Rafal Staszewski: Extension of photovoltaic system by a communication interface according to IEC 61850
33. Sebastian Koop: Entwicklung und Umsetzung einer Schnittstelle zwischen Netzsimulator und Auswerte-Software zur Berechnung der Leitungstemperatur
34. Rohit Khurana: Non Technical Report on Offshore Wind Power Integration using VSC-HVDC
35. Ibon Terrazas Velez: Testing of connection solutions for fuel cell voltage measurement devices

36. Kay Nowotnig: Übertragbarkeit der Methode des elektrischen Abstandes auf andere Netze
37. Nidi Sharma: Stand alone hybrid renewable energy systems (HRES) for independent power supply – literature research
38. Rafal Barabola: Optimal parameterization of a governor
39. Ngoc Son Nguyen: Fuzzy-Modellierung im Anwendungsbereich Brennstoffzelle
40. Florian Pillath: Automatisierte Optimierung des Feuchtehaushalts von PEM-Brennstoffzellen
41. Nhut Tien Nguyen: Transfer capability study for the transmission lines connected to nuclear power plant in Vietnam power system.
42. Quang Vinh Nguyen: Fault ride through study for nuclear power plant in Vietnam power system
43. Shokoofeh Abbaszadeh: Steuerungstechnisches Anbindungskonzept für dezentrale EE-Anlagen mittels IEC 61850
44. Marc Gebhardt: Bestimmung von unbeobachteten Netzknotenspannungen durch lineare Interpolation
45. Mohammad Ali: Reliability of Information and Communications Technology equipment in power system – review study
46. Buddhi Ram Banjade: Modelling the digital distance protection of transmission line
47. Andreas Giesecke: Konzept zur Integration elektrischer Komponenten für Brennstoffzellensysteme
48. Ratna Kumar Gudimetla: Estimation techniques for non-observable grid nodes
49. Johann Leipi: Untersuchung der Speicherpotential für erneuerbare Energie zur Überbrückung von Erzeugungsdefiziten

2.2.3 Abgeschlossene Bachelor- und Studienarbeiten

1. Claudia Rummel: Fallstudie zur Einführung von Biomethan in den Kraftstoffmarkt unter ökonomischen und ökologischen Aspekten
2. Konstantin Kersten: Kostenanalyse von BZ-Messtechnik
3. Martin Heger: Aufbau und Inbetriebnahme einer Brennstoffzellen-USV
4. Christoph Humpisch: Entwicklung des Tools für Einspeisevorhersage von einer Photovoltaik-anlage
5. Jan Ressel: Modellierung und messtechnische Analyse einer Brennstoffzellen-USV
6. Mario Lange: Auslegung eines Akkumulators für ein USV-Brennstoffzellensystem
7. Martin Berlin: Validierung eines Temperaturmodells für eine Brennstoffzellen-USV-Anlage anhand einer durchzuführenden Messung
8. Christian Ziegler: Untersuchung der Einflüsse auf die transiente Netzstabilität
9. Jan Pilarski: Dimensionierung und Erprobung eines Batteriemanagementsystem für mobile Anwendungen

10. Tobias Schopf: Wirtschaftlichkeitsanalyse und Anforderungen an den Informationsaustausch zum Einsatz von Großbatteriespeichern

2.2.4 Abgeschlossene Master- und Diplomarbeiten

1. Felix Müller: Simulation eines Batteriemanagementsystems für LiFePO₄-Batterien
2. Daniel Gipp: Entwicklung einer MATLAB-Applikation zur Berechnung geeigneter Maßnahmen in kritischen Netzsituationen
3. Kirsten Vilbusch: Multikriterielle Optimierung der Standortbestimmung für Power-to-Gas-Anlagen – Eine Fallstudie für Sachsen-Anhalt und Thüringen
4. Andre Gronke: Erarbeiten eines Sicherheitskonzeptes für Batteriesysteme in Elektrofahrzeugen
5. Cheng Qing: Model Predictive Control als Algorithmus für das optimale Unit-Commitment
6. Khaled Karoonlatifi: Comparison of Dynamic Performance of VAR Compensation Devices for Improving the Ride-Through Capability of Induction-Generator Based Wind Farms
7. Kristin Müller: Analyse der technisch-organisatorischen Rahmenbedingungen und Wirtschaftlichkeitsuntersuchung zum Einsatz von Großspeichern
8. Thomas Gerloff: Richtlinien zur Prüfung von Brennstoffzellen
9. André Richter: Lastabwurfkonzept auf Basis von Jahresmittelwerten
10. Ronny Tempel: Redispatch als Maßnahme gegen Netzengpässe
11. Friederike Hirsch: Potentialanalyse zum ökonomischen Betrieb von Großbatteriespeichern im Verteilnetz
12. Florian Witt: Untersuchung der Anwendbarkeit von verschiedenen theoretischen Lastansätzen zur Berechnung von Verteilnetzen
13. Viktor Vovchenko: Betriebsverfahren für VSC-HGÜ-Stationen als zentralem Steuerelement zur AC-Netzstützung
14. Krystyna Dykun: Zuverlässigkeitsmodelle für Energiesysteme zur Optimierung für das Smart Grid
15. Henning Demele: Bidirektionaler Wechselrichter für ein Elektrofahrzeug
16. Marina Madeleine Klein: Konzeption und Umsetzung der Feldprozessstechnik für intelligente Ladesäulen für Elektrofahrzeuge
17. Stephan Balischewski: Batteriespeicher für das Niederspannungsnetz
18. Wasim Al-Ghafir: State Estimation Algorithms with PMU data availability
19. Gregor Nacke: Erstellung eines menügeführten Auswertemoduls für einen Brennstoffzellen-Versuchsstand auf Basis eines Datenbanksystems
20. Rafal Staszewski: Implementation of Hybrid State Estimation Algorithms in MATLAB/Simulink

21. Jakub M. Chmielewski: Speicherprogrammierbare Steuerung für ein stationäres Batteriespeichersystem
22. Navid Torabpourshiraz: Development of an application web server for diagnostic devices in fuel cell systems
23. Ivan Fil: AC-Filterauslegung für ein physikalisches HGÜ-Labormodell
24. Oleksandr Fadiiev: Verbesserung der Lastverbrauchsvorhersage für Gebäudekomplexe mit Berücksichtigung zusätzlicher Einflusskriterien
25. Anastasia Iefremova: Konzeption und Umsetzung der Hauptsteuerung für intelligente Ladesäulen für Elektrofahrzeuge
26. Christian Klabunde: Potentialermittlung kaskadierter Druckluftspeicher zur Stützung des elektrischen Übertragungs- und Verteilnetzbetriebes
27. Peter Körner: Prognosesystem für den Alterungsprozess von Brennstoffzellensystemen
28. Ronny Brückner: Universelle Zellspannungsüberwachung für elektrochemische Energiewandler
29. Marcel Potz: Vergleich von Netzausbaumaßnahmen mit dem Einsatz von Speichern in Ortsnetzen mit hoher Durchdringung regenerativer Erzeugung
30. Björn Schiel: Implementierung von statischen und dynamischen Smart Grid Szenarien in PSS® NETOMAC
31. Rafal Barabola: Implementation of P-V curves for sensitivity analysis
32. Ibon Terrazas: Velez A holistic investigation of various energy carriers and their interconnections to improve the energy efficiency in enterprises
33. Eike Göhmann: Modellierung einer Zweiterminal-VSC-HVDC-Verbindung – Methodische Ansätze und Übertragbarkeit
34. Eric Jackowicz: Konzept einer Testumgebung zur invasiven Analyse von Brennstoffzellen
35. Rohit Khurana: Model investigations regarding synthetic inertia capability of VSC HVDC systems from the power system point of view
36. Jagdish Vajravelu: Formulation of geometric parameters of current density measurement device for PEM fuel cells
37. Tanima De: Detection and Analysis of Ageing Mechanisms in Fuel Cells, Electrolysers, Redox flow batteries and its influence on Current Density
38. Christopher Thost: Lastgangsimulator für ein Versorgungssystem bestehend aus regenerativen Erzeugerverbund und Batteriespeicher

2.3 Lehrstuhl für Elektromagnetische Verträglichkeit

2.3.1 Vorlesungen, Übungen und Praktika

Elektromagnetische Verträglichkeit regenerativer elektrischer Systeme

WS V 2 SWS: Prof. Dr.-Ing. Ralf Vick
Ü 1 SWS: Dr.-Ing. Mathias Magdowski

- Einführung in die EMV regenerativer elektrischer Systeme
- Gesetzliche Anforderungen und Standardisierung
- Elektromagnetische Kopplung und Schirmung
- Einkopplung in Leitungen
- Power Quality

Anwendung stochastischer Modelle in der EMV

WS V/Ü 2 SWS: Dr. rer. nat. Sergey Tkachenko

Die Studierenden kennen bereits die grundlegenden Prinzipien der Elektromagnetischen Verträglichkeit (EMV). Sie werden weiterhin befähigt, elektromagnetische Kopplungen durch Nutzung von analytischen und numerischen Methoden zu beschreiben. Sie können stochastische Modelle zur Beschreibung von EMV-Testumgebungen anwenden.

Inhalte:

- Problemspezifische Einführung in die EMV, Begriffe, Störemission, Störfestigkeit, Störpegel, Störabstand, Zeit- und Frequenzbereich
- EMV-Mess- und Prüftechnik (Überblick)
- Methoden zur Analyse der Kabelkopplung
- Modellierung der Kabelkopplung in zufällige Kabelstrukturen
- Modenverwirbelungskammer (MVK) als stochastische EMV-Messumgebung
- Beschreibung des elektromagnetischen Feldes durch den Ansatz ebener Wellen
- Feldverteilung und Korrelationsfunktionen
- Messwertinterpretation

Grundlagen der Elektrotechnik I

WS V 3 SWS: Prof. Dr.-Ing. Ralf Vick
Ü 2 SWS: Dr.-Ing. Mathias Magdowski
M. Sc. Anke Fröbel
M. Sc. Matthias Hirte
M. Sc. Enrico Pannicke
Dipl.-Phys. Jörg Petzold

Die Vorlesung behandelt Grundbegriffe und Elemente elektrischer Stromkreise und gibt einen Überblick über die Berechnung resistiver elektrischer Netzwerke (linear und nichtlinear). Weiterhin werden die Grundlagen der Vierpoltheorie eingeführt.

Grundlagen der Elektrotechnik (Praktikum I)

WS P 3 SWS: M. Sc. Anke Fröbel
M. Sc. Matthias Hirte
Dipl.-Phys. Jörg Petzold
M. Sc. Xiaowei Wang

Das Praktikum dient der Vermittlung grundlegender praktischer Erkenntnisse und Erfahrungen beim Einsatz moderner Mess-, Simulations- und Auswertetechnik, wobei dem Messen mit dem digitalen Speicheroszilloskop große Bedeutung zukommt. Im Detail gehören dazu laborpraktische Untersuchungen von Gleich- und Wechselstromkreisen, von Zweipolen mit linearem und nichtlinearem Strom-Spannungs-Verhalten sowie Auseinandersetzung u. a. mit der Problematik von Ortskurven, nichtharmonischen periodischen Vorgängen, Resonanzkreisen und Ausgleichsvorgängen in Gleich- und Wechselstromnetzwerken.

Modern Concepts of EMC and EMC Measurements (Laboratory Experiments)

WS P 2 SWS: Dr.-Ing. Mathias Magdowski

The students gain hands-on experience in EMC measurement techniques during the following experiments:

- measurements in the semi-anechoic chamber
- measurements in the reverberation chamber
- characterization of filters
- numerical calculation of electromagnetic fields and couplings
- transmission line perturbations
- shielding efficiency

Vorkurs Mathematische Grundlagen der Elektrotechnik und Medizintechnik

WS Blockveranstaltung Dr.-Ing. Mathias Magdowski

Der Vorkurs dient der Wiederholung wichtiger mathematischer Grundlagen speziell für Studierende der Elektrotechnik und Medizintechnik. Der Vorkurs findet als Blockveranstaltung über fünf Tage statt.

1. Vorlesung Zahlen und Einheiten, Funktionen, Winkelfunktionen, Exponentialfunktion
2. Vorlesung Differentialrechnung, Differentialquotient, Differentiationsregeln, Differentialgleichungen
3. Vorlesung Integralrechnung, unbestimmtes und bestimmtes Integral, Integrationsregeln, Mittelwert und Effektivwert
4. Vorlesung Lineare Algebra, Vektoren, Skalarprodukt, Vektorprodukt
5. Vorlesung Matrizen, Matrixmultiplikation, inverse Matrix, lineare Gleichungssysteme

2 Studium und Lehre

Die Vorlesung wird durch eine herkömmliche handschriftliche Übung und durch eine Computerübung ergänzt. In der handschriftlichen Übung werden die Vorlesungsthemen durch einfache und anwendungsnahe Aufgaben wiederholt und gefestigt. In der anschließenden Computerübung werden die gleichen Übungsaufgaben unter Zuhilfenahme von Mathematiksoftware bearbeitet. Dabei wird der grundlegende Umgang mit den Programmen

- GNUplot (Funktionenplotter)
- Maxima (Computeralgebrasystem)
- GNU Octave (Numerikprogramm)

besprochen. Diese Programme sind alle quelloffen und frei verfügbar. Sie werden per USB-Stick an die Studierenden verteilt. Diese können die Software auf ihren eigenen Notebooks (sowie Smartphones und Tablet-PCs) installieren und zur Bearbeitung der Aufgaben im Rahmen des Vorkurses sowie im weiteren Studium benutzen.

Fit für die Abschlussarbeit

WS Blockveranstaltung Dr.-Ing. Mathias Magdowski
M.Sc. Anke Fröbel
M.Sc. Enrico Pannicke

Nach dem erfolgreichen Abschluss des Moduls besitzen die Studierenden einen Überblick über die Methoden des wissenschaftlichen Schreibens und Präsentierens. Die Studierenden sind in der Lage, alle notwendigen Schritte zur Erstellung und Verteidigung einer Abschlussarbeit durchzuführen. Es werden Grundlagen zu Recherche, wissenschaftlichem Schreiben, Visualisierung und Präsentation vermittelt.

Fit for your final paper

WS Seminar Dr.-Ing. Mathias Magdowski
M.Sc. Anke Fröbel
M.Sc. Enrico Pannicke

After successful completion of the seminar, students have an overview of the methods of scientific writing and presentation. The students are able to perform all the necessary steps to create and defend a final paper/thesis. Basic knowledge of research, scientific writing, visualization and presentation is imparted.

Analyse und Berechnung elektromechanischer Strukturen

SS V 2 SWS: Prof. Dr.-Ing. Ralf Vick
Ü 1 SWS: Dr.-Ing. Mathias Magdowski

- Einführung in die Beschreibung von Signalen im Zeit- und Frequenzbereich, lineare und nichtlineare Systeme, Beschreibung von Netzwerkstrukturen
- Simulation elektrischer Netzwerke
- Berechnung magnetischer Kreise
- Modellierung mechanischer Systeme als äquivalente elektrische Netzwerke
- Kombination von Netzwerk- und Feldberechnungsverfahren
- Zusammenwirken von Leistungselektronik und elektrischen Maschinen

Elektromagnetische Verträglichkeit

SS V 2 SWS: Prof. Dr.-Ing. Ralf Vick
Ü 1 SWS: Dr.-Ing. Mathias Magdowski

- Einführung in die EMV
- Klassifizierung und Charakterisierung von Störquellen
- Koppelmechanismen und Gegenmaßnahmen
- EMV-Analysemethoden zur Behandlung elektromagnetischer Kopplung basierend auf dem $\lambda/2$ -Dipolmodell
- Schirmung nach Schelkunoff, Einkopplung durch Aperturen, Messung der Schirmdämpfung
- Verkabelung, Massung, Filterung, Schutzschaltungen
- EMV-Mess- und Prüftechnik (Überblick)

EMV-Messtechnik

SS V 2 SWS: Prof. Dr.-Ing. Ralf Vick
Ü 1 SWS: Dr.-Ing. Mathias Magdowski

- Einführung, Begriffe, Definitionen (Messgrößen, Einheiten, dB-Skala, Rauschen, Signale, Messunsicherheit)
- Spektrum- und Netzwerkanalyse, Zeitbereichsmessverfahren
- Antennen, Messschaltungen und Komponenten
- Messung der Streu- und Transferimpedanzmatrizen
- EMV-Messplätze und -Umgebungen
- Feld- und leitungsgebundene Emissionsmessungen
- Störfestigkeitsuntersuchungen
- Standardisierte Messverfahren

Grundlagen der Elektrotechnik II

SS V 2 SWS: Prof. Dr.-Ing. Ralf Vick
Ü 2 SWS: Dr.-Ing. Mathias Magdowski
M. Sc. Anke Fröbel
M. Sc. Matthias Hirte
M. Sc. Enrico Pannicke
Dipl.-Phys. Jörg Petzold

Die Vorlesung behandelt elektrische Netzwerke und ihre Berechnung, resistive Netzwerke (linear, nichtlinear), Netzwerke bei harmonischer Erregung (komplexe Wechselstromrechnung, Ortskurven, duale und äquivalente Schaltungen, 2-Tor-Schaltungen bei Wechselstrom, Wechselstromschaltungen mit technischer Bedeutung, Mehrphasensysteme), Leitungen als Vierpole, Netzwerke mit nichtsinusförmiger periodischer Erregung und Ausgleichsvorgänge in Netzwerken.

Grundlagen der Elektrotechnik (Praktikum II)

SS P 3 SWS: M. Sc. Anke Fröbel
M. Sc. Matthias Hirte
Dipl.-Phys. Jörg Petzold
M. Sc. Xiaowei Wang
Dr. rer. nat. Sergey Tkachenko

Das Praktikum dient der Vermittlung grundlegender praktischer Erkenntnisse und Erfahrungen beim Einsatz moderner Mess-, Simulations- und Auswertetechnik, wobei dem Messen mit dem digitalen Speicheroszilloskop große Bedeutung zukommt. Im Detail gehören dazu laborpraktische Untersuchungen von Gleich- und Wechselstromkreisen, magnetischen Kreisen und Übertragern, ebenen Feldern, Energiewandlungsprozessen und von Zweipolen mit nichtlinearem Strom-Spannungs-Verhaltens sowie Auseinandersetzung u. a. mit der Problematik von Kompensations- und Brückenschaltungen und der Simulation von Ausgleichsvorgängen in Gleich- und Wechselstromnetzwerken.

Modern Concepts of EMC and EMC Measurements

SS V 2 SWS: Prof. Dr.-Ing. Ralf Vick
Ü 1 SWS: Dr.-Ing. Mathias Magdowski
M. Sc. Xiaowei Wang

- basic principles of electromagnetic compatibility
- regulatory requirement of EMC compliant products
- overview of international EMC standards and measurement procedures
- analytical and numerical method for the analysis of EMC problems
- electromagnetic coupling, shielding and filtering
- countermeasures against electromagnetic interference

2.3.2 Abgeschlossene Forschungsprojekte

Martin Krüger: Untersuchung eines Streifenleiters für die Anwendung von Störfestigkeitsmessungen an Komponenten

2.3.3 Abgeschlossene Bachelor- und Studienarbeiten

Christian Hasselmann: Optimierung eines automatisierten Teststandes für Power-Quality-Analysen

Felix Mittelstädt: Research of SEM Poles of Complex Wire Structures

2.3.4 Abgeschlossene Master- und Diplomarbeiten

Markus Gnade: Auslegung eines Testsystems zur subjektiven Beurteilung der Fahrzeugentstörung für den Einsatz in EMV-Messungen

Benjamin Willmann: Einfluss des Bordnetzes auf die Störaussendung im Fahrzeug

2.4 Lehrstuhl für Leistungselektronik

2.4.1 Lehrveranstaltungen für Bachelor-Studiengänge

Grundlagen der Leistungselektronik

— Introduction to power electronics —

SS	V 2 SWS:	Prof. Dr.-Ing. Andreas Lindemann
	Ü 1 SWS:	Dr.-Ing. Reinhard Döbbelin Dipl.-Ing. Julia Bauch
WS	P 1 SWS:	Dr.-Ing. Reinhard Döbbelin Dr.-Ing. Wolfgang Fischer Dipl.-Ing. Julia Bauch

- Einführung
- Gleichstromsteller
 - Tiefsetzsteller
 - Hochsetzsteller
 - Zwei-Quadranten-Steller — Brückenweig
- H-Brücke (selbstgeführt mit Spannungszwischenkreis)
- dreiphasige Brückenschaltung (selbstgeführt mit Spannungszwischenkreis)
- netzgeführte Brückenschaltungen
 - ungesteuerter Gleichrichter
 - vollgesteuerte Brückenschaltung

unter besonderer Berücksichtigung von

- Schaltungen
- Strom- und Spannungsverläufen
- Steuerverfahren
- Anwendungsbeispielen

Bauelemente der Leistungselektronik

— Power semiconductor devices —

SS	V 2 SWS:	Prof. Dr.-Ing. Andreas Lindemann
	Ü 1 SWS:	Dr.-Ing. Wolfgang Fischer
	P 1 SWS:	Dr.-Ing. Wolfgang Fischer Dr.-Ing. Reinhard Döbbelin Dipl.-Ing. Julia Bauch

- Leistungshalbleiter-Bauelemente:
 - MOSFET
 - IGBT
 - Diode
 - Thyristor

2 Studium und Lehre

unter besonderer Berücksichtigung von

- Funktionsweise
- statischem und dynamischen Verhalten
- Aufbautechnik
- schaltungsgerechter Auslegung
- Ansteuerung, Systemarchitektur

Simulation und Entwurf von Leistungselektronik

— Simulation and design of power electronics —

SS V 2 SWS: Dr.-Ing. Reinhard Döbbelin

Ü 1 SWS: Dr.-Ing. Reinhard Döbbelin

- Simulation leistungselektronischer Schaltungen am Beispiel des Simulationsprogramms SIMPLORER
- Modellbildung bei leistungselektronischen Bauelementen
- Besonderheiten der Messtechnik in der Leistungselektronik
- Funktionsprinzipien und Anwendung digitaler Messmittel
- Signalanalysesoftware
- Integration von Leistungshalbleitern
- Ausführung leistungselektronischer Baugruppen

Bauelemente der Elektronik

— Electronic devices —

WS V 2 SWS: Prof. Dr.-Ing. Andreas Lindemann

Ü 1 SWS: Dr.-Ing. Wolfgang Fischer
und Kollegen

- Halbleiter
- Diode
- Bipolar-Transistor
- Feldeffekt-Transistor
- weitere Bauelemente

Allgemeine Elektrotechnik 1

— Electrical engineering and electronics 1 —

WS V 2 SWS: Prof. Dr.-Ing. Andreas Lindemann
Ü 1 SWS: Dr.-Ing. Reinhard Döbbelin
Dipl.-Ing. Julia Bauch
Dr.-Ing. Thomas Schallschmidt
P 2 SWS: Dipl.-Ing. Andreas Bannack
M. Sc. Marc Richter
Dipl.-Ing. Niklas Förster
und Kollegen

- Grundbegriffe
- Stromkreise
- Wechselgrößen
- elektrische und magnetische Felder

Veranstaltung für Nicht-Elektrotechniker; Allgemeine Elektrotechnik 2 vgl. auch Abschnitt 2.1.1

2.4.2 Lehrveranstaltungen für Master-Studiengänge

Schaltungen der Leistungselektronik

— Power electronic circuits —

SS V 2 SWS: Prof. Dr.-Ing. Andreas Lindemann
Ü 1 SWS: Dr.-Ing. Wolfgang Fischer

- resonante Schaltungen
 - lastgeführte Stromrichter, z. B. Schwingkreis-Wechselrichter
 - Entlastungsnetzwerke, z. B. ARCP-Umrichter
- selbstgeführte Schaltungen
 - Varianten
 - * Mehrpunkt-Umrichter
 - * Stromzwischenkreis-Umrichter
 - * Matrix-Umrichter
 - Steuer- und Regelverfahren
 - * Raumzeiger
 - * Modellbildung und Stromregelung beim Gleichstromsteller
- netzgeführte Stromrichter — Varianten
 - Umkehrstromrichter
 - höherpulsige Brückenschaltungen
 - Wechselstromsteller, Drehstromsteller
- Kombination von Grundsaltungen

2 Studium und Lehre

- netzfreundliche Gleichrichter mit Korrektur des Leistungsfaktors — z. B. einphasig mit geregelter Hochsetzsteller

mit Anwendungsbeispielen u. a. aus dem Bereich der erneuerbaren Energie

Systeme der Leistungselektronik

— Power electronic systems —

WS V 2 SWS: Prof. Dr.-Ing. Andreas Lindemann
Dr.-Ing. Wolfgang Fischer
Ü 1 SWS: Dr.-Ing. Wolfgang Fischer

- Stromversorgungen — Schaltnetzteile
 - Sperrwandler
 - Durchflusswandler
- Leistungselektronik zur Nutzung von aus erneuerbaren Quellen erzeugter elektrischer Energie
 - Photovoltaik
 - Windenergie
 - drehzahlvariable Pumpspeicherkraftwerke
 - Hochspannungsgleichstromübertragung (HGÜ)
- Leistungselektronik im Automobil
 - Übersicht
 - Zuverlässigkeit
 - Ladetechnik: kontaktlose Energieübertragung

Steuerung von Leistungselektronik

— Control in power electronics —

SS S 3 SWS: Dr.-Ing. Wolfgang Fischer

- Komponenten der Informationsverarbeitung, Steuerung, Regelung, Anpassung sowie des Schutzes in leistungselektronischen Schaltungen
- Integration von Steuerungskomponenten und Leistungshalbleitern
- Simulation ausgewählter Beispiele

Systemintegration von Leistungselektronik

— System integration of power electronics —

WS V 2 SWS: Prof. Dr.-Ing. Andreas Lindemann
Dr.-Ing. Reinhard Döbbelin
Dr.-Ing. Wolfgang Fischer
Ü 1 SWS: Dr.-Ing. Reinhard Döbbelin
Dr.-Ing. Wolfgang Fischer

- Systemintegration am Beispiel einer Schweißstromquelle
 - Einführung in das Simulationsprogramm SABER, Programmteile und Bibliotheken
 - Ablauf einer Schaltungssimulation
 - Dynamische Modelle von Leistungshalbleitern und deren Parametrierung
 - Analyse von Betriebsverhalten, Verlustleistung, Leistungsfaktor, dynamischem Verhalten
- Aspekte elektromagnetischer Verträglichkeit leistungselektronischer Systeme
 - Netzurückwirkungen
 - höherfrequente geleitete Störemission
- Zuverlässigkeit von Leistungshalbleiter-Bauelementen unter Berücksichtigung von Systemaspekten

Power Electronics

WS V 2 SWS: Dr.-Ing. Reinhard Döbbelin
Ü 1 SWS: Dr.-Ing. Reinhard Döbbelin

- introduction
- buck-/boost chopper, phase leg
 - function
 - applications
- functional principle plus ratings and characteristics of main power electronic components
 - MOSFET
 - IGBT
 - diode
 - aspects of packaging
- circuit theory, behaviour and dimensioning of components in converters
 - static
 - dynamic
- H-bridge
 - control method: pulse width modulation (PWM)
 - application: inverter, rectifier
- three-phase bridge
 - control method: pulse width modulation (PWM)

Advanced Power Electronics

SS V 1 SWS: Dr.-Ing. Wolfgang Fischer
Ü 1 SWS: Dr.-Ing. Wolfgang Fischer
P 1 SWS: Dr.-Ing. Wolfgang Fischer
Dr.-Ing. Reinhard Döbbelin
Dipl.-Ing. Julia Bauch

- system design by combinations of basic circuits
- selected advanced circuits, e. g.
 - power factor correction
 - switched mode power supplies
 - bidirectional operation of DC/DC converters
- selected systems with advanced circuits, e. g.
 - grid-connected multi-stage converters

Power Electronic Components and Systems

WS V 2 SWS: Prof. Dr.-Ing. Andreas Lindemann
Dr.-Ing. Reinhard Döbbelin
Ü 1 SWS: Dr.-Ing. Reinhard Döbbelin
Dr.-Ing. Wolfgang Fischer

- power electronic components
 - active devices
 - * derivation of device base equations
 - * functionality, ratings and characteristics of IGBT, MOSFET and diode
 - * packaging and assembly
 - passives
 - * inductive components — inductors, transformers
 - * capacitive components — capacitors
- power electronic systems
 - component stress in selected systems
 - dimensioning
 - reliability

2.4.3 Abgeschlossene Forschungsprojekte

1. Aghai, Fahad: Advanced topologies of power electronic converters for PV applications
2. Eligül, Erkut: High-power converters for traction applications
3. Maji, Sourav: DC-based micro- and nanogrids for power distribution
4. Undrakonda, Bhargava: AC-based nanogrids for power distribution
5. Khan, Muhammad I.: Solid-state transformers and their application
6. Birudurath, Nithin Krishna: Wireless power transfer for automotive applications
7. Dhakal, Niresh: Innovative ferromagnetic materials
8. Dhital, Raju: Coupled inductors
9. Repalle, Shiva Chaitanya: Fault ride-through strategies for VSC HVDC systems

2.4.4 Abgeschlossene Bachelor- und Studienarbeiten

1. Richter, Dennis: Untersuchung von effektiven Strommessverfahren für sehr schnell schaltende Leistungshalbleiter

2.4.5 Abgeschlossene Master- und Diplomarbeiten

1. Amiri, Hadi: Experimenteller Aufbau eines modularen Multilevelumrichters
2. Xia, Yan: Generalisierte Modulationsstrategie für ein HGÜ-System mit mehreren Wandlern
3. Zhang, Yongchun: Analyse des Schaltverhaltens paralleler CoolMOS-Transistoren
4. Preibisch, Alexander: Optimierte Sekundärmodul
5. Hönow, Andreas: Einfluss des Steuerverfahrens eines Stromrichters auf die geleitete und gestrahlte Störemission
6. Behrens, Linda: Analyse von Simulationsmodellen leistungselektronischer Systeme zur Nachbildung der EMV-Eigenschaften
7. Chen, Cheng: Eigenschaften von DC/DC-Wandlern mit GaN-MOSFETs
8. Richert, Stefan: Untersuchung eines IGBT-Moduls
9. Krykun, Oleksandr: Aufbau und Inbetriebnahme eines mittels Dreipunkt-Umrichters gespeisten Antriebssystems
10. Reichardt, Franz: Ermittlung der parasitären Elemente komplexer Leiterstrukturen mit Hilfe des Feldsimulationsprogramms FastHenry
11. Nguyen, Son Thai: Hochintegrierte leistungselektronische Wandler
12. Wirtz, Nikolaus: Multiterminal HVDC für die Integration von Windenergie und für die Unterstützung von AC-Netzwerken
13. Winkler, Adrian: Einfluss parasitärer Elemente in Leistungshalbleitern auf das gestrahlte EMV-Verhalten

2.5 Institutsebene

2.5.1 Kooperationen

Doppeldiplomprogramm mit der Technischen Universität Wrocław — Verteidigung und feierliche Zeugnisübergabe¹

Das bereits seit vielen Jahren laufende Doppeldiplomprogramm zwischen der Technischen Universität Wrocław und der Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg bietet Studenten die Möglichkeiten, an beiden Universitäten Lehrveranstaltungen zu belegen und ihre Masterarbeit an der jeweiligen Partneruniversität zu verfassen. Der Abschluss, das sogenannte Doppeldiplom, wird von beiden Universitäten anerkannt.

Der aktuelle Jahrgang umfasst sechs Studenten, die ein Jahr an der OvGU studierten und ihren Masterabschluss im Rahmen eines Prüfungskolloquiums am LENA erfolgreich verteidigten. Die Themenvielfalt reicht von der Netzüberwachung durch Phasor Measurement Units über die Steuerung eines stationären Batteriespeichers bis hin zur Filterauslegung von Hochspannungsgleichstromübertragungen (HGÜ) für Offshore-Windparks.

Tabelle 2.1: Doppeldiplomstudenten im Jahr 2014

<i>Name</i>	<i>Titel der Masterarbeit</i>
Wasim Al-Ghafir	State Estimation Algorithms with PMU data availability
Rafal Staszewski	Implementation of Hybrid State Estimation Algorithms in MATLAB/Simulink
Jakub M. Chmielewski	Speicherprogrammierbare Steuerung für ein stationäres Batteriespeichersystem
Navid Torabpourshiraz	Development of an application web server for diagnostic devices in fuel cell systems
Ivan Fil	AC-Filterauslegung für ein physikalisches HGÜ-Labormodell
Ibon Terrazas Velez	A holistic investigation of various energy carriers and their interconnections to improve the energy efficiency in enterprises

Traditionell erfolgt die feierliche Übergabe der Zeugnisse im Rahmen der Inauguration an der Technischen Universität Wrocław. Anfang Oktober überreichten Professor Waldemar Rebizant (Dekan der Fakultät für Elektrotechnik der Technischen Universität Wrocław), Professor Andreas Lindemann (Dekan der Fakultät für Elektrotechnik und Informationstechnik der Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg), Professor Ralf Vick (Institut für Medizintechnik der OvGU) und Professor Zbigniew Styczynski (LENA, OvGU) die Diplome an die Doppeldiplomstudenten.

2.5.2 Gremien

IEEE Student Branch Neuausrichtung²

Nachdem es im Jahr 2013 etwas ruhiger wurde um die Student Branch der Otto-von-Guericke-Universität, fanden dieses Jahr während des Stammtischtreffens im Juli Neuwahlen des Vorstandes

¹von Dr.-Ing. Maik Heuer

²von Dipl.-Ing. F. Grieger



Abbildung 2.1: Aushändigung der Doppeldiplome durch Professor Ralf Vick an die Doppeldiplomstudenten (04. Oktober 2014)

statt. Dieser setzt sich nun aus den drei wissenschaftlichen Mitarbeitern M. Sc. Lars Middelstädt (Chairman), Dipl.-Ing. Andreas Mantzke (Vice Chairman), Dipl.-Ing. Folkhart Grieger (Secretary) und dem Studenten Nils Harder (Treasurer) zusammen. Bei dem Stammtischtreffen wurde eine Neuausrichtung der Branch mit dem Ziel beschlossen, neben den Studenten der Energietechnik auch vermehrt Studenten anderer Vertiefungen anzusprechen. Mit der Wahl des Vice-Chairman Andreas Mantzke vom Lehrstuhl der Theoretischen Elektrotechnik ist ein erster entscheidender Schritt in diese Richtung bereits getan. Des Weiteren wurde beschlossen, enger mit dem Fachschaftsrat der FEIT zusammenzuarbeiten, um einem größeren Kreis von Studenten die Vorteile einer Mitgliedschaft in der Branch näher zu bringen. Hierzu gehören eine bessere Vernetzung der Studenten mit den Mitarbeitern, die in der Branch vertreten sind, sowie die Möglichkeit größere Projekte, wie z. B. Exkursionen, praxisnahe Angebote des Fachschaftsrates oder aber auch Grillabende, effektiver gestalten zu können.

IEEE Student Branch — Teilnahme an Xtreme Programming Competition 8.0 ³

Am 18. Oktober fand der mittlerweile jährlich vom IEEE organisierte internationale 24 Stunden Programmierwettbewerb „*IEEE Xtreme Programming*“ statt, welcher dieses Jahr zum 8. Mal ausgetragen wurde. Die IEEE Student Branch der Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg stellte die zwei Teams „*HackerFall*“ und „*testOvGU*“, bestehend aus Andreas Mantzke, Sebastian Südekum, Lars Middelstädt, Nils Harder und Folkhart Grieger, siehe Abbildung 2.2. Im internationalen Vergleich belegte das Team „*HackerFall*“ mit 1028 Punkten den Platz 377 und das Team „*testOvGU*“ den Platz 1014 von insgesamt 1726 aktiv teilnehmenden Teams. In der nationalen Wertung reichte es für Platz 7 und 9. Für eine erstklassige leibliche Versorgung der Teilnehmer sorgte unter anderem Julia Bauch. Dies ermöglichte es den Programmierern, insgesamt 23 Stunden von 2:00Uhr bis 1:00 die gestellten Aufgaben zu bearbeiten.

³von Dipl.-Ing. F. Grieger



Abbildung 2.2: Teilnehmer IEEE Xtreme Competition 8.0 v. l. n. r.: Sebastian Südekum, Andreas Mantzke, Folkhart Grieger, Nils Harder, Lars Middelstädt

2.5.3 Exkursionen

Exkursion zur Infineon AG im Rahmen des Chapter-Meetings des IEEE Joint IAS/PELS/IES German Chapters⁴

Am 17. und 18. Juli 2014 nahmen mehrere Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter des Lehrstuhls für Leistungselektronik am Chapter-Meeting des IEEE Joint IAS/PELS/IES German Chapters teil. Diesmal hatte die Firma Infineon Technologies AG an ihren Standort Warstein-Belecke eingeladen. Hier werden von rund 1700 Mitarbeitern aus 24 Nationen bipolare Leistungshalbleiter entwickelt und produziert. Das Produktportfolio besteht aus IGBT-Modulen, Stacks sowie Thyristoren und Dioden in Modul- oder Scheibenzellenbauform. Diese Schlüsselbauelemente finden unter anderem Anwendung in industriellen Antriebssystemen, in der Traktion, in Windkraft- und Solaranlagen, in der Energietechnik sowie in der Automobilelektronik und in diversen Stromversorgungen.

In einer Reihe von Vorträgen wurde ein Einblick in die Tätigkeit des Unternehmens gegeben. Die Ausführungen zur bewegten Geschichte des Standortes Warstein-Belecke war für die meisten Zuhörer neu und hoch interessant, da hiermit auch die Historie der Leistungselektronik als wichtiges Gebiet der modernen Elektrotechnik verbunden ist. Weitere Vorträge befassten sich mit dem aktuellen Stand der Technik und der zukünftigen Entwicklung. Es wurden insbesondere die Potenziale der neuen Halbleiterwerkstoffe SiC und GaN aufgezeigt. Ein Vortrag über praktische Aspekte der Handhabung und Montage von Leistungshalbleiter-Modulen beschloss die erste Vortragsrunde.

Der Tag klang mit einer Abendveranstaltung auf dem herrlichen Möhnestausee aus, die Gelegenheit gab für viele interessante Gespräche unter Fachkolleginnen und -kollegen. Am zweiten Tag wurde das umfangreiche Programm mit einem Vortrag zur Leistungselektronik als Schlüssel zur Mobilität fortgesetzt. Die anschließende Betriebsbesichtigung gab einen Einblick in die Fertigungstechnologien der Bipolartechnik und in die Arbeit der Entwicklungsabteilungen.

Mit dem üblichen Informationsaustausch zum IEEE Business und einem gemeinsamen Mittagessen klang das Chapter-Meeting aus. Die große Zahl der Teilnehmer aus der Industrie und dem universitären Bereich sowie die heterogene Zusammensetzung des Chapters aus jungen studentischen sowie aus erfahrenen IEEE-Mitgliedern zeugen von dem großen Wert der Chapter-Aktivitäten. Dem Gastgeber Infineon Technologies AG sei für die Organisation dieser gelungenen Veranstaltung gedankt.

⁴von Dr.-Ing. Wolfgang Fischer

Exkursion zur Block Transformatoren-Elektronik GmbH im Rahmen des Chapter-Meetings des IEEE Joint IAS/PELS/IES German Chapters⁵

Die Firma Block Transformatoren-Elektronik GmbH lud am 20. und 21. November 2014 die Mitglieder des IEEE Joint IAS/PELS/IES German Chapters nach Verden (Niedersachsen) ein. Insgesamt fünf Mitglieder der IEEE Student Branch der Otto-von-Guericke-Universität, wissenschaftliche Mitarbeiter und Studenten des Lehrstuhls für Leistungselektronik, fuhren zu diesem Meeting, das unter dem Thema „Induktive Wickelgüter in der heutigen und zukünftigen Leistungselektronik“ stand. Die Firma Block Transformatoren-Elektronik GmbH, die dieses Jahr ihr 75 jähriges Bestehen feierte, gehört zu den weltweit führenden Unternehmen im Bereich Transformatoren-, Drossel- und Filterbau. Neben diesen Wickelgütern werden auch elektronische Schaltnetzteile entwickelt und gefertigt sowie ein Großteil der notwendigen Zubehörarbeiten wie Spritzgießen von Kunststoffteilen, Blechbearbeitung für Gehäuse und Gießharzverguss von den rund 700 Mitarbeitern in Verden vorgenommen.

Nach der Begrüßung und einem Mittagsimbiss, der, wie die Kaffeepausen und die Abendveranstaltung, die Möglichkeit zum Erfahrungs- und Meinungsaustausch zwischen den Teilnehmern bot, folgten mehrere Fachvorträge. Dr. D. Kampen und Herr M. Owzareck stellten in fünf Vorträgen die Produktbreite und Forschungsarbeiten der Firma Block vor. Dabei wurden u. a. Themen wie die Kühlmöglichkeiten von Wickelgütern, Anforderungen an Wickelgüter für die Bahntechnik, Aluminium als Leitermaterial und die Modellierung von Kernmaterialien behandelt. Die externen Vorträge u. a. von der Jade Hochschule Wilhelmshaven, der Fachhochschule Ostwestfalen-Lippe sowie der Universität Bremen über Hybrid-Hochsetzsteller, Energierückspeicherung von Frequenzumrichtern, Wide-Bandgap-Komponenten und Verhalten von Leistungshalbleitern unter Feuchtigkeitseinfluss trugen zu einem interessanten und vielseitigen Themenspektrum bei.

Beim Firmenrundgang konnten die Teilnehmer Einblicke in die Fertigung, Entwicklungslabore sowie die Teststände und das Lager gewinnen. Sicherlich beeindruckend waren die unterschiedlichsten Maschinen zur Bewicklung von Ring- und Stabkernen mit Runddraht oder Folie sowie der große Anteil an Handarbeit, der trotz aller Automatisierung notwendig ist. Neben diesen fachlichen Informationen konnte im Rahmen einer Führung durch den Verdener Dom einiges über die Stadtgeschichte gelernt werden. Im Teil „IEEE Business“ gab Prof. Omid Forati Kashani, Chairman des Chapters, einen Überblick die Aktivitäten und Auszeichnungen des Chapters in den vergangenen zwei Jahren seiner Amtszeit. Anschließend wurde das ExCom des IAS/PELS/IES German Chapters für 2015/2016 gewählt. Zum Abschluss des Meetings verabschiedete Herr Wolfgang Reichelt, Geschäftsführer der Firma Block Transformatoren-Elektronik GmbH, die Teilnehmer.

⁵von Dipl.-Ing. Julia Bauch



Studentenexkursion vom 17. bis 20. Juni 2014 nach Prag⁶

Im Juni 2014 wurde durch den Lehrstuhl Elektrische Netze und Alternative Elektroenergiequellen (LENA) eine Fachexkursion nach Prag organisiert. Eine Gruppe, bestehend aus 45 Teilnehmern, hat eine wunderschöne Möglichkeit bekommen, wissenschaftliche Kenntnisse, die im Verlauf des Studiums vermittelt wurden, in der Praxis weiter vertiefen zu können. Während der Exkursion bekam die Gruppe nicht nur die Gelegenheit sich mit fachlichen Aspekten, wie zum Beispiel der Energieversorgung der tschechischen Republik zu beschäftigen, sondern lernte fernerhin auch die etwa tausendjährige Geschichte und Architektur der Stadt Prag sowie die prachtvolle tschechische Natur kennen und gewann einen detaillierten Einblick in die Kunst des Bierbrauens.

Auf dem Weg nach Prag stand zunächst der Besuch des Braunkohlekraftwerks Lippendorf auf dem Programm, welches etwa 15 km südlich von Leipzig liegt. Das mehr als zwei Milliarden Euro teure Kraftwerk wurde im Jahr 2000 offiziell in Betrieb genommen und hat zwei Kraftwerksblöcke mit einer elektrischen Gesamtnennleistung von 1867 MW. Nach der sehr interessanten und vor allem überaus detaillierten Werksbesichtigung mit Herrn Sinkwitz (Vattenfall Europe Generation AG & Co.KG) gab es ein Mittagessen zusammen mit dem dortigen Personal in der Werkskantine. Den Höhepunkt der Besichtigung selbst krönte ein Besuch der Aussichtsplattform auf einem der Kesselhäuser, von der aus die Exkursionsteilnehmer eine atemberaubende Aussicht auf das Umland genießen konnten.

Nach einer etwa dreistündigen Fahrt kam die Gruppe in der tschechischen Hauptstadt Prag an und wurde direkt zur Technischen Universität Prag ČVUT gefahren. Die Universität wurde im Jahr 1863 gegründet und hat heutzutage acht Fakultäten und zwei separate Hochschulinstitute. Während der Besichtigung haben Prof. Švec (ČVUT) und auch Prof. Styczynski (OvGU) jeweils ihre Universitäten, Lehrstühle und Forschungsprojekte vorgestellt. Anschließend bekamen alle Teilnehmer einen Einblick in die Forschungslaboratorien des Instituts für Elektrische Energiesysteme der TU Prag, in denen unter anderem mehrere Demonstrationsversuche im Hochspannungslabor durchgeführt und Lichtbogen und Kurzschluss in der Realität vorgestellt wurden. Der Tag endete für die Studenten mit einer eindrucksvollen und sehr informativ geführten Besichtigung der berühmten Prager Altstadt.

Am darauffolgenden Tag besuchte die Exkursionsgruppe den Tschechischen Energiekonzern ČEZ. Dort gab es zunächst einen Einführungsvortrag zur Energieerzeugung und zum Thema Energiehandel im Kontext der aktuellen Marktsituation durch Herrn Stanislav Kostka (ČEZ). Anschließend folgte eine umfangreiche Präsentation zur strategischen Ausrichtung des Unternehmens, zur allgemeinen Entwicklung des europäischen und hier vor allem des tschechischen Energiemarktes

⁶ von Dipl.-Ing. Steffen Rabe, Polina Sokolnikova

durch Herrn Jiří Šumbera (ČEZ) sowie zur tschechischen Perspektive auf die Entwicklungen und Auswirkungen der Energiewende im Nachbarland Deutschland. Daraufhin entwickelte sich natürlich eine angeregte und intensive fachliche Diskussion zwischen allen Exkursionsteilnehmern aus Magdeburg und den beteiligten Mitarbeitern des Energiekonzerns ČEZ.

Das nächste Ziel war der nationale Stromnetzbetreiber ČEPS. Dort gab es nach der Begrüßung durch Herrn František Cahyna von ČEPS zunächst ein Mittagessen mit vielen verschiedenen tschechischen Spezialitäten. Anschließend bekam die Gruppe zwei Präsentationen geboten. Zunächst wurde als Einführung umfassend das Unternehmen durch Herrn Tomáš Veselý (ČEPS) vorgestellt und anschließend folgte ein Vortrag zur Betriebsführung des tschechischen Übertragungsnetzes, präsentiert durch Herrn Petr Henych (ČEPS). Passend zu dieser Präsentation gab es dann natürlich auch noch die Möglichkeit für Alle, die Netzleitwarte von ČEPS zu besuchen, um einen unmittelbaren Überblick über den Betrieb des tschechischen Transportnetzes zu bekommen und die Arbeit der Dispatcher live verfolgen zu können. Zum Ende des zweiten Exkursionstages bot sich dann noch die schöne Gelegenheit, ein Umspannwerk in der Realität zu sehen. Die Gruppe erhielt dazu eine sehr detaillierte und äußerst sachkundige Führung durch die Schaltanlage, durchgeführt von Herrn Petr Steiner (ČEPS). Am Abend folgte dann eine Einladung des anwesenden Leiters Kundenmanagement der 50Hertz GmbH, Herrn Michael Kranhold, in die Prager Brauereikneipe ‚U Fleků‘. In vertiefenden Gesprächen gab Herr Kranhold den Studenten dabei auch interessante Einblicke in sein Aufgabengebiet und in die Arbeit eines deutschen Übertragungsnetzbetreibers. Des Weiteren gab er den Studenten auch zahlreiche wertvolle Ratschläge unter anderem für die spätere berufliche Zukunft.

