



**TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DRESDEN**

Elektrotechnisches Institut

Prof. Dr.-Ing. W. Hofmann

JAHRESBERICHT	2017
ANNUAL REPORT	



Lehrstuhl Elektrische Maschinen und Antriebe

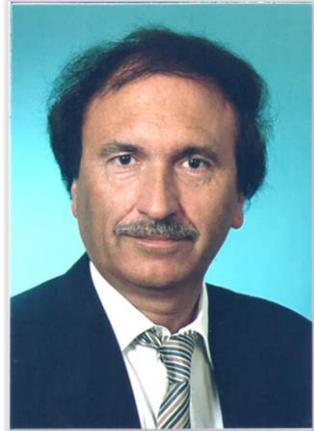
1	Vorwort.....	5
2	Lehraufgaben	7
2.1	Lehre in Fakultät Elektrotechnik und Informationstechnik.....	7
2.2	Lehre für andere Fakultäten	11
2.3	Abgeschlossene Diplom- und Studienarbeiten.....	12
2.4	Exkursionen.....	13
2.5	Preise	14
3	Öffentlichkeitsarbeit.....	15
3.1	Veröffentlichungen	15
3.2	Vorträge und Berichte.....	17
3.3	Kooperation.....	25
4	Forschung.....	29
4.1	Forschungsprofil	29
4.2	Forschungsprojekte	29
4.3	Dissertationen	31
4.4	Ausgewählte Forschungsergebnisse in Kurzform ..	35
5	Ausstattung des Lehrstuhls.....	59
5.1	Versuchsstände für die Forschung	59
5.2	Versuchsstände für die Lehre.....	61
5.3	Sonderausstattungen	62
6	Personelle Besetzung.....	63
7	Anschrift	65
8	Impressum	67
9	Lageplan	69

1 VORWORT

Liebe Kollegen, Mitarbeiter und Freunde, seit nunmehr zehn Jahren ziehen wir in Form eines Jahresberichts eine Bilanz der letzten 12 Monate.

Die Jahre steigender bzw. stabiler Studentenzahlen auch in der Elektroenergietechnik sind vorbei und wir mussten uns erstmals wieder mit einer geringeren Studentenzahl zufriedengeben.

Eine wissenschaftlich positive Bilanz des Jahres kann aufgrund von 6 erfolgreich verteidigten Dissertationen gezogen werden. Damit tritt zugleich auch ein gewisser Generationswechsel am Lehrstuhl ein.



Zahlreiche Grundlagenprojekte, gefördert durch die DFG, wurden in diesem Jahr neu bzw. in Verlängerung beantragt. Die langen Begutachtungszeiten und eine reduzierte Bewilligungsrate stellen auch uns vor ganz neue Herausforderung. Die Segnungen des neuen WissZeitVG und seine uniinterne Auslegung sind für eine kontinuierliche und erfolgreiche Projektarbeit eher hinderlich. Leider werden solche Befunde vor Ort nicht ernst genommen.

Eine bereits langjährige sehr gute Zusammenarbeit mit der Forschungsvereinigung Antriebstechnik (FVA) hat sich bewährt und dem Lehrstuhl viele Ideen und Impulse gebracht, die in neue Graduierungsarbeiten einfließen. Im Mittelpunkt der Grundlagenforschung stehen nunmehr gemeinsame Projekte mit Instituten des Maschinenwesens wie zum Thermohydraulischen Lineargenerator, zum Hochausgenutzten Synchronreluktanzmotor sowie zur Prädiktiven Energieeffizienten Logistik und mit Instituten der Elektrotechnik wie zu Hochsteifen Magnetlagern und zur Regelung Fraktionaler Systeme.

Für die geleistete Arbeit der Mitarbeiter und Studenten, die kollegiale Zusammenarbeit in Institut und Fakultät sowie die Unterstützung von vielen Seiten, insbesondere von der DFG, sei an dieser Stelle herzlich gedankt.

Ihr

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'W. Hofmann', written in a cursive style.