Am Morgen des dritten Exkursionstages führte der Weg bereits um acht Uhr zur Talsperre und zum Wasserkraftwerk Orlik — etwa 80 km südlich von Prag gelegen. Die Anreise zur Talsperre erfolgte von der Burg Orlik nad Vltavou über einen Teil der angestauten Moldau. Um das Kraftwerk zu erreichen musste die Gruppe dazu auf ein Schiff umsteigen. Während der Fahrt auf dem Stausee genossen alle Teilnehmer die wunderschöne und faszinierende tschechische Natur in dieser Region. Am Zielort angekommen, gab es eine erkenntnisreiche Führung durch das Wasserkraftwerk, welches eine elektrische Gesamtleistung von 364 MW besitzt. Als einen perfekten Abschluss gab es danach eine Exkursion in die Pilsner Urquell Brauerei nach Plzeň. Dort hatte die Gruppe während einer Führung zur Geschichte und Herstellung des berühmten tschechischen Bieres natürlich auch die Gelegenheit, das Bier zu probieren und ein paar Souvenirs zu kaufen bevor nach der Rückfahrt aus Plzeň ein freier Abend dazu einlud, auch ein wenig das studentische Nachtleben von Prag zu erkunden.

Am vierten und letzten Tag stand vor Beginn der Rückreise aus Tschechien noch das Kernkraftwerk Temelín auf dem Besuchsprogramm. Zu diesem Kraftwerk gibt es ein sehr empfehlenswertes Besucherzentrum mit einer sehr interessanten und aufwendig zusammengestellten, interaktiven Ausstellung zu allen Fragen rund um das Thema Kernenergie. Hier erhielten alle Teilnehmer unter anderem auch Einblicke in das Innere des Kernkraftwerks mittels eines speziellen 3D-Films.

In den vier Tagen der Exkursion waren sehr viele interessante und wertvolle Informationen über das Energiesystem der Tschechischen Republik, über Prag und über die tschechische Kultur zu erfahren. Im Namen aller Teilnehmer danken wir den Unterstützern der Reise recht herzlich und natürlich unseren beiden Organisatoren der LENA-Studentenexkursion 2014, Herrn Prof. Zbigniew A. Styczynski und Herrn Dipl.-Ing. Steffen Rabe.



Abbildung 2.3: Exkursionsgruppe vor dem Besucherzentrum des Kernkraftwerks Temelín

Studentenexkursion zum ENERCON-Werk Magdeburg Rothensee⁷

Am 27.06.2014 fand die Exkursion zu ENERCON in Magdeburg statt. Sie wurde für Studenten der Fakultäten Elektrotechnik und Informationstechnik sowie Maschinenbau organisiert. Das Interesse an dieser Exkursion war relativ hoch, weswegen die 38 Teilnehmer für die Werksführung in zwei Gruppen geteilt werden mussten. Das ENERCON-Werk in Magdeburg-Rothensee befasst sich u. a. mit der Rotorblatt-, der Gondel- und der Generatorfertigung. Hier befindet sich außerdem eine der weltweit größten Onshore-Windenergieanlagen.

Im Anschluss an die Begrüßung haben die Studenten zu Beginn allgemeine Informationen über das ENERCON-Gelände, die Geschichte des Werkes und die geplante Entwicklung erhalten. Nachdem die Fragen beantwortet wurden, zumeist bezüglich der Kosten des Baus einer Windkraftanlage und der geschätzten Deckung des Energiebedarfs, haben die Studenten ausführliche Einblicke in die Fertigungsprozesse erhalten. Im Rahmen der Exkursion wurden verschiedene Fertigungsstandorte gezeigt, an denen die einzelnen Komponenten einer Windkraftanlage gebaut werden. Stationen der Werksbesichtigung waren unter anderem die Fertigung der Rotorblätter, die Fertigung der Generatoren und die Montage der Maschinenträger (Gondeln).

An der letzten Station konnten die Teilnehmer als Highlight die größte Onshore-Windkraftanlage, die ENERCON WEA E-126/7,580 MW, und ihre Mess- und Kontrolleinrichtungen im Inneren des Turmfußes besichtigen. Die wichtigsten Parameter der WEA E-126 (siehe Abbildung 2.4) sind unten angegeben.

Leistung:	7,580 MW
Rotordurchmesser:	127 m
Turmhöhe:	135 m
Turbinenkonzepte:	getriebelos, Drehzahlregung, Einzelblattverstellung
Drehzahl:	5 U/min bis 12,1 U/min

⁷ von M. Sc. Przemyslaw Trojan



Abbildung 2.4: Windkraftanlage E-126 am Standort Magdeburg-Rothensee

IEEE Power and Energy Student Summit 2014 in Stuttgart⁸

Der IEEE Power and Energy Student Summit 2014 (PESS) fand dieses Jahr an der Technischen Universität Stuttgart statt. Die Konferenz ist an Studenten und Doktoranden im Bereich Elektrotechnik gerichtet und fand vom 23. bis 24. Januar 2014 bereits das fünfte Mal statt. Mehr als 20 Studenten und Doktoranden von Universitäten aus ganz Deutschland haben hier die Ergebnisse ihrer Arbeiten (zumeist Masterarbeiten) präsentiert.

Die Konferenz war in 4 Sessions nach folgenden Themengebieten unterteilt:

1. Konventionelle Kraftwerke
2. Erneuerbare Energien
3. Netzausbau / Smart Grids
4. Elektromobilität

Die Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg wurde von B. Sc. Genevieve de Mijola, M. Sc. Anika Magdowski, M. Sc. Manswet Banka und M. Sc. Przemyslaw Trojan vertreten. Letztgenannter gewann mit seinem Paper „Reliability Assessment of Smart Grid“ einen Best Paper Award.

Neben dem rein technischen Teil bereiteten die Organisatoren außerdem eine Abendveranstaltung im Hochspannungssaal des Institutes für Energieübertragung und Hochspannungstechnik (IEH) der TU Stuttgart vor, wo es für die Studenten die Gelegenheit gab, sich besser kennen zu lernen.

2.5.4 Studienwerbung

Maus-Türöffner-Tag am 3. Oktober⁹

Am bundesweiten Türöffner-Tag der „Sendung mit der Maus“ öffnete der Lehrstuhl für Elektromagnetische Verträglichkeit am 3. Oktober erstmalig die Türen der Absorberhalle in der

⁸von M. Sc. Manswet Banka

⁹von Dr.-Ing. Mathias Magdowski



Abbildung 2.5: Gewinner des Best Paper Award PESS 2014 (2.v.r. Przemyslaw Trojan)

Experimentellen Fabrik. In kleinen Experimenten konnten Kinder zwischen 5 und 10 Jahren alles über Funkwellen erfahren.

In Mitmach-Stationen konnten die Kinder ausprobieren, wie ein ferngesteuertes Auto funktioniert, wie die Funksignale übertragen werden und warum sich manche Fernbedienungen gegenseitig stören. Außerdem wurde gezeigt, wie man Funkwellen mit einem Metallgitter unterdrücken kann (siehe Abbildung 2.6) und was das mit Metallgeschirr in der Mikrowelle zu tun hat. Die sechs einstündigen Vorführungen für jeweils etwa 10 Kinder waren mehrere Wochen im Voraus ausgebucht. Die Vorbereitungen und Anstrengungen der Organisatoren wurden mit vielen interessierten, erstaunten und begeisterten Kinderaugen belohnt.

Tag der offenen Tür für Kindergarten- und Grundschul Kinder¹⁰

Vorbereitet wurde der Maus-Türöffner-Tag durch mehrere Tage der offenen Tür für Kindergartenkinder und Grundschulklassen. Diese wurden vom Lehrstuhl für Elektromagnetische Verträglichkeit in Zusammenarbeit mit dem Forschungscampus STIMULATE ausgerichtet. Eingeladen waren jeweils Gruppen von etwa zwanzig sechs- bis zehnjährigen Kindern aus städtischen Kindergärten bzw. Grundschulen. Die Kinder konnten in vier bis fünf Stationen kleine Experimente aus der Elektro- und Medizintechnik ausprobieren.

Dazu gehörten:

1. Was sind Interferenzen? Es wurde erklärt wie ein ferngesteuertes Auto funktioniert, warum sich manche Fernbedienungen gegenseitig beeinflussen und was man dagegen tun kann.

¹⁰von Dr.-Ing. Mathias Magdowski



Abbildung 2.6: Demonstrationsversuch beim Maus-Türöffner-Tag am 3. Oktober – Funkwellen lassen sich durch ein Metallgitter abschirmen (Fotograf: Mathias Magdowski)

2. Was hat sich da versteckt? Die Kinder probierten aus, wie man mit Hilfe von Ultraschall versteckte Dinge in einem Körper sichtbar machen kann.
3. Wie bitte? Es wurde gezeigt, wie man Nachrichten mit Hilfe eines Morse-Codes verschlüsseln und übertragen kann. Die Kinder konnten sich dann gegenseitig eine kurze Nachricht schicken (siehe Abbildung 2.7).
4. Früchte-Memory: Die Kinder versuchten Schnittbilder von Früchten aus einem MRT oder einem Röntgengerät den entsprechenden echten Früchten zuzuordnen.
5. Was leitet Strom? Die Kinder konnten ausprobieren, welche Materialien den elektrischen Strom leiten und mit einer Batterie sowie ein paar Kabeln eine kleine Glühlampe zum Leuchten bringen.

Folgende Grundschulen und Kindergärten nahmen teil:

- Grundschule Biederitz
- Grundschule „Olbetal“ Eichenbarleben
- Grundschule Ottersleben
- Trilinguale Kindertagesstätte Magdeburg
- Johanniter-Kindertagesstätte „Fridolin“
- Johanniter-Kindertagesstätte „Rasselbande“
- Kindertagesstätte „Ohrespatzen“ Wolmirstedt
- Integrative Kindertagesstätte Weitlingstraße

Da alle Kinder mit viel Spaß und großem Interesse dabei waren, sind weitere solcher Aktionen in Planung.



Abbildung 2.7: Kinder senden sich gegenseitig kurze Nachrichten mit Hilfe eines Morse-Gerätes (Fotograf: Peter Knüppel)

Girls'-Day und Boys'-Day am 27. März¹¹

Zum bundesweiten Aktionstag zur Berufs- und Studienorientierung, der am 27. März stattfand, bot auch der Lehrstuhl für Elektromagnetische Verträglichkeit eine Veranstaltung an. In der Absorberhalle gingen sieben Schüler der neunten Klassenstufe dem Thema „Mit wie vielen ferngesteuerten Autos kann man gleichzeitig fahren und warum hört man das Handy im Radio?“ nach (siehe Abbildung 2.8). Anschließend wurden typische Probleme der elektromagnetischen Verträglichkeit praxisnah erläutert und diskutiert.



Abbildung 2.8: Schüler experimentieren beim Girls'-Day und Boys'-Day am 27. März in der Absorberhalle (Fotograf: Stefan Berger)

¹¹von Dr.-Ing. Mathias Magdowski

3 Forschung

3.1 Lehrstuhl für Elektrische Antriebssysteme

3.1.1 Forschungsprofil

Inhalte

Gegenstand der Forschung im Lehrstuhl für Elektrische Antriebssysteme sind neben der elektrischen Maschine auch die Regelung und das leistungselektronische Stellglied sowie die Interaktion der Komponenten im Gesamtsystem.

Neben der Entwicklung neuer und der Weiterentwicklung von bestehenden Konzepten für die Optimierung solcher Systeme, werden auch neue bisher nicht genutzte Anwendungsfelder für elektrische Maschinen erschlossen. Hierfür steht die Vereinfachung der Konstruktion des elektrischen und des mechanischen Systems durch einen angepassten und erweiterten Einsatz der Regelung sowie der Leistungselektronik besonders im Mittelpunkt der Betrachtungen. Ziel ist es, insbesondere die Produktionskosten und den Betriebsaufwand eines elektrischen Antriebssystems zu reduzieren und gegebenenfalls bestehende konventionelle Systeme zu ersetzen.

Schwerpunkte

Magnetisch gelagerte Systeme für universelle Anwendungen Aktiv magnetisch gelagerte Systeme besitzen ein breites Anwendungsspektrum, was auf die bekannten Vorteile, wie Berührunglosigkeit, Verschleißfreiheit und die über die Regelung beeinflussbare Dämpfung und Steifigkeit, zurückzuführen ist. Dem gegenüber steht ein erhöhter Hardware- und Kostenaufwand, bezogen auf Sensorik, Aktorik, Leistungselektronik und Reglerkomponenten. Am Beispiel eines in 5 Freiheitsgraden magnetisch gelagerten Werkzeugmaschinenrundtisches, der in Abbildung 3.1 dargestellt ist, werden verschiedene technische Fragestellungen experimentell untersucht.

Neben einer Erprobung von zentralen und dezentralen Regelungen zur Positionierung des Schwebekörpers werden auch Konzepte für die Kompensation der Nichtlinearität im gesamten Arbeitsbereich analysiert. Dabei bezieht sich die Nichtlinearität auf die Luftspaltabhängigkeit der Induktivität und dem quadratischen Zusammenhang zwischen Magnetkraft und Strom.

Weiterhin werden aufgrund der technischen Realisierung dieser Lagerung, Möglichkeiten der aktiven Schwingungsdämpfung untersucht. Durch Erweiterungen der bestehenden Regelalgorithmen kann eine Dämpfung interner und externer Schwingungen erreicht werden, wodurch dieses Lagerprinzip auch zur Schwingungsisolation eingesetzt werden kann.

Ziel ist es, den höheren gerätetechnischen Aufwand zu verringern, eine höhere Verfügbarkeit und Robustheit sowie universellere Anwendungsmöglichkeiten gegenüber der konventionellen Technik zu erreichen.

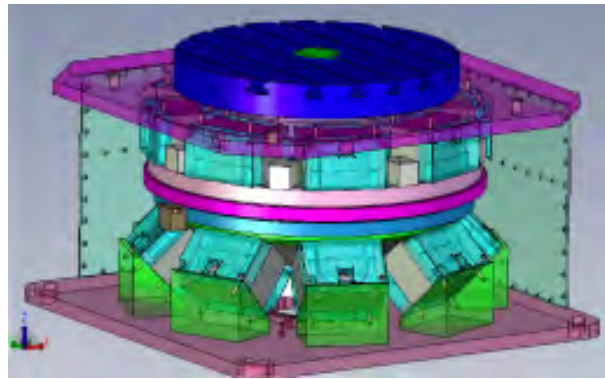


Abbildung 3.1: Magnetisch gelagerter Rundtisch

Gegenseitig ergänzende Auslegung der elektrischen Maschine und der Regelung Die Regelung elektrischer Maschinen basiert fast immer auf der zur regelnden Maschine. Bei der Auslegung der elektrischen Maschinen hingegen, wird meistens der Regler nicht betrachtet. Berücksichtigt man die Möglichkeiten der Regelung schon bei der Maschinenauslegung, wie in Abbildung 3.2 gezeigt ist, so kann z. B. eine höhere Leistungsdichte bei gleichzeitig niedrigerem Produktionsaufwand realisiert werden. Daher werden neue Auslegungskriterien und Auslegungsmethoden der Maschine im Zusammenhang mit der Regelung untersucht. Auslegungsziele wie Leistungsdichte, Wirkungsgrad, Zuverlässigkeit und Produktionsaufwand werden hierbei in Betracht gezogen.

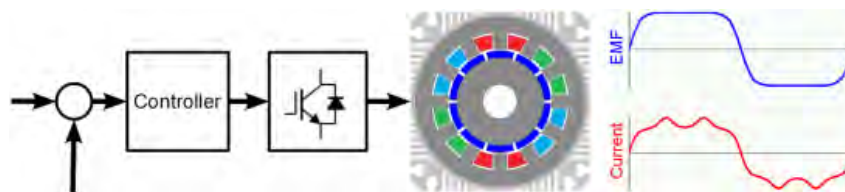


Abbildung 3.2: Regelung von Maschinen nicht sinusförmiger elektromotorischer Kraft

Elektrische Antriebssysteme mit optimaler Integration in der Arbeitsmaschine In elektrischen Antriebssystemen wird in der Regel die elektrische Maschine mit der Arbeitsmaschine mit Hilfe eines mechanischen Übertragungssystems verbunden. Das erlaubt z. B. den Einsatz von standardisierten rotierenden Maschinen. Die Art und die Kenngrößen der Bewegungsabläufe werden dann über Getriebe, Kugelgewindetrieb, Zahnriemen, Kurbeltrieb etc. an die Arbeitsmaschine angepasst.

Mechanischen Übertragungssysteme sind durch ihren Verschleiß und der damit verbundenen Wartung gekennzeichnet und sie beeinflussen zudem die Dynamik, die Zuverlässigkeit und den Wirkungsgrad des gesamten Antriebssystems. In Abhängigkeit der Anwendung können durch die Reduzierung der mechanischen Übertragungssysteme wichtige Vorteile erzielt werden. Dafür muss die elektrische Maschine optimal an die Arbeitsmaschine angepasst werden. Dieser Ansatz, der in Abbildung 3.3 dargestellt ist, erfordert daher neue Konzepte für elektrische Maschinen sowie dessen Auslegung und Regelung.

Lagegeberlose (sensorlose) Regelung elektrischer Maschinen Die Position bzw. die Lage ist eine wichtige Rückführgröße für geregelte elektrische Antriebe. Normalerweise werden hierfür Lagegeber eingesetzt. Sie sind aber ein aufwendiger Bestandteil des Antriebes. Der Lagegeber und die entsprechende Signalübertragung zum Regler sind auch die Ursache für eine erhöhte

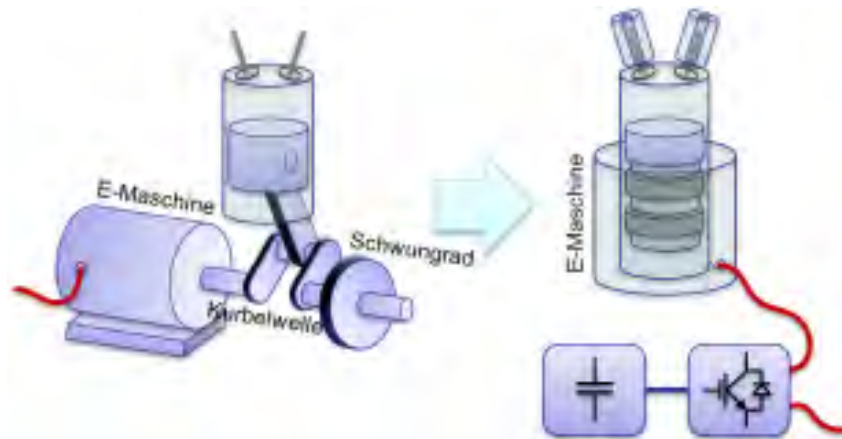


Abbildung 3.3: Einsatz von elektrischen Linearmaschinen bei Verbrennungsmotoren

Störanfälligkeit des Antriebes. In einige Anwendungen kann es auch vorkommen, dass raue Umgebungsbedingungen den Einsatz von Lagegebern verhindern.

Die Lage des Motorläufers kann aber auch indirekt über die Messung nur elektrischer Größen, z. B. Phasenspannung und/oder Phasenstrom, ermittelt werden. Diese Methode wird als sensorlose oder lagegeberlose Regelung bezeichnet und ist in Abbildung 3.4 schematisch gezeigt. Die lagegeberlose Regelung wird schon seit zwei Jahrzehnten in der wissenschaftlichen Literatur behandelt, wurde aber bislang kaum von der Industrie umgesetzt. Der dadurch entstehende Forschungsbedarf bezieht sich besonders auf eine höhere Genauigkeit, Dynamik und Parameterunabhängigkeit, besonders im unteren Geschwindigkeits- und Stillstandsbereich.

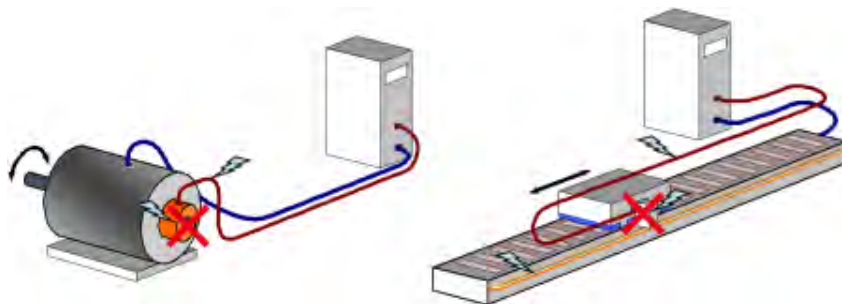


Abbildung 3.4: Sensorlose Regelung elektrischer Maschinen

3.1.2 Forschungsprojekte

Entwicklung einer getriebelos verwendbaren Transversalflussmaschine (TFM) für Anwendungen im Maschinen- und Anlagenbau¹

Einleitung

Im Rahmen des oben genannten Forschungsprojektes werden aktuell experimentelle Untersuchungen an einem durch den Projektpartner Ramme Elektromaschinen GmbH gefertigten Prototyp einer dreisträngigen TFM durchgeführt. Da sich die Konstruktion am Prinzip der TFM der Landert Motoren AG orientierte, konnte der technologische Aufwand gut abgeschätzt und Schwierigkeiten bei der Fertigung frühzeitig erkannt werden. Gleichzeitig wurde das Ziel

¹von Dipl.-Ing. Mario Stamann

verfolgt, den Einfluss der Strangzahl auf die Drehmomentwelligkeit zu untersuchen und eine bessere Ausnutzung industriell verfügbarer Wechselrichtermodule zu realisieren.

Prototypenentwicklung einer dreisträngigen TFM

Die dreisträngige Konstruktion des TFM Prototyps unterscheidet sich von der zweisträngigen TFM durch einen verlängerten Läufer mit dreireihiger Permanentmagnetanordnung, während im Stator 3 Ringwicklungen mit jeweils 20 Blechpaketen entsprechend versetzt angeordnet sind. In Abbildung 3.5 und 3.6 sind die Außenläufer und die Statorwicklungen beider Maschinen vergleichend dargestellt. Entsprechend der um einen Strang erweiterten TFM ergeben sich die in Tabelle 3.1 aufgelisteten Maschinendaten.

Tabelle 3.1: Nenndaten der dreisträngigen TFM (Ramme Elektromaschinen GmbH)

Anzahl der Phasen:	3
Anzahl der Windungen pro Wicklung:	236
Polpaarzahl pro Strang:	20
Nenn Drehzahl:	$900 \frac{1}{\text{min}}$
Nennstrom:	3 A
Nenn Drehmoment:	6,3 N m
maximaler Strom:	7,5 A
maximales Drehmoment:	13,5 N m
Nennleistung:	0,6 kW

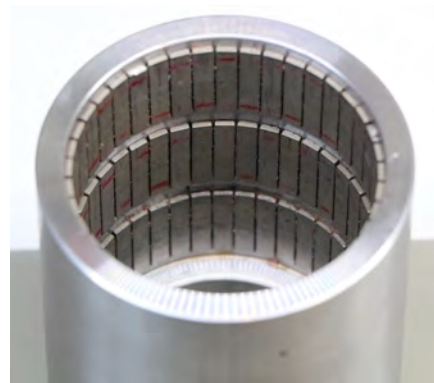
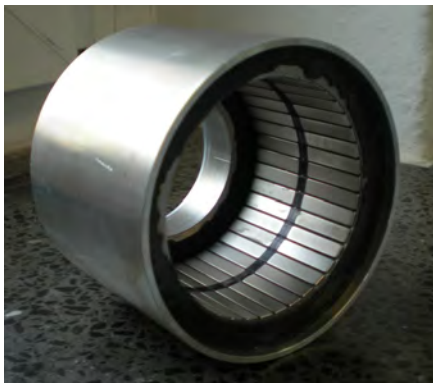


Abbildung 3.5: Rotor der zweisträngigen TFM (links) und Rotor der dreisträngigen TFM (rechts)

Alle experimentellen Untersuchungen an der dreisträngigen TFM wurden mit einem standardisierten Wechselrichtermodul durchgeführt. Durch den Einsatz der feldorientierten Regelung konnte ein zuverlässiger geregelter Betrieb erreicht werden, der die Basis für die Implementierung von Methoden zur Verringerung der Drehmomentwelligkeit bildete. Weiterhin wurde die optimale Stromform der dreisträngigen TFM berechnet, wodurch eine Optimierung der Drehmomentwelligkeit durch eine entsprechende Ansteuerung des Wechselrichters möglich ist. Vorhandene Unsymmetrien, die durch Fertigungstoleranzen entstanden sind, wurden messtechnisch analysiert und konnten teilweise durch veränderte Ansteuerverfahren kompensiert werden.

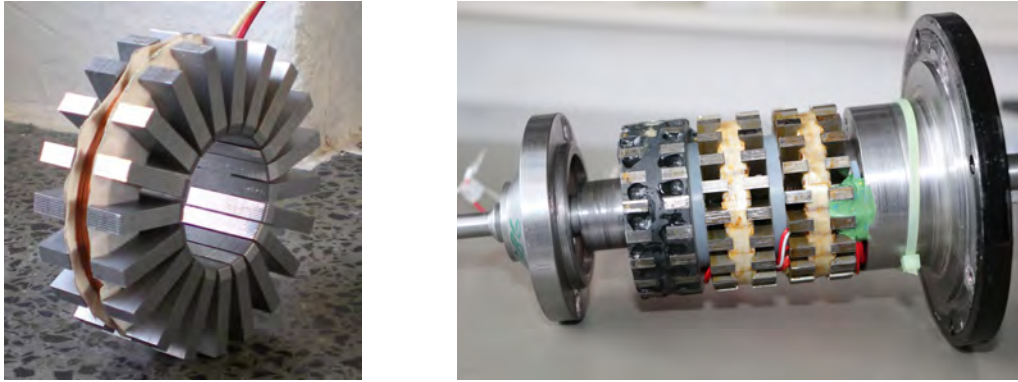


Abbildung 3.6: Statorwicklung der zweisträngigen TFM (links) und Stator der dreisträngigen TFM (rechts)

FEM basierte Auslegung eines TFM Direktantriebes

Im Bereich Flusskraftwerke besteht der Wunsch hocheffiziente Generatoren einzusetzen, um einen möglichst hohen Wirkungsgrad zu erreichen. Dabei bieten sich direkt angetriebene Generatoren mit Permanenterregung an, deren Nenndrehzahl im Bereich zwischen $10 \frac{1}{\text{min}}$ und $20 \frac{1}{\text{min}}$ bei sehr großen Nenndrehmomenten liegt. Da diese hohen Anforderungen nur teure Sondermaschinen erfüllen können, ergibt sich ein Anwendungsfeld für die Transversalfeldmaschine als Generator.

Die prinzipbedingt hohe Drehmomentdichte und auch die typisch hohe Polpaarzahl bei sehr hohem Wirkungsgrad machen diesen Maschinentyp interessant als langsamlaufenden hocheffizienten Flusskraftgenerator. Unter Berücksichtigung aller technischen Anforderungen wurde eine analytisch berechnete magnetische und elektrische Auslegung des Generators mit einer Nennleistung von 4 kW bei einer Nenndrehzahl von $20 \frac{1}{\text{min}}$ durchgeführt. Tabelle 3.2 enthält alle relevanten Maschinendaten.

Tabelle 3.2: Nenndaten des TFM-Flusskraftwerksgenerators als Direktantrieb

Anzahl der Phasen:	3
Anzahl der Windungen pro Wicklung:	450
Polpaarzahl pro Strang:	12
Nenndrehzahl:	$20 \frac{1}{\text{min}}$
Nennstrom:	10 A
Nenndrehmoment:	2000 N m
maximaler Strom:	20 A
maximales Drehmoment:	4000 N m
Nennleistung:	4 kW

Auf Basis dieser analytischen Grundkonzeptionierung konnten mit Hilfe von FEM-Modellen numerische Simulationen durchgeführt werden. Mit den daraus resultierenden Flussdichteverteilungen im Eisen und im Luftspalt, ist es möglich das maximale Drehmoment zu berechnen. In Abbildung 3.7 ist der konstruktive Generatöraufbau in der FEM-Simulation eines Stranges mit Flachmagnetanordnung dargestellt, während die dazugehörigen geometrischen Abmessungen in Tabelle 3.3 zu finden sind.

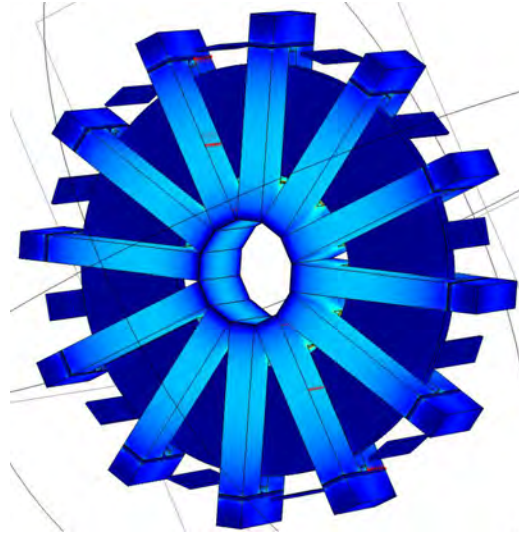


Abbildung 3.7: Konstruktiver Aufbau des TFM-Generators eines Stranges in der FEM-Simulation

Tabelle 3.3: Geometrische Abmessungen des TFM-Flusskraftwerksgenerators

Läuferinnendurchmesser:	652 mm
Läuferlänge:	330 mm
Wellendurchmesser:	90 mm
Statorschenkelhöhe:	234 mm
Statorschenkelbreite:	34 mm

Zur Optimierung des Wirkungsgrades wurde der Einsatz der Halbachmagnetanordnung und der Flachmagnetanordnung (siehe Abbildung 3.8) vergleichend simuliert. Durch die Halbachmagnetanordnung verringern sich die Streuflüsse deutlich, die direkt von zwei nebeneinander liegenden Permanentmagneten verursacht werden. Als Ergebnis ergibt sich eine Verbesserung des Wirkungsgrades, während die Fertigungskosten durch den Einsatz voluminöserer Permanentmagnete steigen.

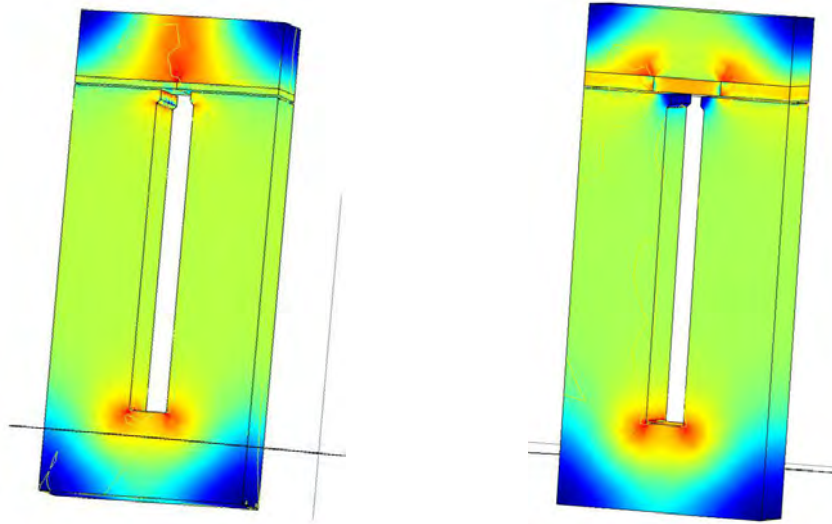


Abbildung 3.8: Vergleich der simulierten Flussdichteverteilung im Eisenkreis in Flachmagnetanordnung (links) und in Halbachmagnetanordnung (rechts)

Zusammenfassung

Auf Grundlage der bisherigen Untersuchungsergebnisse des ersten Prototyps ist die Fertigung eines langsamlaufenden Transversalfussgenerators geplant. Dieser zweite Prototyp muss in einem Testfeld in Betrieb genommen werden, um messtechnische Aussagen zur Effizienz und den maschinenspezifischen Eigenschaften machen zu können. Hierbei ist besonders die Eignung der TFM für getriebelose Antriebe im Maschinenbau zu prüfen, wobei das erreichbare Momenten-Masseverhältnis bei kleinen Drehzahlen und eine Kostenbetrachtung im Vordergrund stehen.

Maximisation of back EMF in a high performance PMSM machine with concentrated windings²

Abstract PMSM machines with concentrated windings have become more and more popular over the last years. The biggest drawbacks of these machines are high cogging torque and the form of the back EMF. Standard approaches try to shape the back EMF sinusoidal to use standard field orientated control. In the following paper an approach is shown to shape the EMF by using derivative free minimization. Using this simple algorithm the back EMF can be maximised by modifying the machine geometry. Thus allowing to combine the benefits of easy construction and maximal back EMF. The maximised EMF is non sinusoidal but there are several approaches to compensate non sinusoidal EMF by control. For this case it is shown that by changing the stator geometry for a given copper loss the output torque can be increased by 9%.

²von Dipl.-Ing. Niklas Förster, Dr.-Ing. Stefan Palis und Prof. Dr.-Ing. Roberto Leidhold

Introduction In the last years the PMSM machines with concentrated windings have gained high interest due to their achievable high power density and torque.

The main advantages being offered by PMSM machines with concentrated windings are higher copper fill factors of the winding, reduction of copper in the end winding and much easier construction. The biggest drawbacks of this technology are the non sinusoidal back EMF and the cogging torque. Cogging torque leads to vibrations and speed ripples, which is especially distorting in position control.

There are several approaches to minimize cogging torque. They can be classified in those based on the design of the machine and those based on control.

One very common approach based on design, is to skew the magnets. Skewing is an effective way to minimize cogging torque but the skewing angle has to be chosen very carefully, it is mechanically more complicated to construct and the maximum torque is reduced. This has the disadvantage that the maximum power density of the machine is reduced compared to a machine with surface magnets.

The disadvantage of all control algorithms is that they need a position sensor and a very fast current control loop to work properly. The fast current control loop is necessary as the frequency of the cogging torque is higher than the fundamental frequency. Another approach, which does not require a position sensor, is to compute a compensating signal for the cogging torque using current derivative measurements. Applying this approach the cogging torque can be reduced effectively.

In addition, there are also methods for reducing torque ripple induced in machines with non-sinusoidal EMF through control. For such machines the current waveform is programmed with the objective of suppressing the excitation torque ripple and improving the efficiency. In this contribution the problem of designing a PMSM machine with concentrated windings in order to achieve a maximum back EMF is studied.

Maximising the back EMF The aim of this contribution is to design of a machine with a simple construction and an increased power density in comparison to standard PMSM drives. In order to achieve an easy construction a machine with concentrated windings is chosen. To make the construction even simpler the stator teeth have a shape with parallel phases and there are no pole shoes. In this case it is possible to simply stick the pre build winding onto the stator.

For means of comparison a reference design (Fig. 3.9a) is chosen, where in the area of the stator containing the teeth, the area of copper and iron is equally distributed as depicted in Fig. 3.9b.

This machine was modelled using FEM Software. The mesh of the model has 22000 knots, the time discretisation is 0.15 ms one simulation about 10 minutes of time.

Such a machine has a back EMF shown in Fig. 3.10a. The parameters of the machine are given in Tab. 3.4. The RMS value of the EMF is 0.0132 V at a rotor speed of 60 rpm. Supplying this machine with a three phase system in a field orientated control with a maximum current density $\hat{S} = 6 \frac{\text{A}}{\text{mm}^2}$ an average momentum of $M = 6.92 \text{ N m}$ is achieved.

Taking a look at the back EMF of the reference design in Fig. 3.10a, it can be seen that the shape of the back EMF is nearly sinusoidal. Here, the fundamental wave of the Fourier spectrum has a proportion of 83 %. In contrast the momentum of the reference design shown in Fig. 3.10b is not sinusoidal this is due to the cogging momentum and higher frequency components of the back EMF.

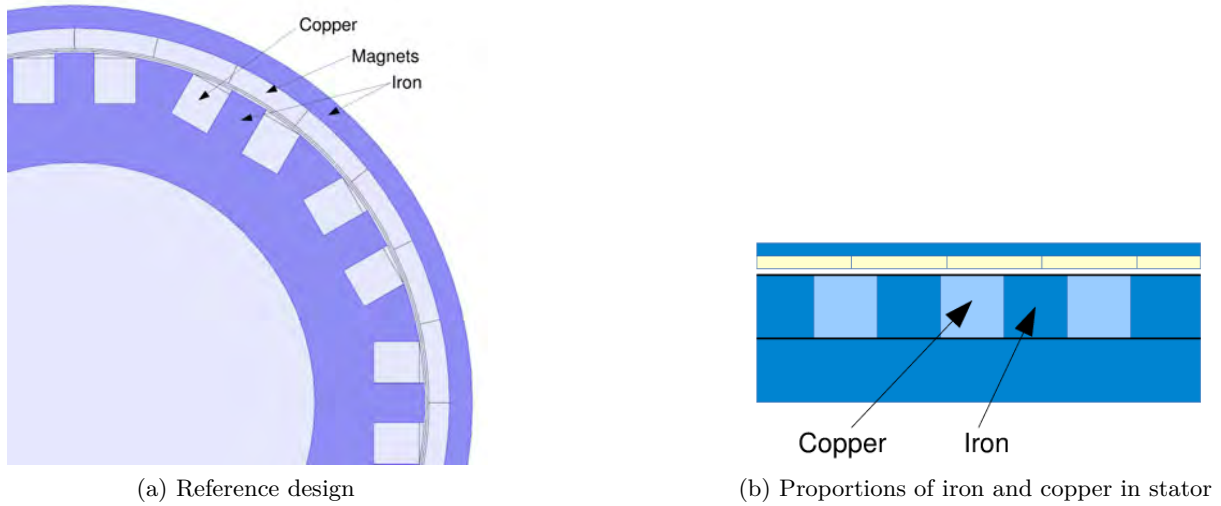


Figure 3.9: Geometry of synchronous machine with 24 slots and 28 poles.

Table 3.4: Parameters of the machine.

outer radius	r_a	96 mm
thickness of rotor iron	d_r	5.5 mm
thickness of the magnets	d_m	5 mm
air gap	a	1 mm
winding cross section area	A	222 mm ²
current density	\hat{S}	6 $\frac{A}{mm^2}$
depth of the machine	d	20 mm

In the following, the back EMF of the machine will be maximised by changing the coil geometry and keeping the coil cross section area constant. Here, the root mean square of the back EMF

$$J' = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T \text{EMF}(t)^2 dt} \quad (3.1)$$

has to be approximated by its discrete time equivalent

$$J = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{j=0}^N \text{EMF}(t_j)^2} \quad (3.2)$$

resulting in the following unconstrained optimization problem

$$\underset{x}{\text{maximize}} \quad J(x)$$

where x is the vector of geometric parameters consisting of the proportion of the height-width ratio of the coil p_1 and the width of the coil core p_2 , i. e. $p = [p_1, p_2]^T$.

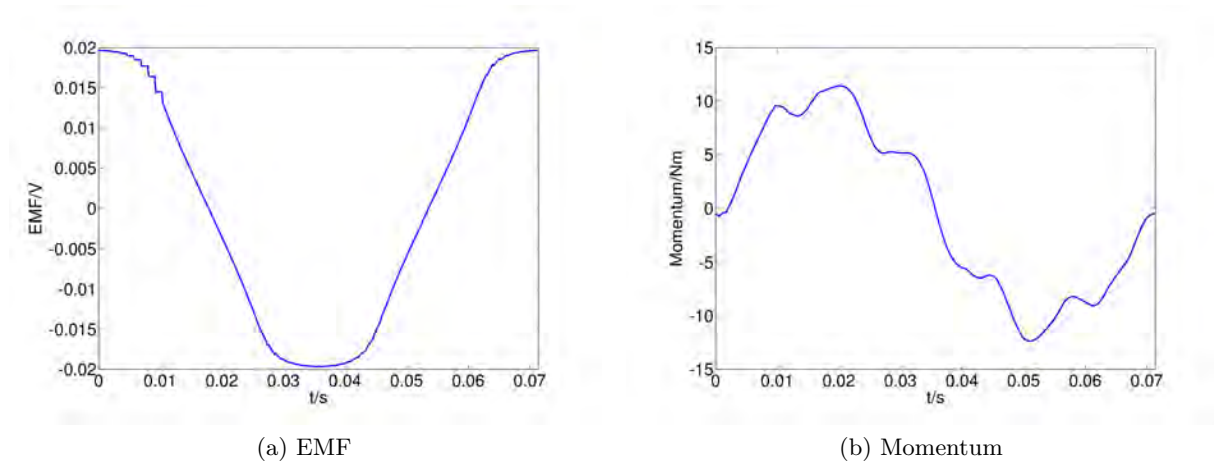


Figure 3.10: EMF and momentum of the reference design.

It has to be mentioned that for each calculation of the value function J in eq. (3.2) a finite element simulation at each time step t_j has to be performed resulting in high computational costs. In addition, the gradient of the value function J is typically not provided by the FEM code and has therefore to be estimated in standard derivative based optimization algorithm. As this estimation would result in a huge computational burden due to a high number of value function evaluations in this contribution the application of a simple derivative-free optimization procedure is proposed.

Derivative-free optimization – coordinate-search method A widely used approach in derivative-free optimization is the coordinate-search method. It samples at each iteration the objective function at a finite number of points P_k , which are defined by the mesh parameter a_k and the maximal positive basis D_{\otimes} . In the present two dimensional case D_{\otimes} is

$$D_{\otimes} = \left\{ \begin{matrix} 0 & 0 & 1 & -1 \\ 1 & -1 & 0 & 0 \end{matrix} \right\} \quad (3.3)$$

and the sampling points are

$$P_k = \{x_k + a_k d : d \in D_{\otimes}\} \quad (3.4)$$

where x_k is the best point from the preceding iteration. The set of sampling points at iteration k is depicted in Fig. 3.11a.

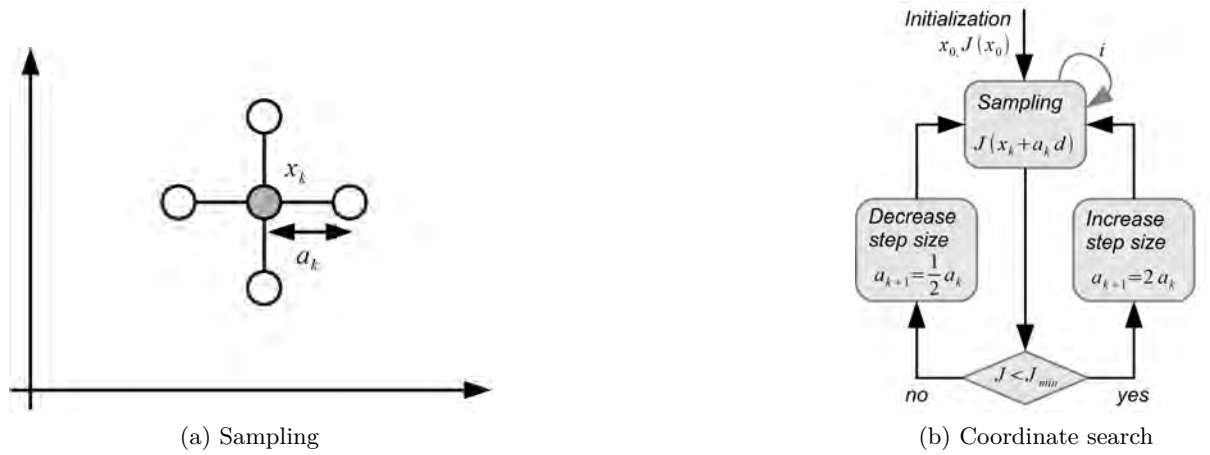


Figure 3.11: Coordinate search and Sampling.

In the opportunistic case an iteration successfully finishes as soon as a sampling point P_k gives a better function value than the function value at x_k . P_k becomes the new x_{k+1} and the mesh parameter is increased.

$$a_{k+1} = 2a_k \quad (3.5)$$

If none of the sampling points P_k gives a better function value the mesh parameter is decreased.

$$a_{k+1} = \frac{1}{2}a_k \quad (3.6)$$

In the full sampling case a comparison with the value function at x_k is provided after calculating all sampling points P_k . An iteration is said to be successful, resulting again in an increase of mesh parameter a_k , if the best sampling point gives a better value function. If none of the sampling points results in an improvement the mesh parameter is decreased. The general optimization procedure is depicted in Fig. 3.11b.

In order to achieve a finite time convergence several stopping criteria may be provided like for example maximum number of iterations or minimum step size a_k . In the following, a minimum step size criterion will be provided giving a reasonable estimate for convergence.

For the problem of the maximization of the back EMF the derivative-free optimization algorithm described in section 3.1.2 has been used. Here, the design parameters are the proportion of the height-width ratio of the coil and the width of the coil core. During optimization the area of the coil cross section is fixed to the area of the reference design $A = 220 \text{ mm}^2$. For the initialization the parameters associated with the reference design and an initial step size a_0 of 1 are used. In order to guarantee a moderate number of iterations a minimum step size of 0.15 is chosen.

As can be seen in Fig. 3.13a J converges to a local maximum at 0.0155 V. The optimization algorithm terminates due to the minimum step size condition as can be seen in Fig. 3.13b. The resulting optimized machine design for maximal back EMF is depicted in Fig. 3.12.

Simulation Results Applying the proposed approach the RMS of the back EMF has been increased by 17%. This is achieved by changing only the geometry of the stator. The new geometry is shown in Fig. 3.12.



Figure 3.12: Geometry of synchronous machine 24 slots 28 poles with maximised EMF.

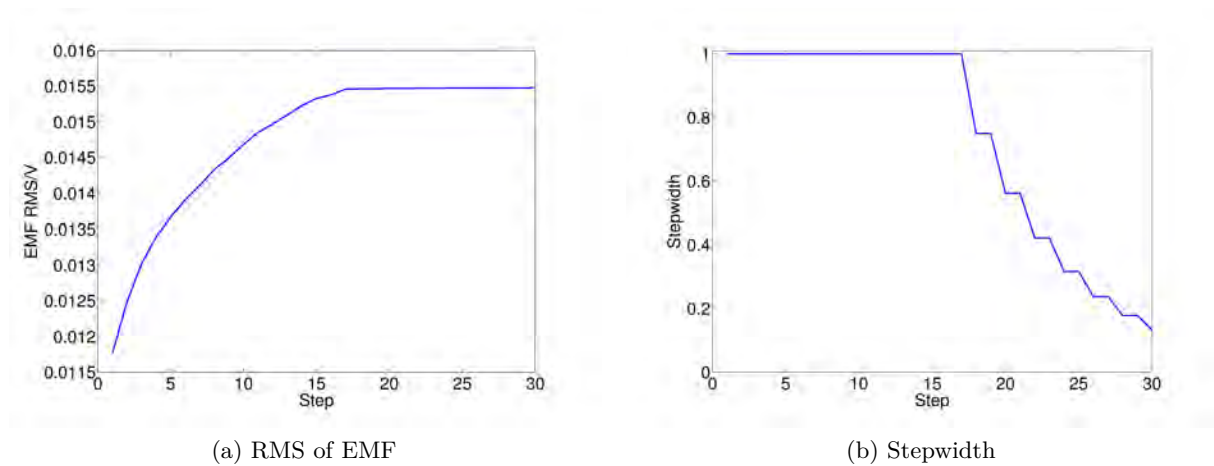


Figure 3.13: RMS of EMF and Stepwidth during optimization steps.

Table 3.5: Comparison of machines.

reference design	optimized design
$A = 222 \text{ mm}^2$	$A = 222 \text{ mm}^2$
$EMF_{\text{RMS}} = 0.0129 \text{ V}$	$EMF_{\text{RMS}} = 0.0155 \text{ V}$
$M_{\text{RMS}} = 6.92 \text{ N m}$	$M_{\text{RMS}} = 7.85 \text{ N m}$
$M_{\text{cog}} = 0.91 \text{ N m}$	$M_{\text{cog}} = 2.53 \text{ N m}$

As one can see in Fig. 3.15a the shape of the EMF changes from a rather sinusoidal shape to a more trapezoidal shape resulting in an increase of higher harmonics. The fundamental wave has a proportion of 79 % in the Fourier spectrum, whereas the proportion of the third harmonic is 14 % as depicted in Fig. 3.14.

The momentum of the machine is shown in Fig. 3.15b. The average momentum is $M = 7.85 \text{ N m}$ supplying the machine with a three phase system in field orientated control operation with a maximum current density of $\hat{S} = 6 \frac{\text{A}}{\text{mm}^2}$. This corresponds to an increase of 13 %, in the case of field orientated control. If one would use an optimized control algorithm using the shape of the EMF the increase in momentum might be even higher.

The torque ripple produced due to the cogging torque can be compensated using sensorless compensation of cogging torque. Of course such a compensation also needs an i_q current in field orientated control operation but as will be shown in the following calculation the percentual increase for such a compensation is minimal.

Assuming the torque is equal to the current i_q in field orientated control operation the increase in the RMS value of i_q needed to compensate the cogging torque can be calculated. In the present case the proportion between average torque and the RMS value of the cogging torque is 32 %. Using normalized units for i_q the following holds

$$i_{q \text{ sum}} = \sqrt{i_q^2 + i_{q \text{ cog}}^2} = \sqrt{1^2 + 0.32^2}. \quad (3.7)$$

The increase in i_q would thus be 4 % compared to the reference design also using cogging torque compensation. However, the machine momentum would have been still increased by 9 %.

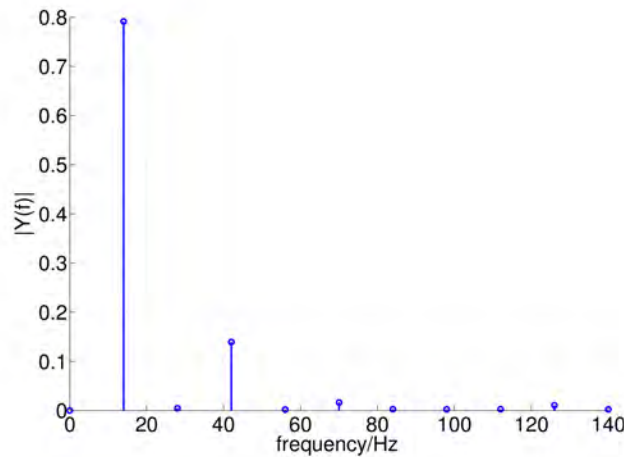


Figure 3.14: Fourier spectra of maximised EMF.

Conclusion In this project a new method to maximise the EMF of a PMSM with concentrated windings has been proposed. For optimization a derivative-free optimization algorithm has been used, which is favourable due to the computational burden connected to gradient estimation for finite element models.

It has been observed that the maximisation of the EMF results in an increased cogging momentum. As has been discussed this effect can be compensated resulting in a slightly decreased efficiency.

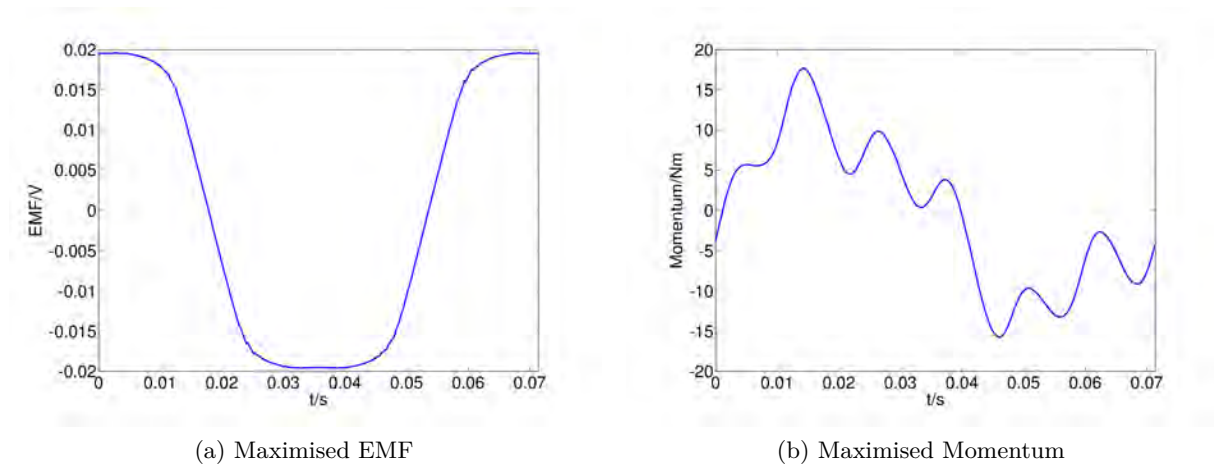


Figure 3.15: Maximised EMF and Momentum.

Structural-Based Modelling of a Switched Reluctance Machine in Faulty Operation

This research work was done in collaboration with the Grupo de Electronica Aplicada (GEA), Universidad Nacional de Rio Cuarto, Argentina.

Introduction The switched reluctance machine (SRM) is a simple and robust electric machine with concentrated windings in the stator and no windings or permanent magnets in the rotor. This constructive simplicity allows low manufacturing costs in comparison with other machines.

The constructive characteristics make the SRM a robust machine, which allows the possibility of fault tolerant and reliable operation. Despite this important feature, these machines are not free of failures. The most common faults in SRM are: air-gap eccentricities, stator windings turn faults and external electric failures (e.g. fault on power converter source: switching elements in short/open circuit).

The model-based approach to analyze the SRM under faulty conditions is a common usage in the literature. Being the finite element method (FEM) one of the most used tool for this analysis in SRM. Nevertheless, models obtained with this method require a high computational effort for its resolution. Lower computational effort is required by a halfway approach between FEM and lumped parameter models called Magnetic Equivalent Circuit (MEC).

In the MEC approach the magnetic system is divided in portions of material where its permeability is constant and the magnetic flux lines are colinear. In the present paper an alternative approach of MEC is used, which shows clearly the energy conservation and the interchange between the different domains of the SRM (magnetic, electric and mechanical).

Once the model of the SRM is selected, the representation of the model can be accomplished with a functional or structural approach. In a functional approach the sub-systems are represented by the relations between their inputs and outputs. The connections between sub-systems are virtual links. It allows analyzing the global performance of the machine and it is used in applications oriented to its control. On the other hand, structural approaches are based on the topology of the real machine and the links respond to a physical connection. Hence it is generated a direct correspondence between the system under analysis and its representation. Structural approaches are useful for system design and its analysis in faulty conditions among others.

Bond graphs (BG) representation allows interconnecting different sub-systems based on their power flow. As a consequence it facilitates the interconnection of multi domain systems. BG

contains dissipative, accumulative, conversion elements and junctions. Elements are interconnected by bonds that carries the exchange variables (general flow and effort) and allows an easy visualization of the physical topology and power flow.

Therefore, in this paper the model of a 6/4 SRM under faulty condition represented with BG formalism is proposed. Stator winding turn faults and air-gap eccentricities are modelled. Using this structural approach, the model of the faulty machine is intuitively obtained modifying bonds and/or parameters of the healthy machine. Simulation results are presented for validating the proposed model.

Switched Reluctance Motor Model The cross section of a 6/4 SRM is shown in Fig. 3.16, which also includes the Magnetic Equivalent Circuit (MEC) of the stator and rotor. The Bond Graph representation of the motor model is presented in Fig. 3.17. For the airgap, each stator pole (nodes b) and rotor pole (nodes c) are linked through the airgap permeance. The airgap permeance is connected with the mechanical system as it depends on the rotor position and because it determines the torque.

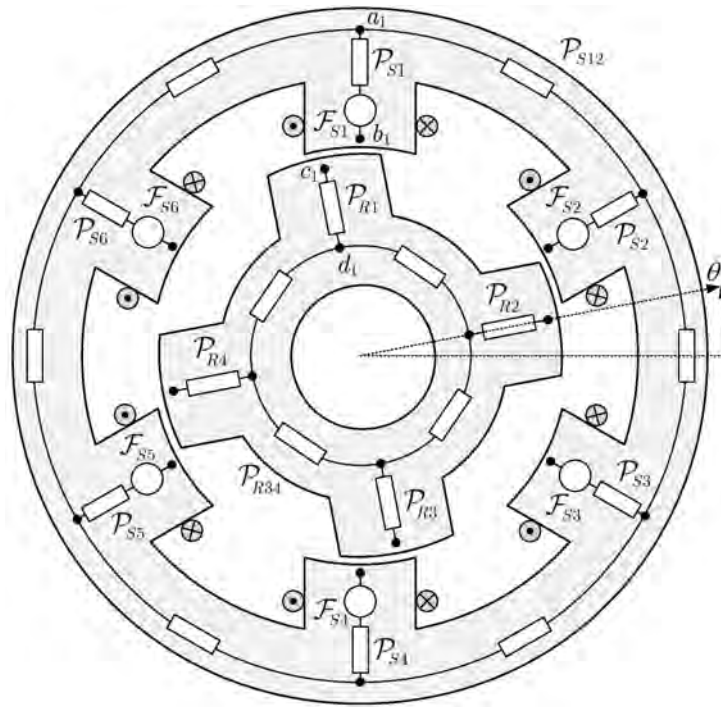


Figure 3.16: Cross section of a 6/4 SRM.

SRM Model in Faulty Condition: Stator Windings Short-Circuit The electric supply is composed of three independent circuits. A common fault is associated to a short-circuit in one of the stator windings. Simulation results are shown for a stator winding short-circuit of six turns ($N_f = 6$; $N = 64$). For the simulation a closed-loop speed controller was implemented in order to drive the SRM. The speed error is processed by a PI controller to yield the torque command. From this torque and the rotor position the current command is obtained. Finally, a current-controlled voltage source imposes the current on the SRM.

Fig. 3.18 shows the rotor angular speed (ω) and total magnetic torque (T_{mag}) for healthy and faulty operation. In both figures it can be noted an oscillating behaviour when the fault is present due to the asymmetry produced in the electric circuit.

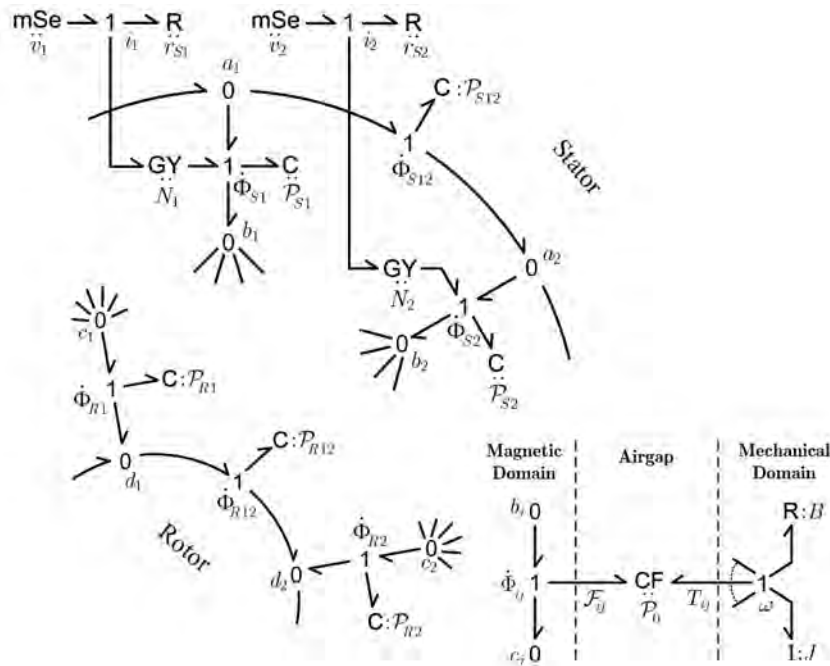


Figure 3.17: BG representation of the motor.

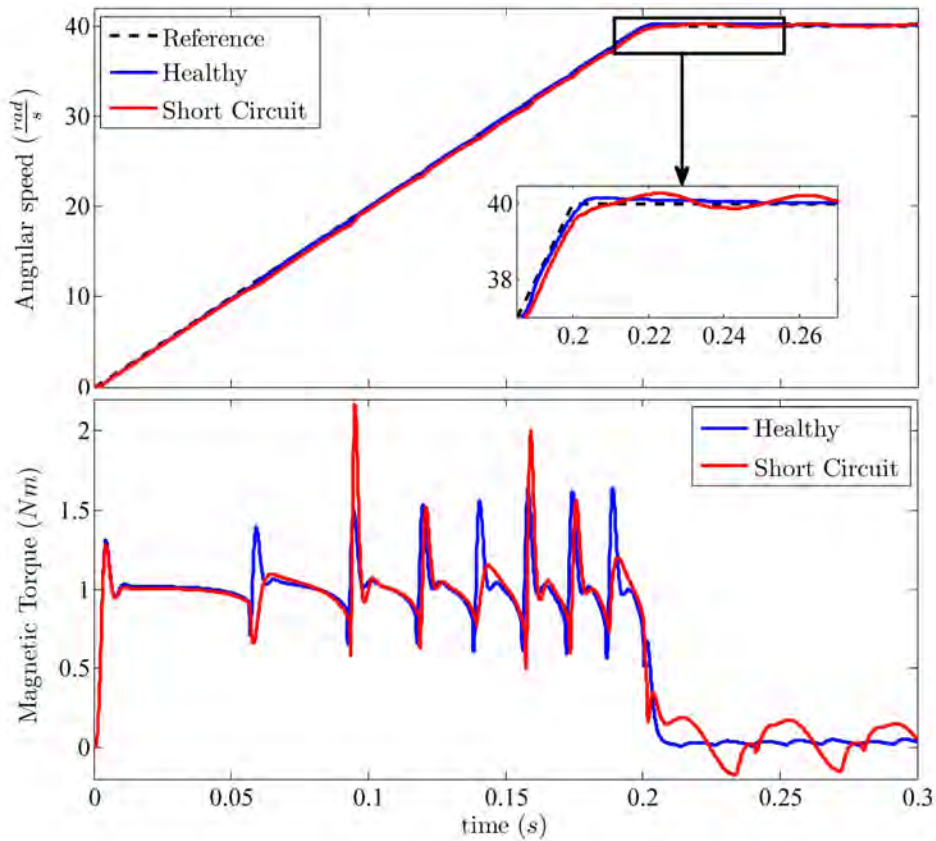


Figure 3.18: Angular speed (ω) and Torque (T_{mag}) for healthy (dotted) and faulty (solid) operation.

The the current in the faulty phase is increased by the speed controller in order to compensate the torque loss due to the shorted turns. In the shorted turns a high current is induced in the opposite direction, reducing consequently the flux and torque.

3.1.3 Veröffentlichungen

Zeitschriften- und Konferenzbeiträge

- Stamann, M; Schallschmidt,T.; Leidhold, R.: Electromagnetic rotary tables for mill and drill machining, WSEAS transactions on systems and control. - In: Stevens Point, Wis; Vol. 9.2014, Art. 21, S. 199-208
- Catuogno, G. R.; Forchetti, D.; Garcia, G.; Leidhold, R: Maximizing energy transference in PMSG with arbitrary EMF waveform. - In: IEEE Latin America transactions. - New York, NY : IEEE, Bd. 12.2014, 6, S. 1071 - 1077
- Bossio, G.R.; Barrera, P.M. de la; Leidhold, R.: On-line diagnosis of high-resistance connection for inverter fed induction motors. - In: 7th IET International Conference on Power Electronics, Machines and Drives (PEMD 2014). - IEEE, insges. 5 S.; Kongress: PEMD; 7 (Manchester) : 2014.04.08-10
- Catuogno, G. R.; Forchetti, D. G.; Leidhold, R.; Garcia, G. O.: Power flow maximization in permanent-magnet generators. In: IEEE transactions on industrial electronics. - New York, NY : IEEE, Bd. 61.2014, 12, S. 6566 - 6573;
- Silva, L. I.; Leidhold, R.; Barrera, P. M. de la: Structural-based modelling of a switched reluctance machine in faulty operation In: 7th IET International Conference on Power Electronics, Machines and Drives (PEMD 2014). - IEEE, insges. 6 S.; Kongress: PEMD; 7 (Manchester) : 2014.04.08-10
- Dymko, S.; Peresada, S.; Leidhold, R.: Torque control of saturated induction motors with torque per Ampere ratio maximization. In: 2014 IEEE International Conference on Intelligent Energy and Power Systems (IEPS), S. 251-256; Kongress: IEPS; (Kyiv) : 2014.06.02-06

3.2 Lehrstuhl für Elektrische Netze und Alternative Elektroenergiequellen

3.2.1 Forschungsprofil

Das Forschungsprofil des LENA umfasst hauptsächlich Themen der mathematischen Modellierung, der optimalen Planung und des Betriebes von elektrischen Energienetzen mit sehr hohem Anteil erneuerbarer Energien. Da sich die Erzeugungsanlagen der Erneuerbaren Energien zum größten Teil in der Verteilnetzebene befinden, ist der Fokus seit 16 Jahren auf diese Spannungsebene konzentriert. Schwerpunkte der wissenschaftlichen Untersuchungen liegen auf den Themen Beobachtbarkeit, Messverfahren, Energiespeicherung (hier auch Wasserstoff-Brennstoffzelle) und Elektromobilität. Durch Beteiligung an zahlreichen nationalen und internationalen Projekten, aber auch durch Gremienarbeit, wird die wissenschaftliche Kompetenz des Lehrstuhls weiterentwickelt und kann heute allgemein dem Forschungsfeld „Smart Grid“ zugeordnet werden. Die Ergebnisse der Forschung sind vielen wissenschaftlichen Veröffentlichungen zu entnehmen. Im Weiteren wird in zahlreichen Beispielen gezeigt, welche Ergebnisse der Lehrstuhl im Rahmen ausgewählter wissenschaftlicher Projekte 2014 erbracht hat.

3.2.2 Forschungsprojekte

REStabil — Sachsen-Anhalt: Sicherheit und Stabilität des Betriebes von Energieverteilungsnetzen durch den Einsatz aggregierter dezentraler Netzkomponenten³

REStabil ist ein Verbundprojekt unter Koordination des Fraunhofer IFF Magdeburg mit den Verbundpartnern ABO Wind AG, dem Fraunhofer IFF, der Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg und dem Zentrum für Regenerative Energien Sachsen-Anhalt e. V. (ZERE). Als assoziierte Partner sind die Mitteldeutsche Netzgesellschaft Strom mbH und die GETEC AG zu nennen.

Durch zunehmende dezentrale und volatile Energieerzeugung müssen auf der Verteilnetzebene Beiträge zur Gewährleistung bzw. regionaler Unterstützung der Sicherheit und Stabilität des elektrischen Netzes geleistet werden. Hierbei sollen die Netzdienstleistungen im Normalbetrieb sowie in gestörten bzw. kritischen Situationen erbracht werden. Die Bedeutung der Problematik nimmt insbesondere in Regionen mit großem Anteil erneuerbarer Energien, wie z. B. Sachsen-Anhalt immer weiter zu.

Das Ziel des Vorhabens REStabil — Sachsen-Anhalt ist die Gewährleistung des stabilen Netzbetriebs regionaler und kommunaler Energieversorgungsstrukturen am Beispiel aus Sachsen-Anhalt unter intelligenter Ausnutzung der DLS-Potentialen fluktuierender Einspeisung durch erneuerbare Energien sowie flexibler industrieller Lasten und stationärer Großstromspeicher. Um diese Zielstellung zu erreichen werden diese elektrische Anlagen unter Verwendung moderner smart-grid-tauglicher Kommunikationsmechanismen, wie z. B. IEC 618050, auf regionaler und kommunaler Ebene miteinander verbunden und können somit zur Netzsicherung in kritischen Situationen beitragen. Im Rahmen eines Feldtestes werden entwickelte Algorithmen zur Steuerung (vgl. Abbildung 3.19) der elektrischen Anlagen validiert und Erfahrungen zu Steuerungsstrategien gesammelt, um anschließend eine Optimierung der Betriebsführung des Energiesystems hinsichtlich der Netzsicherheit ableiten zu können. Im Vordergrund steht hierbei die Wiederverwendbarkeit der entwickelten Software-Module, damit diese auch in weiteren Regionen eingesetzt werden können.

³von Dipl.-Ing. Michael Wenske

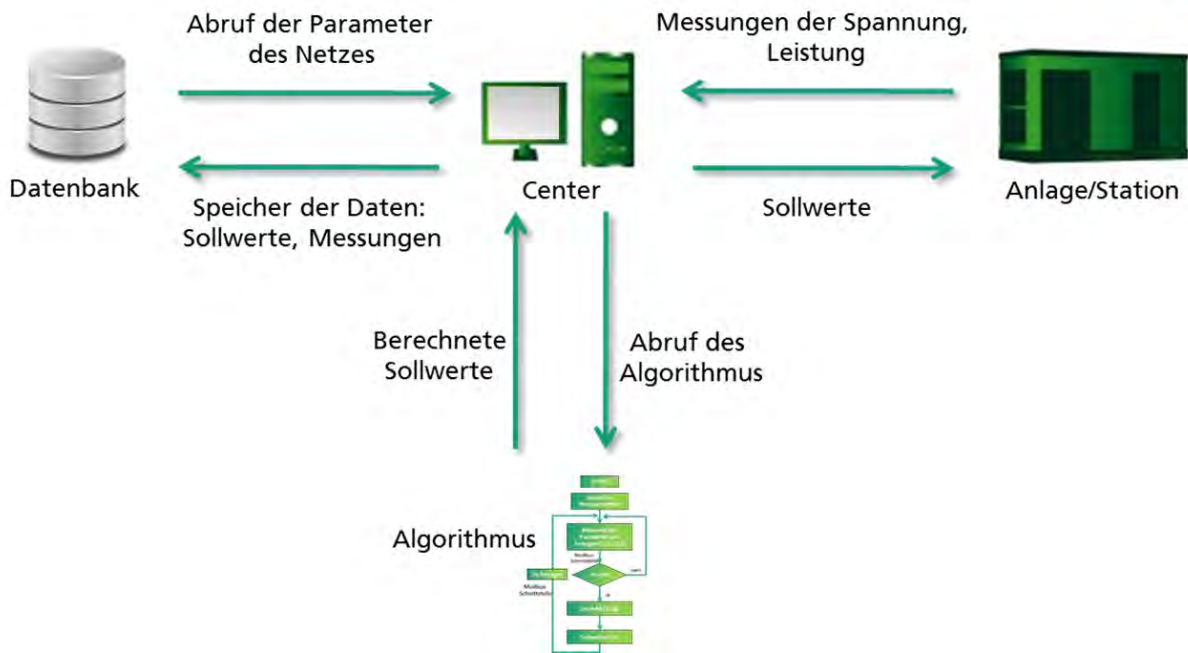


Abbildung 3.19: REStabil Funktionsprinzip

Als Erprobungsgebiet werden Regionen ausgewählt, in welchen die zur Verifikation der entwickelten Methoden notwendigen industriellen Lasten und dezentralen Erzeugungsanlagen im regionalen Verteilnetz vorhanden sind.

Die Kompetenzen des LENA im Bereich elektrische Netze ermöglichen in diesem Zusammenhang die Konzeptionierung geeigneter Algorithmen und Modelle zur Realisierung eines sicheren und effizienten Netzbetriebes in Form eines Netzstabilisators. Hierbei wird insbesondere auf die Erfahrungen in dem Bereich der Netzsimulation und der Lösung von Optimierungsproblemen elektrischer Netze zurückgegriffen.

ADELE-ING: Engineering-Vorhaben für die Errichtung der ersten Demonstrationsanlage zur adiabaten Druckluftspeichertechnik⁴

Zur Gewährleistung der Versorgungssicherheit im elektrischen Netz ist das Gleichgewicht von Last und Erzeugung von immenser Bedeutung. Vor dem Hintergrund der zunehmenden Integration von regenerativen Energien, die sich durch eine fluktuierende Einspeisung auszeichnen, nehmen Energiespeicher in der zukünftigen Energieversorgung eine besondere Bedeutung ein. Vor allem im Bereich der Langzeitspeicher werden Konkurrenzlösungen zur etablierten Technologie der Pumpspeicherkraftwerke benötigt.

Das Ziel des Projektes ADELE-ING besteht daher in der Integration eines vorzugsweise adiabaten Druckluftspeichers in das elektrische Netz. Im Projekt werden neben dem adiabaten Speicherkonzept auch diabate Konzepte auf ihre Wirtschaftlichkeit hin untersucht. Aufgrund des breiten Spektrums, das sich von der Entwicklung möglicher Anlagenkonzepte über die Ermittlung von wirtschaftlichen Einsatzmöglichkeiten im elektrischen Netz bis zur Errichtung einer ersten Demonstrationsanlage erstreckt, besteht das Projektkonsortium aus Vertretern der Maschinenbauindustrie, der Elektroenergieerzeugung, des Übertragungsnetzbetriebes und der Forschung.

⁴von Dr.-Ing. Natalia Moskalenko, M.Sc. Christian Klabunde

Der LENA untersucht innerhalb dieses Projektes die Netzintegration des Speichers. Hierfür konnte ein möglicher Standort für den Druckluftspeicher selektiert und das 110 kV-Verteilnetz um diesen Standort modelliert werden. Innerhalb dieses Netzes werden die Auswirkungen des Speichereinsatzes bei unterschiedlichen Leistungsstufen sowie beim marktwirtschaftlichen und netzdienlichen Betrieb genauer untersucht, um so mögliche Grenzen für das elektrische Netz zu ermitteln, die einen direkten Einfluss auf die Parametrierung und Betriebsführung des Speichers haben können. Für diese Analyse wird die statische Lastflussberechnung in $1/4$ -Stunden-Schritten für die Jahre 2014, 2024 und 2034 verwendet.

Im Hinblick auf die Systemregelung und die Systemstabilität werden die dynamischen Eigenschaften der adiabaten Speichertechnologie bezüglich deren Einflusspotentiale hin untersucht. Eine separate dynamische Untersuchungsreihe analysiert das Zeitverhalten des Speichers. Dabei nimmt das Vermögen der Speicherart zur Lieferung von Regelleistung im Bereich der Sekundärregelreserve eine besondere Rolle ein. Zu diesem Zweck ist ein dynamisches Speichermodell entwickelt worden, das in kaskadierter Form und unter Berücksichtigung der statischen und zeitabhängigen Parameter des Speichersystems die Aktivierung und Erbringung von Regelleistung nachbildet. Dieses dynamische Speichermodell wurde im Anschluss in ein dynamisches Netzmodell implementiert und reagiert auf eine Frequenzabweichung im elektrischen Netz mit einer äquivalenten Leistungsanpassung (siehe Abb. 3.20).

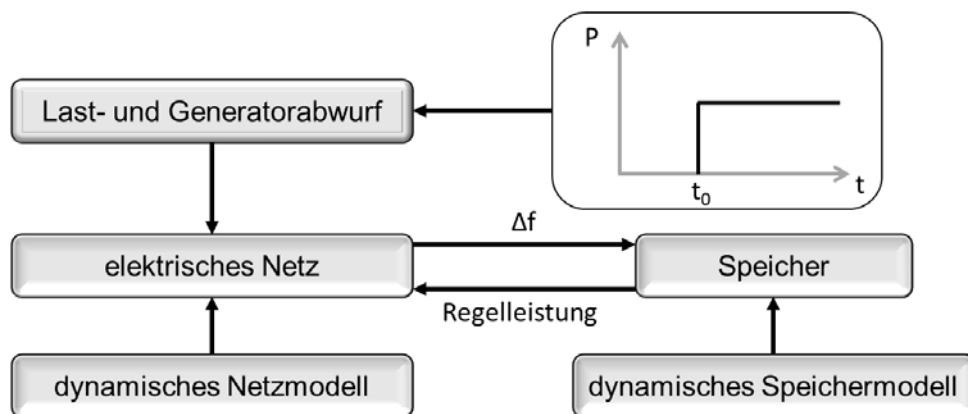


Abbildung 3.20: Schema zur Untersuchung des dynamischen Speichereinsatzes

Beim Einsatz des Speichers zur Erbringung von Sekundärregelleistung zeigt sich, dass die kaskadierte Form des Speichers zu einer Senkung des Frequenzsprunges beim Anfahrprozess führt.

Projekt SECVER: Sicherheit und Zuverlässigkeit von Verteilungsnetzen auf dem Weg zu einem Energieversorgungssystem von morgen⁵

Das Projekt SECVER hat im Dezember 2013 begonnen, mit dem Ziel neue Algorithmen und Methodologien für ein übergreifendes Monitoring elektrischer Verteilnetze mit hoher lokaler erneuerbarer Erzeugung, flexiblen Lasten und systembedingtem Speichereinsatz zu entwickeln. Darauf aufbauend spielt für das Projektkonsortium die Entwicklung und die pilothafte Implementierung der Distribution Area Monitoring & Control System (DAMCS) Applikation sowie die Erforschung der dafür notwendigen Referenzarchitektur eine entscheidende Rolle. Das Netz-Monitoring wird auf dedizierter Anwendung digitaler Messtechnologien für die vollständige, kontinuierliche und präzise Systemüberwachung basieren. Als weiteres Ziel stellt sich die OVGU, einen Beitrag zur Erweiterung der steuerungstechnischen Maßnahmen und Regelwerke zur Unterstützung einer

⁵ von M. Sc. Bartłomiej Arendarski

sicheren und zuverlässigen Führung von Verteilnetzen zu leisten. Dabei spielen unterschiedliche Komponenten für die Steuerung von Erzeugern, Lasten und Speichern eine Rolle.

Dieses Überwachungs- und -Betriebsmanagementsystem wird die Funktionalität besitzen, sowohl die direkt und zeitsynchron (durch PMU, sowie ergänzt durch RTUs) gemessenen als auch die darauf basierenden errechneten Parameter des Netzes für eine optimale Umsetzung der Überwachungs-, Steuerungs- und Schutzaufgaben in Verteilungsnetzen bereitzustellen. Als Beispiel werden Sollwertvorgaben genannt, um somit zur Erweiterung der Leitsysteme beizutragen. Zu diesem Zweck werden Anbindungsmaßnahmen entwickelt (bspw. Schnittstellenlösungen und geeignete Austauschalgorithmen), welche als Schnittstelle zwischen Observationseinheit und Netzleitsystem fungieren. Darauf aufbauend wird eine auf Partizipationsfaktoren basierte Prädiktor-Applikation zur globalen Koordinierung der Spannungshaltung im betrachteten Netzabschnitt entwickelt (siehe Abb. 3.21).

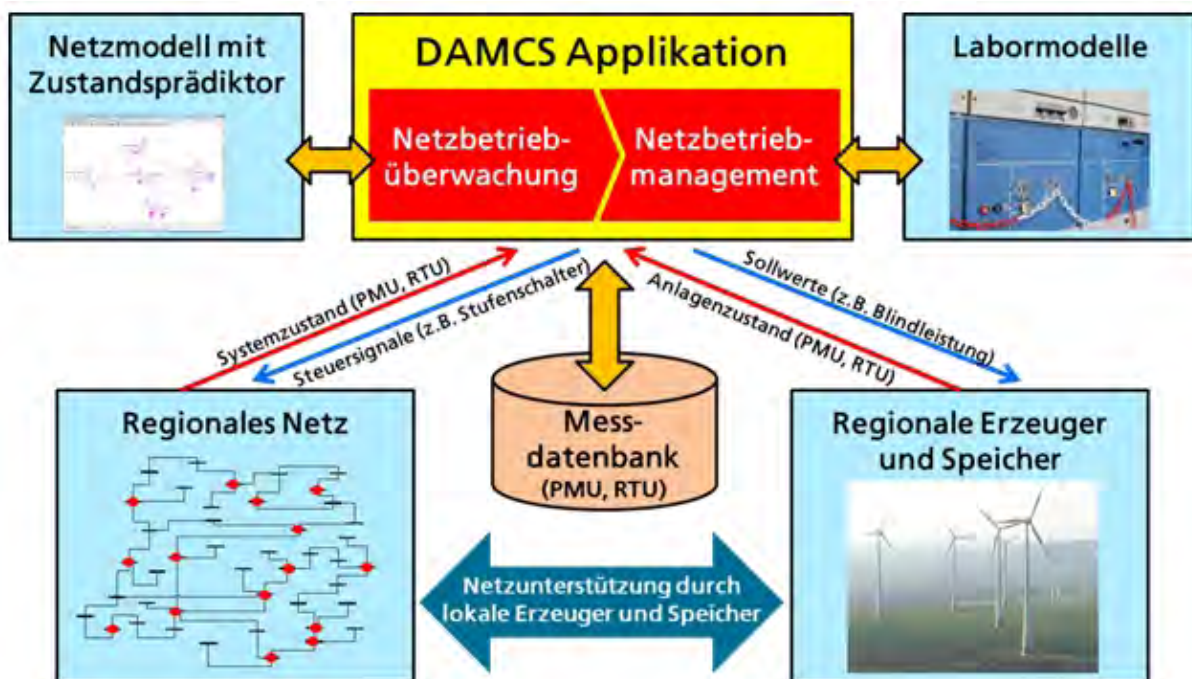


Abbildung 3.21: Struktur der DAMCS-Applikation im SECV-ER-Projekt

Über die Funktionalität der Netzüberwachung hinaus werden die Potentiale der steuerbaren Erzeuger, Lasten und Speicher, die sich in unterschiedlichen Verteilungsebenen befinden, zur Erbringung von Systemdienstleistungen definiert, welche sich bei den zukünftigen Verteilungsnetzen (Hoch- bzw. Mittelspannung) oder aber auch an der Schnittstelle zwischen Verteilungs- und Übertragungsnetzbetreibern ergeben können. Diese umfassen die Bereitstellung von Regelleistung zur Unterstützung der Frequenzhaltung durch lokale Erzeuger und Speicher sowie die Spannungshaltung mittels gezielter und optimal koordinierter Blindleistungsbereitstellung auch durch die dezentralen Energieerzeugungsanlagen bzw. mittels optimalen Einsatzes von regelbaren Ortsnetztransformatoren (RONT). Die beschriebenen Maßnahmen beziehen sich einerseits auf den lokalen Bedarf in Verteilungsnetzen (insbesondere im Hinblick auf die Spannungshaltung) als auch auf den globalen Bedarf in den vorgelagerten Übertragungsnetzen (insbesondere im Hinblick auf die Frequenzhaltung). Die bereits entwickelten und simulativ getesteten Algorithmen werden in den nächsten Schritten in einem regionalen 110 kV-Netz implementiert, um erste praktische Erkenntnisse aus der Feldtestphase zu gewinnen.

Die im Rahmen des Vorhabens entwickelte Architektur sowie die entwickelten Algorithmen zur Verteilnetzüberwachung und -steuerung stellen einen wichtigen Beitrag zur Erweiterung der

Kompetenzen der OvGU im Bereich elektrischer Energiesysteme dar. Auf dieser Grundlage können weitere Kooperationen mit Partnern aus der Industrie und anderen Forschungseinrichtungen aufgebaut werden. Die Realisierung des Vorhabens ermöglicht weiterhin die Durchführung hochaktueller studentischer Arbeiten in Kooperation mit Forschungseinrichtungen, welche auf dem Gebiet der elektrischen Verteilnetze angesiedelt sind.

ESPEN: Potentiale elektrochemischer Speichern in elektrischen Netzen in Konkurrenz zu anderen Technologien und Systemlösungen⁶

Die Wirtschaftlichkeit, Stabilität und Zuverlässigkeit der Stromversorgung hängt heute von der Dominanz relativ weniger, großer und leistungsstarker Kraftwerke, einer großen Reservekapazität von schnell aktivierbaren Spitzenlastkraftwerken, der Trägheit elektromechanischer Synchronmaschinen und leistungsfähigen Übertragungs- und Verteilungsnetzen ab, die sich in Europa durch einen hohen Vermaschungsgrad auszeichnen. Außer wenigen großen Pumpspeicherkraftwerken sind so gut wie keine Energiespeichereinheiten in der Stromwirtschaft im Einsatz. Diese werden zukünftig zunehmend notwendiger, da die Stromversorgung einem großen Wandel unterliegt. Die Folgerungen daraus für die Versorgungssicherheit und –stabilität werden erst mittelfristig zum Tragen kommen. Von besonderer Bedeutung ist dabei die zunehmende dezentrale Einspeisung aus fluktuierenden erneuerbaren Energiequellen. Insbesondere die Zunahme von Wechselrichtern statt Synchronmaschinen für die Einspeisung führt zu einer neu zu denkenden Energiesystemstruktur.

Die Ergebnisse des Projekts ESPEN sollen daher die Frage klären, welche elektrochemischen Speicher in der Lage sind, einen Beitrag zur Wirtschaftlichkeit, Stabilität und Sicherheit der zukünftigen Stromversorgung (Kraftwerkspark und Netze) im Vergleich zu anderen Technologien und Systemlösungsansätzen zu leisten. Unter diesem Hintergrund besteht das übergeordnete Ziel dieses Projektes darin einen Leitfaden für die weiteren technischen Entwicklungsschritte zu erstellen und Anpassungen der technischen und wirtschaftlichen Rahmenbedingungen vorzuschlagen. Diese Handlungsempfehlungen sollen zu einer Maximierung des wirtschaftlichen Einsatzbereiches von elektrochemischen Energiespeichern führen.

Im Rahmen des Verbundprojektes werden vorrangig die Auswirkungen des Speichereinsatzes auf generische Niederspannungsnetzstrukturen untersucht, da im Bereich von kleinen Photovoltaik-Systemen mit einer hohen Durchdringung in dieser Netzebene zu rechnen ist. Zu dieser Untersuchung trägt der LENA mit der Modellierung von Referenznetzen für die unterschiedlichen regionalen Topologien (ländlich, vorstädtisch und städtisch) und der anschließenden Untersuchung der Auswirkungen des hohen Ausbaus der regenerativen Energien auf diese Netze bei. Die hohe Durchdringung von regenerativen Energien führt zu deutlichen Überlastungen in einzelnen Netzausläufern, die durch den netzdienlichen Speichereinsatz reduziert werden können. Abb. 3.22 zeigt dies am Beispiel eines Stranges im vorstädtischen Netz.

Der netzdienliche Speichereinsatz führt somit zu einer Erhöhung der Durchdringung von regenerativen Energien. Darüber hinaus ergeben sich unterschiedliche Konkurrenzlösungen (Netzausbau, Netzsicherheitsmanagement), die ebenso im Rahmen der Simulationen betrachtet wurden und einen anschließenden technischen und wirtschaftlichen Vergleich mit dem Speichereinsatz erlauben.

Neben der Untersuchung der technischen Aspekte bei der Speicherintegration müssen die rechtlichen und technischen Rahmenbedingungen für kleine dezentral verteilte Speichereinheiten betrachtet werden. Dies umfasst neben der Analyse der Gesetzestexte und Anschlussbedingungen auch eine Potentialanalyse zur Bereitstellung von Systemdienstleistungen und den

⁶von Dr.-Ing. Natalia Moskalenko, M. Sc. Christian Klabunde

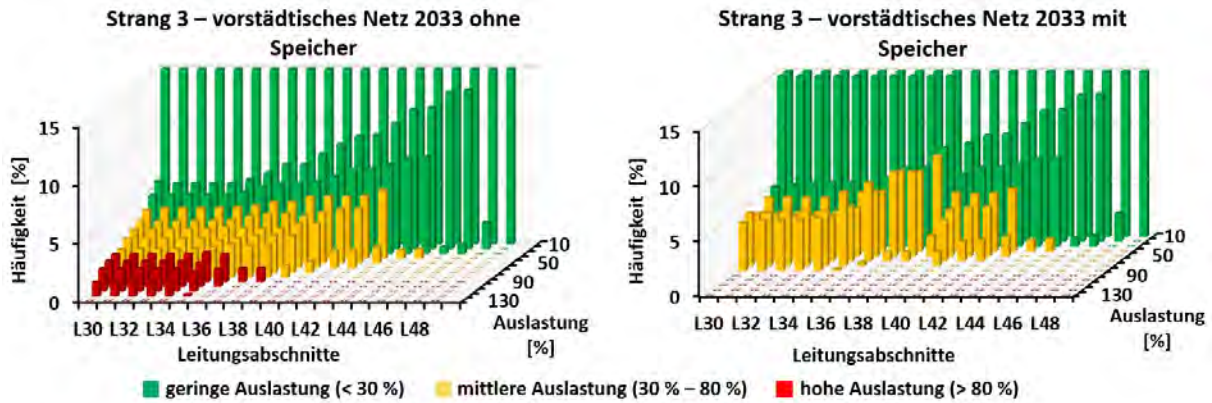


Abbildung 3.22: Vergleich der Leitungsauslastungen im Strang 3 des vorstädtischen Netzes mit und ohne Speicher

Informationsaustausch zwischen den einzelnen Akteuren. Ausgehend von den heutigen Rahmenbedingungen können, unter Berücksichtigung der Simulationsergebnisse, Ansätze zur Anpassung dieser erarbeitet werden, sodass der technisch notwendige Speichereinsatz bei einer dezentralen Energieversorgung auch wirtschaftlich ermöglicht wird.

SiPla: Simulation Platform for Power Flow based Capacity Allocation Analysis⁷

Im Rahmen des Projektes SiPla, welches in Zusammenarbeit mit Industriepartnern bis zum Ende des Februars 2015 geplant ist, wird eine Plattform zur Untersuchung von Frequenz- und Leistungsflussverhältnissen entwickelt.

Das entwickelte Modell spiegelt ein System wider, das aus einer beliebigen Anzahl kleinerer Regionen besteht, die über ein weites Gebiet verteilt liegen. Jede Region wird als eine Kombination von Last, Generation und Austausch modelliert und ist mit anderen Regionen durch Übertragungsleitungen (Konektoren) verbunden. Für alle Regionen werden sowohl Primär- als auch Sekundärregelung modelliert und diese in entsprechenden Schwingungsgleichungen berücksichtigt (siehe Abb. 3.23)).

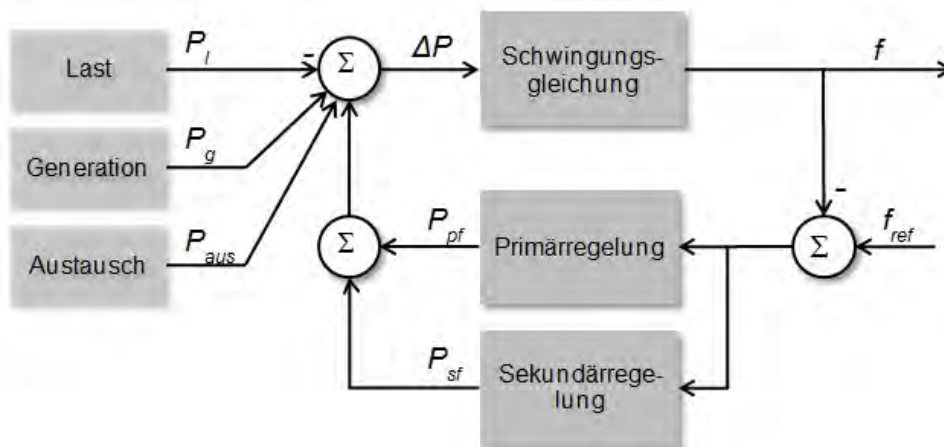


Abbildung 3.23: Allgemeine Modellstruktur der Frequenzregelung einer Region

⁷ von M. Sc. Manswet Banka

Die Plattform erlaubt eine Simulation der Systemfrequenz und der Leistungsflüsse (berechnet mit Hilfe von PTDF-Faktoren) sowie eine Untersuchung der Einflüsse verschiedener Konfigurationen der Wirkleistungsverteilung im System.

Weitere Untersuchungen zu Maßnahmen bei kritischen Zuständen im Übertragungsnetz von 50 Hertz Transmission⁸

Im Rahmen des Drittmittelprojektes „Untersuchungen zu Maßnahmen bei kritischen Zuständen im Übertragungsnetz von 50 Hertz Transmission“ in Zusammenarbeit mit der 50 Hertz Transmission GmbH wurde das gegenwärtige Lastabwurfkonzept der Regelzone analysiert.

Der automatische Lastabwurf ist eine Ultima-Ratio-Maßnahme zur Eindämmung von Systembilanzstörungen in elektrischen Netzen. Zur Berücksichtigung des hohen Anteils volatiler Erzeuger sind Anpassungen der Frequenzrelaisparameter und derer Installationsorte notwendig, um einen Lastabwurf in der benötigten Größenordnung sicher zu stellen. Daher soll die klassische Methode, bei der die Parametrierung der Relais und die Umsetzung des 5-Stufenplans auf Grundlage der Jahreshöchstlast erfolgt, zukünftig von dem Lastmittelwertansatz abgelöst werden. In einer durch 50 Hertz Transmission in Auftrag gegebenen Studie wurde untersucht, in wie weit die in den bisherigen Stufen abgeschaltete Last, deren Festlegung abhängig von der Methode unterschiedlich berechnet wird, die Netzfrequenz normgerecht stabilisiert.

Zur Bestimmung der Höchstlasten und der Mittelwerte als Eingangsparameter der untersuchten Methoden werden die Leistungsflüsse an den Umspannstationen im untersuchten Netzgebiet statistisch ausgewertet. Für die Untersuchungen der Wirksamkeit des automatischen Lastabwurfs in verschiedenen Einspeise- und Lastszenarien auf die Netzfrequenz unter Zugrundelegung beider Ansätze wurde ein entwickeltes dynamisches Netzmodell der Regelzone von 50 Hertz verwendet. Die Studie hatte zum Ergebnis, dass das Mittelwert-Prinzip geeignet ist das Jahreshöchstlastprinzip abzulösen, da die Ergebnisse beider Referenzmethoden qualitativ im ähnlichen Bereich liegen.

Darauf aufbauend wird im Anschlussprojekt „Weitere Untersuchungen zu Maßnahmen bei kritischen Zuständen im Übertragungsnetz von 50 Hertz Transmission“ unter Verwendung statischer und dynamischer Berechnungsmethoden untersucht, welcher Referenzwert und welche Abschaltstufe für einen beliebigen Transformator geeignet sind.

Wissenschaftliche Begleitung der Koordinierung des Ausbaus der erneuerbaren Energien in Sachsen-Anhalt⁹

Die Energieversorgungsstruktur des Landes Sachsen-Anhalt ist durch einen hohen Anteil regenerativer Energien geprägt. Dies hat vermehrt zu einer Energieexportsituation geführt, die aufgrund der zunehmend angespannten Netzbelastung die Netzsicherheit in der Übertragungsebene beeinträchtigt. Um den notwendigen Netzausbau und die weitere Erhöhung des Anteils aus Wind- und Solarenergieanlagen am Energiemix zu erhöhen, hat das Land Sachsen-Anhalt unter der Federführung der Ministerien für Landwirtschaft und Umwelt sowie Wissenschaft und Wirtschaft Dialogplattformen zu den Themen Energiepolitik, Speicher und Netze eingerichtet. Das Ziel ist die Entwicklung eines gemeinsamen Verständnisses für einen koordinierten EE-Ausbau auf der Basis verfügbarer Flächen und der netztechnischen Verstärkungen.

⁸von Dr.-Ing. Ines Hauer, M. Sc. André Richter

⁹von Dr.-Ing. André Naumann

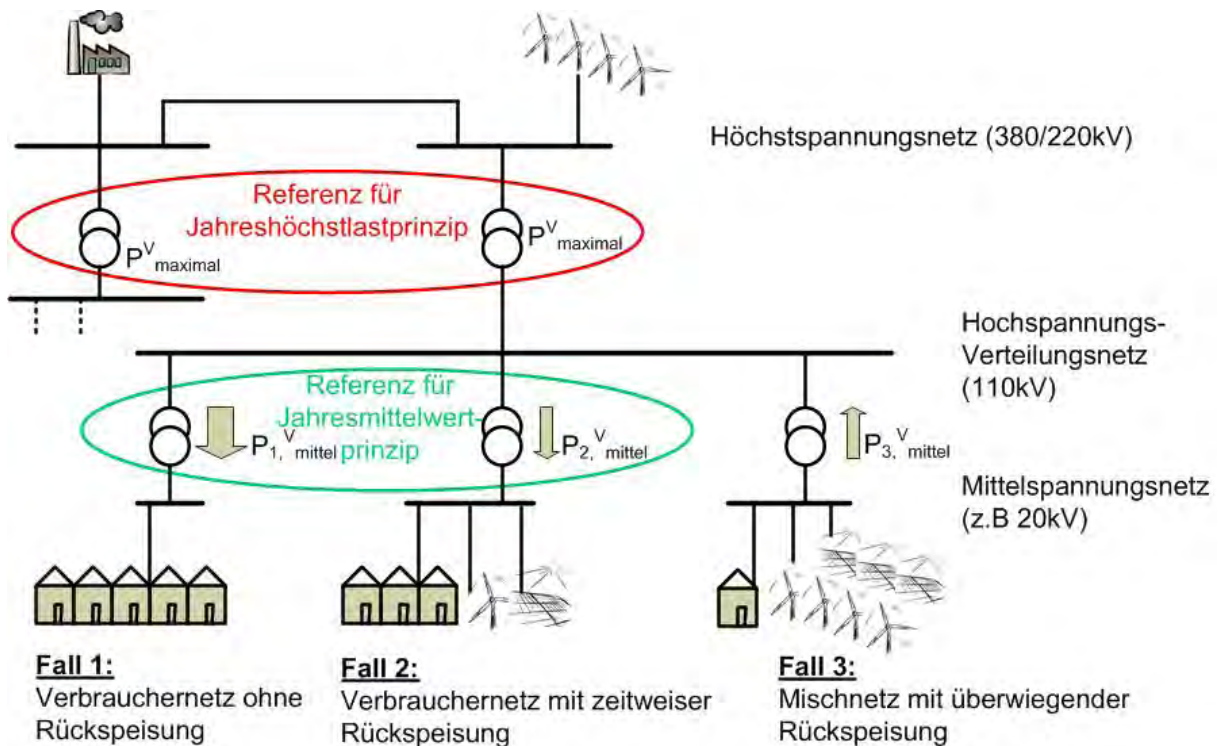


Abbildung 3.24: Bestimmung der Referenzwerte für den Lastabwurf aus verfügbaren Messwerten

Als einheitliche Diskussionsgrundlage wird unter Federführung des Zentrums für regenerative Energien Sachsen-Anhalt e. V. (ZERE) eine Datenbasis zur Abschätzung des EE-Ausbaupotenzials, des Planungsstandes und des Netzausbaus für das Land Sachsen-Anhalt erstellt und turnusmäßig aktualisiert werden. Für die Arbeit der Dialogplattformen sind daraus Themen und Handlungsschwerpunkte für den weiteren EE- und Netzausbau sowie die Gestaltung des rechtlichen Rahmens abzuleiten.

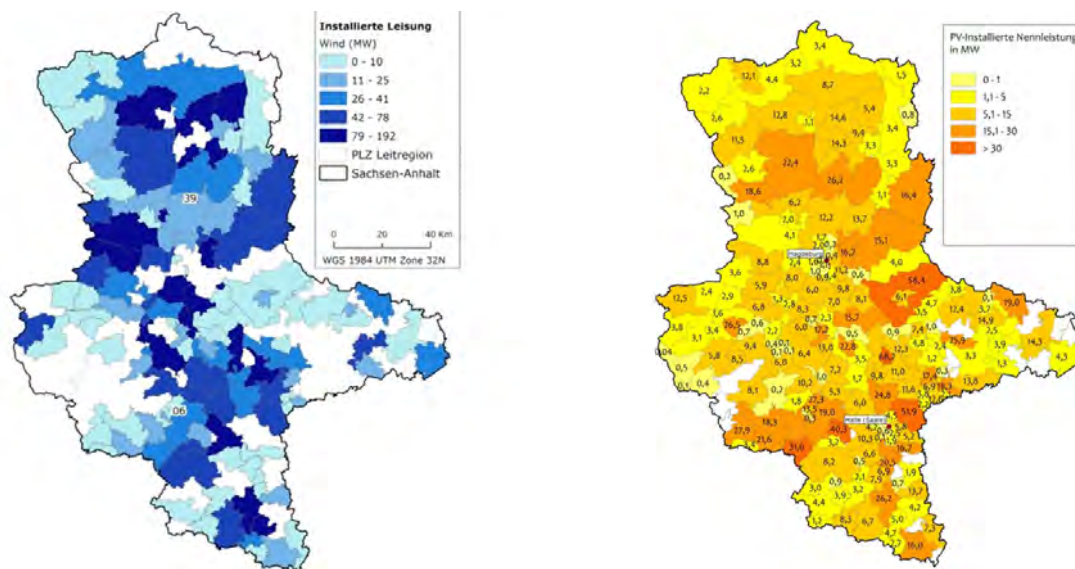


Abbildung 3.25: Installierte Leistung an Windenergie (blau) und Photovoltaik (gelb) je PLZ-Gebiet

Ausgehend von einer Datensammlung zu bestehenden Anlagen, beispielsweise installierte Leistungen für Windenergieanlagen und Photovoltaik, wie in Abbildung 3.25 dargestellt, und für

die Installation von erneuerbaren Energien verfügbaren Flächen im Land werden entsprechende Ausbauszenarien abgeleitet, welche eine Prognose zur Last- und Erzeugungssituation bis 2033 gemäß unterschiedlicher Annahmen darstellen. Die Ergebnisse dieser Analyse werden anschließend hinsichtlich der Netzsituation und der Netzausbauplanung im Land Sachsen-Anhalt durch Zusammentragung aktuell durchgeführter Netzeingriffe und Netzengpässe ergänzt und anhand geeigneter Simulation die Netzsituation ermittelt. Erweitert wird diese Betrachtung durch die Analyse der Gasnetze mit dem Fokus der Einspeisung von Biomethan. Auf der Grundlage der Ist-Situation und der geplanten Ausbauszenarien für das elektrische Netz und die erneuerbaren Energien werden abschließend die relevanten Themen und Handlungsempfehlungen für die Dialogplattformen aufbereitet. Hierbei sind wesentliche Schlussfolgerungen zum Netz- und EE-Ausbau sowie Empfehlungen für die Politik zu formulieren.

SIGUARD® DSA: Dynamische Netzsicherheitsberechnungen¹⁰

Im Hinblick auf geplante Großprojekte zu Offshore-Wind- und Solarparks und auf den stetig steigenden Anteil an Erneuerbaren Erzeugern mit ihrem volatilen Charakter werden dynamische Stabilitätsanalysen zukünftig wichtiger, um schneller die richtigen netzstützenden Maßnahmen vorzuschlagen.

Ein sogenanntes Online-DSA-System, wie zum Beispiel das System SIGUARD® DSA der Firma SIEMENS, muss zum Einen den dynamischen Zustand des elektrischen Netzes widerspiegeln und zum Anderen den Margin zu kritischen Zuständen bestimmen und visualisieren. Da der aktuelle Snapshot mit den relevanten Systemparametern die Grundlage für die dynamischen Netzsicherheitsberechnungen darstellt, muss das System mit den Leitwarten zusammenarbeiten. Mithilfe des Snapshots werden sogenannte Pre- und Post-Contingency-Working-Points berechnet. Contingencies sind hierbei Netzsituationen, welche das Netz in einen kritischen Zustand überführen könnten (zum Beispiel Betriebsmittelausfälle, Schalthandlungen, Kurzschlüsse usw.). Diese werden in Zusammenarbeit mit dem Netzbetreiber definiert. Der Snapshot wird alle 15 Minuten aktualisiert. Um in diesem Zeitraum alle Post-Contingency-Zustände ermitteln zu können, erfolgen die Berechnungen parallel und priorisiert, das heißt kritische Contingencies werden zuerst berechnet.



Abbildung 3.26: Prinzip der dynamischen Netzsicherheitsberechnung

¹⁰ von Dr.-Ing. Ines Hauer

Der zu bestimmende Netzzustand wird durch eine Vielzahl von Indizes charakterisiert, die das Netz und seine Betriebsmittel u. a. hinsichtlich Spannungsstabilität, transienter Stabilität und Frequenzstabilität abbilden. Alle Indizes werden durch eine Fuzzylogik kombiniert und bilden einen globalen Index, der den Netzzustand wiedergibt. Ist der Index, der von 0 bis 1 variieren kann, im gelben und grünen Zustand (bis zu einem Wert von 0,6) ist der Netzzustand stabil. Ab einem Wert von 0,7 geht das System in einen kritischen Zustand (rot, z. B. durch Grenzwertüberschreitungen) bis hin zu einem Blackout (schwarz – Index = 1).

Dieser Index wird visualisiert, sodass der Netzbetreiber informiert ist und handeln kann. Um die Entscheidung des Netzbetreibers zu unterstützen soll SIGUARD[®] DSA aufbauend auf diese Indexberechnung geeignete Gegenmaßnahmen für die kritischen Contingencies anbieten. Der Vorschlag statischer und dynamischer Maßnahmen ist Gegenstand derzeitiger Untersuchungen am LENA.

Brennstoffzellen-USV: Zuverlässige und effiziente Stromversorgung für Kommunikations- und Mobilitätssysteme¹¹

Das Verbundprojekt befasst sich zusammen mit dem Industriepartner, der Elektromotoren und Gerätebau Barleben (EMB), mit der Entwicklung und Analyse einer Unterbrechungsfreien Stromversorgung (USV) auf Basis einer PEM-Brennstoffzelle. Das Projektziel ist die Analyse der einzelnen Systembestandteile bestehend aus Verfahrenstechnik, Brennstoffzelle, Leistungselektronik, Steuerung und Gehäuse für den Einsatz als USV und die Implementierung sowie Erprobung von anwendungsabhängigen Betriebsstrategien. Die Funktionalität der USV für den Outdoor-Betrieb wird an einem aufgebauten Funktionsmuster getestet.

Im Berichtszeitraum wurde das USV-System am LENA aufgebaut und erfolgreich in Betrieb genommen. Das Brennstoffzellensystem startet zuverlässig innerhalb von wenigen Sekunden nach einem provozierten Netzausfall und versorgt die elektrische Last. Die Systemkomponenten und die Last werden zwischen Netzausfall und dem Start der Brennstoffzelle durch einen Akkumulator versorgt. Die Funktion der Leistungselektronik wurde sowohl separat ohne Brennstoffzelle als auch im Gesamtsystem getestet. Ein weiterer Schwerpunkt war die Validierung der entwickelten Steuerungssoftware im Normalbetrieb und für simulierte Fehlerfälle. Dazu zählen der Ausfall der Wasserstoffversorgung, der Austritt von Wasserstoff und die sofortige Abschaltung der Anlage sowie das Systemverhalten für simulierte Netzausfälle in kurzer Abfolge, das Versagen von leistungselektronischen Stellgliedern und das Verhalten der Anlage bei nicht startender Brennstoffzelle. Für diese und weitere Fälle wurden die Funktionen der entwickelten Sicherheitsalgorithmen untersucht. Ein Betrieb auf dem Universitätsgelände wurde durchgeführt, um das Temperaturverhalten im Inneren der Anlage in Abhängigkeit der Außentemperatur zu testen und die Auslegung des Heizungssystems durchzuführen.

Das entwickelte USV-System wurde an den Projektpartner EMB übergeben. Dort folgt der Test der Anlage im Umfeld einer praktischen Anwendung. Das System ist für den Außeneinsatz konzipiert und muss großen Temperaturschwankungen und Witterungsbedingungen standhalten. Insbesondere die Temperaturverhältnisse im Innenraum erfordern regelungstechnische Strategien, um sowohl ein Einfrieren der Brennstoffzelle als auch ein Überhitzen von Komponenten zu vermeiden. Dabei sind äußerst effiziente Lösungen umzusetzen, damit der Eigenenergieverbrauch der Anlage minimiert und die Laufzeit der Brennstoffzelle im USV-Betrieb maximal ist.

¹¹ von Dr.-Ing. Maik Heuer



Abbildung 3.27: BZ-USV auf dem Außengelände der OvGU zur Überprüfung des Temperaturverhaltens im Anlageninneren

MD-E4: Magdeburg - energieeffiziente Stadt¹²

Seit dem Jahr 2011 läuft das Projekt MD-E4, das vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) gefördert wird. Die Stadt Magdeburg hat damals mit 4 anderen Städten (von über 70 Bewerbern) den Wettbewerb gewonnen. Mit der Fördermaßnahme und den damit verbundenen Mitteln will das Ministerium einen Beitrag zur Gestaltung der Zukunft leisten und diesbezüglich systemorientierte Aspekte aufgreifen. Es geht um die Erforschung ganzer Energie- bzw. Versorgungssysteme, wobei neuartige Konzepte für eine effizientere Energienutzung in Städten entwickelt, modellhaft umgesetzt und verbreitet werden sollen.

Der Lehrstuhl ist zusammen mit weiteren Partnern an der Maßnahme B2 „Unterstützung der Qualität und Effizienz der elektrischen Verteilungsnetze durch automatisierte Ortsnetzstationen und Lastmanagement“ beteiligt. Partner sind das Institut für Automation und Kommunikation e. V. (ifak) und die Städtischen Werke Magdeburg (SWM). Durch die Integration der zunehmenden Zahl von dezentralen Erzeugern ins Netz wird die Einhaltung relevanter Parameter im örtlichen Netz schwieriger. Die Maßnahme B2 schafft in diesem Zusammenhang Konzepte und Beispiele, die eine gewohnte Qualität und Stabilität der elektrischen Netze der Stadt sicherstellen sollen. Dadurch können bestehende Kapazitäten besser genutzt, Leistungsflüsse im Netz optimiert und somit ein eventueller Netzausbau vermieden werden.

Das Projekt läuft planmäßig. Die Komponenten des eingesetzten Systems wurden im Laboratorium der Hochschule getestet und eingesetzt. Es wurde die spätere Anwendung simuliert, die Ergebnisse ausgewertet und diese dem Konsortium für weitere Forschungen und Entwicklungen zur Verfügung gestellt. Die praktische Umsetzung, wie im Projektplan vereinbart, ist bereits abgeschlossen. Durch den Zugriff werden im Konsortium Erkenntnisse gesammelt, die für den weiteren Verlauf und einen erfolgreichen Abschluss des Projektes wichtig sind.

¹²von Dr.-Ing. Günter Heideck

INEV: Integration von EE-Anlagen in die Verteilnetze strukturschwacher Räume¹³

Strukturschwache Räume zeichnen sich durch ein ungünstiges Verhältnis von (niedriger) Abnahmeleistung der Lasten und (relativ hoher) Einspeiseleistung der angeschlossenen EE-Anlagen aus. Daraus entstehen sowohl technische, betriebswirtschaftliche als auch regulatorische Herausforderungen.

Die Integration von dezentral aufgestellten EE-Anlagen in die Verteilnetze auf der Nieder- und Mittelspannungsebene schafft für die Verteilnetzbetreiber, insbesondere für jene in strukturschwachen Regionen, Probleme, deren Behebung Ziel des Forschungsvorhabens ist. Im Einzelnen werden Referenznetze für strukturschwache Regionen gebildet, mit deren Hilfe eine modellgestützte Evaluation von ausgewählten technischen Maßnahmen zur Stabilisierung des Lastganges in Nieder- und Mittelspannungsnetzen durchgeführt wird. Parallel dazu finden die Beschreibung typischer Prozesse und die Abhängigkeit der dazugehörigen Aufwände von der EEG-Durchdringung durch die Modellierung der Transaktionskosten statt. Dabei sollen betriebswirtschaftliche Lösungsvorschläge erarbeitet werden. Auf deren Basis werden Benchmarks für regulatorische Anreizsysteme abgeleitet und Vorschläge für Veränderungen der gegenwärtigen Regulationspraxis erarbeitet.

ESYS-DSM: Fachgruppenleitung im Akademieprojekt „Energiesysteme der Zukunft“¹⁴

Das Projekt „Energiesysteme der Zukunft“ hat das Ziel, wissenschaftlich fundierte Handlungsoptionen für die Erreichung der energiepolitischen Ziele in Deutschland zu Erarbeiten. Die Initiative wird von der Nationalen Akademie der Wissenschaften Leopoldina, der Union der deutschen Akademien der Wissenschaften und ACATECH getragen.

Im Rahmen der interdisziplinären Ad-hoc-Gruppe „Flexibilitätskonzepte für eine sichere Energieversorgung“ wurde Prof. Styczynski die Leitung der Fachgruppe „Demand Side Management im Strommarkt“ übertragen. Zusammen mit Prof. Sauer von der RTWH Aachen und weiteren DSM-Experten, wie z. B. Prof. Jutta Hanson, Prof. Krzysztof Rudion und Prof. Dirk Westermann, sollen der Stand der Technik und die Entwicklungspotentiale im Strommarkt identifiziert sowie die Möglichkeiten für die Jahre 2023 und 2050 abgeschätzt werden. Um neben den Bereichen Haushalt, Elektromobilität und Gewerbe/Handel/Dienstleistung auch die Potentiale der Industrie zu erfassen, sind weitere Vertreter aus der Wirtschaft im Gremium vertreten, darunter Thomas Aundrup (Westnetz) und Oliver Stahl (Entelios). Zur akzeptanztechnischen Beurteilung ist außerdem Prof. Ellen Matthies (Umweltpsychologie, OvGU) mit dabei.

Auf Basis von definierten Steckbriefkriterien werden geeignete Technologien in jedem Bereich hinsichtlich ihrer Eignung zur Lastverschiebung bzw. -reduzierung untersucht. Um später eine Einschätzung zur Realisierbarkeit abzugeben, werden neben den technischen Kriterien (Energie- menge, Leistung, verschiebbare Zeit) auch die wirtschaftlichen Hindernisse und regulatorische sowie akzeptanztechnische Aspekte beleuchtet.

Im Anschluss erfolgt eine Zusammentragung der Optionen in Form einer Merit-Order-Kurve. Damit sollen DSM-Technologien im Hinblick auf bereitgestellte Leistungen und Energiemengen eine Alternative zu Steuerungseingriffe in Kraftwerks- bzw. Speichersysteme darstellen. Die erforderlichen Grenzkosten für benötigte Leistungen bzw. Energiemengen können so verglichen werden.

¹³ von Dr.-Ing. Ines Hauer

¹⁴ von M. Sc. Marc Richter

Projekt Baikal: Fertigung und automatisierter Test von Membranen für Brennstoffzellen¹⁵

Im Projekt Baikal forschen die Technische Universität Irkutsk und der LENA der Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg u. a. an der Entwicklung und Diagnose von Membranen für Brennstoffzellen sowie an automatisierten Testverfahren, um eine schnelle und effiziente Analyse der Membranen durchzuführen. Die Forschungsschwerpunkte der TU Irkutsk liegen im Bereich der Fertigung von Membranen mit verschiedenen Materialzusammensetzungen und Katalysatorbeladungen sowie der optischen Post-Mortem-Analyse durch zwei- und dreidimensionale Aufnahmen verschiedener Mikroskope. Die Aufgaben des LENA bestehen in der Projektierung einer automatisierten Messumgebung zum Test verschiedener Membranen und der Integration von Diagnosesystemen, um während der Messung die Eigenschaften der Membranen zu quantifizieren. Das Schema des Teststands ist in Abb. 3.28 dargestellt.

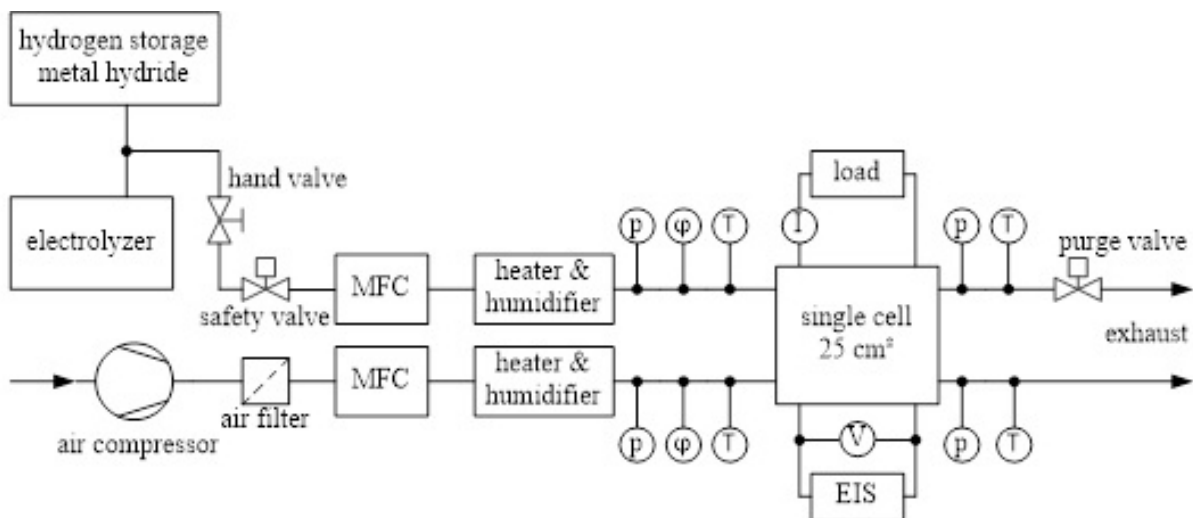


Abbildung 3.28: Systemkonzept zur Analyse von Membranen

Im Mai dieses Jahres erfolgte die erfolgreiche Inbetriebnahme des Teststandes durch Mitarbeiter der Brennstoffzellengruppe an der Technischen Universität Irkutsk. Nach erfolgter Lieferung der gesamten Systemkomponenten in das Labor des Technoparks der TU, wurde der Teststand durch die angereisten wissenschaftlichen Fachkräfte des LENA endmontiert und in Betrieb genommen (siehe Abb. 3.29). Zudem wurde eine Ladestation für Wasserstoffspeicher auf Basis von Metallhydrid mit Hilfe eines Elektrolyseurs realisiert. Anschließend erfolgte eine intensive, mehrtägige Schulung der wissenschaftlichen Mitarbeiter vor Ort. Dazu wurden unter anderen mehrere Testszenarien vorbereitet und zusammen mit dem Personal durchgeführt.

Mit Hilfe des durch die OvGU installierten Teststandes ist die TU Irkutsk heute in der Lage, die eigenen hergestellten Membranen für Brennstoffzellen unter realen Bedingungen zu untersuchen, messtechnisch zu erfassen und Ableitungen für Optimierungen zu entwickeln.

IRSES-ELECON: Internationale Vernetzung unterstützt die Smart Grid Entwicklung¹⁶

Eine zeitnahe und erfolgreiche Konzeptionierung und Umsetzung eines Smart Grids, das eine intelligente Vernetzung aller Akteure im elektrischen Versorgungsnetz durch innovative Kommunikationstechnologien bedeutet, erfordert eine starke Zusammenarbeit der weltweiten Kompetenzen und die Förderung des wissenschaftlichen Nachwuchses. Innerhalb des IRSES-ELECON-Projektes

¹⁵ von M. Sc. Michael Wenske, M. Sc. Philipp Kühne

¹⁶ von Dr.-Ing. Ines Hauer



Abbildung 3.29: Inbetriebnahme des Teststandes an der TU Irkutsk

wird speziell die Zusammenarbeit junger, europäischer und brasilianischer Wissenschaftlicher gefördert. Im Vordergrund der Untersuchungen stehen eine Potentialanalyse und Umsetzungskriterien für ein aktives Lastmanagement und die Identifikation der nichttechnischen Verluste. Weiterhin wird eine innovative Kommunikationsinfrastruktur mit angepassten dezentralen Modellen thematisiert, da sie eine wichtige Voraussetzung für die technische Realisierung des Smart Grids darstellen.

Das ELECON-Projekt hat im Einzelnen folgende Ziele:

- Konsolidierung eines internationalen Netzwerks von wissenschaftlichen Einrichtungen zwischen der EU und Brasilien
- Nutzung von modernen Methoden und innovative Techniken zur Analyse des Stromverbrauchs und die Förderung der Energieeffizienz
- Erwerb und Austausch von wissenschaftlichem Know-how zwischen der EU und Brasilien
- Durchführung von Benchmark-Studien mit realen Daten
- Etablierung einer starken Basis für zukünftige, langfristige Kooperationen

Die EU ist in einer guten Position, die Übermittlung des konsolidierten Fachwissens im Bereich der Energietechnik international zu fördern und somit weltweit schnelle, effektive Veränderungen in diesem Bereich voranzutreiben. Brasilien ist ein sehr wichtiger Partner mit einzigartigen Netzstrukturen und Erfahrungen im Bereich der Energietechnik. Das komplementäre Know-how und das hohe wissenschaftlichen Niveau, das durch das Austauschprogramm unterstützt wird, werden zu qualitativ hochwertigen Ergebnisse führen und die Grundlage für eine dauerhafte Zusammenarbeit schaffen.

Im Rahmen des zweiten planmäßigen Austauschs war Herr André Richter, Doktorand am LENA, im Zeitraum vom 1. Juni bis zum 31. August 2014 in Brasilien an der Universidad São

Paulo (USP) in São Paulo. Er hatte die Aufgabe die typisch verwendeten Verbraucherprofile im elektrischen Netz in Deutschland zu recherchieren. In einem zusammenfassenden Bericht werden sowohl die Vorgehensweise zur Ermittlung der Standardlastprofile als auch diverse Standardlastprofile präsentiert. Während seines Aufenthaltes wurde Herr Richter von Kollegen der USP unterstützt. Aufgrund des breit gefächerten Forschungsspektrums an der USP haben sich viele Möglichkeiten ergeben, um mit Kollegen der USP ins Gespräch zu kommen und Laboratorien zu besichtigen. In den Laboratorien werden unter anderem Untersuchungen zu Schwarzstartfähigkeit, Photovoltaikanlagen bis hin zum Lastverhalten durchgeführt. Durch verschiedene Fachgespräche mit Mitarbeitern, Wissenschaftlern und Professoren konnte ein zusammenhängendes Bild über die Rolle von Smart Grids und Verbraucherverhalten in einem zukünftigen brasilianischen Stromnetz erstellt werden.

Darüber hinaus konnten auch Einblicke zum französischen Netz und der Entwicklung des Smart Grids in Frankreich gewonnen werden, da zeitgleich ein Kollege aus Grenoble an dem Austausch teilgenommen hat. Neben Besichtigungen der Laboratorien boten vor allem diverse Präsentationen die Möglichkeit aktuelle Forschungsschwerpunkte auszutauschen und Diskussionen über vielfältige Betrachtungsweisen in Brasilien, Frankreich und Deutschland zu führen. Nicht zuletzt konnten wertvolle kulturelle, persönliche und sprachliche Kompetenzen gewonnen werden, was zusammengefasst den Aufenthalt in Brasilien zu einer sehr profitablen Erfahrung für alle beteiligten Seiten gemacht hat.

Weiterhin sind im Rahmen des Projektes in diesem Jahr vier brasilianische Kollegen an der OvGU gewesen. Herr Justo Rosé Roberts (UNESP, Bundesstaat São Paulo) führte während seines Aufenthalts Analysen mit dem Schwerpunkt der Erarbeitung und Differenzierung von Lastprofilen in São Paulo durch. Diese Arbeit wurde teilweise durch Prof. Faria Neto fortgeführt. Prof. Neto's Aufenthalt gestaltete sich jedoch hauptsächlich vor dem Hintergrund des Forschungs- und Erfahrungsaustausches zum Thema „Speicher im Smart Grid“. Dr. Valdomiro Vega Garcia (USP), aus der Stadt São Paulo, untersuchte weiterhin zum einen den Einfluss von Großevents auf das Verbraucherverhalten in den Ländern der Projektpartner und zum anderen betrieb er einen regen Austausch im Bereich „Demand Response in Smart Buildings“ und der unterbrechungsfreien Lastmessung. Der Aufenthalt von Ricardo de Avila Geisler (IFSC, Florianopolis) begann im September 2014 und wird bis Februar 2015 andauern. Während dieser Zeit wird Herr Geisler verschiedene Themenfelder im Bereich der Forschung für Smart Grids in Deutschland erarbeiten.

Bestandteil des Projektes ist außerdem ein jährlicher Workshop, mit Teilnahme aller Projektpartner, welcher dieses Jahr vom 28. bis 29. Oktober 2014 in Magdeburg stattfand und von der OvGU ausgerichtet wurde. Zu diesem Anlass konnten Vertreter aller Partneruniversitäten begrüßt werden. Den Auftakt des Workshops bildete eine Stadtführung durch den historischen Teil Magdeburgs mit anschließenden Präsentationen und Vorstellungen der Forschungseinrichtungen. Als nächstes wurden diverse Labore, wie das Brennstoffzellenlabor und der HVDC-Testaufbau, vorgestellt und der erste Tag mit einem gemeinsamen Abendessen abgeschlossen.

Schwerpunkt des zweiten Tages des Workshops waren Präsentationen von Forschungsergebnissen im Bereich der Verbrauchercharakterisierung. Der Auftakt um 9:30 Uhr und die Moderation wurde dabei durch die OvGU gestaltet. Den Abschluss des Workshops bildete eine projektinterne Besprechung zum aktuellen Stand und zur weiteren Planung in der zweiten Periode des Projektes ab Oktober 2014.

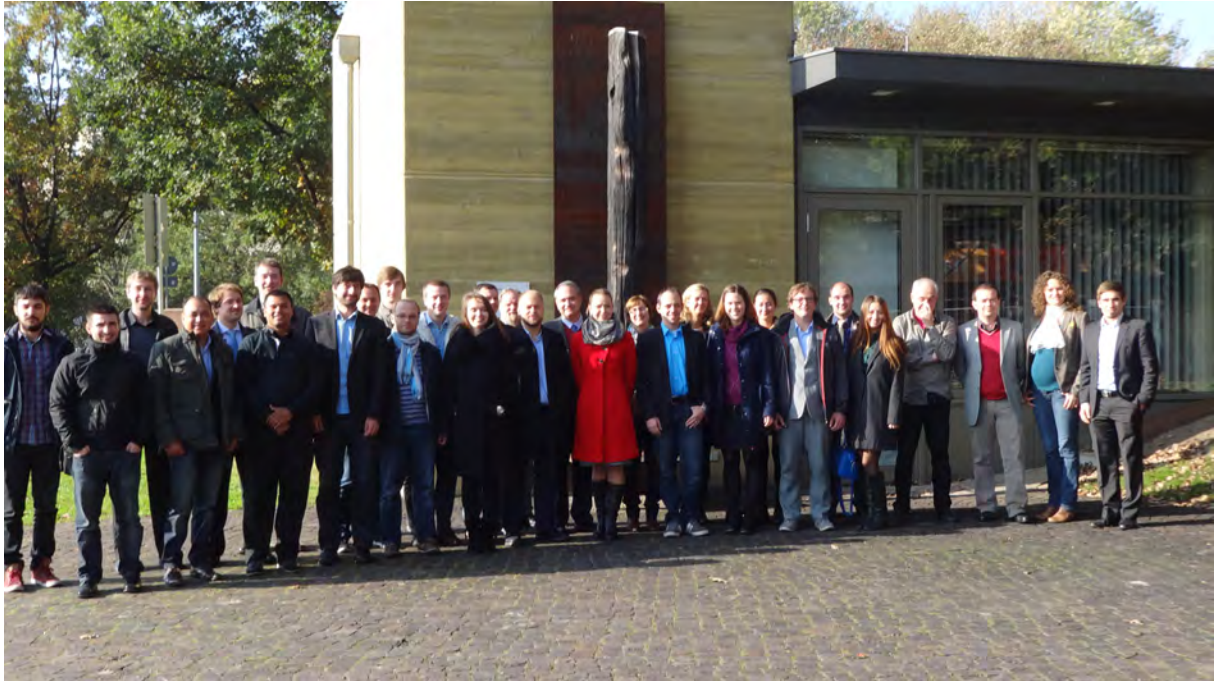


Abbildung 3.30: Gemeinschaftsfoto der Besucher der 2. Präsentationsrunde in der Lukasklausur

3.2.3 Ausgründungen

DiLiCo engineering GmbH¹⁷

Die DiLiCo engineering GmbH geht aus einem Ingenieursteam unter der Leitung von Herrn Dr.-Ing. M. Heuer der Fakultät für Elektrotechnik und Informationstechnik der OvGU Magdeburg hervor und entwickelt Mess- und Diagnosegeräte für Brennstoffzellen, Batterien und Elektrolyseure. Der Name DiLiCo steht für „Diagnostic to ensure Lifetime and reduce Costs“ und leitet sich aus der Motivation ab durch innovative Mess- und Diagnosegeräte elektrochemische Energiewandler und Speicher für den Einsatz in zukünftigen Energiesystemen zu optimieren.



Abbildung 3.31: Logo der DiLiCo engineering GmbH

Das Team besitzt langjährige Erfahrungen in der Entwicklung von Messgeräten zur Diagnose von Energiespeichern und -wandlern mit dem Schwerpunkt Brennstoffzelle. In der Vergangenheit entstanden daraus zwei Systeme für Industriepartner, die seit Jahren zuverlässig im Einsatz sind und weltweit vermarktet werden. Weitere Kompetenzen sind die Entwicklung von Brennstoffzellensystemen und Anlagensteuerungen für Anwendungen im Bereich Hilfsstromaggregate und unterbrechungsfreie Stromversorgungen (USV).

Mission: Wir entwickeln innovative und kundenspezifische Mess-, Diagnose- und Überwachungslösungen für die Energiesysteme unserer Kunden.

¹⁷ von Dr.-Ing. Maik Heuer

Kontakt:

Internet: <http://www.dilico.de/> (online ab Dezember 2014)

Mail: info@dilico.de

Sitz der Gesellschaft: 39104 Magdeburg

Geschäftsführer: Dr.-Ing. Maik Heuer

Registergericht: Amtsgericht Stendal

Handelsregister: HRB 20817

3.2.4 Promotionen

Dr.-Ing. Christian Röhrig: Smart Distribution Planung unter Berücksichtigung von residualen Lasten

Gutachter:

- Prof. Zbigniew Styczynski, Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg
- Prof. Peter Schegner, Technische Universität Dresden
- Prof. Krzysztof Rudion, Universität Stuttgart

(verteidigt am 09. April 2014 an der Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg)



Abbildung 3.32: Gratulation an Herrn Dr. Christian Röhrig am Otto-von-Guericke-Denkmal

Die Dissertation mit dem Titel „Smart Distribution Planung unter Berücksichtigung residualer Lasten“ bietet durch eine neue Planungsmethode den Ansatz für die Optimierung der Ausbauplanung eines vorhandenen elektrischen Verteilungsnetzes unter Anwendung von smarten Lösungen.

Dabei fand der zeitlich wechselnde Einfluss von Verbrauch und Erzeugung in der örtlichen Auflösung eine Berücksichtigung. Mittels Generierung wettermodellbasierender Einspeisezeitreihen für Photovoltaik und Windkraft wurde der volatile Einfluss auf das Netz abgebildet. Mit Hilfe einer clusterbasierenden Zuordnungsmethode für Lasten und Erzeugung (siehe Abbildung 3.33) ist hierbei eine ortsdifferenzierte, residuallastbasierende Methode angewendet worden. Einfluss nahmen hierbei sowohl Informationen der regionalen Raumplanung als auch die Entwicklungstendenzen der Demografie. Die Berechnungen wurden auf Basis von $\frac{1}{4}$ -Stunden-Jahresverläufen mit der Simulationsumgebung PSS[®]NETOMAC durchgeführt und in der Zeitreihengenerierung mittels MATLAB unterstützt.

Aufgrund der Verwendung des Regionalen Modells (REMO) konnten meteorologische Einflüsse in der Generierung von Einspeiseprofilen regenerativer Erzeugungsanlagen berücksichtigt werden. Durch definierte Ausbauszenarien sind die Rahmenbedingungen für die Netzsimulationen festgelegt worden. Die Entwicklung einer Zielfunktion, die die Ausbau- sowie die Betriebskosten betrachtet und minimiert, ermöglichte unter Verwendung der dynamischen Programmierung nach Bellmann eine szenarienbasierte Optimierung der Gesamtkosten für ein festgelegtes Netzgebiet.

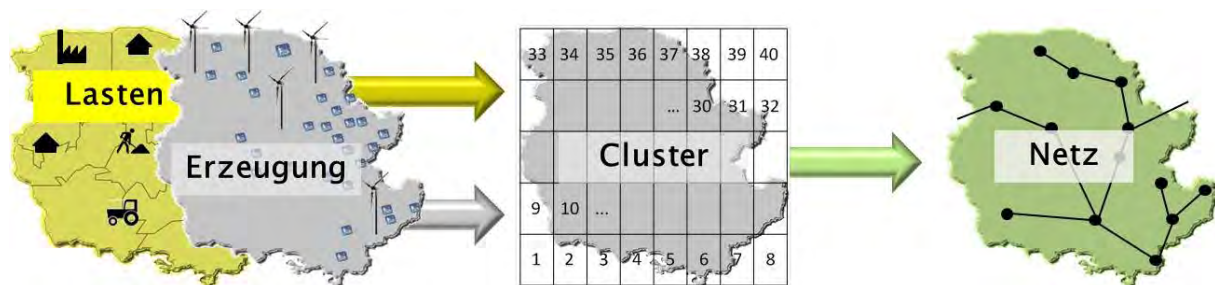


Abbildung 3.33: Cluster-basierende Zuordnung der Lasten und der Erzeugung auf die Umspannwerke in der Planungsregion

Am Beispiel eines ausgewählten Versorgungsgebietes wurde der Einfluss der Lösungsansätze veranschaulicht. Die Anwendung eines selektiven Einsatzes des Freileitungsmonitorings, der Demand Side Integration und eines Speichers in einem 110 kV-Netz zeigten im Vergleich zur Netzverstärkung und unter Bewertung der Integrationseffizienz, wie das Ziel einer vollständigen Integration der erneuerbaren Energieerzeugungsanlagen für eine ausgeglichene Jahresenergiebilanz zwischen Lasten und regenerativer Erzeugung auf kostenminimalem Weg erreicht werden kann. Unter dem Einsatz aller zur Verfügung stehenden smarten Lösungen wurde der $(n - 1)$ -sichere Betrieb zu 99,9 % der Zeit im Jahr ermöglicht. Diese Lösungsvariante wurde einer umfassenden Netzverstärkungsmaßnahme (ermitteltes Optimum der Lösungen) gegenübergestellt, was den Einsatz der smarten Technologien an diesen Betriebsmitteln erübrigen würde und eine 100 %-ige Integration der Erzeugungsleistung ermöglichen kann. Für einen Zeitraum von 30 Jahren verursachte diese Variante mit 151 Mio. € die geringsten Kosten, während die Kosten bei unverändertem, lokalem Netz und ohne smarte Technologien innerhalb dieser Zeit auf das ca. 20-fache steigen würden.

Eine vergleichende Zuverlässigkeitsanalyse gab Auskunft über die szenarienspezifischen Veränderungen der Netz-Zuverlässigkeitsparameter (DISQUAL-Indizes). Im Vergleich zum Netzbetrieb ohne Erzeugung, wurde eine Nichtverfügbarkeit bzgl. der Last von $77 \frac{\text{min}}{\text{a}}$ ermittelt. Dieses Ergebnis wurde im Vergleichsszenario mit hohem Ausbaugrad erneuerbarer Energien auf $88 \frac{\text{min}}{\text{a}}$ gesteigert. Mit der akzeptablen Steigerungsrate von ca. 14 % kann somit, unter Berücksichtigung des hohen Leistungszuwachses dezentraler Erzeugungsanlagen, nach heutigen Maßstäben von einem zuverlässigen Verteilungsnetzbetrieb ausgegangen werden.

Dr.-Ing. Natalia Moskalenko: Optimal Dynamic Energy Management System in Smart Homes

Gutachter:

- Prof. Zbigniew Styczynski, Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg
- Prof. Nikolai Voropai, Direktor des Sibirischen Instituts der Energie
- Prof. Antje Orths, Energinet.dk

(verteidigt am 08. Juli 2014 an der Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg)



Abbildung 3.34: Gratulation an Frau Dr. Natalia Moskalenko vor dem Werner-von-Siemens-Gebäude

Energieeinsparmaßnahmen sind wichtige Faktoren, um die Ressourcen und die Umwelt zu schützen. Im Rahmen dieser Dissertation wurde das entwickelte optimale dynamische Energiemanagementsystem (ODEMS) vorgestellt, welches einen umfassenden Lösungsansatz zur Analyse und zum optimalen Betrieb aller Systemkomponenten und des gesamten Microgridsystems ermöglicht. Es wurde untersucht, in welchem Umfang das implementierte ODEMS den Stromverbrauch und die damit verbundenen Stromkosten reduziert, ohne die Funktionalität und den Komfort in einer komplexen Gebäudeinfrastruktur negativ zu beeinflussen. Als komplexe Gebäudeinfrastruktur wurde in dieser Arbeit ein Smart Home mit Stromverbrauchern, dezentralen Energieerzeugern (erneuerbaren Energiequellen) und Energiespeichern betrachtet.

Das entwickelte ODEMS enthält Grundfunktionen gemäß des internationalen Standards ISO 50001:2011 und besitzt außerdem mehrere Zusatzfunktionen, beispielsweise eine Vorhersagefunktion oder eine Systemkomponentensteuerung. Das ODEMS bietet drei verschiedene Arbeitsphasen (Online-Monitoring, Vorhersagephase und Betriebsphase), die miteinander verbunden sind, um die zuverlässige Funktionsweise des gesamten Systems zu gewährleisten. Um die effektive und korrekte Online-Überwachung von Systemkomponenten sicherzustellen, wurden verschiedene Installationskonzepte der Messtechnik und Kommunikationsprotokolle (z. B. IEC 61850) untersucht und ausgewählt.

In der Vorhersagephase werden zukünftige Zustände der Systemhauptkomponenten prognostiziert. Hierzu wurden Vorhersagealgorithmen auf Basis von künstlichen neuronalen Netzen entwickelt und implementiert, um den zukünftigen Stromverbrauch, die Stromerzeugung und die Verfügbarkeit

der mobilen Speicher zu prognostizieren. Der Vorhersagehorizont wurde so definiert (z. B. 1 Stunde), dass ausreichend Zeit für die Gerätesteuerung und zur Verbesserung des gesamten Systembetriebs zu Verfügung steht.

Die Betriebsphase sorgt für den optimalen Fahrplan aller Systemkomponenten unter der Berücksichtigung von unterschiedlichen Steuerungsstrategien (ökonomische, ökologische und multikriterielle Betrachtung). Die Auswahl der am besten geeigneten Steuerungsstrategie ist von den aktuellen Zuständen der Systemkomponenten, Umgebungsbedingungen, Stromtarifen und von den Zielen abhängig. Die Optimierung wurde mit dem Mixed-Integer-Linear-Programming-Verfahren (MILP) durchgeführt. Die Zielfunktionen der einzelnen Steuerungsstrategien und deren Grenzbedingungen sind in der Dissertation dargestellt. Das entwickelte ODEMS wurde in einem realen Gebäude implementiert und getestet. Die Energieersparnisse im Testbetrieb vom entwickelten und implementierten Softwaresystem bestätigen das Konzept und die These dieser Dissertation (siehe Abbildung 3.35).

Steuerungsstrategie	Reduzierung von elektr. Energie aus dem Netz		Reduzierung von Stromkosten [%]	CO ₂ -Austoß von Autos [t]	Reduzierung von gesamten CO ₂ Emissionen [t]
	[kWh]	[%]			
Ohne Optimierung	0	0	0	15.952	0
Ökonomische	3.956*10 ⁴	6.58	11.8	1.823	21.403
Ökologische	4.1*10 ⁴	6.81	11.12	0	22.14
Multi-kriterielle	2.226*10 ⁴	3.7	13.51	Keine Information	12.04

Abbildung 3.35: Simulationsergebnisse für 1 Jahr

Dr.-Ing. Ines Hauer: Optimale Last- und Erzeugungsanpassung bei kritischen Netzzuständen — Algorithmen und deren Bewertung —

Gutachter:

- Prof. Zbigniew Styczynski, Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg
- Prof. Dirk Westermann, Technische Universität Ilmenau

(verteidigt am 09. September 2014 an der Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg)

Ausgehend von aktuell gemessenen Systemparametern werden im elektrischen Versorgungsnetz die Netzzustände bestimmt und das Gefährdungspotential detektiert. Dynamische Netzsicherheitsprogramme können Netzbetreiber in einem sicheren Netzbetrieb unterstützen, um besonders bei kritischen Situationen schnell und optimal auf Zustandsänderungen zu reagieren. Darauf aufbauend wurden in dieser Arbeit Methoden vorgeschlagen, die es erlauben adaptive Maßnahmen zu berechnen, die dem Netzbetreiber optimale Handlungen erleichtern. Dabei liegt der Fokus darauf, die technisch effektivste Maßnahme zu bestimmen, die das System mit minimaler Anpassung in den Normalzustand zurückführen würde.

In der vorliegenden Arbeit wurden insbesondere Algorithmen untersucht, die die Bestimmung der optimalen Last- bzw. Erzeugungsanpassung bei Engpass-, Langzeitspannungs- und Frequenzstabilitätsproblemen ermöglichen. Die untersuchten Algorithmen basieren auf stationären Berechnungsmethoden, deren Wirksamkeit sowohl statisch aber auch zu einem großen Teil dynamisch, mit Hilfe des Netzsimulators SIGUARD[®]DSA, geprüft wurde.



Abbildung 3.36: Gratulation an Frau Dr. Ines Hauer vor dem Werner-von-Siemens-Gebäude

Als Erstes wurden zwei Methoden zur Bestimmung eines optimalen Redispatch zur Behebung von kritischen Leitungsempfängen untersucht, die auf einer Erweiterung des Newton-Raphson-Verfahrens und dem Power-Transfer-Distribution-Factor (PTDF) basieren. Die Untersuchungen zeigen die Eignung der beiden Methoden.

Als Zweites wurde die optimale Lastanpassung zur Behebung von Spannungsproblemen am Beispiel von Unterspannung untersucht. Es wurden drei ausgewählte Methoden zur Identifizierung geeigneter Netzknoten, an denen eine stabilisierende Lastanpassung erfolgen kann, vorgestellt und miteinander verglichen. Auf Grundlage der Erweiterung des Newton-Raphson-Verfahrens für Spannung wurde die anzupassende Leistung an den ausgewählten Knoten berechnet. Die Überprüfung der Ergebnisse führt zu guten Ergebnissen, allerdings mit Abweichungen. Für kleine Spannungsänderungen kann der Algorithmus aber in der dynamischen Netzsicherheitsberechnung angewendet werden.

Zum Dritten wurde ein neues Konzept zur Parametrierung des automatischen Lastabwurfs bei Unterfrequenz entworfen und analysiert, das den steigenden Anteil Erneuerbarer Erzeuger im Verteilungsnetz berücksichtigt. Die Ergebnisse zeigen, dass das neue Konzept, das auf Jahresmittelwerten basiert, langfristig das klassische Lastabwurfkonzept, welches Jahreshöchstlasten zu Grunde legt, ablösen kann.

3.2.5 Veröffentlichungen

Zeitschriften- und Konferenzbeiträge

- [1] P. Lombardi, C. Röhrig, K. Rudion, R. Marquardt, M. Müller-Mienack, A. S. Estermann, Z. A. Styczynski und N. I. Voropai, „An A-CAES pilot installation in the distribution system: A technical study for RES integration“, *Energy Science & Engineering*, Bd. 2, S. 116–127, Aug. 2014. DOI: 10.1002/ese3.38. Adresse: <http://dx.doi.org/10.1002/ese3.38>.

- [2] A. Naumann, I. Bielchev, N. Voropai und Z. A. Styczynski, „Smart grid automation using IEC 61850 and CIM standards“, *Control Engineering Practice*, Bd. 25, S. 102–111, 2014, ISSN: 0967-0661. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.conengprac.2013.12.001>. Adresse: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0967066113002335>.
- [3] B. Ceran und P. Bernstein, „Operational characteristics of proton exchange membrane (PEM) fuel cells“, *Przegląd Elektrotechniczny*, Bd. 10, S. 102–105, 2014, ISSN: 0033-2097. DOI: 10.12915/pe.2014.10.26. Adresse: http://pe.org.pl/abstract_pl.php?nid=8771.
- [4] B. Ceran und P. Bernstein, „Application PEM fuel cells in distributed generation“, *Poznan University of Technology Academic Journals, Electrical Engineering*, Poznan University of Technology academic journals; 79, Bd. 79, S. 157–164, 2014, ISSN: 1897-0737.
- [5] N. I. Voropai, Z. A. Styczynski, I. N. Shuhpanov, T. S. Pham und K. V. Suslov, „Security model of active distribution electric networks“, *Thermal Engineering*, Bd. 60, Nr. 14, S. 1024–1030, 2014. Adresse: <http://dx.doi.org/10.1134/S0040601513140097>.
- [6] M. Banka, C. Wenge und P. Komarnicki, „Conformity test routines for electric vehicle charging connection“, in *Tagungsband zum Power and Energy Student Summit 2014 in Stuttgart*, IEEE, Stuttgart, Germany, 2014 Jan 23-24, S. 17–22.
- [7] P. Trojan, „Reliability assessment of Smart Grid“, in *Tagungsband zum Power and Energy Student Summit 2014 in Stuttgart*, IEEE, Stuttgart, Germany, 2014 Jan 23-24, S. 131–136.
- [8] G. de Mijolla, „Consumer interface for real-time electrical demand“, in *Tagungsband zum Power and Energy Student Summit 2014 in Stuttgart*, IEEE, Stuttgart, Germany, 2014 Jan 23-24, S. 61–65.
- [9] M. Richter, „Detaillierte Nachbildung von HGÜ-Seekabeln durch konzentrierte Elemente“, in *Tagungsband zum Dresdener Kreis 2014*, Leipzig, Germany, 2014 Mar 19-20.
- [10] P. Kühne, „Online-Diagnose zur Verfügbarkeitsprüfung netzgekoppelter PEM-Brennstoffzellen-USV-Systeme“, in *Tagungsband zum Dresdener Kreis 2014*, Leipzig, Germany, 2014 Mar 19-20.
- [11] N. Moskalenko, P. Lombardi und P. Komarnicki, „Multi-criteria optimization for determining installation locations for the power-to-gas technologies“, in *Proceedings of IEEE PES General Meeting 2014*, IEEE, National Harbor, MD, USA, 2014 Jul 27-31.
- [12] C. Wenge, A. Pelzer, A. Naumann, P. Komarnicki, S. Rabe und M. Richter, „Wide area synchronized HVDC measurement using IEC 61850 communication“, in *Proceedings of IEEE PES General Meeting 2014*, IEEE, National Harbor, MD, USA, 2014 Jul 27-31.
- [13] S. Rabe, „Offshore power system operational strategies for improved flexibility of wind energy generation“, in *Proceedings of IEEE PES General Meeting 2014*, IEEE, National Harbor, MD, USA, 2014 Jul 27-31.
- [14] I. Hauer, „Identification of suitable network nodes for application of countermeasures to reduce risk of system instability“, in *Proceedings of IEEE PES General Meeting 2014*, IEEE, National Harbor, MD, USA, 2014 Jul 27-31.
- [15] P. Lombardi, Z. A. Styczynski, T. Sokolnikova und K. V. Suslov, „Use of Energy Storage in Isolated Microgrids“, in *Proceedings of the PSCC 2014*, Wrocław, Poland, 2014 Aug 18-22.
- [16] M. Kale, I. Hauer, W. Kruschel, T. Maurer und P. Zacharias, „Use of multifunctional power electronic network control in smart distribution systems“, in *Proceedings of 16th International Power Electronics and Motion Control Conference and Exposition*, Antalya, Turkey, 2014 Sep 21-24, S. 878–883.
- [17] X. Liu, A. Lindemann, S. Rabe, M. Richter und Z. Styczynski, „Design and control of a small-scale HVDC lab prototype“, in *15th Workshop on Control and Modeling for Power Electronics (COMPEL)*, IEEE, Magdeburg, Germany, 2014 Jun 22-25, S. 1–9. DOI: 10.1109/COMPEL.2014.6877179.

- [18] X. Liu, A. Lindemann, S. Rabe, M. Richter und Z. A. Styczynski, „Implementation and Control of a Small-Scale HVDC Lab Prototype Considering Grid Code Requirements“, in *Proceedings of the PEAC 2014*, IEEE, Shanghai, China, 2014 Nov 5-8.

Dissertationen und Bücher

- [1] C. Röhrig, „Smart Distribution Planung unter Berücksichtigung von residualen Lasten“, MAFO Band 54, Diss., Otto-von-Guericke-University, Faculty of Electrical Engineering und Information Technology, Magdeburg, Germany, 2014, ISBN: 978-3-944722-06-1.
- [2] N. Moskalenko, „Optimal Dynamic Energy Management System in Smart Homes“, Diss., Otto-von-Guericke-University, Faculty of Electrical Engineering und Information Technology, Magdeburg, Germany, 2014.
- [3] I. Hauer, „Optimale Last- und Erzeugungsanpassung bei kritischen Netzzuständen - Algorithmen und deren Bewertung“, Diss., Otto-von-Guericke-University, Faculty of Electrical Engineering und Information Technology, 2014.
- [4] B. M. Buchholz und Z. A. Styczynski, *Smart Grids - Fundamentals and Technologies in Electricity Networks*. Springer Vieweg, Berlin, Heidelberg, 2014, ISBN: 978-3-642-45120-1.
- [5] B. M. Buchholz und Z. A. Styczynski, *Smart Grids - Grundlagen und Technologien der elektrischen Netze der Zukunft*. VDE Verlag, Berlin, 2014, ISBN: 3800735628.
- [6] R. Krebs, *Fundamentals of Power System Protection*, J. Nitsch, Z. A. Styczynski und N. I. Voropai, Hrsg. Res Electricae Magdeburgenses, 2014, MAFO Band 6 | 58.
- [7] Z. A. Styczynski, M. Stötzer und P. Lombardi, „Grundsätze der Energieversorgung“, in *Dubbel, 24., aktualisierte Auflage*, K.-H. Grote und J. Feldhusen, Hrsg. Springer Berlin, 2014, Kap. L1, S. 776–782.
- [8] —, „Primärenergien“, in *Dubbel, 24., aktualisierte Auflage*, K.-H. Grote und J. Feldhusen, Hrsg. Springer Berlin, 2014, Kap. 2, S. 783–795.
- [9] —, „Wandlung von Primärenergie in Nutzenergie“, in *Dubbel, 24., aktualisierte Auflage*, K.-H. Grote und J. Feldhusen, Hrsg. Springer Berlin, 2014, Kap. L3, S. 796–811.
- [10] —, „Verteilen und Speichern von Nutzenergie“, in *Dubbel, 24., aktualisierte Auflage*, K.-H. Grote und J. Feldhusen, Hrsg. Springer Berlin, 2014, Kap. 4, S. 812–817.
- [11] —, „Feuerungen“, in *Dubbel, 24., aktualisierte Auflage*, K.-H. Grote und J. Feldhusen, Hrsg. Springer Berlin, 2014, Kap. 5, S. 818–832.

Beiträge zu Kolloquien u. a. Vorträge

- [1] G. de Mijolla, „Regulatory Frameworks for Electricity Storage Infrastructure in Germany“, Joint Scientific Seminar on Smart Grids - Selected Topics, Warschau, Poland, 2014 May 22-23.
- [2] P. Komarnicki, „Impact of large Storage System on Distribution Grid Operation“, Joint Scientific Seminar on Smart Grids - Selected Topics, Warschau, Poland, 2014 May 22-23.
- [3] M. Richter, „Operation of a two-level VSC-HVDC Hardware Model“, Joint Scientific Seminar on Smart Grids - Selected Topics, Warschau, Poland, 2014 May 22-23.
- [4] I. Bielchev, „Adaptive Protection Concepts for Smart Grid“, Joint Scientific Seminar on Smart Grids - Selected Topics, Warschau, Poland, 2014 May 22-23.
- [5] C. Röhrig, „Smart Grid Planung“, Kolloquium mit Frau Dr. Britta Buchholz (ABB), Magdeburg, Germany, 2014 Jun 24.

- [6] A. Naumann, „Observability in Verteilungsnetzen“, Kolloquium mit Frau Dr. Britta Buchholz (ABB), Magdeburg, Germany, 2014 Jun 24.
- [7] M. Richter, „Identification of suitable network nodes for application of countermeasures to reduce risk of system instability“, IEEE PES General Meeting 2014, National Harbor, MD, USA, 2014 Jul 27-31.
- [8] —, „Offshore Power System Operational Strategies for improved Flexibility of Wind Energy Generation“, IEEE PES General Meeting 2014, National Harbor, MD, USA, 2014 Jul 27-31.
- [9] S. Rabe, „Zukünftige Betriebsführungsstrategien für HVDC“, 7. Systemsicherheitskonferenz, 50Hertz Transmission GmbH, Magdeburg, Germany, 2014 Sep 03-04.
- [10] I. Bielchev, „Adaptiver Netzschutz für Leitungen“, Kolloquium mit der TU Ilmenau, Magdeburg, Germany, 2014 Sep 10.
- [11] P. Bernstein, „Modellgestützte Betriebsführung von PEM-Brennstoffzellensystemen“, Kolloquium mit der TU Ilmenau, Magdeburg, Germany, 2014 Sep 10.
- [12] S. Rabe, „Modellierung einer 2-Terminal-HGÜ-Strecke - Ergebnisse und Ausblick“, Kolloquium mit der TU Ilmenau, Magdeburg, Germany, 2014 Sep 10.
- [13] M. Richter, „Sicherer Betrieb von Verteilnetzen mit einem hohen Anteil Erneuerbarer Erzeuger“, Ökosoziale Hochschultage Magdeburg, 2014 Dec 04-05.

3.3 Lehrstuhl für Elektromagnetische Verträglichkeit

3.3.1 Forschungsprofil

Vier wesentliche Schwerpunkte werden durch das Forschungsprofil des Lehrstuhls für Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV) abgedeckt:

- Analyse und Modellierung komplexer Systeme,
- EMV-Messverfahren,
- EMV in der Medizintechnik,
- Netzurückwirkungen und Power Quality.

Die EMV-Analyse und Modellierung komplexer Systeme beinhaltet insbesondere die Analyse der Ein- und Auskopplung elektromagnetischer Felder in/aus Systeme und Verkabelung, die Modellierung der Verkopplung im System und die Ein- und Auskopplung in/aus Komponenten. Einerseits steht die stochastische Einkopplung in Leitungen im Focus. Stochastische elektromagnetische Felder treten in Modenverwirbelungskammern oder elektrisch großen und geometrisch komplexen Hohlraumresonatoren wie Flugzeugrümpfen auf. Die Analyse der Einkopplung dieser Felder in Leitungen und alternativ die Einkopplung von elektromagnetischen Feldern in stochastische Leitungsstrukturen ist essentiell für die EMV-Analyse komplexer Systeme. Am Lehrstuhl werden die entsprechenden Theorien entwickelt und verifiziert.

Ziel weiterer Arbeiten ist es, EMV-gerechte Systeme kosteneffizient zu entwerfen, d. h. Methoden und Modelle für eine Bearbeitung der EMV in der Konstruktions- und Designphase zur Verfügung zu stellen. Dabei stehen die EMV automatisierter Elektroantriebe und die EMV im Kfz im Focus der Forschungsaktivitäten. Auch interdisziplinäre Aktivitäten, wie z. B. die Fehlerortung in Energieversorgungskabeln können diesem Forschungsschwerpunkt zugeordnet werden.

Der Themenkomplex der EMV-Messverfahren beinhaltet insbesondere die Weiterentwicklung von EMV-Mess- und Prüfverfahren. Insbesondere die Modenverwirbelungskammer (MVK) als alternative Messumgebung wird intensiv erforscht, ebenso der Vergleich von Emissionsmessungen und Störfestigkeitstests zwischen etablierten und alternativen Messumgebungen.

Medizintechnische Geräte erfordern eine besondere Beachtung der EMV, um den zuverlässigen Betrieb in jeder Situation sicherzustellen, woraus sich ein weiterer Forschungsschwerpunkt ableitet. Dabei steht aber nicht nur die EMV von medizintechnischen Produkten im Focus der Arbeiten, auch die Beeinträchtigung von bildgebenden Verfahren in der Diagnostik durch die Rückwirkung von medizinischen Werkzeugen, Implantaten oder Geräten ist Inhalt der Forschungsaktivität. Dabei ist der Lehrstuhl aktiv in den Forschungscampus Medizintechnik eingebunden.

Der vierte Schwerpunkt Netzqualität und Power Quality leitet sich aus dem verstärkten Einsatz von leistungselektronischen Betriebsmitteln in elektrischen Versorgungsnetzen ab, da diese Rückwirkungen im elektrischen Energieversorgungsnetz bedingen. Diese Entwicklung erfordert gesteigerte Beachtung der Spannungsqualität im Netz. Im Rahmen des Forschungsschwerpunktes werden Modelle zur Vorhersage des Verhaltens der harmonischen Ströme erarbeitet und verifiziert.

3.3.2 Forschungsprojekte

Directivity Statistics of a Rectangular Enclosure with Slots¹⁸

The numerical method could be applied to investigate the statistical properties of directivity of an unintentional electrically large EUT (Equipment Under Test). A rectangular metallic enclosure with a complex electromagnetic environment is examined. This knowledge can be used to convert measured radiated power of EUTs in a mode stirred chamber to a comparable field strength values in standard emission measurements. The results reveal that the expected value of the maximum directivity could be assumed as a function of electrical size of the EUT, which is in good agreement with Wilson theory.

The geometry under consideration is depicted in Fig. 3.37. The dimensions of the enclosure are denoted by $a = 0.4$ m, $b = 0.3$ m and $c = 0.2$ m, in the x -, y - and z -direction, respectively. The linear dipole of radius r ($r = 1$ mm) and length ($l = 100$ mm) is located in the middle of the cavity, which is assumed to be parallel to the z -axis and excited by a discrete port (input power 1 W), as shown in Fig. 3.37. The radiating source works in the frequency range of 1 GHz to 6 GHz. The corresponding spherical coordinate is also shown in the outside view, where (Phi, Theta) are the elevation and azimuth angle. To allow the comparison with measurement results in the future a real EUT was constructed of copper sheets with a removable top plate to place the radiating source within the box. Therefore it is convenient to disassemble and reassemble it for repeatable measurements. To ensure no extra leakage five walls of the cavity are carefully welded together. It is also ensured that the top panel of the enclosure and the rest of the box are well contacted. The field distribution is quite arbitrary and complex depending on the interactions among source, cavity, slots and the external environment.

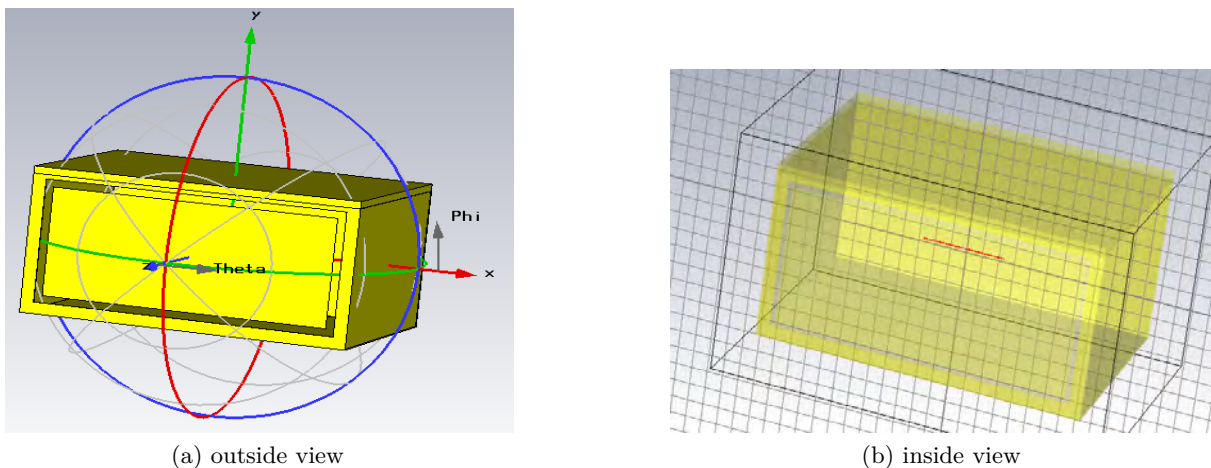


Figure 3.37: Test EUT – rectangular cavity of $0.4\text{ m} \times 0.3\text{ m} \times 0.2\text{ m}$ with a plate thickness of 1 mm and interior dipole source, see inside view.

The simulation results are in good agreement with the previously derived expressions for the expected value for the maximum directivity of an unintentional emitter based on Wilson theory. The expectation for the maximum directivity could be assumed as a function of the electrical size of the EUT and increases with the logarithm of the electrical size. The maximum electric field at a distance could be estimated based on the estimates of directivity, which provide an available alternative approach to the traditional precision antenna measurements. Measurements will be performed in the future to compare simulation and measurement results.

¹⁸ von M. Sc. Xiaowei Wang

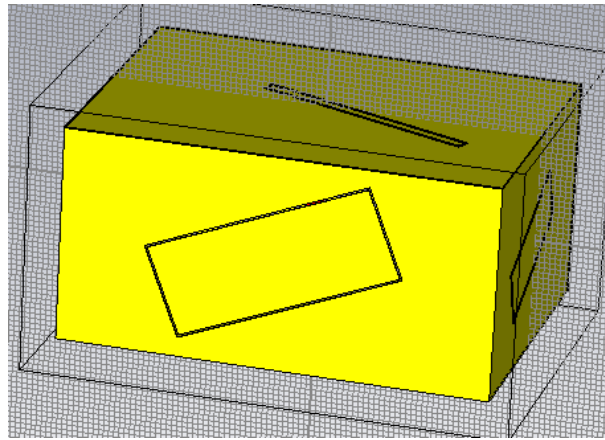


Figure 3.38: Test EUT – rectangular cavity with stochastic slots.

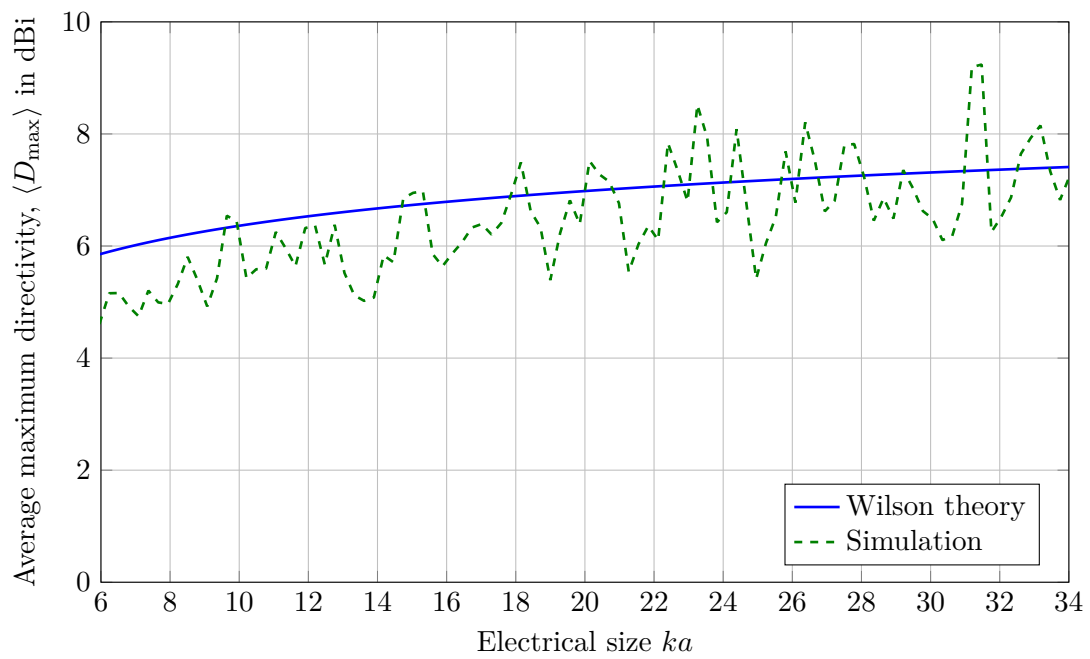


Figure 3.39: Average value of the maximum directivity D_{\max} .

Transmission Line System of the Cable¹⁹

As technology advances, the role of electromagnetic compatibility (EMC) becomes more dominant in power systems. The term *transmission line* refers to any pair of conductors that can transmit an electrical signal from one end to the other. An effective shielding is very important to insure that the signal is transmitted without interference. For the calculation of the expected disturbing currents and voltages on the transmission lines, the per-unit-length parameters R' , L' , G' and C' of the cable and the coupling with the surrounding environment have to be known. For this reason, the cable parameters per unit length of the standard RG 58 coaxial cable have been obtained by using three methods, an analytical calculation, the finite-element method and a measurement. They are presented in Table 3.6.

Table 3.6: Values of the calculated, simulated and measured parameters of the RG 58 coaxial cable at 500 kHz.

Parameter	Analytical	CST	Measurement
R' (in $\frac{\text{m}\Omega}{\text{m}}$)	24.8	39	50
L' (in $\frac{\text{nH}}{\text{m}}$)	228	230	250
C' (in $\frac{\text{pF}}{\text{m}}$)	111	111	106
G' (in $\frac{\text{nS}}{\text{m}}$)	281	3512	3.71

Also the transfer impedance, of the RG 58 coaxial cable has been calculated and measured by three ways: the Vance model, a standard measurement and a new proposed method as shown in Fig. 3.40.

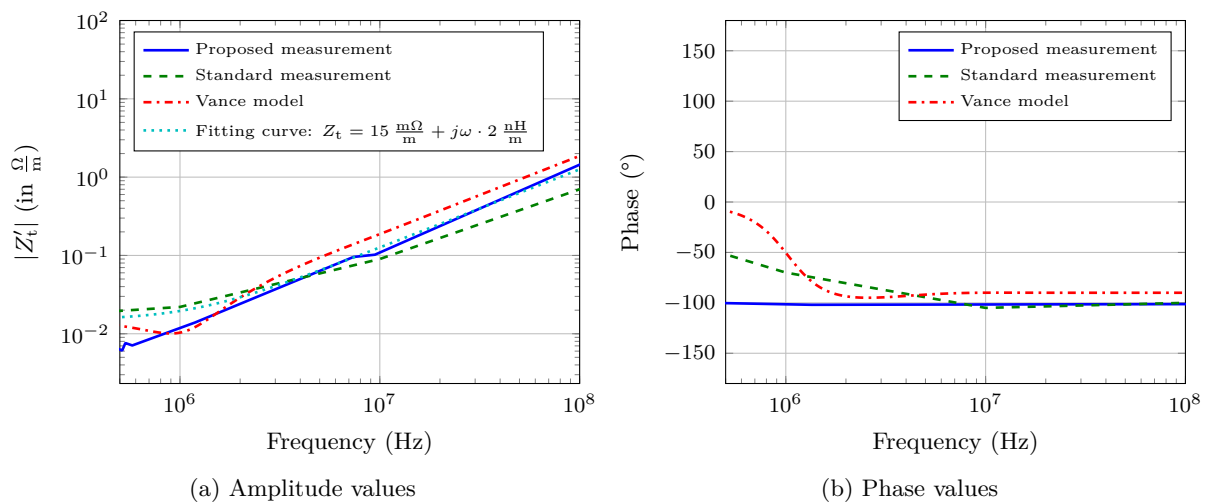


Figure 3.40: Comparison of the measured transfer impedance with the Vance model and the standard measurement of the RG 58 coaxial cable.

¹⁹von M. Sc. Ahmed Hassan

A Comparative Method to Evaluate the Performance of Different Resonant MR Marker Designs²⁰

Resonant MR markers tuned to the Larmor frequency can be used for instrument visualization. Two methods are generally used to prove the performance of the MR marker. One method is to obtain an MR image using a low flip angle sequence. Thereby, a comparison with already implemented designs is only of limited value since the signal intensity is highly dependent on several parameters, e. g. used MR sequence, protocols and image post-processing. Secondly, electrical parameters can be determined by measuring the scattering parameters through inductive coupling to a vector network analyzer. However, experience has shown that the resonance frequency and quality factor of an MR marker is relative to its electrical environment. Thus, we demonstrate a method for measuring the amplification of the B_1 -field caused by the resonant MR marker.

To obtain the amplification factor A several images with different transmitter voltages U_{TX} are analyzed. The measured signal magnitude is fitted to the intensity function of a Turbo-Spin-Echo sequence (see Fig. 3.41). To demonstrate the method two resonant MR markers were compared. The obtained amplification factors are shown in Fig. 3.42. Both designs have significant differences in the amplitude and shape of the amplification. Whereas the pattern of design B is heterogeneous with areas of field amplification ($A > 1$) and damping ($A < 1$), the pattern of design A consists only of hyperintense areas. The profile of design A shows enhanced signal intensity only inside the Swiss Roll.

This method can be utilized to estimate the performance of a resonance marker in a realistic setup inside the MR-scanner and enables a qualitative and quantitative comparison of different MR marker designs.

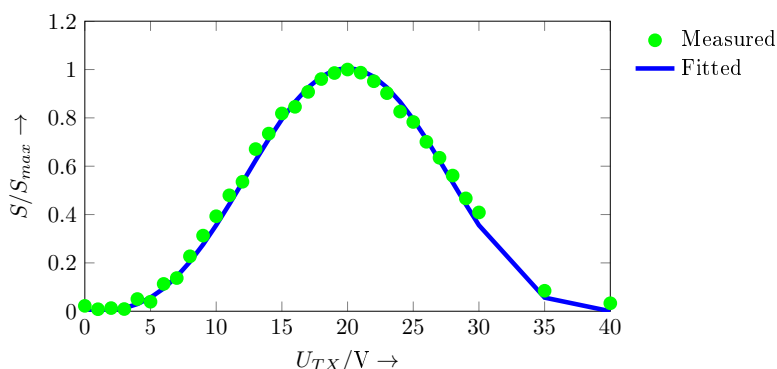


Figure 3.41: Fitting of the measured magnitude data to the function for the signal of a Turbo-Spin-Echo sequence.

Simulation von Suszeptibilitätsartefakten²¹

Eine wichtige Aufgabenstellung bei der Entwicklung von Produkten für die interventionellen Magnetresonanztomographie ist die Optimierung der Artefakte in der Bildgebung. Diese unterscheiden sich ja nach Produkt erheblich. Punktionsnadeln sollten ein schwaches Artefakt aufweisen um die Sichtbarkeit zu erhöhen, Implantate hingegen sollten möglichst keine Signalauslöschungen im MR-Bild aufweisen um deren Umgebung bewerten zu können (z. B. Entdeckung von Entzündungen).

²⁰ von M. Sc. Enrico Pannicke

²¹ von M. Sc. Enrico Pannicke

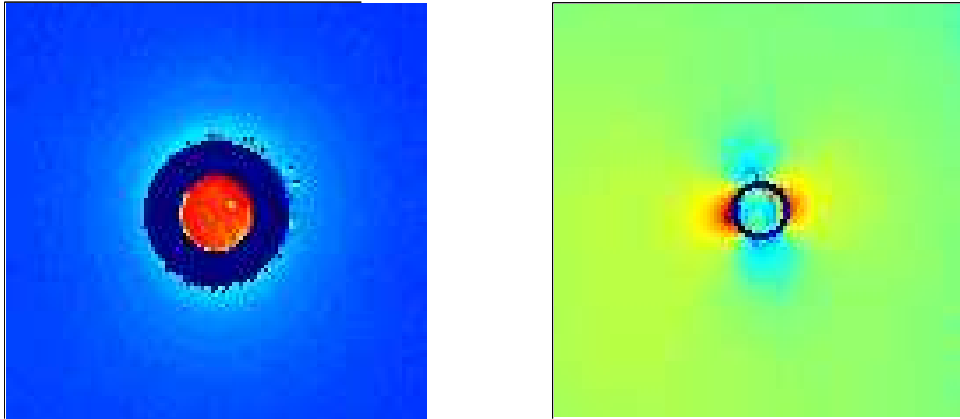


Figure 3.42: Amplification factor distribution for two different resonant MR marker designs.

Simulationen können bei diesen Aufgabenstellungen einen wichtigen Beitrag leisten, indem sie es ermöglichen in einer frühen Planungsphase potentielle Konflikte zu entdecken und Lösungen zu optimieren. Zur Lösung dieser Aufgabenstellung wurde eine bereits existierende Methode zur Berechnung von Magnetisierungsfeldern beliebiger Objekte verwendet. Diese werden dazu verwendet ein realistisches MR-Phantom zu erstellen und zu simulieren. Mit dieser Vorgehensweise können die Wechselwirkungen zwischen der MR-Bildgebung und beliebigen Objekten analysiert werden. So können spezielle Sequenzen zur Minimierung von Artefakten getestet werden oder verschiedene Anordnungen von Produktkomponenten um langwierige Messungen zu vermeiden.

Zur Validierung der Methode wurde die Anordnung in Abb. 3.43 (links) simuliert und die Ergebnisse mit einer Messung verglichen.

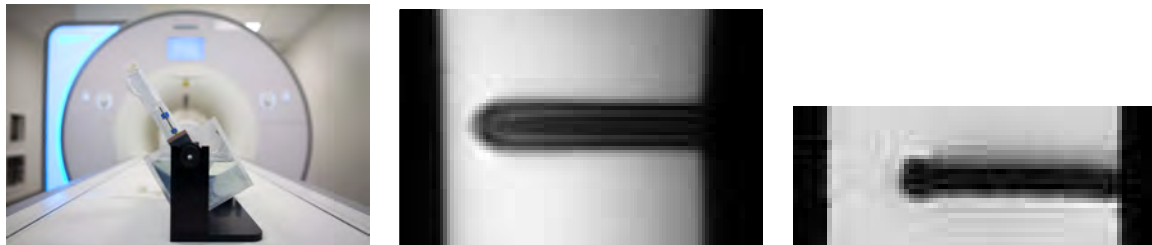


Abbildung 3.43: Gemessenes (Mitte) und simuliertes (Links) Artefakt einer Punktionsnadel für verschiedene Orientierungen zum B_0 -Feld.

Energy Conservating Coupling Through Small Apertures in an Infinite Perfect Conducting Screen²²

Apertures in shielding enclosures are an important issue for determining shielding efficiencies. Various mathematical procedures and theories were employed to describe the coupling between the regions connected via an aperture in a well conducting plane. Bethe's theory describes the coupling via the equivalent problem of field excited dipole moments at the location of the aperture. This approach neglects the reaction of the dipoles on the exciting field and therefore violates energy conservation. Other more accurate formalism of the problem lead to integrals only solvable numerical, i. e. via the method of moments. This work emphasizes an analytical asymptotic approach for coupling between half-spaces through small apertures, inspired by the

²²von Dipl.-Phys. Jörg Petzold

so called *method of small antenna*, which allows an understandable generalization of Bethe's theory.

An understandable generalization of a simple model for aperture coupling was derived which features a physical interpretation of aperture radiation. As an example the simplest case of aperture coupling, i. e. an aperture in infinite plane, was used. Calculations of the radiated power of the renormalized moments show that in this way power conservation is established for the model. One has to note, that in the case of radiation in half-space, power conservation is violated for high frequencies, where the dipole model isn't valid at all. But for radiation in cavities and waveguides, the radiation resistance, which is represented by the regular part of the Green's function, can be dominant even for lower frequencies. An application of the presented formalism gives the possibility of forward and backward aperture scattering in different environments. This will be attended in future works.

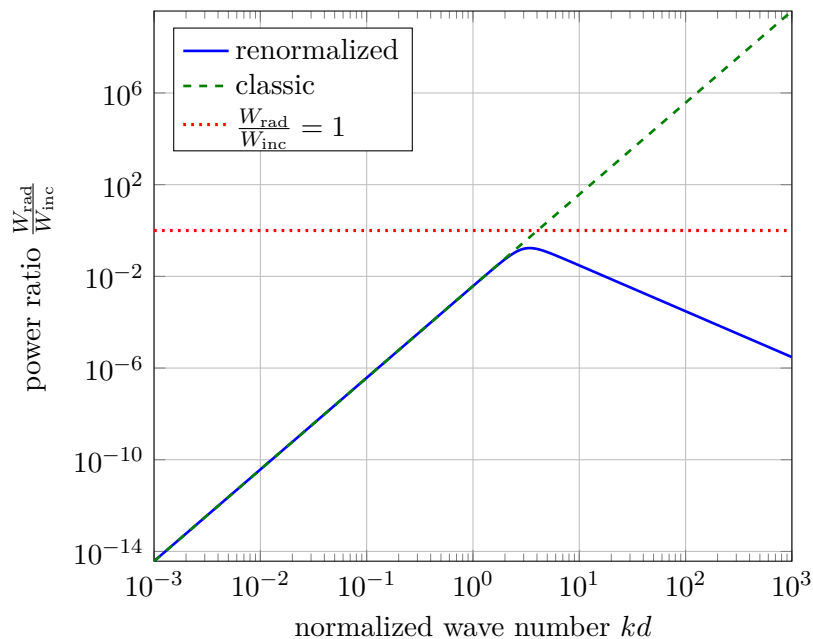


Figure 3.44: Power ratio over normalized wave number; on logarithmic scale a ratio above 0, as seen for the classic approach, indicates violation of power conservation.

Bestimmung der Fehlerentfernung bei Mittelspannungskabeln²³

Die Bestimmung der Entfernung eines Fehlers in einem Energieversorgungskabel vom Kabelende her ist mit den bisher verwendeten Messverfahren mit einigen Ungenauigkeiten behaftet. Dies ist besonders kritisch, wenn die Kabel in der Erde verlegt sind und zur Reparatur ausgegraben werden müssen. Es wurde, ausgehend von der vorhandenen Messtechnik, ein verändertes Verfahren entwickelt, deren Genauigkeit die bisherigen Verfahren übertrifft und mit dem kompliziertere Strukturen untersucht werden können.

Application of the Singularity Expansion Method (SEM) to Long Transmission Lines²⁴

Transmission lines play an important role in EMC. They serve for the transmission of desired signals between electronic devices of different kinds. On the other hand, they can be subject

²³ von M. Sc. Matthias Hirte

²⁴ von Dr. rer. nat. Sergey Tkachenko

to different kinds of electromagnetic interferences. Induced overvoltages are often the reason for the failure of electronic devices. Different numerical methods (such as MoM, FDTD, etc.) can be adopted to calculate induced currents and voltages but they are not very helpful to gain insight into the physics of the coupling phenomena, especially when they are calculated in time domain.

In contrast, the analytical Singularity Expansion Method (SEM) represents the scattering object as a set of oscillators, helpful to understand the underlying physics of the coupling phenomena, both, in the frequency domain and in the time domain. Recently, this method has attracted an increased interest in connection with the definition of the complex eigen frequencies of a finite straight wire for target identification.

In a recent paper, the SEM was applied to the analysis of loaded transmission lines above a conducting ground, using classical Transmission Line (TL) theory. In particular, it was shown that as a result of the action of a finite sinus-like pulse, transients in the system can greatly exceed the steady-state oscillations, and this effect can cause failures of the electronic components in the early stages of such an exposure. Of course, the TL approximation does not describe radiation effects, which can be important for high frequencies, when the wavelength is comparable with the height of the line.

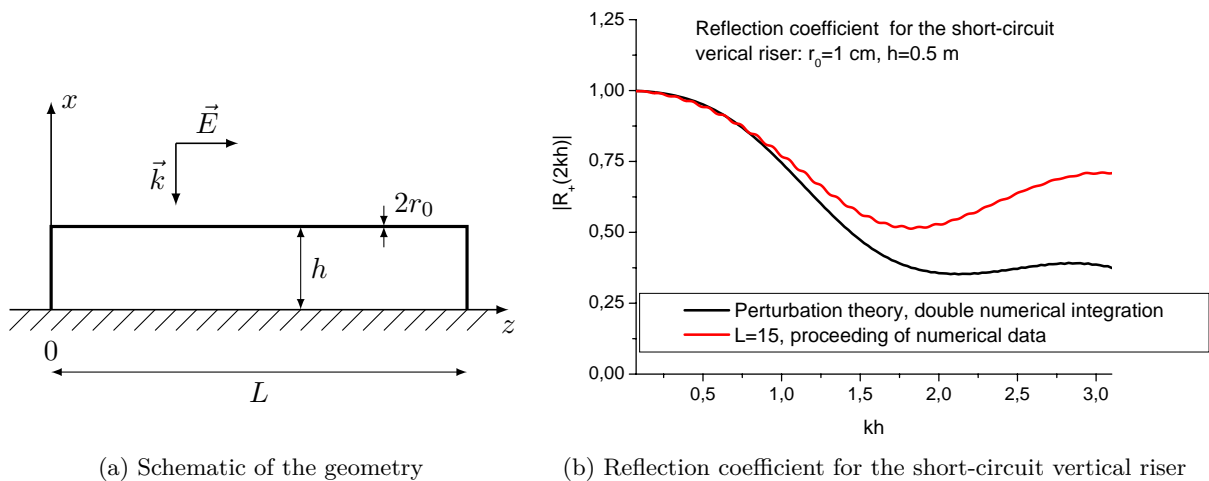


Figure 3.45: Analysis of a horizontal wire short-circuited by vertical risers.

In this work, we consider a long loaded line above a perfect conducting ground (the method also can be applied for the case of finite conductivity) with arbitrary terminals illuminated by an incident high frequency plane wave (see Fig. 3.45a). To obtain the frequency domain solution for the induced current in the main, central part of the wire, the co-called asymptotic approach is used. The zeros of the denominator of this expression yield the SEM poles of the first layer. This set of poles yields the main contribution to the susceptibility of the transmission line to an external pulse excitation in time domain. Furthermore, SEM poles are obtained in an explicit form for two canonical cases:

1. an open-circuit wire,
2. a horizontal wire short-circuited by vertical risers (see Figs. 3.45b, 3.46a and 3.46b).

The obtained results using the proposed SEM approach are compared with those obtained using NEC (Numerical Electromagnetics Code) simulations and a good agreement is found.

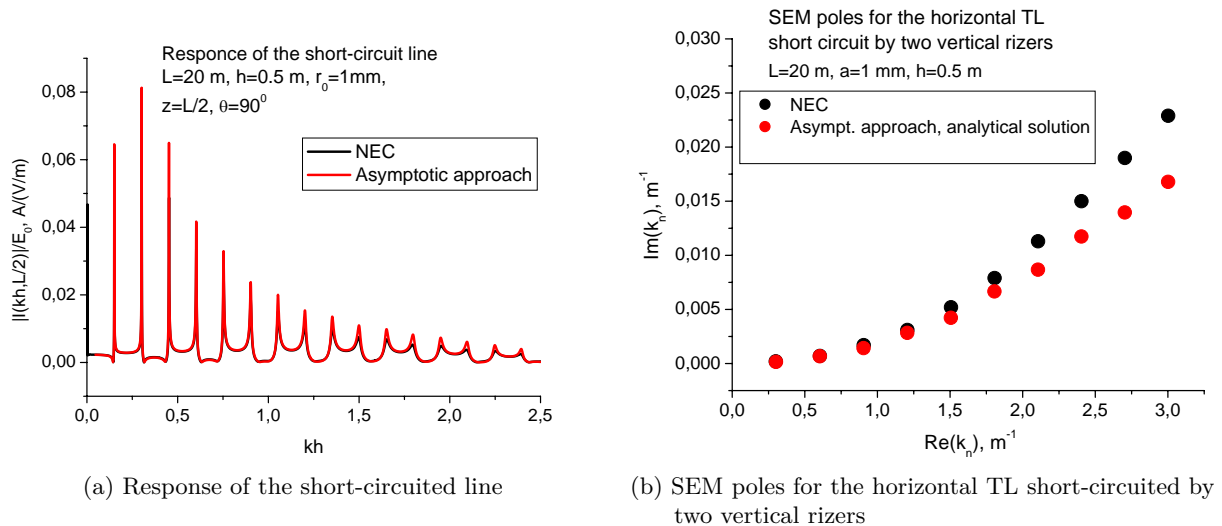


Figure 3.46: Simulation results of the Singularity Expansion Method (SEM) to long transmission lines (TL).

Using the SEM poles, the time response function can be expressed in an explicit form, which has shown to be in good agreement with the results of numerical simulations obtained by an inverse Fourier transformation of NEC results. Two interesting physical effects were observed:

- radiation damping of the induced current and
- the domination of transient oscillation for a high-frequency sinusoidal excitation.

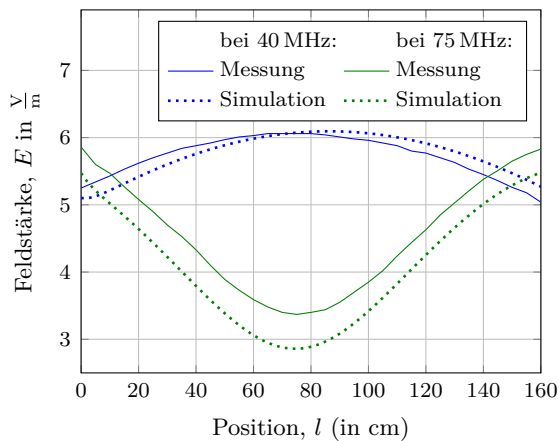
Untersuchung eines offenen TEM-Wellenleiters²⁵

Ein Streifenleiter bietet die Möglichkeit, durch die offene Struktur, die Verkabelung zwischen dem Prüfling und der Peripherie zu testen. Das macht diese Methode besonders interessant für Störfestigkeits- und Emissionsprüfungen im Kfz-Bereich. Aufgrund der räumlichen Trennung von einzelnen Komponenten im Kraftfahrzeug ist der Koppelpfad über die Verkabelung besonders kritisch zu betrachten. Die dazugehörigen Grenzwerte und der Messaufbau für die Emissionsmessung finden sich in der CISPR 25. Die Eigenschaften und der Anwendungsbereich von einem offenen TEM-Wellenleiter wurden untersucht. Entscheidend für die Eignung für Messungen in einem Frequenzbereich bis 1 GHz sind die Eingangsimpedanz des Streifenleiters, die Feldhomogenität und die Verluste. Neben der messtechnischen Charakterisierung wurde mithilfe eines Simulationsmodells des Wellenleiters die frequenzabhängige Feldverteilung und Eingangsimpedanz verifiziert. Im Vergleich zwischen Messung und Simulation soll das Verhalten von entstehenden Moden analysiert werden.

Mithilfe des Simulationsprogrammes CONCEPT-II (Momentenmethode) ist es möglich, die Geometrie des Streifenleiters nachzubilden und somit die Eingangsimpedanz und Feldverteilung zu simulieren. In der Auswertung der Ergebnisse stellte sich heraus, dass sich die Simulation im unteren Frequenzbereich besonders gut eignet. Mithilfe der Simulation konnte nachgewiesen werden, dass die inhomogene Feldverteilung eine Ablösung von Feldwellen zur Folge hat und die Energieflussdichte in Ausbreitungsrichtung kleiner wird. Dieser Effekt bewirkt eine Reduzierung der Feldstärke im Prüfvolumen und eine Erhöhung der Feldstärke außerhalb des Prüfvolumens (siehe Abbildung 3.47b). Daraus geht hervor, dass bei bestimmten Frequenzen hohe Energieanteile

²⁵ von Dr.-Ing. Moawia Al-Hamid

frei gesetzt werden und eine Anwendung von Störfestigkeitsmessungen nur in geschirmten Räumen zu empfehlen ist. Die Messergebnisse beweisen, dass sehr hohe Feldstärken auch im Randbereich des Streifenleiters entstehen und somit die Peripherie- oder Versorgungsgeräte zusätzlich belasten und unter Umständen beeinflussen (siehe Abbildung 3.47a). Vorausschauend stellt sich die Frage, welche Art der Schirmung oder Positionierung der Geräte den hohen Feldanteil dämpfen, um die beste Wiederholbarkeit der Ergebnisse sicherzustellen.



(a) Vergleich der Simulations- und Messergebnisse

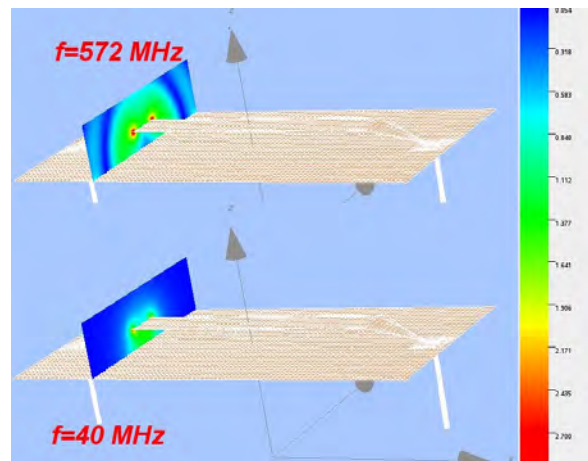
(b) E -Feldverteilung

Abbildung 3.47: Untersuchung eines offenen TEM-Wellenleiters

Anwendung der Leitungsupertheorie auf verdrehte Leitungen²⁶

In diesem Forschungsprojekt wurde die verallgemeinerte Leitungstheorie auf die Berechnung der Störeinkopplung in eine verdrehte Leitung angewandt. Mit diesem Verfahren, das auch als Leitungsupertheorie bekannt ist, können viele Einschränkungen der klassischen Leitungstheorie, wie die Annahme eines alleinigen transversal-elektromagnetischen Modes oder die Vernachlässigung von Abstrahlungsverlusten, aufgehoben werden. Aufgrund des komplexen mathematischen Hintergrundes hat die Leitungsupertheorie bisher nur eine geringe Verbreitung erlangt.

Um zukünftigen Anwendern einen einfacheren Anknüpfungspunkt zu geben, wurde schrittweise gezeigt, wie die verdrehte Leitung diskretisiert und die positionsabhängigen Leitungsparameter durch analytisch geschlossene Integrale oder durch numerische Integration bestimmt werden können. Für die Anregung der Leitung durch ein externes Feld wurde auch detailliert auf den positionsabhängigen Quellterm innerhalb der erweiterten Leitungsgleichungen eingegangen. Mit Hilfe der Leitungsparameter sowie der verteilten Quellen wurde die Lösung der Leitungsgleichungen demonstriert und der Strom am Leitungsende in Abhängigkeit der Frequenz (siehe Abbildung 3.48) berechnet. Abschließend wurde die Effizienz des vorgestellten Berechnungsverfahrens mit anderen etablierten Methoden verglichen.

Effiziente Simulation der Einkopplung statistischer Felder in Leitungsstrukturen mit der Momentenmethode²⁷

In diesem Forschungsprojekt wurde ein Verfahren zur Beschleunigung der Simulation der Einkopplung von statistischen Feldern in Leitungsstrukturen mit Hilfe der Momentenmethode vorgestellt.

²⁶ von Dr.-Ing. Mathias Magdowski

²⁷ von Dr.-Ing. Mathias Magdowski

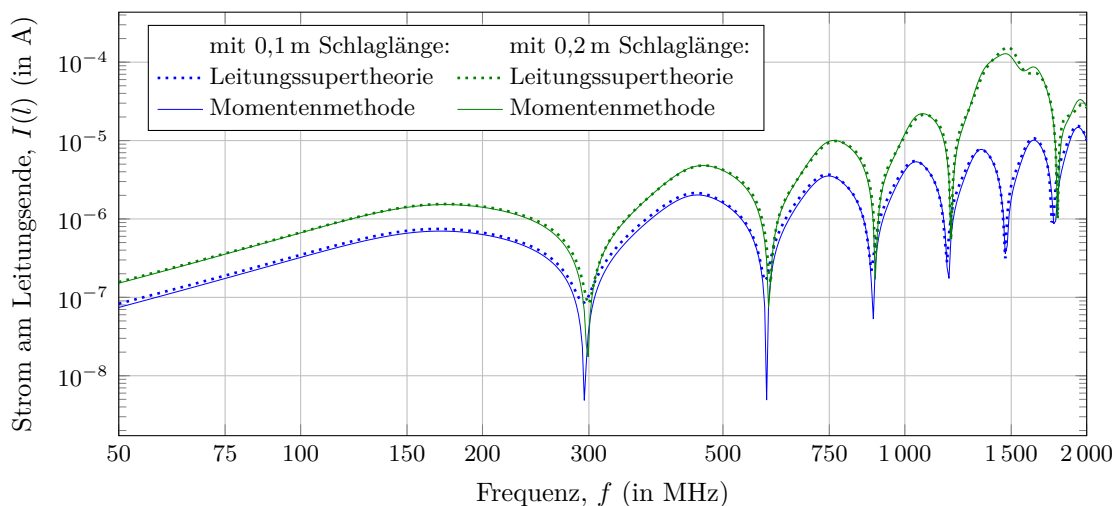


Abbildung 3.48: Betrag des eingekoppelten Stromes am Ende einer verdrehten Leitung

Eine statistische Beschreibung des einfallenden Feldes ist in der Praxis nützlich, wenn der genaue Ort einer entfernten Störstrahlungsquelle unbekannt und damit auch die Einfallrichtung und Polarisation des Störfeldes nicht näher bestimmt sind. Eine statistische Feldbeschreibung hat sich auch für die Darstellung der Felder in elektromagnetischen Modenverwirbelungskammern oder elektrisch großen und geometrisch komplexen Hohlraumresonatoren etabliert.

Die Beschleunigung des vorgestellten Verfahrens basiert auf einer Kompression der Matrix, mit der im Rahmen der Momentenmethode die Anregungen beschrieben werden. Die Leitungsanordnungen, die in der EMV als Störsenke wirken, können durch Stabstrukturen mit endlicher Leitfähigkeit nachgebildet werden. Als beispielhafte Anordnung wurde eine verdrehte Doppelleitung untersucht, für die bereits ein effizientes Simulationsverfahren auf Basis der klassischen Leitungstheorie entwickelt wurde. Die Ergebnisse beider Simulationsverfahren wurden einander gegenübergestellt und mit Messergebnissen verglichen (siehe Abbildung 3.49). Als zweites Beispiel wurde eine ungleichförmige Leitung mit veränderlichen Querschnittsabmaßen untersucht.

3.3.3 Veröffentlichungen

Zeitschriften- und Konferenzbeiträge

- [1] X. Pan, T. Rinkleff und R. Vick, „RF-properties of single shielded power cable connectors“, *IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility*, Bd. 55, Nr. 6, S. 1338–1341, Dez. 2013, ISSN: 0018-9375. DOI: 10.1109/TEM.2013.2256139.
- [2] M. Al-Hamid, R. Vick, M. Krüger und T. Rinkleff, „Filter-Design und empirische Bestimmung der Ersatzschaltbilder anhand der Herstellerangaben einzelner Bauelemente“, in *Internationale Fachmesse und Kongress für Elektromagnetische Verträglichkeit*, Prof. Dr.-Ing. Heyno Garbe, Leibniz Universität Hannover, Hrsg., emv 2014, Düsseldorf, 11.–13.03.2014: VDE Verlag GmbH, Berlin und Offenbach, März 2014, S. 83–90, ISBN: 978-3-8007-3577-8.
- [3] M. Hirte und R. Vick, „Abschätzung der Direktivität bei parasitären Strahlern“, in *Internationale Fachmesse und Kongress für Elektromagnetische Verträglichkeit*, Prof. Dr.-Ing. Heyno Garbe, Leibniz Universität Hannover, Hrsg., emv 2014, Düsseldorf, 11.–13.03.2014: VDE Verlag GmbH, Berlin und Offenbach, März 2014, S. 139–145, ISBN: 978-3-8007-3577-8.

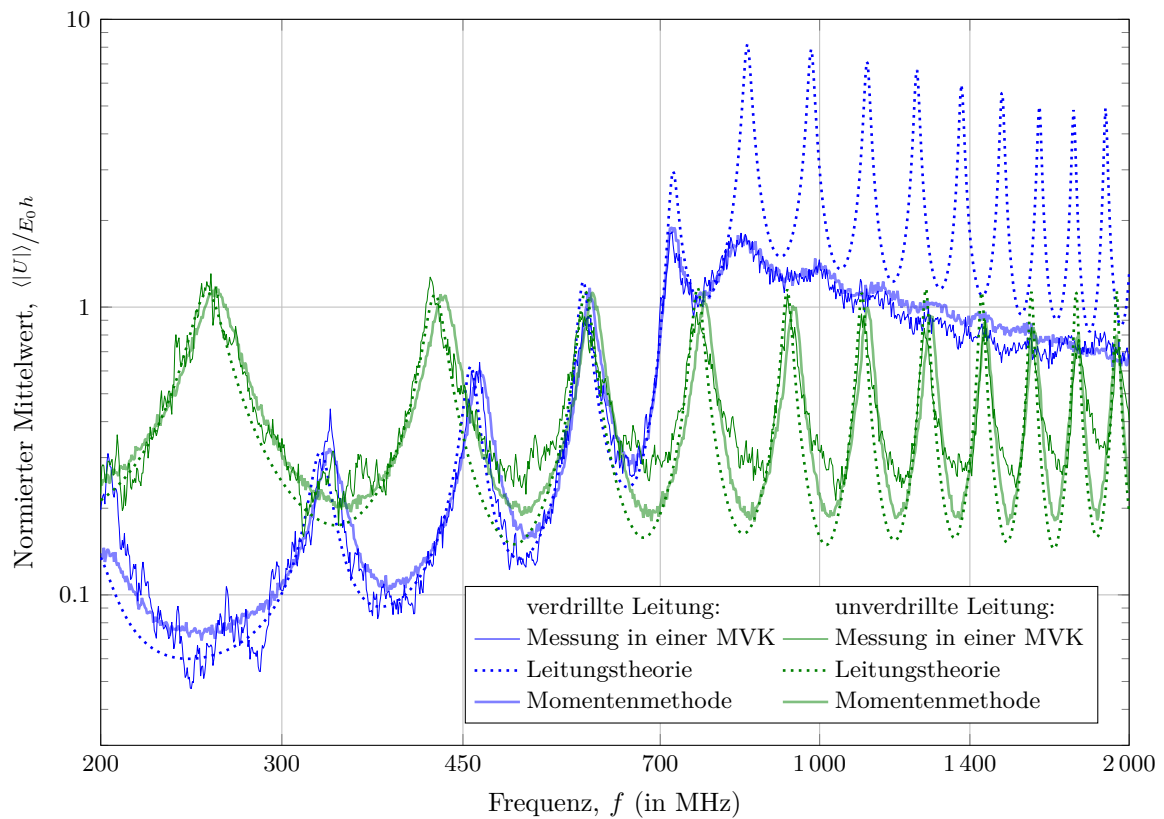


Abbildung 3.49: Normierter Mittelwert des Betrags der eingekoppelten Spannung am Anfang einer leerlaufenden, verdrillten Doppelleitung mit 5 Verdrillungen. Zum Vergleich ist auch der entsprechende Verlauf einer unverdrillten Leitung gezeigt.

- [4] X. Wang, S. Tkachenko und R. Vick, „Ermittlung und Vergleich der elektromagnetischen Eigenschaften von Volumenleitern mittels analytischer und numerischer Verfahren“, in *Internationale Fachmesse und Kongress für Elektromagnetische Verträglichkeit*, Prof. Dr.-Ing. Heyno Garbe, Leibniz Universität Hannover, Hrsg., emv 2014, Düsseldorf, 11.–13.03.2014: VDE Verlag GmbH, Berlin und Offenbach, März 2014, S. 222–229, ISBN: 978-3-8007-3577-8.
- [5] M. Magdowski und R. Vick, „Anwendung der Leitungssupertheorie auf verdrehte Leitungen“, in *Internationale Fachmesse und Kongress für Elektromagnetische Verträglichkeit*, Prof. Dr.-Ing. Heyno Garbe, Leibniz Universität Hannover, Hrsg., emv 2014, Düsseldorf, 11.–13.03.2014: VDE Verlag GmbH, Berlin und Offenbach, März 2014, S. 230–237, ISBN: 978-3-8007-3577-8.
- [6] M. Magdowski, A. Schröder, H. Brüns und R. Vick, „Effiziente Simulation der Einkopplung statistischer Felder in Leitungsstrukturen mit der Momentenmethode“, in *Internationale Fachmesse und Kongress für Elektromagnetische Verträglichkeit*, Prof. Dr.-Ing. Heyno Garbe, Leibniz Universität Hannover, Hrsg., emv 2014, Düsseldorf, 11.–13.03.2014: VDE Verlag GmbH, Berlin und Offenbach, März 2014, S. 238–245, ISBN: 978-3-8007-3577-8.
- [7] J. Petzold, S. Tkachenko und R. Vick, „Anregung von Substrukturen in quaderförmigen Resonatoren durch elektrisch kleine Öffnungen“, in *Internationale Fachmesse und Kongress für Elektromagnetische Verträglichkeit*, Prof. Dr.-Ing. Heyno Garbe, Leibniz Universität Hannover, Hrsg., emv 2014, Düsseldorf, 11.–13.03.2014: VDE Verlag GmbH, Berlin und Offenbach, März 2014, S. 347–354, ISBN: 978-3-8007-3577-8.
- [8] J. Nitsch, R. Rambousky und S. Tkachenko, „Ein analytisches Leitungsmodell zur Bestimmung der Signalintegrität in zylindrischen metallischen Gehäusen“, in *Internationale Fachmesse und Kongress für Elektromagnetische Verträglichkeit*, Prof. Dr.-Ing. Heyno Garbe, Leibniz Universität Hannover, Hrsg., emv 2014, Düsseldorf, 11.–13.03.2014: VDE Verlag GmbH, Berlin und Offenbach, März 2014, S. 355–362, ISBN: 978-3-8007-3577-8.
- [9] M. Al-Hamid, S. Schulze und M. Leone, „Verbesserung der Korrelation zwischen GTEM-Zelle und Absorberhalle durch Nahfeldmessungen“, in *Internationale Fachmesse und Kongress für Elektromagnetische Verträglichkeit*, Prof. Dr.-Ing. Heyno Garbe, Leibniz Universität Hannover, Hrsg., emv 2014, Düsseldorf, 11.–13.03.2014: VDE Verlag GmbH, Berlin und Offenbach, März 2014, S. 387–394, ISBN: 978-3-8007-3577-8.
- [10] E. Pannicke, R. Mueller, R. Vick und H. E. Moeller, „Die Vorverstärkerentkopplung in der Magnetresonanztomographie“, in *Internationale Fachmesse und Kongress für Elektromagnetische Verträglichkeit*, Prof. Dr.-Ing. Heyno Garbe, Leibniz Universität Hannover, Hrsg., emv 2014, Düsseldorf, 11.–13.03.2014: VDE Verlag GmbH, Berlin und Offenbach, März 2014, S. 621–628, ISBN: 978-3-8007-3577-8.
- [11] A. Fröbel, J.-B. Weh und R. Vick, „Analyse ausgewählter Power Quality Parameter für LED-Lampen“, in *Internationale Fachmesse und Kongress für Elektromagnetische Verträglichkeit*, Prof. Dr.-Ing. Heyno Garbe, Leibniz Universität Hannover, Hrsg., emv 2014, Düsseldorf, 11.–13.03.2014: VDE Verlag GmbH, Berlin und Offenbach, März 2014, S. 629–636, ISBN: 978-3-8007-3577-8.
- [12] M. Magdowski, I. Ullah und R. Vick, „Measurement of the stochastic electromagnetic field coupling into a double wire transmission line“, in *AMEREM*, D. V. Giri und W. A. Radasky, Hrsg., University of New Mexico, Albuquerque, NM, USA, 27.–31.07.2014: SUMMA Foundation, Juni 2014, S. 20.
- [13] M. Magdowski und R. Vick, „A simulation tool for the stochastic electromagnetic field coupling to a uniform transmission line“, in *AMEREM*, D. V. Giri und W. A. Radasky, Hrsg., University of New Mexico, Albuquerque, NM, USA, 27.–31.07.2014: SUMMA Foundation, Juni 2014, S. 148.

- [14] R. Rambousky, S. Tkachenko und J. Nitsch, „Em coupling to a transmission line located symmetrically inside a cylinder“, in *AMEREM*, D. V. Giri und W. A. Radasky, Hrsg., University of New Mexico, Albuquerque, NM, USA, 27.–31.07.2014: SUMMA Foundation, Juni 2014, S. 114.
- [15] S. Tkachenko, F. Middelstädt, J. Nitsch, R. Vick, G. Lugrin und F. Rachidi, „Application of singularity expansion method (sem) to long transmission lines“, in *AMEREM*, D. V. Giri und W. A. Radasky, Hrsg., University of New Mexico, Albuquerque, NM, USA, 27.–31.07.2014: SUMMA Foundation, Juni 2014, S. 116.
- [16] M. Magdowski, J. Ladbury, C. Holloway und R. Vick, „Measurement of the stochastic electromagnetic field coupling to an unshielded twisted pair cable“, in *2014 International Symposium on Electromagnetic Compatibility*, EMC Europe, Gothenburg, Sweden, 01.–04.09.2014: Causal Productions, Sep. 2014, S. 659–664, ISBN: 978-1-4799-3225-2.
- [17] D. Poljak, S. Sesnic, S. Tkachenko, K. El Khamlichi Drissi und K. Kerroum, „Time domain analysis of the horizontal grounding electrode: antenna theory approach versus transmission line approximation“, in *2014 International Symposium on Electromagnetic Compatibility*, EMC Europe, Gothenburg, Sweden, 01.–04.09.2014: Causal Productions, Sep. 2014, S. 181–185, ISBN: 978-1-4799-3225-2.
- [18] S. Tkachenko, J. Nitsch und R. Rambousky, „Electromagnetic field coupling to an electrical small axial dipole antenna in a cylindrical cavity“, in *2014 International Symposium on Electromagnetic Compatibility*, EMC Europe, Gothenburg, Sweden, 01.–04.09.2014: Causal Productions, Sep. 2014, S. 175–180, ISBN: 978-1-4799-3225-2.
- [19] VDI Landesverband Sachsen-Anhalt, Hrsg., *Schwerpunkt EMV in Magdeburg – Unterstützung für die Industrie Mitteldeutschlands*, Bd. 23, Ser. Mitteldeutsche Mitteilungen – Informationen aus Wirtschaft, Wissenschaft und Gesellschaft 4, Magdeburg: Grafisches Centrum Cuno GmbH & Co. KG, Okt. 2014. Adresse: <https://www.vdi.de/ueberuns/vdi-vor-ort/bezirksvereine/magdeburger-bezirksverein/mitteldeutsche-mitteilungen/>.

Dissertationen und Bücher

- [1] F. Middelstädt, *Research of SEM Poles of Complex Wire Structures*, Englisch, 1. Aufl., Ser. Res Electricae Magdeburgenses 3|55. Magdeburg: Nitsch, J. und Styczynski, Z. A., 2014, ISBN: 978-3-944722-07-8.

Beiträge zu Kolloquien u. a. Vorträge

- [1] M. Magdowski, „Simulation der elektromagnetischen Überkopplungen zwischen Leistungs- und Steuerungselektronik in einem Radnabenmotor“, in *Forschungsseminar Automotive*, Institut für Kompetenz in Automobilität (IKAM), Magdeburg, Apr. 2014.
- [2] X. Wang, „Directivity statistics of a rectangular enclosure with slots“, in *EMV-Doktorandentreffen des IEEE Germany Section EMC Society Chapter*, Gottfried Wilhelm Leibniz Universität Hannover, Sep. 2014.
- [3] M. Al-Hamid, „Dimensionierung von Filterkomponenten mit Hilfe von Herstellerangaben zur Erstellung eines SPICE-Netzwerkmodells“, in *12. Magdeburger EMV-Industrieseminar*, Experimentelle Fabrik Magdeburg, Nov. 2014.
- [4] M. Magdowski, „Wozu braucht man eine 4 m × 6 m × 8 m große Mikrowelle?“, in *Science Slam*, IBA-Shop Magdeburg: HALternativ e. V., Sep. 2014.

3.4 Lehrstuhl für Leistungselektronik

3.4.1 Forschungsprofil

Das Forschungsprofil des Lehrstuhls für Leistungselektronik trägt der rasch fortschreitenden Entwicklung in diesem Gebiet der Elektrotechnik Rechnung, die maßgeblich geprägt wird durch die Verfügbarkeit neuer, optimierter Bauelemente einerseits sowie durch gestiegene Anforderungen an verschiedene technische Systeme andererseits, die zweckmäßigerweise unter Einsatz leistungselektronischer Stellglieder realisiert werden. So zählt die Leistungselektronik zu den Schlüsseltechnologien für energieeffiziente elektrische Verbraucher, für die Netzeinspeisung von aus erneuerbaren Quellen erzeugter elektrischer Energie und für die Elektromobilität.

Der enge Zusammenhang von Komponenten- und Systemebene findet am Lehrstuhl für Leistungselektronik bei der Forschung zu leistungselektronischen Schaltungen und Systemen mit neuen Bauelementen Berücksichtigung: Die betrachteten neuen Leistungshalbleiter-Bauelemente umfassen insbesondere weiterentwickelte MOSFETs, IGBTs und Dioden, aber auch Bauelemente aus Halbleitermaterialien mit großem Bandabstand wie SiC oder GaN; darüber hinaus ist die Aufbau- und Verbindungstechnik von nicht zu vernachlässigender Bedeutung, da sie das elektrische und thermische Verhalten sowie die Zuverlässigkeit der Leistungselektronik mitbestimmt. Aktuelle Arbeiten beziehen sich hierbei schwerpunktmäßig auf Schaltungen bzw. Systeme, zu denen Antriebsumrichter, Stromversorgungen und auch resonante Umrichter gehören. Zu den zu untersuchenden Aspekten zählen die elektrische Funktionsweise unter Berücksichtigung parasitärer Elemente, die thermische Auslegung, eine geeignete Ansteuerung und Regelung, die die Zuverlässigkeit bestimmenden Betriebsbedingungen sowie elektromagnetische Verträglichkeit bzw. Umweltverträglichkeit. Nur ein Verständnis der Wechselwirkung zwischen Bauelement und Schaltung bzw. System erlaubt eine fundierte und anwendungsgerechte Optimierung.

Die hierfür am Lehrstuhl für Leistungselektronik angewandte Methodik ist geprägt durch eine Kombination theoretischer Untersuchungen – wie Berechnung, Modellbildung und Simulation – mit experimentellen Arbeiten – insbesondere an Bauelement, leistungselektronischem System und Prozess. Angesichts des ausgeprägt interdisziplinären Charakters vieler der beschriebenen Arbeiten hat sich eine Zusammenarbeit mit Arbeitsgruppen anderer Lehrstühle, außeruniversitären Instituten sowie industriellen Partnern bestens bewährt. Für die gute Zusammenarbeit und auch die diese oft erst möglich machende Förderung sei allen Partnern an dieser Stelle herzlich gedankt.

Einige der im Jahr 2014 bearbeiteten Projekte werden im folgenden Abschnitt detaillierter erläutert. Viele von ihnen sind den oben genannten Schwerpunktthemen der elektrischen Energieversorgung unter Einbeziehung erneuerbarer Quellen sowie der der Automobiltechnik zuzuordnen.

3.4.2 Forschungsprojekte

Generator Emulation Control for Providing Synthetic Inertia in VSC-HVDC System²⁸

The large inertia of traditional synchronous-machine (SM) based power system can be helpful to stabilize the frequency and increase the opportunity for control systems to act when a large power plant trips. In contrast, renewable energy sources are typically based on power electronic converters and have very little or no inertia, thus they can cause a significant reduction of system inertia, which presents a greater risk of instability. Meanwhile, the growing number of HVDC installations decouples the kinetic inertia of different AC systems as well. For these reasons,

²⁸von M. Sc. Xudan Liu, Beitrag zur IWEC 2014

the level of inertia in future power system may decrease. To respond to this possible situation, new grid codes, such as the new ENTSO-E HVDC code and the transmission provider technical requirements from Hydro-Quebec, suggest that the power converters connected to the grid shall be capable of providing synthetic inertia.

Various strategies have been proposed to emulate the behavior of a synchronous machine to provide additional inertia by extended control of power electronic converters in wind farm or PV system, such as virtual synchronous machine, generator emulation control and frequency derivative method. An inertia emulation control has been proposed to use the energy of DC link capacitors in VSC-HVDC system to provide additional inertia. In the following the concept of generator emulation control (GEC) is proposed to be extended to the VSC-HVDC system. Due to the large capacity and fast control ability of VSC-HVDC system, the stability of power system can be increased after incorporating the inertia and frequency support provided by GEC.

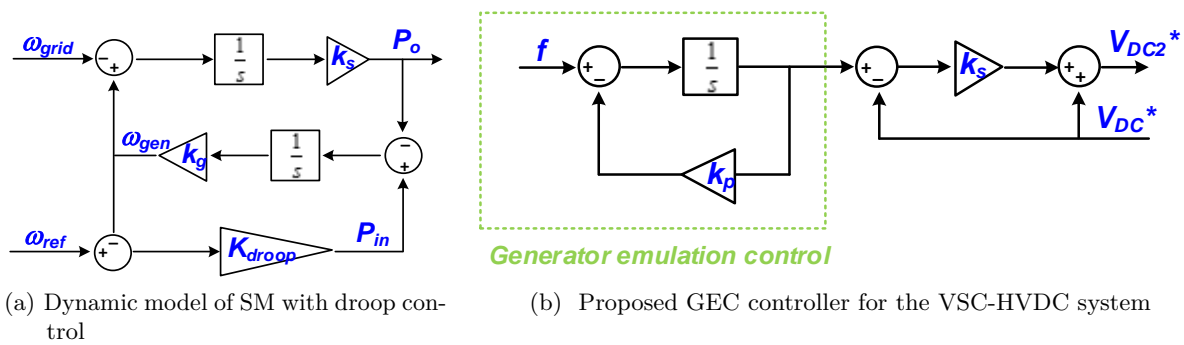


Figure 3.50: Generator Emulation Control

Figure 3.50a shows a simplified model of SM with power-frequency droop, which performs an inherent ability to act against fast frequency changes. To emulate the behavior of SM by the HVDC converters, the DC link controller can be combined with GEC as shown in Fig. 3.50b and Fig. 3.51. The GEC controller can increase the system inertia in high frequency range and shows a droop characteristic during low frequency. To verify the validity of the proposed strategy, a simulation model with the structure shown in Fig. 3.51 has been built within MATLAB/Simulink. In the simulation, two loads are supplied by a synchronous generator and the HVDC converter station. One load can be switched on and off to observe the frequency change and response of the whole system.

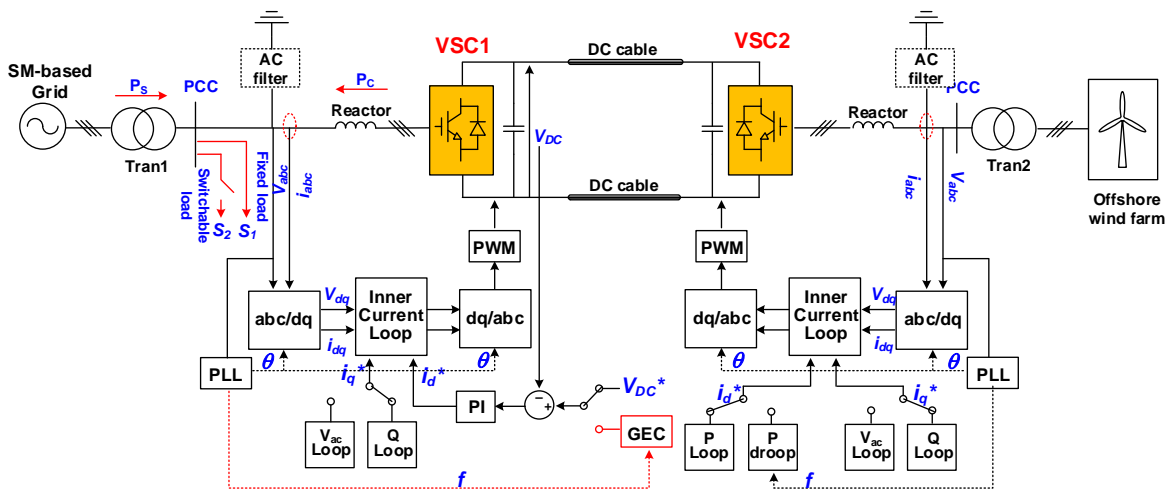


Figure 3.51: Structure and Control Strategy of VSC-HVDC System with GEC

Figure 3.52 shows the simulation results. The switchable load is switched on at 5 s. As a result, the synchronous generator has to compensate the changes of load immediately, as shown in Fig. 3.52b. Without GEC control, the converter station will have no contribution to this situation. However, since the mechanical power of prime mover can not be increased so fast as the electrical power, the rotor speed will be decreased suddenly due to the imbalance of power, as shown in Fig. 3.52c. The whole system may become unstable when the change of the rotor speed is too big.

When GEC control is introduced to the VSC-HVDC system, the converter station can provide compensated active power very quickly as shown in Fig. 3.52a. So the imbalance between the mechanical power and the electrical power can be relieved, which results in a slower change of rotor speed and smaller rotor speed deviation as well. However, it is seen from Fig. 3.52d that this compensated active power will lead to the decrease of DC link voltage, since the needed energy is absorbed from the DC link capacitors. Therefore, bigger DC link capacitors may be needed if larger emulated inertia is wanted. A compromise must be made between the volume of the DC link capacitors and the possible emulated inertia.

The effect of k_S is also shown in Fig. 3.52. By choosing appropriate k_S , the deviation of DC link voltage can be limited to the desired range.

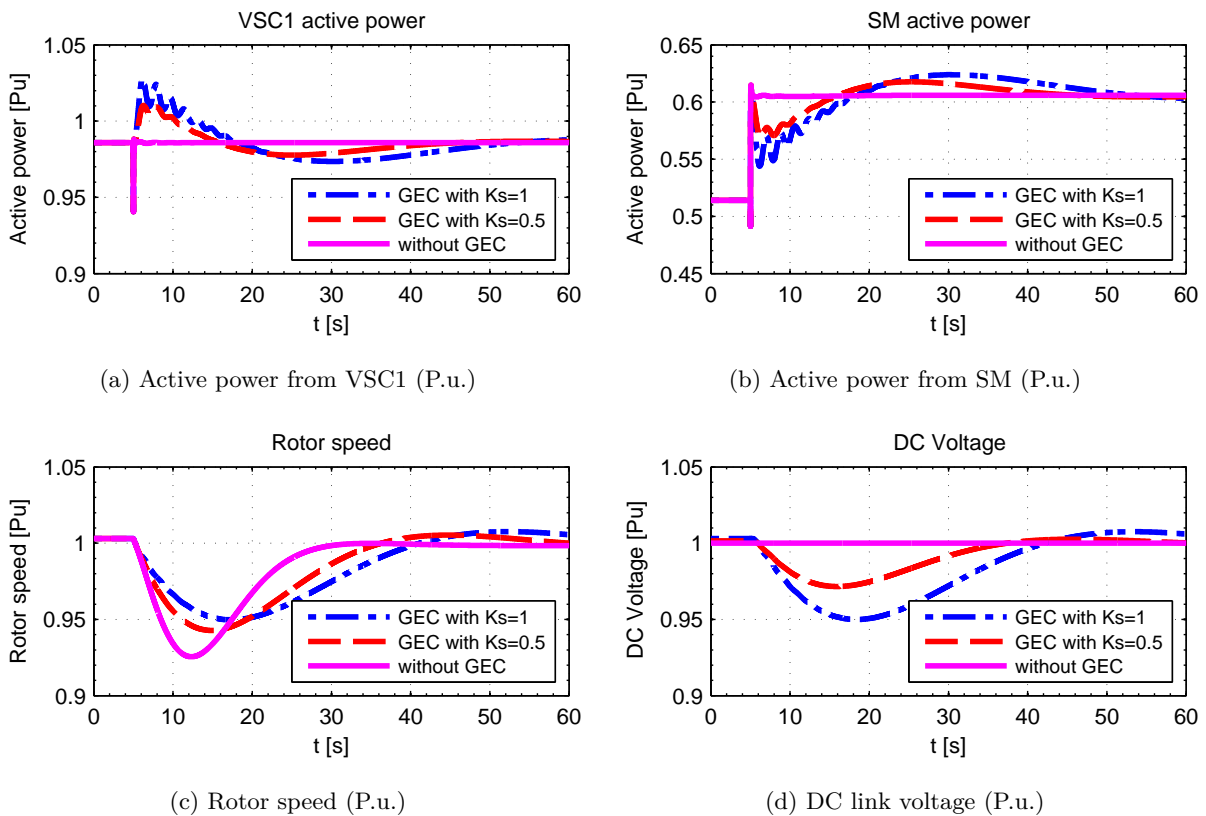


Figure 3.52: Simulation results

The extended DC-link voltage controller based on the generator emulation concept can emulate the inertia of SM and increase the stability of power system. With the proposed extended controller, the HVDC converter station can provide fast active power to compensate the load change. Therefore, the frequency change can be limited within a safety range. The described concept will in particular be required and useful when connecting large scale offshore wind farms to the grid.

Leistungselektronik zur Energieeffizienzsteigerung für erneuerbare Energien und Antriebe²⁹

Durch Speisung mit einem Mehrpunkt-Umrichter können nicht nur die Belastung der Isolation einer elektrischen Maschine verringert sowie ggf. schädliche Lagerströme vermieden werden, sondern es ist auch eine Verbesserung von Energieeffizienz bzw. Wirkungsgrad des Antriebssystems möglich. Der im Folgenden beschriebene Laboraufbau nach Abbildung 3.53 erlaubt es, das Systemverhalten eines von einem Dreipunkt-Umrichter versorgten elektrischen Antriebs mit einem möglichst hohen Grad an Flexibilität zu untersuchen.

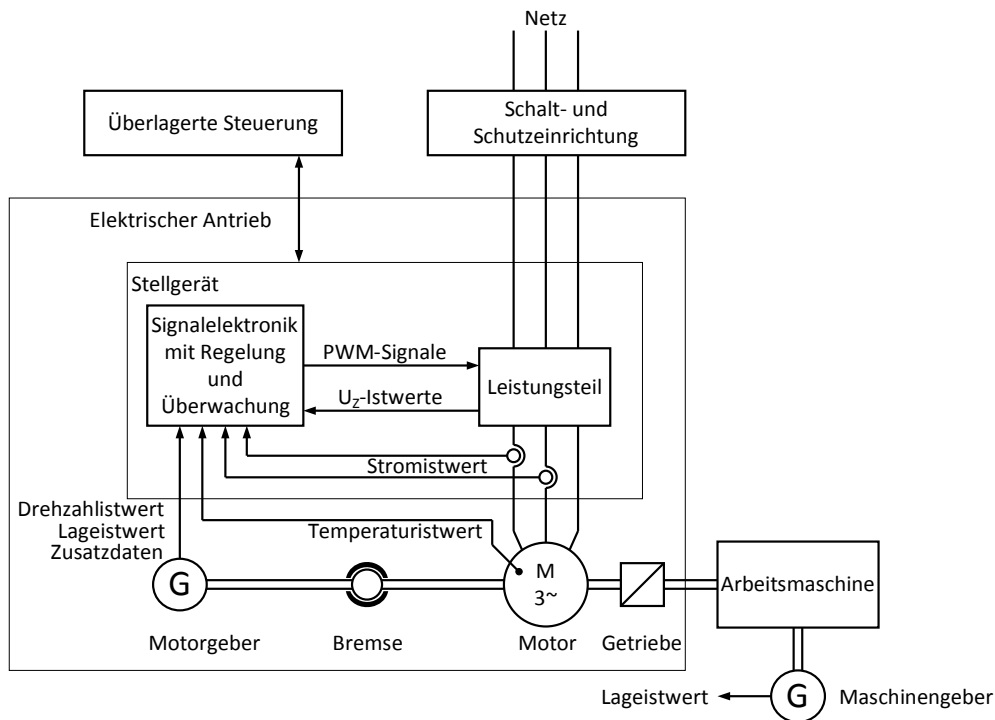


Abbildung 3.53: Antriebssystem mit Dreipunkt-Umrichter

Die Signale für die Ansteuerung der Halbleiterschalter im Umrichter werden von einem zentralen DSP generiert. Für die implementierte Regelung sowie Überwachung werden Ströme und Spannungen, Drehzahl und Temperaturen eingelesen. Mittels der Kommunikationsschnittstelle (Serial Communication Interface – SCI) des DSP werden die digitalisierten Messsignale am PC visualisiert. Um die Messung zu validieren, wurde sie mit separat erfassten Referenzsignalen verglichen. Abbildung 3.54 zeigt, dass die vom DSP verarbeiteten physikalischen Parameter nahezu den realen Verläufen entsprechen. Dabei ist zu berücksichtigen, dass im DSP bereits eine digitale Filterung der Messsignale umgesetzt wurde, um Störeinflüsse auf die Messsignale zu minimieren.

Der Regelkreis des Antriebssystems wird mit Hilfe von MATLAB[®] / Simulink[®] umgesetzt. Mit einer geeigneten Toolbox für den verwendeten DSP besteht die Möglichkeit, über die automatische Code-Erzeugung den implementierten Regelkreis in einen C-Quellcode umzuwandeln. Dieser wird anschließend in den Flash des DSP geladen und dort schließlich ausgeführt. Ein Vergleich von Soll- und Istwert bei Vorgabe sprunghaftiger Drehzahländerung nach Abbildung 3.55 illustriert die Funktion der implementierten Regelung.

²⁹ von Dr.-Ing. Wolfgang Fischer, Dipl.-Ing. Bastian Strauss

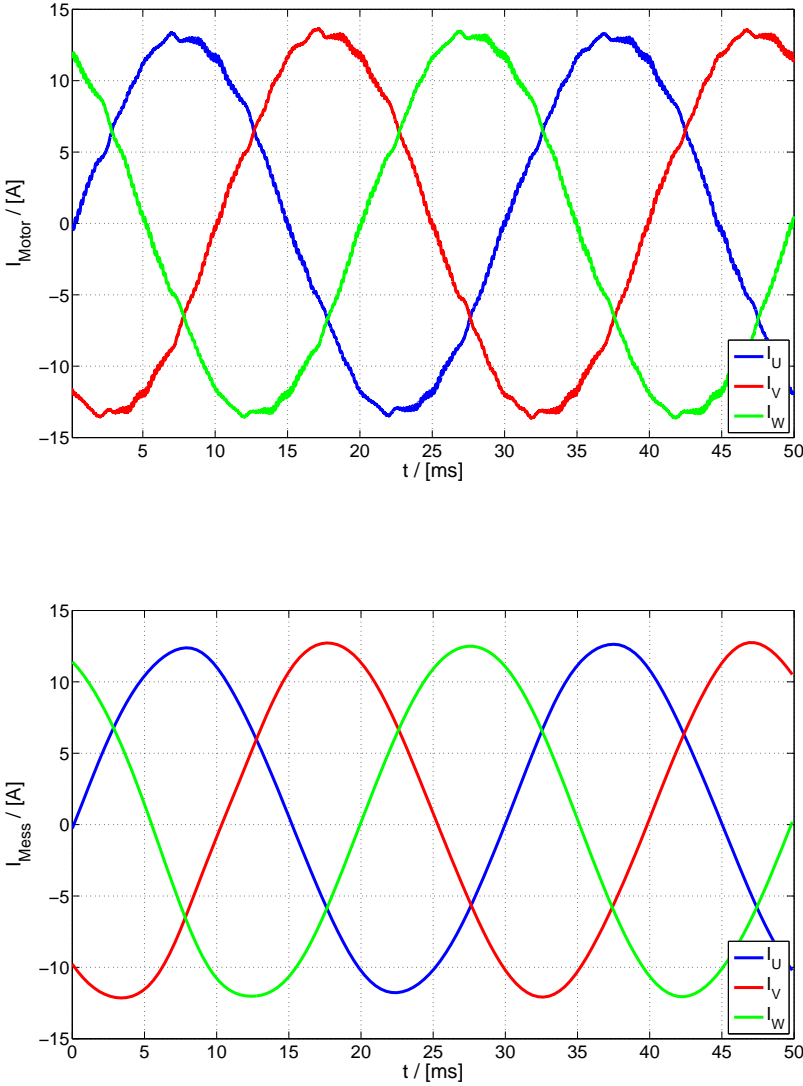


Abbildung 3.54: Mittels Oszilloskop (oben) bzw. vom DSP (unten) gemessene Lastströme am Umrichter-Ausgang

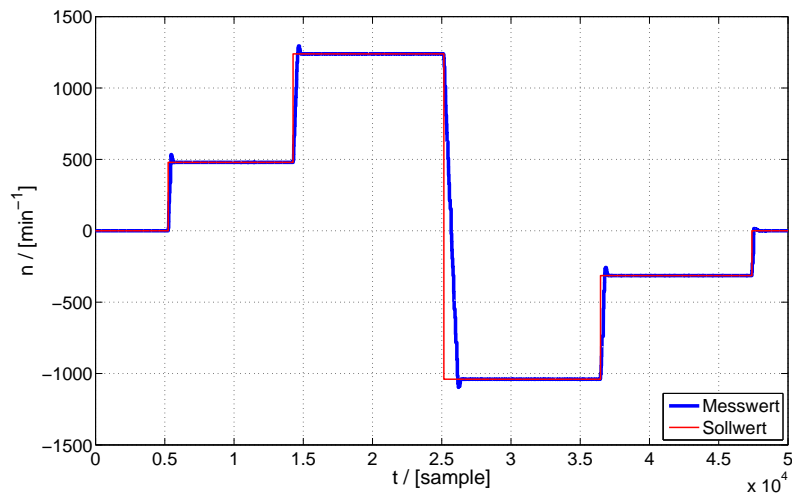


Abbildung 3.55: Vorgabe eines Drehzahlprofils zur Verifikation der Drehzahlregelung

Energy Harvesting im MRT³⁰

Einleitung Das Ziel des Projektes war die grundlegende Untersuchung der Möglichkeiten zur Wandlung kleiner Energiemengen des magnetischen Feldes eines Magnetresonanztomografen (MRT) zur Versorgung elektrischer Kleinverbraucher im Anwendungsfeld interventioneller Medizin. Dies würde beispielsweise die Energieversorgung von Sensoren und Elektronik in Kathedern ohne Kabel erlauben.

Material und Methoden Für die Grundlagenuntersuchung zu Energy Harvesting im MRT wurden die im MRT auftretenden magnetischen Felder analysiert und hinsichtlich ihrer Nutzbarkeit zur Energiewandlung bewertet. Es ist ersichtlich, dass sich das schnell veränderliche, in der x - y -Ebene rotierende B_1 -Feld ($f = 123$ MHz) zur Nutzung eignet. Entsprechend wurde eine Simulation eines innerhalb einer definierten Geometrie zirkulierenden magnetischen Feldes mit der Software Empire XCell auf Basis der Finiten Differenzenmethode im Zeitbereich entwickelt. Mit der Simulation ist es möglich, unterschiedliche Spulengeometrien hinsichtlich ihrer Induktionseigenschaft zu bewerten. Um Verbraucher mithilfe der induzierten Spannung zu versorgen, ist eine leistungselektronische Schaltung (AC-DC-Wandler mit Lademanagement) zwingend erforderlich, welche speziellen Anforderungen entsprechen muss. Hierzu zählt ein platzsparender Aufbau mit nicht-ferromagnetischen Bauteilen. Entsprechend wurde eine Materialrecherche betrieben und ein Schaltungskonzept erstellt (siehe Abb. 3.56). Unter Berücksichtigung der Feldorientierung von B_1 wurde ein Spulenlayout realisiert, welches eine möglichst positionsunabhängige Induktion sicherstellen soll. Unterschiedliche Schaltungsträgerkonzepte mit mechanischer Integration in die Spule wurden entworfen.

Ergebnisse Die Ergebnisse der entwickelten Simulation bestätigen eine analytische Beispielrechnung, weshalb die Simulation als valide einzustufen ist. Für den Demonstrator wurden nicht-ferromagnetische Kondensatoren, Spulen, Dioden, Widerstände sowie integrierte Schaltungen zum Energiemanagement recherchiert. Der Demonstrator wurde aufgebaut (siehe Abb. 3.57) und zunächst die induzierte Spannung ohne Zusatzbeschaltung und Last gemessen. Es konnten

³⁰von M. Sc. Lars Middelstädt, Beitrag zur IGIC 2014

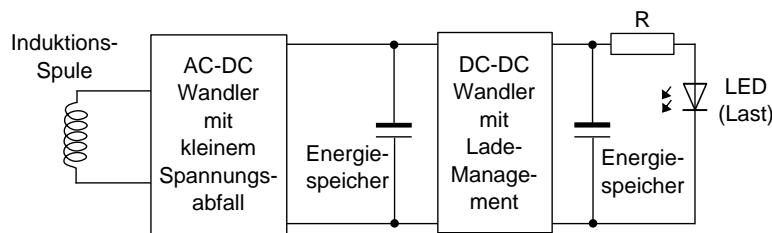


Abbildung 3.56: Prinzip der Energiewandlungsschaltung mit LED und Vorwiderstand als Last

maximale Spannungswerte von $\hat{u}_{\text{ind,pp}} = 2,8 \text{ V}$ erreicht werden. Ein erstes überarbeitetes Design der Spule hat gezeigt, dass auch größere Spannungen erzielt werden können, wobei die Messergebnisse durch Positionierung der Spule (im/außerhalb des Isozentrums) sowie des Messkabels (gerades/seitliches Herausführen) beeinflusst werden. Die Wicklungskapazitäten sind hierbei ebenfalls von großer Bedeutung.

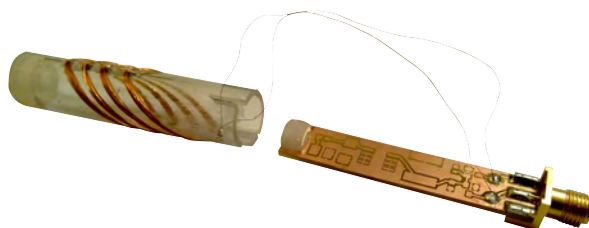


Abbildung 3.57: Demonstrator mit Induktionswicklung und unbestücktem Schaltungsträger



Abbildung 3.58: Schaltung mit Spule und Leuchtdiode im MRT auf Phantom (links: nicht angeregt, Mitte und rechts: angeregt)

Wie in Abb. 3.58 gezeigt, konnte mit der entwickelten Schaltung und einem optimierten Spulenslayout eine LED mittels magnetischer Felder im MRT zum Leuchten angeregt werden.

Diskussion Generell liefert das Energy Harvesting im MRT den entscheidenden Vorteil, Sensoren im Katheter drahtlos zu versorgen. Der Sensor und die Energieversorgung können so eine kompakte Einheit bilden, welche von externen Stromzuleitungen unabhängig wird. Entsprechende Katheterzuleitungen können so dünner ausgelegt werden. Die Energieversorgung wird jedoch positionsabhängig und der Sensoreinsatz ist somit ortsabhängig möglich (z. B. nur im Isozentrum). Zu untersuchen ist eine eventuelle Beeinflussung der Bildgebung durch vom Schaltungsträger erzeugte unerwünschte elektromagnetische Felder. Eine zeitliche Abstimmung zwischen Energiewandlung und Bildaufnahme ist daher notwendig.

Das Designen der Spule ist eine kritische Aufgabe für die genannte Anwendung. Neben geometrisch kleinen Abmessungen und einer weitestgehend orientierungsunabhängigen Spulenplatzierung im

MRT ist ein minimiertes parasitär-kapazitives Verhalten erstrebenswert. Die genaue messtechnische Validierung der Schaltung im MRT stellt eine weitere Herausforderung dar. Weiter zu untersuchen sind darüber hinaus die zu entnehmende Leistung und die für die zu versorgende Elektronik erforderliche leistungselektronische Umsetzung.

Zusammenfassung Nach einer grundlegenden Untersuchung des elektromagnetischen Feldes im MRT wurde eine valide Simulation erstellt, mithilfe welcher unterschiedliche Spulengeometrien hinsichtlich ihrer Induktionseigenschaften untersucht werden können. Gleichzeitig wurde ein platzoptimiertes Schaltungskonzept einer leistungselektronischen Schaltung zur Energiewandlung für den Einsatz im MRT bei kleinen Eingangsspannungen ($< 6\text{ V}$) entwickelt. Die messtechnische Validierung an einem Demonstrator hat bestätigt, dass Spannungen in der Größenordnung typischer Versorgungsspannungen von Signalelektronik erzeugt werden können.

Zuverlässigkeit von Leistungselektronik in Fahrzeugantrieben³¹

Für die Untersuchung der aktiven Belastung von Leistungshalbleiterbauelementen werden aktive Lastwechselltests zur beschleunigten Alterung der Bauelemente durchgeführt. Hierbei wird das zu untersuchende Bauelement zyklisch durch einen Laststrom I_L aufgeheizt und anschließend abgekühlt. Als Abbruchkriterium, und damit als Ausfallkriterium, ist ein Anstieg des thermischen Widerstandes R_{th} oder der Sättigungsspannung $U_{CE,sat}$ um 5 % bis 20 % definiert. In Abbildung 3.59 ist der Verlauf der Durchlassspannung $U_{CE,sat}$ während eines Lastwechsels für einen IGBT bis zum Ausfall des Bauelementes dargestellt. Die Stufen im Verlauf deuten auf ein Ablösen von Bonddrähten und damit zu einer stufenweisen Erhöhung des Widerstandes im elektrischen Pfad hin.

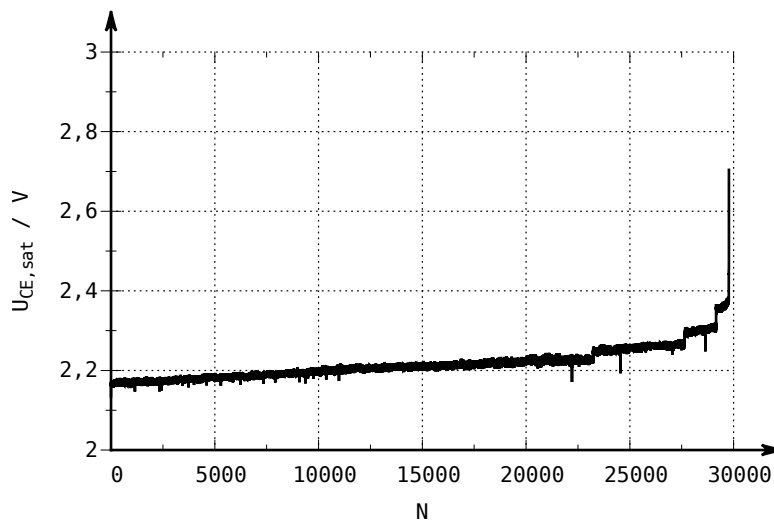


Abbildung 3.59: Verlauf Sättigungsspannung $U_{CE,sat}$ während eines aktiven Lastwechseltests bis zum Ausfall des Leistungshalbleiterbauelementes

Für die Untersuchung, ob und in welchem Maße sich Bonddrähte abgehoben haben, wird das Modul geöffnet und der entsprechende IGBT untersucht, siehe Abbildung 3.60.

Zwei der offensichtlich abgehobenen Bonddrähte sind im linken Foto von Abbildung 3.60 markiert. Im rechten Foto ist an den gleichen Bonddrähten jeweils eine weitere Kontaktstelle markiert. Hier sind typische Spuren auf der Chipoberfläche zu erkennen, welche einen Kontaktverlust in Form

³¹ von Dipl.-Ing. Folkhart Grieger

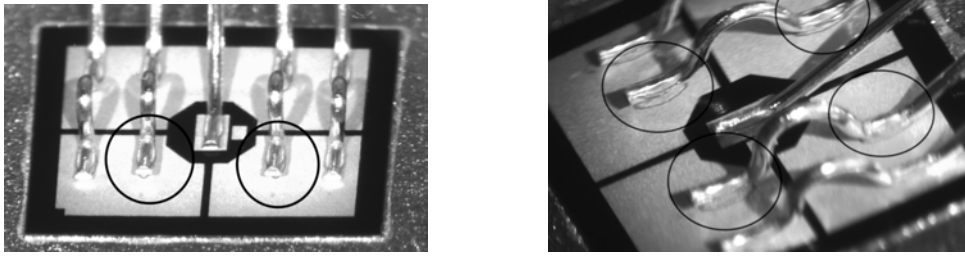


Abbildung 3.60: Abgehobene Bonddrähte am Leistungshalbleiter 2 (markiert), Aufnahme mit Lichtmikroskop nach aktiven Lastwechseln

von Abhebung der Drähte vermuten lassen. Es sind keine Verbrennungsmerkmale auf den Fotos zu erkennen, wie sie typisch für Lichtbogenerscheinungen wären. Wie auf den Aufnahmen zu sehen ist, sind noch weitere Bonddrähte mit dem Chip kontaktiert, so dass sich erst bei Ablösen der letzten Verbindung(en) ein Lichtbogen ausbilden würde.

Die Hard- und Software des Versuchsstandes ist so erweitert worden, dass die Messung der thermischen Impedanz von Leistungshalbleiterbauelementen möglich ist. In Abbildung 3.61 ist die Messung der thermischen Impedanz für den Pfad Sperrschicht zum Kühlkörper Z_{thjh} eines IGBTs in einem Leistungshalbleitermodul dargestellt. Zum Vergleich ist die Datenblattkurve für Z_{thjc} im Diagramm aufgeführt.

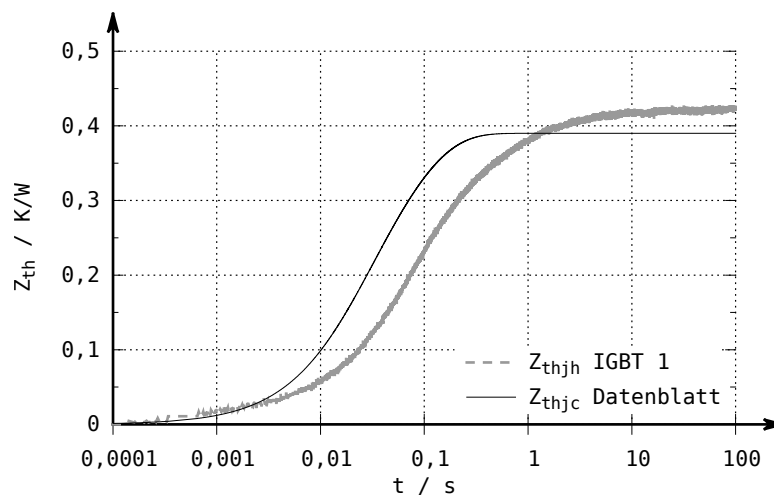


Abbildung 3.61: Verlauf thermische Impedanz für den Pfad zum Kühlkörper Z_{thjh} eines IGBTs

Die Messung der thermischen Impedanz vor und nach den aktiven Lastwechseln soll für die zerstörungsfreie Untersuchung der Ausfallursachen genutzt werden. Für die mathematische Beschreibung der thermischen Impedanz wird das Foster-Ersatzschaltbild verwendet, welches durch Gleichung (3.8) im Zeitbereich und durch Gleichung (3.9) im Bildbereich berechnet wird.

$$Z_{th,Foster}(t) = \sum_{i=1}^n R_{thF,i} \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau_i}} \right) \quad \text{mit} \quad \tau_i = C_{thF,i} \cdot R_{thF,i} \quad (3.8)$$

$$Z_{th,Foster}(s) = \sum_{i=1}^n \frac{R_{thF,i}}{R_{thF,i} C_{thF,i} s + 1} = \frac{p(s)}{q(s)} \quad (3.9)$$

Das Foster-Netzwerk lässt allerdings keinen Rückschluss auf reale Temperaturen innerhalb des thermischen Pfades zu, sondern dient nur der Beschreibung der Temperaturdifferenz zwischen Chip und Gehäuse, bzw. zwischen Chip und Kühlkörper. Eine Möglichkeit, den thermischen Pfad physikalisch zu interpretieren, bietet das Cauer-Netzwerk, welches im Bildbereich durch einen Kettenbruch beschrieben wird, Gleichung (3.10).

$$Z_{\text{th,Cauer}}(s) = \frac{1}{C_{\text{th},n}s + \frac{1}{R_{\text{th},n} + \frac{1}{C_{\text{th},n-1}s + \dots \frac{1}{R_{\text{th},1}}}}} \quad (3.10)$$

Die beiden Netzwerkmodelle, welche durch Gleichung (3.8) und (3.10) beschrieben werden, können jeweils in ein äquivalentes Netzwerk des anderen Modells umgerechnet werden. Ausgangspunkt hierfür ist die Gleichheit der Modelle im Bildbereich.

$$Z_{\text{th,Cauer}}(s) = Z_{\text{th,Foster}}(s) \quad (3.11)$$

Mit einem iterativen Ansatz zur Entfaltung der thermischen Sprungantwort im Bildbereich, basierend auf Fehlerabschätzungen von einem Schritt zum nächsten, wird ein Foster-Netzwerk mit deutlich mehr als den üblichen vier Kettengliedern berechnet und mit den theoretischen Datenblattparametern verglichen, Abbildung 3.62. Im Gegensatz zu einer Methode, welche auf dem Gradienten der gemessenen Kurve beruht, muss der gemessene Verlauf für kleine Zeiten nicht geglättet werden, so dass auch keine Informationen durch ein Glätten verloren gehen.

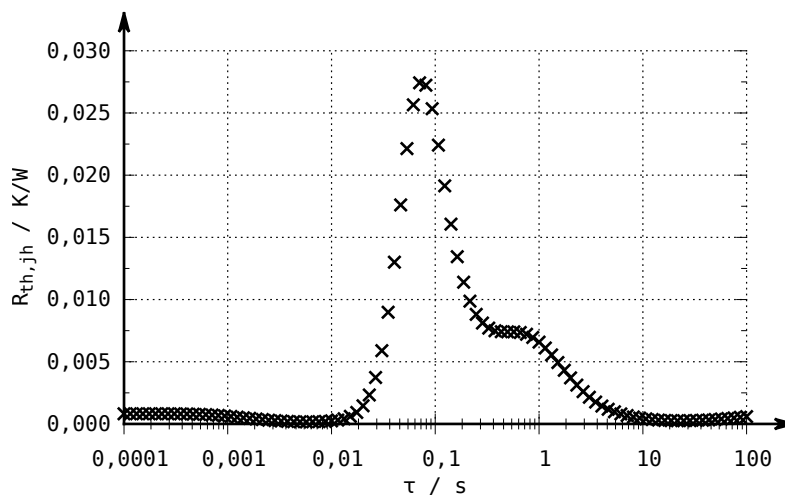


Abbildung 3.62: Quasikontinuierliches Spektrum berechnet aus gemessenem Verlauf der thermischen Impedanz $Z_{\text{th},jh}$

Die Umrechnung der in Abbildung 3.62 ermittelten Foster-Elemente in ein äquivalentes Cauer-Netzwerk erfolgt mit Gleichung (3.9), welche in einen Kettenbruch entsprechend Gleichung (3.10) umgeformt wird. Die beiden Netzwerke werden anschließend in SPICE als Netzliste eingefügt und die Sprungantworten werden bestimmt. In Abbildung 3.63 sind die Verläufe der simulierten und der gemessenen Sprungantwort dargestellt, wobei eine sehr gute Übereinstimmung der Verläufe zu erkennen ist, womit gezeigt wird, dass die Netzwerke zur Bestimmung der virtuellen Sperrschichttemperatur äquivalent sind.

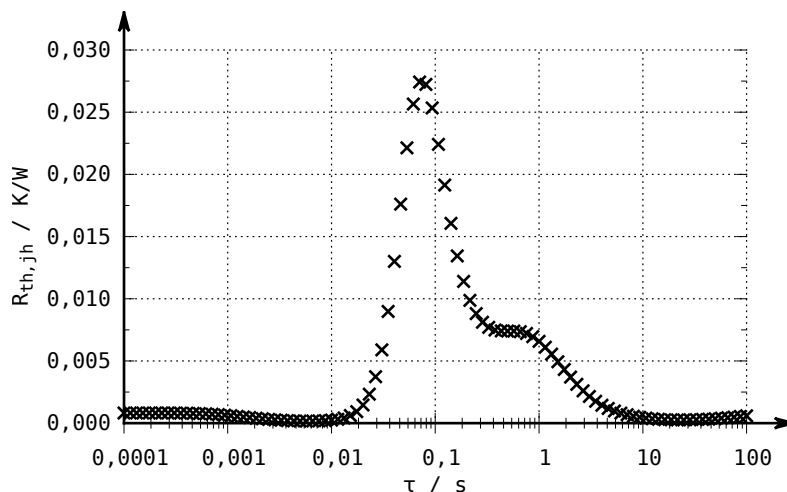


Abbildung 3.63: Vergleich gemessene Impedanz und berechnete Verläufe für einen IGBT im betrachteten Leistungshalbleitermodul

Verändert sich während der Lastwechsel etwas in den Eigenschaften des thermischen Pfades vom Chip zum Kühlkörper, zum Beispiel durch Schädigung der Lötsticht und damit Delamination des Chips von der Metallisierung, so verändern sich die thermischen Widerstände. Deren Auswertung vor, während und nach den Lastwechseln kann daher genutzt werden, um erste Aussagen zu Fehlern zu treffen, ohne das Modul mechanisch beschädigen zu müssen.

Indirekte Messung der Sperrschichttemperatur zur Zustandsüberwachung leistungselektronischer Bauelemente im Umrichterbetrieb³²

Einleitung Um die Leistungshalbleiter eines Umrichters vor Übertemperaturen oder Überlast zu schützen, bietet sich die Überwachung der Sperrschichttemperatur an. Des Weiteren erlaubt der Vergleich der gemessenen Sperrschichttemperatur mit der aus einem geeigneten thermischen Modell bestimmten Temperatur eine Zustandsüberwachung des verwendeten Leistungshalbleitermoduls. Dies bezieht sich speziell auf die Erkennung von verschlechterten Wärmeübergängen im thermischen Pfad zwischen Chip und Kühlkörper. Da allerdings die Sperrschichttemperatur eines Halbleiters nicht direkt gemessen werden kann, werden indirekte Messverfahren angewandt. Zur Implementierung eines solchen wurde eine Messschaltung entwickelt, welche additiv mit einem IGBT-Treiber verbunden werden kann, um die Messung der Chiptemperatur im Umrichterbetrieb zu realisieren.

Messkonzept und Umsetzung der Messschaltung Im Blockdiagramm nach Abbildung 3.64 ist die Messschaltung prinzipiell dargestellt, wobei die Abbildung 3.65 die zugehörigen Simulationsverläufe dokumentiert: Zur Detektierung des Einschaltvorganges wird die parasitäre Spannung V_{par} über L_{σ} zwischen Haupt- und Hilfsemittler verwendet (siehe Trig-Block). Diese Spannung wird negativ, sobald die Schwellspannung erreicht wurde und der Kollektorstrom zu steigen beginnt. Um das Zeitintervall für eine plausible Messung zu maskieren, wird eine Logikschaltung (siehe Time-Block) verwendet. Diese wertet die treiber-seitige Gate-Emitter-Spannung aus. Das Mess-Triggersignal wird anschließend durch eine logische UND-Verknüpfung aus Einschalt-Triggerpuls und Zeitmaskierung generiert. Die Messung von V_{vth} wird somit nur während des Einschaltvorganges zugelassen, wie die Schaltverläufe in Abbildung 3.66 zeigen. Die IGBT-seitige

³²von Dipl.-Ing. Bastian Strauß

Gate-Emitter-Spannung wird schließlich während des Mess-Triggerpulses durch einen Sample-and-Hold-Baustein abgetastet und gehalten.

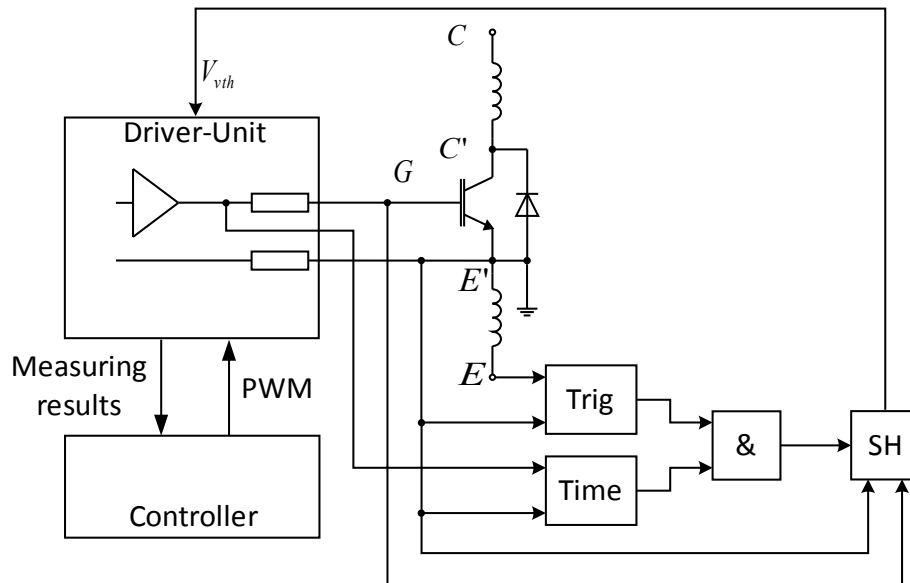


Abbildung 3.64: Blockdiagramm der Messschaltung

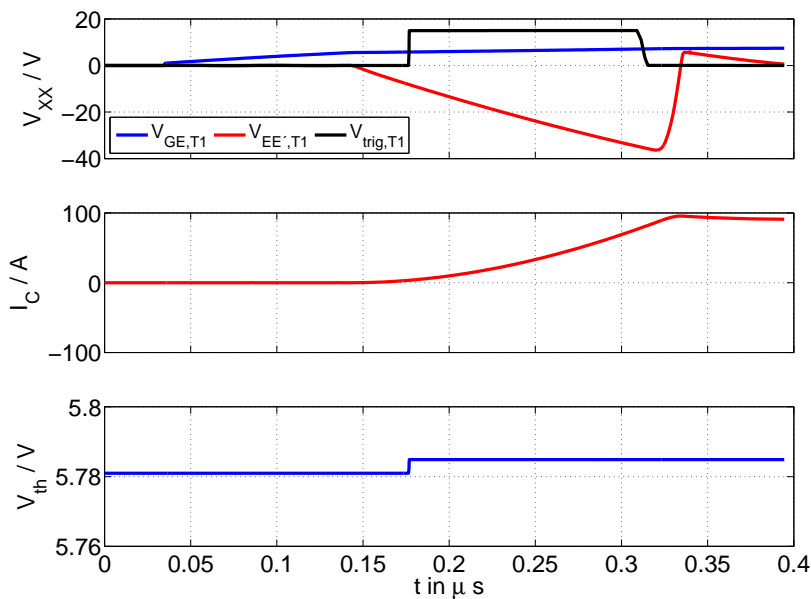


Abbildung 3.65: Simulierte Signalverläufe zur Darstellung der Funktionalität

Anschließend wird der vorliegende Analogwert V_{vth} digitalisiert und über einen galvanisch entkoppelten Bus zur Steuereinheit übertragen. Hier wird die Sperrschichttemperatur auf Basis einer geeigneten Kalibrierkurve bestimmt, wie sie beispielsweise in Abbildung 3.67 dargestellt ist. Neben der Abschaltung bei thermischer Überlastung kann die ermittelte Chiptemperatur für die Zustandsüberwachung der Halbleiter im Umrichtermodul genutzt werden. Mit einem geeigneten Modell des thermischen Pfades zwischen Chip und Kühlkörper kann dieser zusätzlich überwacht werden. Wie in Abbildung 3.68 dokumentiert, sollte der gemessene TSEP nahezu laststromunabhängig sein. Diese Eigenschaft der Schwellspannung ist für die Bestimmung von T_{vj} essentiell.

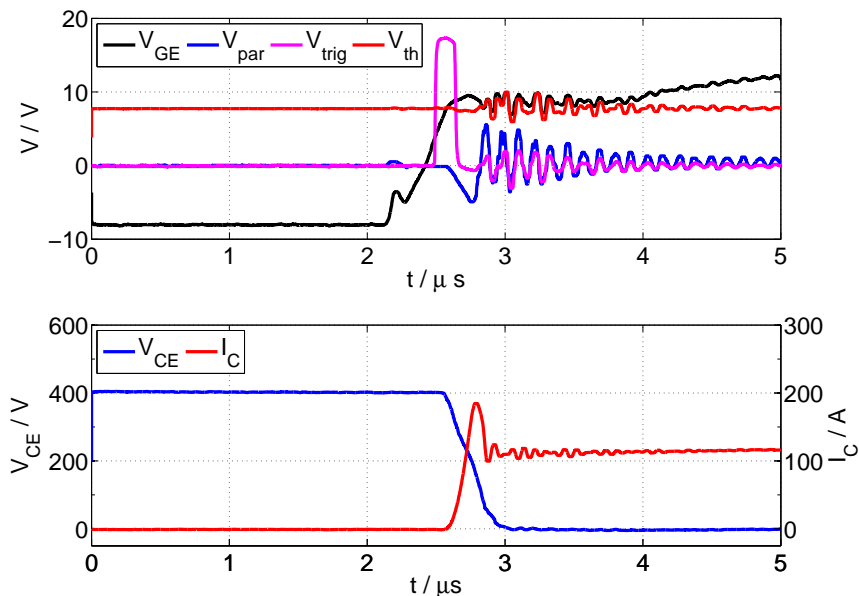
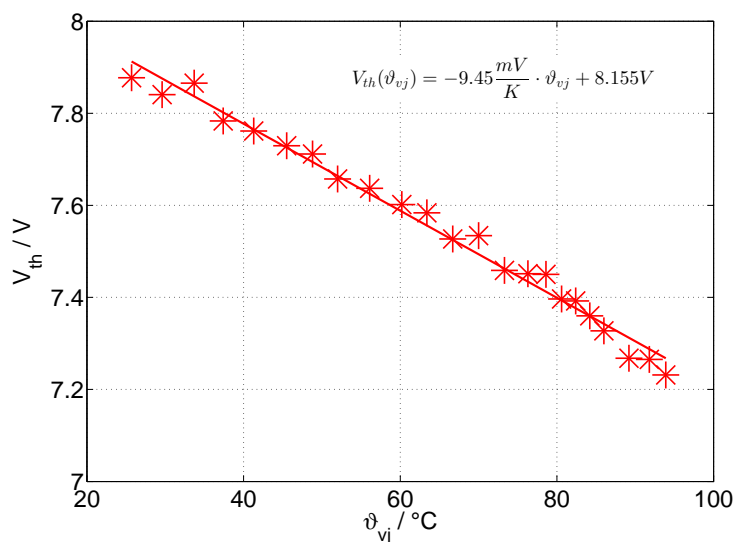


Abbildung 3.66: Messsignale im Einschaltvorgang

Test der Messschaltung unter realen Lastbedingungen Eine unter realen Lastbedingungen aufgenommene Kalibrierkurve der Schwellenspannung ist in Abbildung 3.67 dargestellt. Die Messungen erfolgten in Doppelpulsversuchen bei Vorgabe der Temperaturen mit einer Zwischenkreisspannung von 400 V und einem Laststrom von 130 A.

Abbildung 3.67: An einem IGBT gemessener Zusammenhang $V_{\text{th}}(\vartheta)$

Dabei wurde V_{vth} aus der Gate-Emitter-Spannung V_{GE} zum Zeitpunkt der negativ ansteigenden parasitären Spannung bestimmt — siehe Simulationsergebnisse in Abbildung 3.65 sowie das Einschaltverhalten in Abbildung 3.66. Verglichen mit den Datenblattangaben wurden unter realen Bedingungen etwas höhere Schwellenspannungswerte ermittelt. Um eine möglichst genaue Bestimmung der Sperrschichttemperatur zu garantieren, ist eine schnelle Messung erforderlich,

wie sie in der vorliegenden Schaltung realisiert wurde.

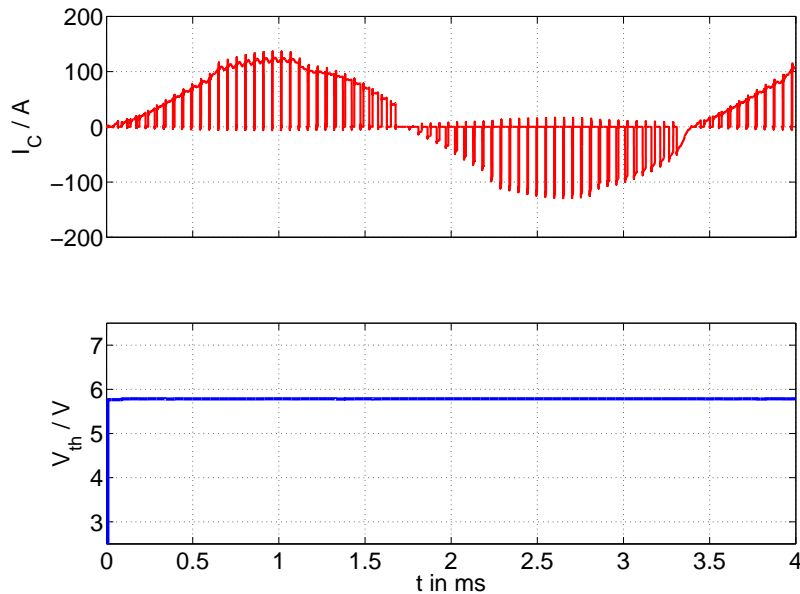


Abbildung 3.68: Simulierter Umrichterbetrieb

Schlussfolgerung Es ist eine Messschaltung umgesetzt worden, welche zu einem IGBT-Treiber hinzugefügt werden kann, um die Schwellspannung des Transistors beim Einschaltvorgang zu bestimmen. Anhand dieser ist die Sperrschichttemperatur zu berechnen, was zum Schutz gegen thermische Überlastung und für eine Zustandsüberwachung der Halbleiter eingesetzt werden kann. Erste Untersuchungen belegen in Übereinstimmung mit den Erwartungen die Funktionalität des Messkonzeptes.

Thermal system identification and order reduction method for rapid temperature computation of semiconductors³³

The evolution of temperature in semiconductors provides information of the current health state in the module. Depending on the application different methods can be applied to obtain the temperature. Within this section a method for a rapid calculation of the temperature by means of the thermal impedance using the system control theory for model reduction is presented. The method provides two formulas to calculate the same temperature. The user can decide which formula to use depending on the application. The method delivers a very good approximation and fast calculation of the temperature in comparison to the full characterization of the system.

In control theory the step response is used to characterize the behaviour of a system. In this case the temperature increase of a semiconductor can be described by the convolution integral of the dissipated power and the derivative of the thermal impedance in the time domain as illustrated in Fig. 3.69.

Assuming a non-disturbed thermal system $T_a(t) = 0$ and an initial value equal zero $T_{j0} = 0$ the

³³von Dipl.-Ing. Jimmy Alexander Butrón Ccoa, Siemens AG

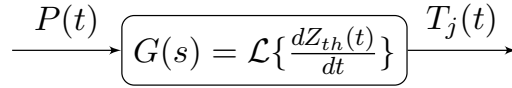


Figure 3.69: Thermal System

junction temperature can be calculated by:

$$T_j(t) = \int_0^t P(\nu) \cdot G(t - \nu) d\nu + \underbrace{T_{j0}}_0. \quad (3.12)$$

According to Fig. 3.69 the transfer function results in:

$$G(s, n) = \sum_{i=1}^n \frac{R_i}{1 + s \cdot \tau_i} \quad (3.13)$$

However in order to reduce the number of RC elements to a minimum with acceptable accuracy the state space representation of the transfer function is favourable. Assuming a time invariant thermal system (A : system matrix, B : input matrix, C : output matrix, D : feed-forward matrix, E : disturbance matrix and z : the disturbance vector) leads to the state space representation:

$$x'(t) = Ax(t) + Bu(t) + Ez(t) \quad (3.14)$$

$$y(t) = Cx(t) + Du(t) + z(t) \quad (3.15)$$

Once the thermal transfer function has been calculated its coefficients can be directly inserted into the state space model by comparing the following relation

$$G(s, n) = C \frac{1}{sI - A} \cdot B \quad (3.16)$$

Once all parameters have been extracted from the transfer function and inserted into the state space model, see Eq. (3.14), the observability W_o and controllability W_c matrices can be evaluated.

$$W_c(t) = \int_0^t e^{A \cdot \nu} B B^T e^{A^T \cdot \nu} d\nu \quad (3.17)$$

$$W_o(t) = \int_0^t e^{A \cdot \nu} C C^T e^{A^T \cdot \nu} d\nu \quad (3.18)$$

By calculating the square roots from the eigenvalues of the product of both the observability and controllability $W_{co} = W_c \cdot W_o$ matrices we obtain the Hankel Singular Values (HSV). These values specify the state energy of the system. The state value related to less state energy according to the Hankel Singular Values can be eliminated without modifying the system behaviour drastically. The resulting reduced state space model is then converted back to the transfer function formulation using Eq. (3.16). The next step is to bring this equation into the form given by Eq. (3.13) and finally obtaining the values for R_i and τ_i . The obtained reduced transfer function is the first equation that can be used for rapid temperature calculation, e.g. simulations. The second equation is obtained by calculating the convolution integral corresponding to Eq. (3.12). With

the approximation to thermal impedance

$$Z_{\text{th}}(t, n) = \sum_{i=1}^n R_i \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau_i}}\right) \quad (3.19)$$

the junction temperature evolution becomes:

$$T_j(t) = \sum_{i=1}^n \frac{R_i}{\tau_i} \left(\int_0^{t-\Delta t} P(\nu) e^{\frac{\nu-t}{\tau_i}} d\nu + e^{-\frac{\Delta t}{\tau_i}} W_i(t - \Delta t) \right) \quad (3.20)$$

$$W_i(t - \Delta t) = \int_0^t P(\nu) e^{\frac{\nu-t}{\tau_i}} d\nu \quad (3.21)$$

Here is Δt the time difference between two samples. These equations represent only a special solution to the multidimensional formulation suggested by Dr. Y. C. Gerstenmaier. The presented form delivers a fast calculation where only the actual step must be integrated and the last step only needs to be added.

For demonstrating purposes the HybridPACK™2 from Infineon was analyzed. From the datasheet the thermal impedance Z_{th} was extracted and the values for R_i were fitted using twenty ($n = 20$) random values of τ_i within an exponentially distributed realistic range. Afterwards the Hankel Singular Values were calculated (see Fig. 3.70). The system reduction was carried out as described before by choosing only three states due to their density of state energy level.

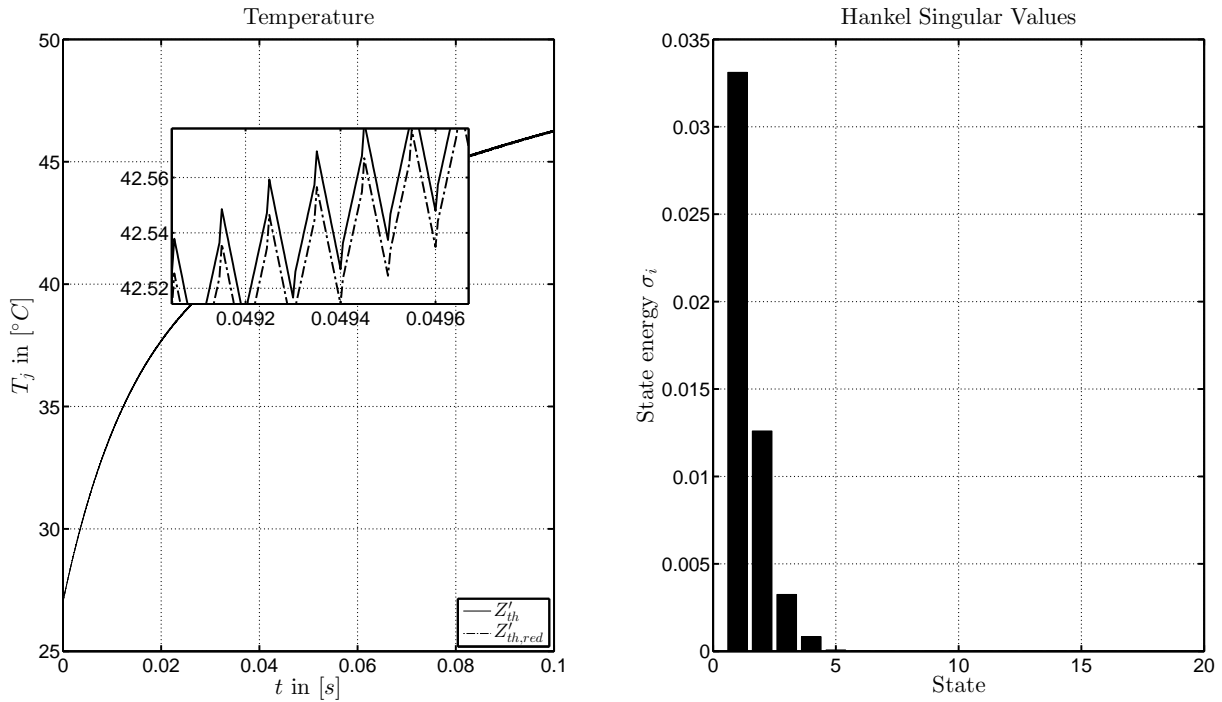


Figure 3.70: Calculated Hankel Singular Values and comparison of the original and reduced thermal transfer function

For comparison power losses at a converter frequency of 10 kHz were fed into the models. Fig. 3.70 demonstrates the high accuracy of the reduced system $Z'_{\text{th,red}}$ drastically improving the computation time due to the lower number of state variables.

In this section a method to identify and reduce the thermal system of a semiconductor is presented. Two equations for the calculation of the temperature are obtained. The first equation computes the temperature in the time domain and the second uses the Laplace transform or

transfer function of the control system. The presented procedure and reduced system showed high accuracy and is suitable for rapid temperature computation in the time domain.

Prozess zum leitfähigen Kleben von Bauelementen für die Hochleistungselektronik³⁴

Einleitung Das Kleben stellt eine Schlüsseltechnologie in der Montage und Kontaktierung von Bauelementen in der Elektronik- und Mikrosystemtechnik dar. Durch die gestiegenen Anforderungen an die Aufbau- und Verbindungstechnik, wie geringere Prozesstemperaturen und weiterhin hohe Zuverlässigkeit bedarf es neuer Konzepte zum Aufbau- und Kontaktierung von Bauelementen. Das gemeinsam mit dem IMTEK an der Albert-Ludwigs-Universität in Freiburg (Br.) durchgeführte Vorhaben soll die Grundlagen eines Fertigungsprozesses zum leitfähigen Kleben von aktiven und passiven Leistungsbauelementen auf Substraten der Leistungselektronik erarbeiten.

Materialien Die Aufbauten werden auf drei unterschiedlichen Substratmaterialien, Direct-Bonded-Copper (DCB), Leadframe und Leiterplatten assembliert. Das DCB-Substrat besteht aus einer Al₂O₃-Keramik und beidseitig gebondetem Kupfer. Die Schichtdicken betragen 0,3 mm Cu / 0,63 mm Al₂O₃ / 0,3 mm Cu.

Als Bauteile der Leistungselektronik werden IGBTs und Dioden der Leistungsklasse 650 V / 150 A in Modulaufbauten sowie Dioden mit 20 A und 45 V bzw. 30 A / 1600 V untersucht. Letztere Chips werden auf Leadframes geklebt und mit einem D²Pak als diskrete Bauelemente aufgebaut oder auf Substraten getestet.

Unterschiedliche Klebstoffe werden im Laufe der Projektbearbeitung getestet und verglichen. Die Klebstoffe bestehen aus einem Epoxidharz und sind bis zu 80 % mit Silberflocken gefüllt, wodurch die elektrische Leitfähigkeit gewährleistet wird. Die dabei untersuchten Sinterklebstoffe zeichnen sich durch eine höhere Aushärtetemperatur aus. In Abb. 3.71 sind zu untersuchenden Bauteile dargestellt.

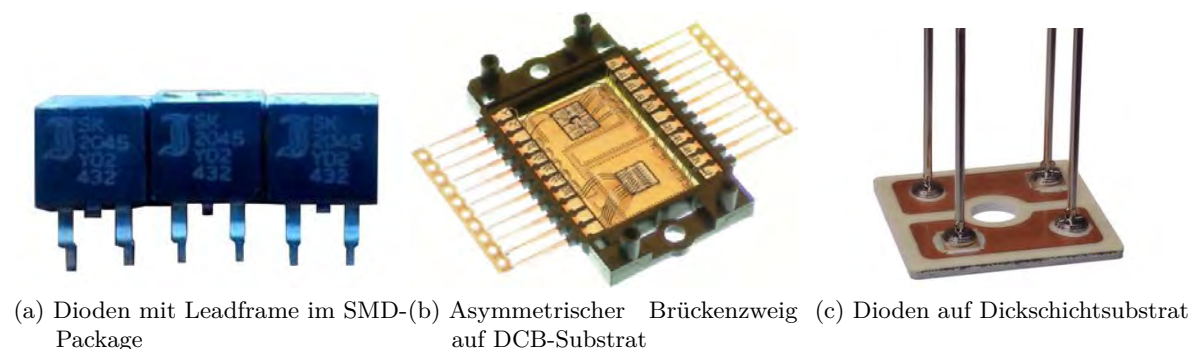


Abbildung 3.71: Untersuchte Bauteile

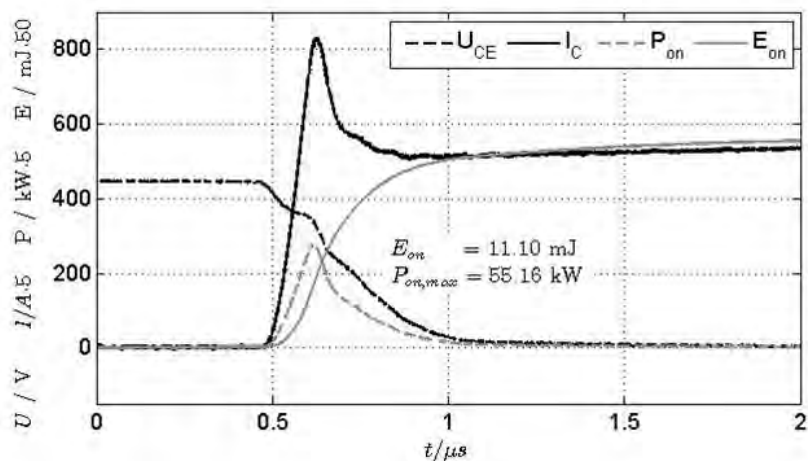
Vergleichskriterien und Ergebnisse Die zu untersuchenden Bauteilproben werden mechanisch, thermisch und elektrisch miteinander verglichen. Zur Bewertung der Anwendbarkeit der Klebstoffe in industriellen Geräten werden die Ergebnisse zusätzlich mit gelöteten Bauteilproben verglichen.

Schertests geben Aufschluss über die mechanische Stabilität. Die Schichtdicke hat hierbei einen entscheidenden Einfluss. Während Lotschichtdicken von 100 µm typische sind, werden für die

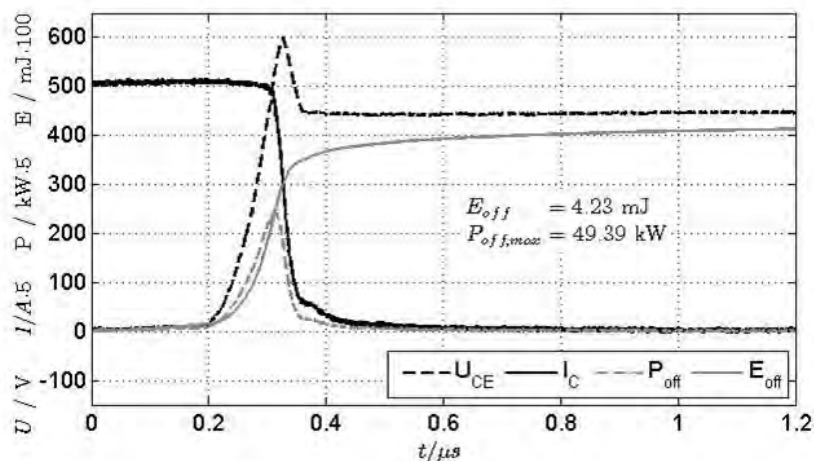
³⁴von M. Sc. Lars Middelstädt

Klebstoffe Schichtdicken von 10 μm und 30 μm untersucht. Die gleichen Beobachtungen konnten für die Zuverlässigkeit bei thermischer Belastung gemacht werden. Mittels Klimaschranks wurden passive Temperaturschocks ($T = -40\text{ }^\circ\text{C}/150\text{ }^\circ\text{C}$, je 30 min) durchgeführt. Die Rissfortschrittsrate (mittels Röntgenuntersuchung) und Änderung der Scherfestigkeit wurden dokumentiert.

Die elektrischen Eigenschaften werden mittels Aufnahme statischer Kennlinien (Kennlinienschreiber) und des Schaltverhaltens (Doppelpuls) bewertet. Das Schaltverhalten eines Moduls mit Sinterklebstoff ist in Abb. 3.72 dargestellt. Wie zu erwarten, zeigte das Schaltverhalten keine messbaren Unterschiede zwischen den unterschiedlichen Verbindungstechniken. Die statischen Kennlinien hingegen zeigen unterschiedliche Tendenzen. Während Module mit Lot-Verbindung ausnahmslos die besten Ergebnisse liefern, zeigen die Sinterklebstoffe die größten Durchlassspannungen und somit einen erhöhten Durchlasswiderstand. Ein anderer Klebstoff zeigt mit kleinen Abweichungen vom Lot nur leicht schlechtere Ergebnisse, sodass hier ein sowohl mechanisch als auch elektrisch vielversprechender Klebstoff gefunden werden konnte. Erste Ergebnisse thermischer Messungen bestätigen diese Tendenz.



(a) Einschalten



(b) Ausschalten

Abbildung 3.72: Im Doppelpuls-Versuchsstand gemessenes Schaltverhalten eines geklebten Leistungshalbleitermoduls

Simulationsmodelle zur Vorhersage der EMV-Eigenschaften von Leistungsmodulen hinsichtlich Gleichtaktstörungen über Motoranschluss³⁵

Durch die schnellen Schaltflanken beim Betrieb von Leistungsmodulen entstehen hohe Ableitströme über den Koppelkapazitäten C_K (siehe Abbildung 3.73) vom Leistungsschalter zum Kühlkörper, über Kabelschirme C_S oder die Wicklungen C_W in einer elektrischen Maschine, was zu Gleichtaktstörungen (Common Mode Emission) führt.

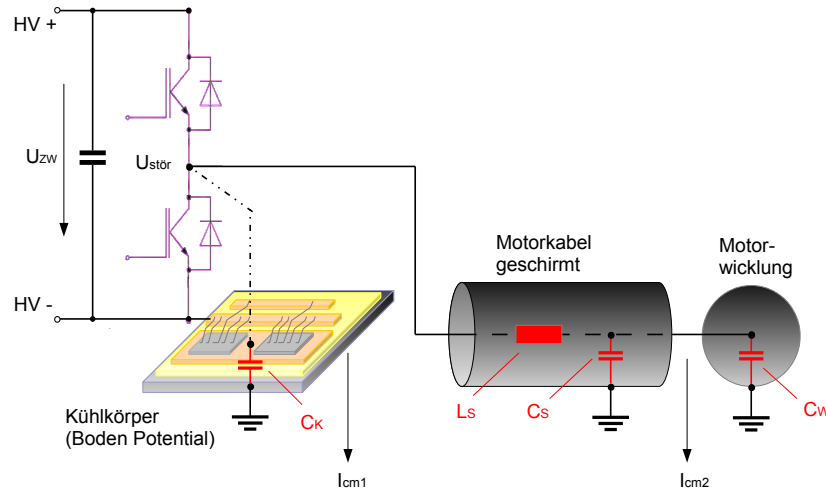


Abbildung 3.73: Schematische Darstellung einer Schaltzelle und der Koppelpfade der Gleichtaktstörungen über Motorleistungsanschluss

Hinsichtlich dieses Störmechanismus soll eine Vorhersage der EMV-Eigenschaften leistungselektronischer Systeme aufgrund vollständiger Daten getroffen werden, um diese im Vorfeld einer Konstruktion zu modellieren. Heutzutage gibt es für elektronische Systeme folgende Konstruktionsdaten:

- 3D- und/oder 2D-Geometriedaten
- Layout mit Bauteilplatzierung und Leiterbahnführung

Häufig sind diese Daten nicht miteinander vernetzt. Die Integration des elektronischen Systems in eine anwendernahe Umgebung, wie z. B. eine Maschine oder ein Automobil, wird in der Regel nicht modelliert. Weder für die Komponenten selber noch für die Systeme, in denen diese Komponenten eingebaut werden, können aufgrund der heute vorhandenen und modellierten Daten qualifizierte Aussagen zum EMV-Verhalten getroffen werden.

In dieser Untersuchung wird ein Simulationsverfahren entwickelt, um schon auf Leistungsmodul- sowie Systemebene eine Aussage über das EMV-Verhalten hinsichtlich Gleichtaktstörungen über die Motoranschlussleitung treffen zu können. Die Komponentenmodelle und das Systemmodell werden mit Hilfe der Simulationssoftware und der Nutzung von 3D-CAD-Konstruktionsdaten entwickelt. Dabei werden auch die Kopplungen aufgrund der Geometrie, des Layouts und der Bauteilplatzierung berücksichtigt. Das entwickelte Simulationsmodell dient dazu, eine globale Vorhersage der Amplitude der Störspektren zu treffen. Abbildung 3.74 zeigt den Einfluss der

³⁵ von M. Sc. Yu Liu, Infineon AG

Komponenten aus Abbildung 3.73 in Frequenzbereichen des Störspektrums. Danach folgt ein Vergleich mit den Messergebnissen, um die Gültigkeit der Simulationen zu verifizieren.

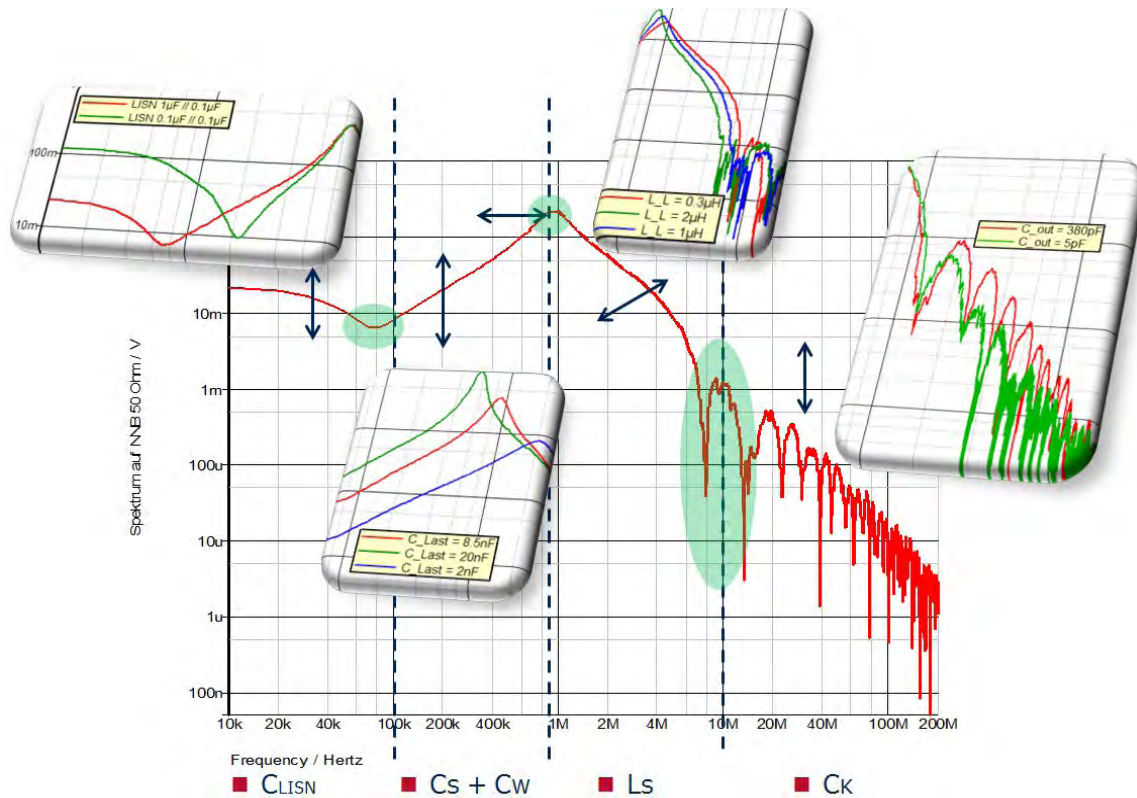


Abbildung 3.74: Quantitative Darstellung der Einflüsse von verschiedenen Parametern auf das Störspektrum

Um die Gleichtaktstörungen zu reduzieren, werden in leistungselektronischen Systemen sog. Y-Kondensatoren C_Y vom Hochvoltnetz (HV+, HV-) gegen Bodenplattenpotential eingebaut. Deren Werte sind jedoch z. T. durch normative (Ableitströme, Berührungsschutz) oder funktionale Anforderungen (keine Beeinflussung der Isolationsüberwachung, etc.) limitiert. Die durch die Einfügung der Y-Kondensatoren eingebrachten Dämpfungen sowie Resonanzstellen in den Störspektren sollen auch durch dieses Simulationsverfahren vorhergesagt werden.

Methode zur detaillierten Untersuchung von gestrahlter elektromagnetischer Störung von leistungselektronischen Schaltungen³⁶

Einleitung Es ist bekannt, dass die Schaltgeschwindigkeit von Leistungshalbleitern einen maßgeblichen Einfluss auf die geleitete elektromagnetische Verträglichkeit (EMV) von leistungselektronischen Schaltungen hat. Untersuchungen haben gezeigt, dass die entscheidenden Einflussfaktoren für die gestrahlten elektromagnetischen Störungen die Oszillationen während und kurz nach dem Schaltvorgang in Strom und Spannung sind. Für eine entsprechende Optimierung der gestrahlten EMV-Charakteristik gilt es, die Resonanzkreise, welche durch parasitäre Elemente innerhalb der Schaltung gebildet werden und zu kritischen Oszillationen führen, zu lokalisieren und hinsichtlich der Oszillationsfrequenz und -amplitude zu optimieren.

³⁶ von M. Sc. Lars Middelstädt

Ansatz Um kritische Resonanzkreise zu definieren, werden unterschiedliche Ströme und Spannungen innerhalb der zu untersuchenden Schaltung gemessen. Eine Transformation dieser Messsignale in den Frequenzbereich mittels Fast Fourier Transformation (FFT) führt zu unterschiedlichen Spektren, welche von den gemessenen Oszillationen bestimmt werden. Es ist zu klären, in wieweit die Spektren der Zeitbereichsmessung mit dem Spektrum der gestrahlten Störung korreliert (siehe Abb. 3.75).

Die Spektren der Zeitbereichsmessungen lassen sich untereinander gut vergleichen und Resonanzkreise können definiert werden. Das gezielte Beeinflussen von parasitären Elementen, wie z. B. die Anschlussinduktivitäten der Leistungshalbleiter, führt zu einer Frequenz- und Amplitudenänderung bestimmter Frequenzen. Der Einfluss von parasitären Elementen in einer Schaltung kann so bewertet und gewichtet werden, um aus diesen Ergebnisse Designrichtlinien abzuleiten.

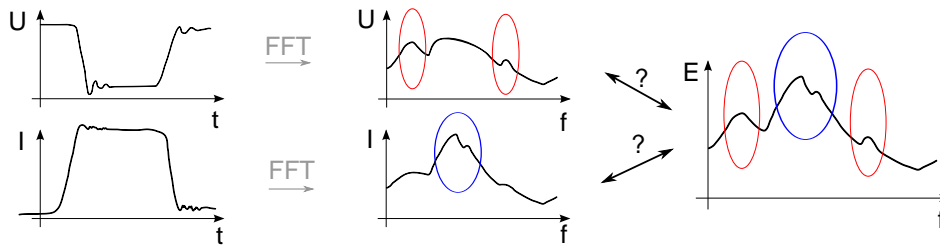


Abbildung 3.75: Korrelationsprinzip zwischen Zeitbereichsmessungen und Fernfeldmessung der abgestrahlten Störung

Einfluss des Ein- und Ausschaltverhaltens Das Ein- und Ausschaltverhalten kann sowohl Unterschiede als auch Gemeinsamkeiten aufweisen. Das Spektrum des gesamten Pulses setzt sich aus der Überlagerung dieser Ein- und Ausschaltverhalten zusammen. Änderungen im Gesamtspektrum, welche durch die Variation von parasitären Elementen hervorgerufen wird, sind daher nur schwer zu interpretieren. Eine detailliertere Oszillationsuntersuchung kann durchgeführt werden, wenn anstatt des gesamten Pulses das Ein- und Ausschalten mittels FFT separat analysiert wird (siehe Abb. 3.76).

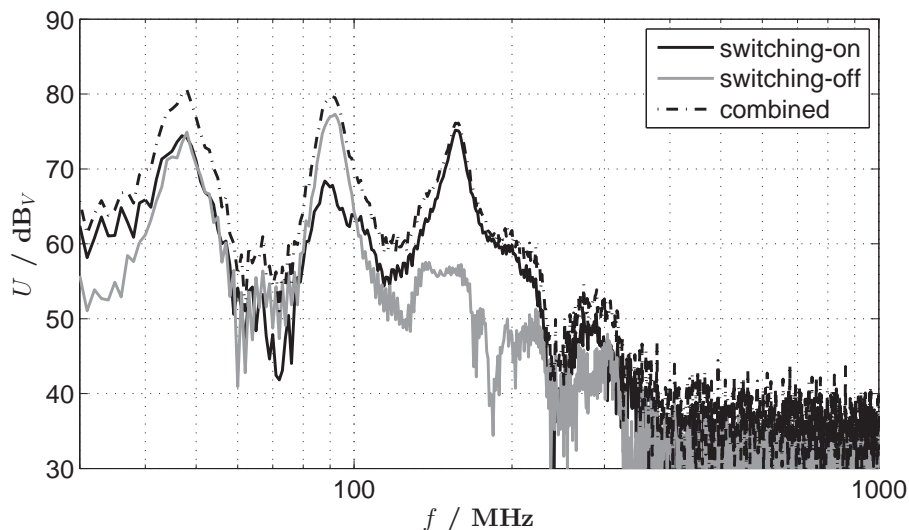


Abbildung 3.76: Unterschiedliche Ein- und Ausschaltcharakteristik der Eingangsspannung

Korrelation zwischen Zeitbereichsmessung und gestrahlter elektromagnetischen Störung Abschließend kann in Abb. 3.77 gezeigt werden, dass die unterschiedlichen Spektren der Zeit-

bereichsmessung sehr gut mit dem Spektrum der gestrahlten elektromagnetischen Störung der untersuchten Schaltung korrelieren. Durch die Optimierung der Schaltung im Zeitbereich bezüglich der Oszillationen kann daher eine Optimierung der gestrahlten Störungen angenommen werden, was für eine effizientere und gezielte Schaltungsentwicklung nützlich ist.

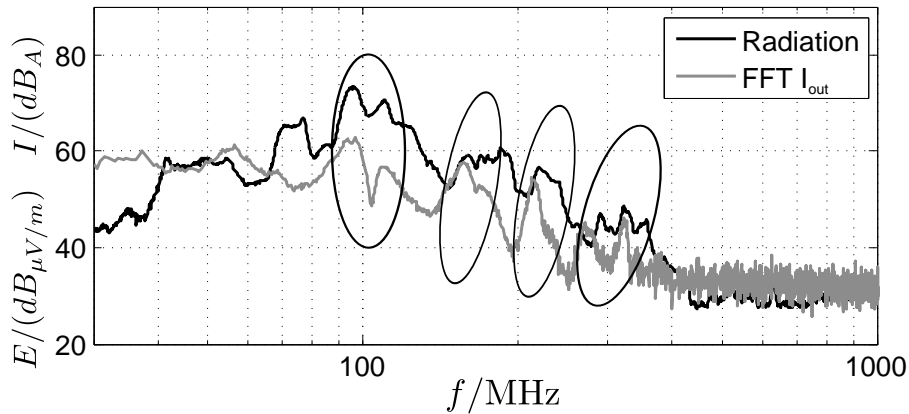


Abbildung 3.77: Vergleich zwischen gestrahlter Störung und FF-transformiertem Ausgangsstrom

Bewertung der menschlichen Magnetfeldexposition beim Widerstandsschweißen durch simulative Ermittlung der auftretenden Gewebefeldstärken³⁷

Bediener von Widerstandsschweißeinrichtungen sind einer Magnetfeldexposition ausgesetzt, die sich aus den bei diesem Verfahren in der Regel im Kiloamperebereich liegenden Schweißströmen ergibt. Wenn sich ein menschlicher Körper in einem sich zeitlich ändernden Magnetfeld befindet, entstehen durch Induktion elektrische Feldstärken und -stromdichten in den Körpergeweben. Mit dem Ziel der Begrenzung menschlicher Feldexpositionen sind in vorliegenden Regelwerken – u. a. in den ICNIRP Guidelines for Limiting Exposure to Time-Varying Electric and Magnetic Fields (1 Hz – 100 kHz) von 2010 – Grenzwerte für diese im Körper auftretenden elektrischen Größen festgelegt worden. Im Gegensatz zu den ebenfalls existierenden Grenzwerten für die Magnetflussdichte des auf den Körper einwirkenden Magnetfeldes stellen die Grenzwerte für das elektrische Feld im Körperinneren die letztlich entscheidenden Bewertungskriterien dar.

Die zur Expositionsbewertung mit den Grenzwerten zu vergleichenden Werte der im menschlichen Körper auftretenden elektrischen Gewebefeldstärken können messtechnisch nicht ermittelt werden. Mit den heutigen software- und computertechnischen Möglichkeiten kann jedoch eine Bestimmung mit Hilfe der numerischen Feldberechnung erfolgen, wenn eine spezielle Feldsimulationssoftware mit eingebundenem Menschenmodell und leistungsfähige Rechentechnik zur Verfügung stehen.

Im Rahmen des Forschungsvorhabens „Referenzsystem für die Bewertung von elektrischen Gewebefeldstärken und -stromdichten im menschlichen Körper beim Widerstandsschweißen“ (AiF-Nr. 16.776 BR) wurden derartige Untersuchungen mit Hilfe der Feldberechnungssoftware EMPIRE XCcel (IMST GmbH, Kamp-Lintfort), bei der die Finite-Differenzen-Methode im Zeitbereich (FDTD) angewendet wird und unter Einbeziehung eines Modells des menschlichen Körpers (Modell „Duke“ der „Virtual Family“, erstellt von der IT’IS Foundation, Zürich) durchgeführt. Im Ergebnis der numerischen Feldberechnung für eine bestimmte Expositionssituation liegen Werte der Parameter des resultierenden elektrischen Feldes für alle Bereiche des Körpermodells vor. Die resultierenden Verteilungen der elektrischen Feldstärke und der elektrischen Stromdichte

³⁷Beitrag von S. Förster, R. Döbbelin und A. Lindemann zum DVS Congress 2014

3 Forschung

können durch Darstellung von Schnittebenen oder (wie in Abb. 3.78) durch den Verlauf entlang charakteristischer Achsen illustriert werden.

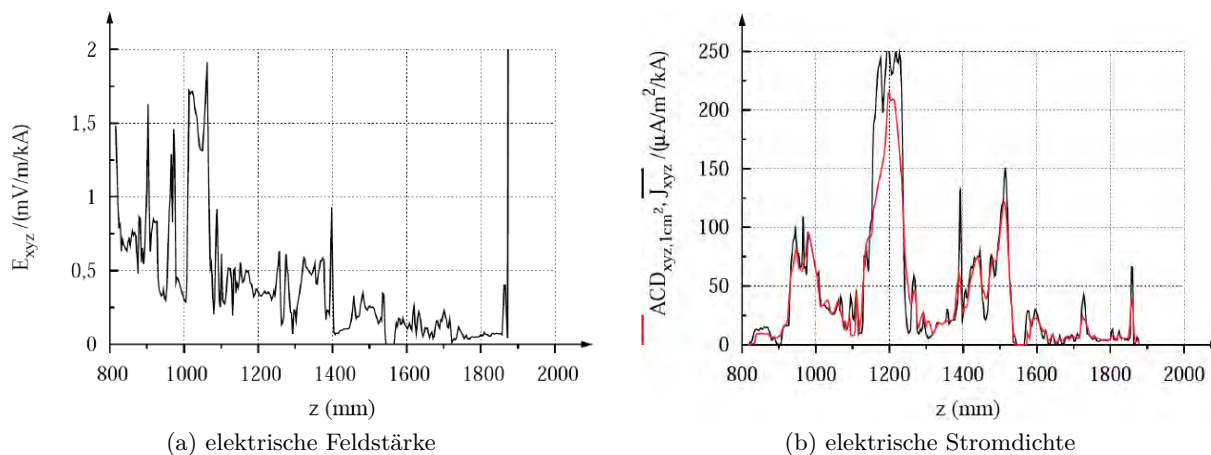


Abbildung 3.78: Simulationsergebnisse entlang der vertikalen Mittelachse des Körpermodells, normiert auf einen Schweißstrom von 1 kA bei 50 Hz

Die Abkürzung ACD steht für *averaged current density*. Es handelt sich dabei um den Betrag eines Vektors der für die jeweiligen Raumpunkte bestimmt wird, indem dort die Stromdichte in jeder Richtung des kartesischen Koordinatensystems über eine Fläche von 1 cm^2 gemittelt wird und die drei Anteile überlagert werden. Zieht man die Basiswerte der o. g. ICNIRP Guidelines für die im Innern des Körpers entstehende elektrische Feldstärke (für 50 Hz sind dies $100 \frac{\text{mV}}{\text{m}}$ für das Zentralnervensystemgewebe des Kopfes und $800 \frac{\text{mV}}{\text{m}}$ für alle übrigen Gewebearten des Kopfes und des restlichen Körpers) zum Vergleich heran, so ergibt sich, dass auch bei Schweißströmen realistischer Höhe, die bei der betrachteten Widerstandsschweißmaschine im Bereich einiger zehn Kiloampere liegen, die Basiswerte nicht überschritten werden dürften (bei der Interpretation des Diagramms ist zu beachten, dass es sich bei dem bei $z \approx 1875 \text{ mm}$ auftretenden senkrecht ansteigenden Abschnitt des Graphen der elektrischen Feldstärke um einen Effekt der Modellierung des Übergangs vom Körper zur umgebenden Luft handelt und somit dadurch keine Werte repräsentiert werden, die sich tatsächlich auf Gewebe des Körpermodells beziehen).

Die Ergebnisse der durchgeführten Feldsimulationen sind in die Datenbank des erstellten Referenzsystems, das betroffenen Unternehmen eine Bewertung von Expositionssituationen an Widerstandsschweißeinrichtungen ermöglichen soll, ohne dass dabei von ihnen selbst numerische Feldsimulationen durchgeführt werden müssen, übernommen worden. Bei der Nutzung des Referenzsystems ist es erforderlich, dass der Anwender zunächst einige Parameter, die die Expositionssituation kennzeichnen, in ein Abfrageformular einträgt. Neben auf die Geometrie der Anordnung bezogenen Werten betrifft dies auch Parameter, die aus dem Verlauf des Schweißstroms der betrachteten Widerstandsschweißeinrichtung resultieren.

So ist als Frequenz die so genannte Frequenz der Feldänderung, die gemäß einer in der DGUV-Vorschrift 15 (frühere Bezeichnung BGV B11) beschriebenen Prozedur zu ermitteln ist, einzutragen. Auf diese Weise kann im Fall von Gleichstrom-Widerstandsschweißeinrichtungen separat für die Anstiegs- und Abfallsphasen des Schweißstrompulses wie auch für dessen Welligkeitskomponenten ein Vergleich der ermittelten Werte des im Körper resultierenden elektrischen Feldes mit bestimmten Grenzwerten vorgenommen werden. Um diese Vergleiche zu ermöglichen, sind die Vorgaben unterschiedlicher Regelwerke in das Referenzsystem aufgenommen worden.

Bei den durchgeführten Untersuchungen ergaben sich in einigen Fällen der einbezogenen Expositionssituationen in Teilen des Körpers Überschreitungen der zulässigen Werte der elektrischen

Gewebefeldstärke. Dabei kam es jedoch bei keiner der betrachteten Widerstandsschweißeinrichtungen zu einer Überschreitung der zulässigen Werte für das Gewebe des Zentralnervensystems des Kopfes, das innerhalb der Regelwerke besonders berücksichtigt wird.

Das IGF-Vorhaben 16776 BR der Forschungsvereinigung „Forschungsvereinigung Schweißen und verwandte Verfahren des DVS e.V., Aachener Straße 172, 40223 Düsseldorf“ wurde über die AiF im Rahmen des Programms zur Förderung der industriellen Gemeinschaftsforschung und -entwicklung (IGF) vom Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages gefördert.

Wir danken den genannten Institutionen und den Mitgliedern des Projektbegleitenden Ausschusses für die Förderung und Unterstützung des Forschungsvorhabens.

3.4.3 Promotionen

Dr.-Ing. Stefan Förster: Kombinierte Modellierung des thermischen und elektrischen Verhaltens von Keramik-Substraten in Leistungshalbleiter-Bauelementen

Gutachter:

- Prof. Andreas Lindemann, Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg
- Prof. Günter Wollenberg, Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg
- Prof. Nando Kaminski, Universität Bremen

verteidigt am 23. Juli 2014 an der Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg, Abbildung 3.79



Abbildung 3.79: Gratulation an Stefan Förster am Otto-von-Guericke-Denkmal

Die Arbeit befasst sich mit der Analyse, der Ausbildung und Beeinflussbarkeit thermischer und elektrischer parasitärer Eigenschaften von Leistungshalbleiter-Bauelementen. Insbesondere an Modulaufbauten mit leistungselektronischen Schaltungstopologien werden hohe Anforderungen bezüglich dieser Eigenschaften gestellt. Die Topologie des Brückenzeigs besitzt als häufig verwendete Grundschaltung besondere Bedeutung. Hohe Taktfrequenzen der schnell schaltenden Halbleiter bei gleichzeitig großen Strömen und hohen Sperrspannungen machen die sorgfältige Analyse genannter Eigenschaften notwendig, um deren Einfluss zu bestimmen, welcher in idealen Betrachtungen vernachlässigt wird, real jedoch unvermeidlich auftritt und das Betriebsverhalten mit prägt.

Eine Vorbetrachtung des Stands der Technik der Aufbau- und Verbindungstechnik sowie bekannter Analyseverfahren schafft die Voraussetzung für vertiefende Untersuchungen und Erstellung weiterführender Modelle und Methoden. Einfach handhabbare analytische Abschätzverfahren für stationäre Wärmewiderstände werden erweitert durch die Verwendung eines Modells der Wärmeleitung und -abführung für Mehrschichtsubstrate mit beliebiger Anzahl Schichten. Eine mögliche Erweiterung für instationäre Betrachtungen wird besprochen. Die Richtungsableitungen der Flächenzentren- sowie der Flächendurchschnittstemperaturen vorderseitig aufgebrachtener Wärmequellen (Chips) gestatten Betrachtungen zur Optimierung durch Positionierung. Die Modelle werden für die computergestützte Bearbeitung vorbereitet und exemplarisch relevante Beispiele betrachtet. Ausgehend von den Ersatzschaltelementen der Methode der partiellen Elemente werden Verfahren zur Analyse der kapazitiv und induktiv parasitären Eigenschaften speziell für den Niederfrequenzbereich von Schaltvorgängen an Leistungshalbleitern vorgestellt. Die Verwendung frequenzabhängig ermittelbarer Impedanzmatrizen für relevante Anschlusspunkte komplexer elektrischer Strukturen wird am Beispiel einer Topologie mit elementarem Kommutierungsverhalten dargestellt. Zur Ermittlung des elektrischen und thermischen Portverhaltens einer jeweils leitfähigen Struktur wird eine weitgehend einheitliche Modelldefinition genutzt und gezeigt, dass unter Einsatz leicht anwendbarer Methoden das Verhalten gut abgeschätzt werden kann. Arbeiten zur gleichzeitigen Verbesserung mehrerer unterschiedlicher physikalischer Eigenschaften mit teils gegensätzlichen Einflussgrößen werden besprochen und eine Datenstruktur dargestellt, welche die Auswahl von Kompromisslösungen aus einer Vielzahl möglicher Lösungen gestattet.

Zur experimentellen Validierung abgeschätzter Wärmewiderstände wird ein erstellter R_{th} -Messstand angewendet, welcher durch geeignete Steuerung und robuste Auslegung auch als Lastwechsel-Versuchsstand für Lebensdauer-Untersuchungen ausgelegt ist. Ein Versuchsstand für Doppelpuls-Schaltversuche wird für Spannungsmessungen nahe der Chips eines Leistungshalbleiter-Moduls eingesetzt. Die weitgehend elektrisch neutrale Messkontaktierung gestattet die Aufnahme der Spannungsabfälle an ohmsch-induktiven parasitären Elementen der Kommutierungspfade.

Dr.-Ing. Jörg Schumann: Ladungsträgerextraktionsmodell zur Simulation des Abschaltens von IGBTs

Gutachter:

- Prof. Hans-Günter Eckel, Universität Rostock
- Prof. Andreas Lindemann, Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg
- Dr. Frank Pfirsch, Infineon Technologies

verteidigt am 20. Juni 2014 an der Universität Rostock

3.4.4 Veröffentlichungen

Zeitschriften- und Konferenzbeiträge

- [1] A. Lindemann, „From chip to system“, *Bodo's power systems. - Laboe : A Media*, Nr. 5, S. 20–21, 2014.
- [2] S. Förster, R. Döbbelin und A. Lindemann, „Referenzsystem für die Bewertung von elektrischen Feldstärken und Stromdichten in den Geweben des menschlichen Körpers beim Widerstandsschweißen“, *Schweissen und Schneiden. - Düsseldorf : DVS-Media GmbH*, Bd. 66, Nr. 6, S. 310–313, 2014.

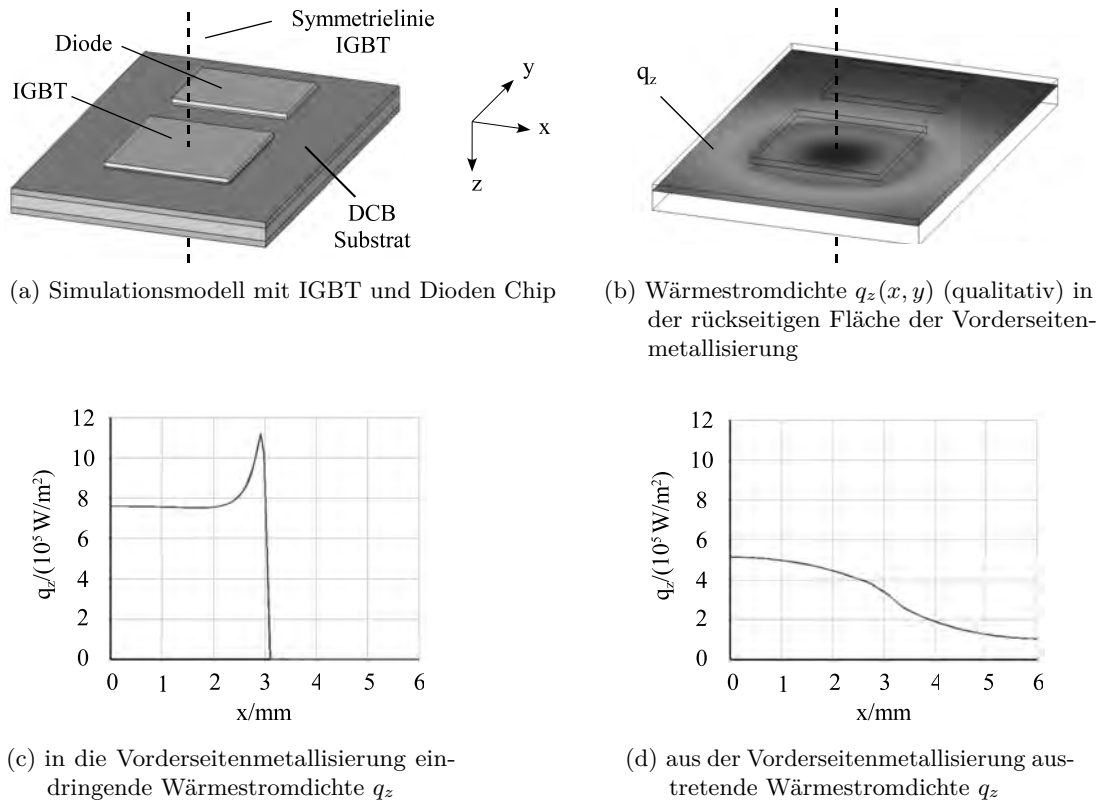


Abbildung 3.80: DCB Substrat (Diagramme c) und d) beginnend in der Chipmitte gemäß unterbrochener Linie in a) und b))

- [3] A. Lindemann, „ETG-Bericht aus dem Fachbereich Q1 – Leistungselektronik und Systemintegration“, Techn. Ber. 2, 2014, S. 57.
- [4] —, „ETG-Kongress 2013 – Fachtagung 5, Forschung und Entwicklung für die Elektromobilität“, Techn. Ber. 2, 2014, S. 64–65. Adresse: http://www.vde.com/de/fg/ETG/Arbeitsgebiete/Leistungselektronik/Aktuelles/Oeffentlich/Seiten/ETG-Kongress13_Elektromob.aspx.
- [5] L. Middelstädt, S. Skibin, R. Döbbelin und A. Lindemann, „Analytical determination of the first resonant frequency of differential mode chokes by detailed analysis of parasitic capacitances“, in *EPE '14 ECCE Europe. - IEEE*. 2014, S. 1–10.
- [6] L. Middelstädt, S. Förster und A. Lindemann, *Energy Harvesting in MRT*, 2014.
- [7] X. Liu, A. Lindemann, S. Rabe, M. Richter und Z. A. Styczynski, „Design and control of a small-scale HVDC lab prototype“, in *2014 IEEE 15th Workshop on Control and Modeling for Power Electronics (COMPEL)*. - Piscataway, NJ : IEEE. 2014. Adresse: <http://dx.doi.org/10.1109/COMPEL.2014.6877179>.
- [8] X. Liu, A. Lindemann und H. Amiri, „A theoretical and experimental analysis of N+1 and 2N+1 phase-shifted carrier-based PWM strategies in modular multilevel converters“, in *PCIM Europe 2014. - Berlin : VDE Verl.* 2014, S. 1332–1339.
- [9] —, „Theoretical and experimental comparison of different control strategies for modular multilevel converters“, in *2014 IEEE 15th Workshop on Control and Modeling for Power Electronics (COMPEL)*. - Piscataway, NJ : IEEE. 2014. Adresse: <http://dx.doi.org/10.1109/COMPEL.2014.6877147>.

- [10] X. Liu, S. Rabe, M. Richter, A. Lindemann und Z. Styczynski, „Implementation and Control of a Small-Scale HVDC Prototype Considering Grid Code Requirements“, in *IEEE PEAC 2014*, 1st International Power Electronics Application Conference, Shanghai, 2014.
- [11] F. Grieger und A. Lindemann, „Ausfallverhalten und -mechanismen von Leistungshalbleiter-Modulen unter automobiltypischer elektrischer Belastung“, in *FVA-Informationstagung*, 2.-03. Dezember 2014 in Würzburg.
- [12] J. A. Butrón Ccoa, B. Strauß, G. Mitic und A. Lindemann, „Investigation of temperature sensitive electrical parameters for power semiconductors (IGBT) in real-time applications“, in *PCIM Europe 2014. - Berlin : VDE VERLAG*. 2014, S. 456–464.

Beiträge zu Kolloquien u. a. Vorträge

- [1] R. Döbbelin, „Referenzsystem für die Bewertung von elektrischen Gewebefeldstärken und -stromdichten im menschlichen Körper beim Widerstandsschweißen“, in *DGUV/DVS-Fachveranstaltung*, 18. November 2014 in Nürnberg.
- [2] L. Middelstädt, „Einfluss parasitärer Elemente auf die gestrahlten Störemissionen von leistungselektronischen Umrichtern“, in *12. Magdeburger EMV-Industrieseminar*, 4.11.2014 in Magdeburg.
- [3] A. Lindemann, „A key component to use renewable energy“, in *Festvortrag anlässlich der feierlichen Immatrikulation an der TU Breslau*, 4.10.2014.
- [4] L. Middelstädt und A. Lindemann, „Analyse und Optimierung gestrahlter Störungen von leistungselektronischen Schaltungen“, in *Kolloquium Halbleiter-Leistungsbaulemente und ihre systemtechnische Anwendung*, 27.-28.10.2014 in Freiburg im Breisgau.
- [5] B. Strauß, „Untersuchung temperaturabhängiger Parameter von Leistungshalbleiter-Bauelementen im Umrichterbetrieb“, in *Kolloquium Leistungselektronik Nord, Hamburg*, 27.06.2014.

3.5 Institutsebene

3.5.1 Kooperationen

Studienaufenthalte ausländischer Wissenschaftler am Institut

- M. Sc. T. V. Sokolnikova
(Lehrstuhl für Elektrische Netze und Alternative Elektroenergiequellen, 23.12.2013 – 17.01.2014, 25.06.2014 – 31.07.2014 und 30.10.2014 – 15.11.2014)
- Kemal Ibrahim Yassin
(Lehrstuhl für Elektrische Antriebssysteme, 01.03.2014 – 31.07.2014)
- Dr. K. V. Suslov
(Lehrstuhl für Elektrische Netze und Alternative Elektroenergiequellen, 30.03.2014 – 14.04.2014)
- Prof. Dr.-Ing. N. V. Grebchenko
(Lehrstuhl für Elektrische Netze und Alternative Elektroenergiequellen, 14.04.2014 – 25.04.2014)
- M. Sc. E. Martynova
(Lehrstuhl für Elektrische Netze und Alternative Elektroenergiequellen, 16.05.2014 – 18.05.2014)
- M. Sc. V. Panko
(Lehrstuhl für Elektrische Netze und Alternative Elektroenergiequellen, 16.05.2014 – 18.05.2014)
- Justo José Roberts
(Lehrstuhl für Elektrische Netze und Alternative Elektroenergiequellen, 01.06.2014 – 31.07.2014)
- Dr. Pablo M. de la Barrera
(Lehrstuhl für Elektrische Antriebssysteme, 06.06.2014 – 19.07.2014)
- Ricardo de Avila Geisler
(Lehrstuhl für Elektrische Netze und Alternative Elektroenergiequellen, 01.07.2014 – 30.09.2014)
- Dr. Guillermo R. Catuogno
(Lehrstuhl für Elektrische Antriebssysteme, 01.07.2014 – 30.09.2014)
- Dr. V. V. Voronkov
(Lehrstuhl für Elektrische Netze und Alternative Elektroenergiequellen, 05.07.2014 – 09.07.2014)
- Prof. Dr.-Ing. Voropai
(Lehrstuhl für Elektrische Netze und Alternative Elektroenergiequellen, 07.07.2014 – 08.07.2014)
- Dr. Emad Ahmed Hussein Abdelkarim
(Lehrstuhl für Elektrische Antriebssysteme, 01.08.2013 – 31.01.2014)
- Dr. K. Halicka
(Lehrstuhl für Elektrische Netze und Alternative Elektroenergiequellen, 01.09.2014 – 30.09.2014)
- Dr. Valdomiro Vega Garcia
(Lehrstuhl für Elektrische Netze und Alternative Elektroenergiequellen, 01.09.2014 – 31.10.2014)
- Prof. Dr. Antonio Faria Neto
(Lehrstuhl für Elektrische Netze und Alternative Elektroenergiequellen, 01.10.2014 – 06.12.2014)

3.5.2 Technische Gremien und Verbände

- Prof. Leidhold:
 - VDE und ETG Mitglied
 - IEEE Member
- Prof. Lindemann:
 - Mitgliedschaften und Gremien
 - * Senior Member des Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE)
 - * Chair of Awards Committee der IEEE Power Electronics Society (PELS)
 - * Counselor der IEEE Student Branch „Otto von Guericke“, Magdeburg

- * Past Chairman 2005-2006 des Joint IAS/PELS/IES German Chapters
- * Mitglied von VDE und energietechnischer Gesellschaft im VDE (ETG)
- * Vorsitzender des Fachbereichs Q1 (Leistungselektronik und Systemintegration) der ETG
- Herausgeberschaft, Redaktion
 - * Mitglied des International Steering Committees der European Power Electronics and Drives Association (EPE)
 - * Mitglied des Fachbeirates der Konferenz PCIM (Power Conversion, Intelligent Motion)
 - * Associate Editor at Large der IEEE Transactions on Power Electronics
- Der Lehrstuhl für Leistungselektronik ist ein Competence Centre des European Centers for Power Electronics (ECPE).
- Prof. Styczynski:
 - Mitgliedschaften und Gremien
 - * VDE/ETG, IEEE, CIGRE, CRIS, ZERE, Mitglied
 - * VDE-ETG V2 Elektrische Energienetze, Mitglied (seit 2004)
 - * CIGRE TF C6.4.2 Smart Grid Benchmarks, Mitglied (2004-2012)
 - * CIGRE SC 6 Dispersed Generation, Stellv. Vorsitzender DAK SC 6 (seit 2004)
 - * EU European Technology Plattform Smart Grid — WG4 Generation and Storages, Mitglied (2005-2009)
 - * ETG Life Needs Power, Mitglied (2006-2011)
 - * ETG Task Force Smart Distribution, Mitglied (2007–2008)
 - * CIGRE WG C6.15 Electric Energy Storage, Leiter (2008-2012)
 - * ETG Task Force Demand Side Management, Leiter (2009-2012)
 - * TU Wroclaw, Beirat der Fakultät für Elektrotechnik (seit 2006)
 - * ZERE e. V., Vorstandsvorsitzender (seit 2006)
 - * FNN Mitglied des Lenkungskreises Mittel- und Niederspannung, Mitglied (seit 2008)
 - * IEEE Subcommittee International Practices WG Europe, Leiter (2006-2009)
 - * CRIS International Institute for Critical Infrastructures (Schweden/USA), (seit 2005), President (2011-2013)
 - * Land Sachsen-Anhalt Plattformen: Elektrische Netze und Regenerative Energien, Mitglied (seit 2013)
 - * Akademieprojekt „Energiesysteme der Zukunft“ — Fachgruppe DSM, Leiter (seit 2014)
 - Herausgeberschaft, Redaktion
 - * MAgeburger FORum zur Elektrotechnik, Co-Editor
 - * European Transaction on Electrical Power (ETEP)
 - * IEEE Transaction
 - * Archives of Electrical Engineering, Polish Academy of Science
 - * Tagungen: Power Tech , PSCC, LPQU, ETG, VDE
- Prof. Vick:
 - Mitglied im Verein Deutscher Ingenieure (VDI)

- Mitglied der Energietechnischen Gesellschaft (ETG) im Verband der Elektrotechnik, Elektronik und Informationstechnik (VDE)
- Mitglied im Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE)
 - * Senior Member
 - * Mitglied der Electromagnetic Compatibility (EMC) Society
- Gutachter für die IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility
- Mitglied der Joint Task Force A-H der International Electrotechnical Commission (IEC)

3.5.3 Kolloquien

Dresdener Kreis 2014 (19./20. März 2014)³⁸

Der Dresdener Kreis ist ein gemeinsames Kolloquium der Universitäten Hannover, Dresden, Duisburg-Essen und Magdeburg. Die Assistenten sollen dabei die Möglichkeit bekommen, sich mit anderen Doktoranden auszutauschen und Erfahrungen beim Präsentieren zu sammeln. Im Jahr 2014 lag die Organisation in den Händen der Magdeburger. Als Besonderheit in diesem Jahr wurde die 2-tägige Veranstaltung nicht in der jeweiligen Gastgeberstadt abgehalten, sondern in der Kulturmetropole Leipzig.

Am Mittwoch, 19. März 2014 traf man sich zunächst zu einem gemeinsamen Kolloquium als Gast in der HTWK Leipzig, Fakultät Elektrotechnik und Informationstechnik. Jeweils zwei wissenschaftliche Assistenten einer Universität präsentierten dort Ihre Forschungsergebnisse und –vorhaben. In den anschließenden Diskussionsrunden wurden diesbezügliche Erfahrungen, Herausforderungen und offene Fragen besprochen. Die diesjährigen Referenten mit ihren zugeordneten Vortragsthemen waren:

- Marc Richter (Magdeburg)
„Detaillierte Nachbildung von HGÜ-Seekabeln durch konzentrierte Elemente“
- Timo Breithaupt (Hannover)
„INES – Integrierte Netz- und Energiemarktsimulation“
- Friedemann Möller (Dresden)
„Untersuchung der Netzzrückwirkungen von Elektrofahrzeugen“
- Mohammad Suwan (Duisburg-Essen)
„Modeling of VSC-HVDC connected Offshore Wind Farms for RMS-type Stability Studies“
- Philipp Kühne (Magdeburg)
„Online Diagnose zur Verfügbarkeitsprüfung netzgekoppelter Brennstoffzellen-USV-Systeme“
- Gerrit Schlömer (Hannover)
„Verwendung synthetischer Netzstrukturen zur Analyse des Netzausbaubedarfs in der Niederspannungsebene“
- Sebastian Palm (Dresden)
„Grundlagen der Detektierbarkeit und Detektionsverfahren von Inselnetzen“
- Abdul Wahab Korai (Duisburg-Essen)
„Frequency dependent voltage control to improve power system frequency stability“

³⁸von M. Sc. Marc Richter

Im Anschluss an das Kolloquium wurde der gemeinsame Abend im berühmten Gasthaus Auerbach's Keller verbracht (siehe Abb. 3.81). Das Programm im historischen Fasskeller beinhaltete neben mittelalterlichen Geschichten zur Figur von Goethes „Faust“ und ihrer Verbindung zum Auerbach's Keller auch eine Verjüngungskur, die so manchen Teilnehmer daraufhin zu einem Ritt auf dem großen Weinfass bewegte.



Abbildung 3.81: Abendveranstaltung im historischen Fasskeller von Auerbach's Keller

Der zweite Tag der Veranstaltung begann mit einer Stadtführung durch den Kern der Leipziger Innenstadt. Prof. Winkler übernahm dabei die Rolle des Stadtführers und ergänzte die kulturellen Bauwerke durch beeindruckende Geschichten zu deren historischem Hintergrund (siehe Abb. 3.82). Danach fand man sich am Völkerschlachtdenkmal (siehe Abb. 3.83) wieder und konnte anschließend im Brauhaus Napoleon, einer historisch gewachsenen Privatbrauerei, zu Mittag essen.

Den Abschluss bildete eine Besichtigung im BMW-Werk Leipzig, wo man die Konstruktionsstrecken des Modells X1 sowie die robotergestützten Lackierungs- und Fertigungsprozesse hautnah miterleben konnte.

Der LENA freut sich auf den nächsten Dresdener Kreis — 2015 in Hannover!

IEEE PES General Meeting 2014 in National Harbor, MD (USA)³⁹

In diesem Jahr fand das IEEE General Meeting der Power & Energy Society (PES) im Großraum Washington D.C. (USA) statt. Vom 27. bis 31. Juli 2014 versammelten sich auf der weltweit größten Konferenz für Elektro- und Energietechniker namhafte Universitäten, Repräsentanten aus der Industrie und Gäste aus der ganzen Welt, um einen Einblick in die neuesten Forschungen zu bekommen. Als Veranstaltungshotel wurde das Gaylord National Resort & Convention Center in National Harbor, MD, ausgewählt – ein 18 MW-Gebäudekomplex.

Das LENA-Team wurde zusammen mit dem Fraunhofer IFF (Abteilung PAT) repräsentiert durch:

- Frau Prof. Antje Orths,

³⁹von M. Sc. Marc Richter



Abbildung 3.82: Führung durch die Leipziger Innenstadt durch Prof. Winkler



Abbildung 3.83: Gruppenfoto am Völkerschlachtdenkmal

3 Forschung

- Herrn PD. Dr. Martin Wolter,
- Herrn Dr. Przemyslaw Komarnicki,
- Herrn Dr. Andre Naumann,
- Frau Kathleen Hänsch und
- Herrn Marc Richter.



Abbildung 3.84: Joint Team auf dem IEEE PES General Meeting 2014 (1. Reihe von links: Frau Marten, Frau Prof. Orths, Frau Hänsch, Herr Dr. A. Naumann, Herr Dr. Komarnicki / 2. Reihe von links: Herr Prof. Westermann, Herr PD Dr. Wolter, Herr Sikora, Herr Richter, Herr Prof. Rudion)

Als Organisator bzw. Co-Organisator von insgesamt 3 Sessions wurden innerhalb dieser zusammen mit der Technischen Universität Ilmenau und der Firma Siemens individuelle und auch gemeinsame Ergebnisse der Forschung präsentiert. Folgende Beiträge wurden in diesem Jahr von Seiten des LENA beigesteuert:

- N. Moskalenko, P. Lombardi, P. Komarnicki: „Multi-Criteria Optimization for Determining Installation Locations for the Power-to-Gas Technologies“, Posterpräsentation
- K. Hänsch, A. Pelzer, P. Komarnicki et al.: „An ISO/IEC 15118 Conformance Testing System Architecture“, Posterpräsentation
- C. Wenge, A. Pelzer, A. Naumann, P. Komarnicki, S. Rabe, M. Richter: „Wide Area Synchronized HVDC Measurement Using IEC 61850 Communication“, Posterpräsentation
- Orths (Energinet.dk): „Vulnerability of power supply – A real story“, Präsentation in Panel Session „System Security“ (Chair: C. Jäger, Co-Chair: U. Kerin)
- M. Richter (OvGU) für I. Hauer (OvGU): „Identification of suitable network nodes for application of counter measures to reduce risk of system instability“, Präsentation in Panel Session „System Security“ (Chair: C. Jäger, Co-Chair: U. Kerin)
- K. Rudion (Universität Stuttgart) für K. Suslov (TU Irkutsk): „Modeling and estimation of active distribution networks“, Präsentation in Panel Session „System Security“ (Chair: C. Jäger, Co-Chair: U. Kerin)

- M. Richter (OvGU) für S. Rabe (OvGU): „Offshore power system operational strategies for improved flexibility of wind energy generation“, Präsentation in Panel Session „Implications of Large-Scale Wind Energy in Power Systems and Supporting Measures for Better Integration“ (Chair: A. Orths, Co-Chair: K. Rudion)

Erstes gemeinsames Kolloquium „Netze der Zukunft“ mit der TUIL und der OvGU⁴⁰

Am 10. September 2014 fand das erste gemeinsame Kolloquium zum Thema „Netze der Zukunft“ statt. Daran beteiligt waren die Professoren D. Westermann und Z.A. Styczynski sowie deren Mitarbeiter der TU Ilmenau bzw. der OvGU Magdeburg und Teilnehmer aus der Wirtschaft (siehe Abb. 3.85).

Das wissenschaftliche Programm wurde durch neun Fachvorträge zu aktuellen Themen aus der Forschung zur elektrischen Energieversorgung gestaltet, darunter beispielsweise Themen zu adaptivem Netzschutz, vermaschten HGÜ-Netzen, Zuverlässigkeit im Smart Grid und dynamischen Netzleitwarte. Die Vorträge und die dazu geführten Diskussionen dienten dem Austausch von Ideen über die Grenzen der wissenschaftlichen Einrichtungen hinaus und befruchteten so die wissenschaftliche Zusammenarbeit.



Abbildung 3.85: Gruppenfoto des Kolloquiums mit der TU Ilmenau

Diese Zusammenarbeit schlägt sich auch in zwei gemeinsamen Projekten mit der Industrie nieder, deren Start für das kommende Jahr geplant ist. Im Anschluss an das Kolloquium fanden dementsprechend interne Projektbesprechungen mit den Beteiligten statt.

Kolloquium mit der TU Warschau (21.-23.05.2014)⁴¹

Traditionell unternimmt der Lehrstuhl für elektrische Netze und Alternative Elektroenergiequellen einmal im Jahr ein externes Kolloquium mit einer der Partner-Universitäten. Dieses Jahr wurde es vom 21. bis 23. Mai gemeinsam mit den Kollegen der Technischen Universität Warschau in Warschau abgehalten. Als Teilnehmer des LENA waren Prof. Styczynski, Dr. Komarnicki,

⁴⁰ von Dipl.-Ing. Paul A. Bernstein

⁴¹ von M. Sc. Illia Bielchev

3 Forschung

Dr. Ines Hauer, B.Sc. Geneviève de Mijolla, M.Sc. Marc Richter und M.Sc. Illia Bielchev mit dabei.

Das Kolloquium am 22. Mai begann mit einer kurzen Begrüßung durch Prof. Styczynski und Prof. Parol. Vizedekan Prof. Robak hielt anschließend eine Präsentation über die Forschungstätigkeit an der Fakultät für Elektrotechnik der TU Warschau und Dr. Komarnicki gab einen Überblick über große Energiespeicher-Systeme und deren Einfluss auf das Verteilungsnetz.

Anschließend präsentierten die wissenschaftlichen Mitarbeiter und Doktoranden beider Universitäten ihre Aktuellen Forschungen und Ergebnisse:

- Frau Geneviève De Mijolla: „Regulatory Frameworks for Electricity Storage Infrastructure in Germany“
- Herr Bartosz Pawlicki: „End users load forming based on mains voltage value and frequency“
- Frau Weronika Radziszewska: „Computer simulation of an electric power management system in a microgrid“
- Herr Illia Bielchev: „Adaptive Protection Concepts for Smart Grids“
- Herr Łukasz Rokicki: „Voltage stability in low voltage microgrids“
- Herr Piotr Kapler: „Selected methods of changing residential consumers load profiles shapes and application of wavelet approach for measured data analysis“
- Herr Marc Richter: „Operation of a two-level VSC-HVDC Hardware Model“



Abbildung 3.86: Kolloquiumsgruppe vor dem Institut für Elektroenergietechnik der TU Warschau

In Warschau befinden sich neben unzähligen Theatern, Museen, Denkmälern auch viele weitere schöne Orte und Parks. Die Exkursionsgruppe hatte im Rahmen einer Stadtführung die Möglichkeit einige dieser Orte zu besuchen, u. a. den Lazienki-Park mit seiner großen Anzahl seltener Vögel. Die Gastfreundlichkeit der Kollegen von der TU Warschau, die beeindruckende Stadtarchitektur, die Stadteinwohner und nicht zuletzt das schöne Wetter haben einen starken und natürlich ausschließlich positiven Eindruck von der Hauptstadt Polens hinterlassen.

50Hertz Systemsicherheitskonferenz ⁴²

Am 3. und 4. September 2014 hat die 7. Systemsicherheitskonferenz des Übertragungsnetzbetreibers 50Hertz unter dem Motto „Mehr Kooperation und innovative Ansätze für den Erhalt der Sicherheit im elektrischen System nötig“ in Magdeburg stattgefunden. 150 Vertreter aus den Bereichen Stromerzeugung, Stromübertragung und Stromverteilung sowie Repräsentanten von Universitäten, Forschungseinrichtungen, Verbänden, Behörden und Beratungsunternehmen haben über die heutige und künftige Sicherheit der Elektrizitätsversorgung diskutiert. Die wichtigsten Themen waren u. a. Krisenmanagement und Gefahrenabwehr im digitalen und analogen Umfeld, Chancen und Möglichkeiten des Netzausbaus, Optimierung und Neugestaltung systemsicherheitsrelevanter Prozesse sowie, aufgrund aktueller Entwicklungstendenzen beim Netzausbau, die HGÜ-Technologie. Zu letzterer Thematik hielt Steffen Rabe vom LENA eine Präsentation, indem er auf die zukünftigen Betriebsführungsstrategien einging (siehe Abb. 3.87).



Abbildung 3.87: Steffen Rabe vom LENA als Referent auf der 50Hertz-Systemsicherheitskonferenz

Die Teilnehmer hatten anschließend die Möglichkeit, im Rahmen der angesetzten wissenschaftlichen Exkursionen, Einblicke in Entwicklungen der Otto-von-Guericke-Universität, des Fraunhofer IFF Institutes oder des Unternehmens ENERCON GmbH zu bekommen.

An der Otto-von-Guericke-Universität gab es eine Demonstration des entwickelten HGÜ-Labormodells. Hier wurde praktisch vorgeführt, wie HGÜ-Systeme innerhalb eines synchronen AC-Netzes die Leitungen entlasten können und Wirk- und Blindleistungsflüsse gezielt gesteuert werden können (siehe Abb. 3.88). In einer anschließenden regen Diskussion wurden zum einen die Vor- und Nachteile von VSC-HGÜ-Systemen sowie zum anderen deren Möglichkeiten im Hinblick auf die Energiewende diskutiert.

Im VDTC des Fraunhofer IFF wurden aktuelle wissenschaftliche Forschungsthemen und Projekte vorgestellt. Die Besucher haben u. a. mit dem 360°-Großprojektionssystem in einem Virtual-Reality-Szenario die Wartung eines Großtransformators 200 MV A gesehen. Des Weiteren wurden eine Visualisierung der Übertragungsstrassen und ein 3D-Trainings-Szenario des Leistungsschalters präsentiert. Zusätzlich haben die Konferenzteilnehmer ein 1 MW-Batteriespeichersystem und ein miniaturisiertes SmartGrid-Model besichtigt.

⁴²von M. Sc. Bartłomiej Arendarski, M. Sc. Marc Richter



Abbildung 3.88: Vorstellung des HGÜ-Labormodells am LENA durch Marc Richter

Ehrendoktorwürde der OvGU für Herrn Prof. Waldemar Rebizant der Technischen Hochschule Wroclaw⁴³

Am 4. Oktober hat an der Technischen Hochschule Wrocław die Eröffnung der Studienjahre 2014/2015 in Form eines würdigen Festaktes stattgefunden (siehe Abb. 3.89). Zur Veranstaltung ist eine hochrangige Delegation der OvGU nach Wrocław gefahren. Sie bestand aus den Professoren Jens Strackeljan (Rektor), Andreas Lindemann (Dekan), Ralf Vick (Prodekan), Achim Kienle, Georg Rose und Zbigniew Styczynski. Mit dabei waren außerdem zahlreiche weitere Gäste, darunter Vertreter der Siemens AG und dem deutschen Konsulat sowie die ehemaligen LENA-Mitarbeiter Dr. Przemyslaw Komarnicki und Professor Dr. Krzysztof Rudion. Von Seiten der TH Wrocław nahmen u. a. der Rektor der Hochschule, Professor Dr. Tadeusz Wieckowski, und weitere Fakultätsratsmitglieder teil.



Abbildung 3.89: Immatrikulation an der TH Wrocław

⁴³von Prof. Zbigniew A. Styczynski

Im Rahmen der vom Chor der TH begleiteten Feierlichkeit wurde Herrn Prof. Dr. Waldemar Rebizant, Dekan der Fakultät Elektrotechnik der TH Wroclaw, vom Rektor der OvGU, Prof. Dr. Jens Strackeljan, die Urkunde zum Dr.-Ing. *Ehren halber* (E. h.) der OvGU übergeben (siehe Abb. 3.90). Diese hohe wissenschaftliche Auszeichnung wurde in einem begutachteten Prozess durch die FEIT der OvGU vorgeschlagen und durch den Senat der OvGU einstimmig bestätigt.

Herr Professor Achim Kienle (Senator der OvGU) hat in seiner feierlichen Laudatio die wissenschaftlichen Ergebnisse des Kandidaten insbesondere im Bereich der Erforschung digitaler Algorithmen für Netzschutzgeräte gelobt. Herr Prof. Rebizant wurde bisher mehrmals für seine Ergebnisse mit wichtigen Preisen prämiert, z. B. durch die Konrad-Adenauer-Stiftung, die Siemens AG oder die Akademie der Wissenschaften Polens. Herr Prof. Strackeljan lobte im Rahmen seines Grußwortes auch vor allem das Engagement des Kandidaten bei der Zusammenarbeit zwischen beiden Universitäten, u. a. bezüglich des Doppeldiploms.



Abbildung 3.90: Prof. Dr. Jens Strackeljan (l.), Prof. Dr.-Ing. E. h. Waldemar Rebizant (m.), Prof. Dr. Tadeusz Wieckowski (r.)

Im weiteren Verlauf der Festlichkeit wurden auch zwei deutsche Wissenschaftler geehrt. Den Herren Dr. Bernd Michael Buchholz und Dr. Ludwig Schiel (beide Mitarbeiter der Siemens AG) wurden für die Zusammenarbeit mit der Breslauer Hochschule Ehrenplaketten der TH Wroclaw überreicht.

Als Dekan der FEIT hatte Prof. Dr. Andreas Lindemann die Ehre, den Inaugurationsvortrag zu halten. Er referierte zum Thema „Neue Entwicklungen in der Leistungselektronik“ (siehe Abb. 3.91).

12. Magdeburger Industrieseminar für Elektromagnetische Verträglichkeit am 04. November 2014

Am 04. November fand unter der Leitung von Prof. Vick das mittlerweile 12. Magdeburger Industrieseminar für Elektromagnetische Verträglichkeit statt. Das diesjährige Schwerpunktthema lautete „EMV-Technologien für die Medizintechnik“. Da diese Thematik aktuell sehr gefragt ist, konnte man an hohen Beteiligung ablesen. Mit 181 Teilnehmern aus etwa 90 Firmen wurde in diesem Jahr ein neuer Teilnehmerrekord aufgestellt. Die Seminarteilnehmer konnten



Abbildung 3.91: Inaugurationsvortrag durch Prof. Dr. Andreas Lindemann

aus 15 Vorträgen auswählen, die in zwei Tagungsräumen parallel angeboten wurden. Zu den Vortragsthemen gehörten unter anderem:

- Sichere Stromzuführung und Entstörung medizinischer Applikationen
- EMV-Fehleranalyse mit digitalen Oszilloskopen
- Entwicklungsbegleitende EMV-Messstrategien
- EMV-Aspekte bei der kontaktlosen Energie- und Datenübertragung in der Medizintechnik
- Analyse gepulster elektrischer Felder

Neben dem Seminar fand eine Ausstellung statt (siehe Abbildung 3.92), in der 19 Firmen verschiedene Produkte und Neuentwicklungen für die EMV-Messtechnik, für die Filterung und Unterdrückung von Störsignalen sowie für die numerische EMV-Simulation vorstellten.

Abgerundet wurde das Seminar durch zwei Workshops. Im ersten Workshop der Firma Würth Elektronik eiSos wurde die Software „Component Selector“ vorgeführt, die eine schnelle und gezielte Auswahl von Bauteilen für Filterschaltungen ermöglicht. Die Software konnte im Anschluss direkt von den Workshopteilnehmern benutzt und ausprobiert werden. In einem zweiten Workshop der Firma CST (Computer Simulation Technology AG) wurde ein Überblick über EMV-Simulationen mit Hilfe der Software „CST STUDIO SUITE“ gegeben. Mit diesem Programmpaket kann unter anderem die Signalintegrität und leitungsgebundene Emission auf Leiterplatten, die EMV auf Kabelbäumen sowie die Abstrahlung und Störempfindlichkeit von Geräten untersucht werden.

Aller Voraussicht nach findet auch im nächsten Jahr wieder ein EMV-Industrieseminar statt. Das 13. EMV-Seminar steht dann unter dem Motto „EMV-Normung und Standardisierung“ und ist wieder für Anfang November geplant.



Abbildung 3.92: Diskussion zwischen Teilnehmern und Ausstellern auf dem 12. Magdeburger Industrieseminar für Elektromagnetische Verträglichkeit am 04. November 2014 (Fotograf: Stefan Berger)