Wilfried Hofmann

2 LEHRAUFGABEN

2.1 Lehre in Fakultät Elektrotechnik und Informationstechnik

Prof. Dr.-Ing. W. Hofmann

Elektrische Maschinen 1 (3/1/1), WS

Pflichtfach Elektroenergietechnik (EET), Wirtschaftsingenieure (WING), Regenerative Energiesysteme (RES), Mechatronik (2/1/0), WS, Wahlpflichtfach Mechatronik (MT)

Grundlagen der elektromagnetischen Energiewandlung; Einphasen-Transformator; Drehstrom- und Spezialtransformatoren; Grundlagen der Drehfeldmaschinen; Induktionsmaschinen; Stromortskurve der Käfigläufermaschine; Betriebsverhalten der Käfigläufermaschine; Betriebsverhalten der Schleifringläufermaschine; Wechselstrom-Induktionsmaschinen; Synchronmaschinen; Vollpolläufer-Synchronmaschinen; Schenkelläufer-Synchronmaschine; spezielle Synchronmaschinen; Grundlagen der Gleichstrommaschinen; Betriebsverhalten der Gleichstrommaschine; Linearmotoren und Sonderbauformen; Wachstumsgesetze und Maschinenausnutzung; Maschinenprüfung.

Prof. Dr.-Ing. W. Hofmann

Elektrische Antriebe (3/1/1), SS

Pflichtfach Elektroenergietechnik (EET), Wahlpflichtfach mit (2/1/0) Mechatronik (MT), Wirtschaftsingenieure (WING)

Grundlagen und Dimensionierung elektrischer Antriebe:

Einführung; Elektromechanische Energiewandlung; Erwärmungsvorgänge; Bewegungsvorgänge; Lösungen und Anwendungen der Bewegungsgleichung; Arbeitsmaschinen; Bewegungswandler; Motorauswahl für stationären Betrieb; Motorauswahl für dynamischen Betrieb.

Drehzahl- und Drehmomentsteuerung von Antrieben:

Stromrichter gespeiste Gleichstromantriebe; pulstellergespeiste Gleichstromantriebe; Drehzahlsteuerung von Drehstrom-Asynchronantrieben; Spannungsgesteuerte Drehstrom-Asynchronantriebe; frequenzgesteuerte Drehstrom-Asynchronantriebe; Steuerung von Drehstrom-Synchronantrieben; Stell- und Schrittantriebe.

Regelung von Antrieben:

Antriebsregelungen; geregelte Gleichstromantriebe, geregelte Drehstromantriebe; Anwendungen: Fahrzeugantriebe; Werkzeugmaschinenantriebe, mechatronische Systeme.

Prof. Dr.-Ing. W. Hofmann

Elektromaschinendynamik (2/1/0), WS

Wahlpflichtfach Elektroenergietechnik (EET), Regenerative Energiesysteme (RES)

Einführung in das Theoriegebäude; Dynamisches Verhalten der Gleichstrommaschine; Dynamisches Verhalten von Wicklungsanordnungen; Kraft- und Drehmomentbildung in Maschinen; Grundlagen der Raumzeigertheorie; Rechengesetze für Raumzeigergrößen; Raumzeigertheorie der Induktionsmaschine; dynamische Betriebszustände der Induktionsmaschine; Übertragungsverhalten der Induktionsmaschine; Raumzeigertheorie der Synchronmaschine; dynamische Betriebszustände der Synchronmaschine; Übertragungsverhalten von Synchronmaschinen; Nullsystem elektrischer Maschinen; Elektromagnetische Wellenvorgänge in Maschinen.

Prof. Dr.-Ing. W. Hofmann

Geregelte Energiesysteme (2/0/0), SS

Wahlpflichtfach Regenerative Energiesysteme (RES),

Einführung in die Modellierung der Regelstrecken moderner elektrischer Energieanlagen und deren Regelung, insbesondere Leistungsregelung.

Energie- und Leistungsgrundbegriffe; Synchronmaschine als Energiewandler; Modellierung von Synchrongeneratoren; vereinfachtes Übertragungsverhalten von Synchrongeneratoren; Regelung von Synchrongeneratoren; Beispielregelung eines Turbogenerators; Asynchronmaschine als Energiewandler; Modellierung des einfach gespeisten Asynchrongenerators; Modellierung des doppelt gespeisten Asynchrongenerators; Regelung von Asynchrongeneratoren; Beispielregelung einer Windkraftanlage; Betrieb unter Auslegung eines Schwungradspeichers; Netzregelung; FACTS.

Prof. Dr.-Ing. W. Hofmann

Entwurf und Berechnung elektrischer Maschinen (2/1/0), SS

Wahlpflichtfach Elektroenergietechnik (EET), Regenerative Energiesysteme (RES)

Wicklungen elektrischer Maschinen; Wicklungsentwurf; Wicklungsaufbau und –herstellung; Magnetischer Kreis; Magnetkreis mit Permanentmagneten; Magnetkreisentwurf; Stromwindung; Berechnung von Induktivitäten und Reaktanzen; Verluste elektrischer Maschinen; Erwärmung und Kühlung, Kräfte und Drehmomente; prinzipieller Entwurfsgang; Optimierung; Entwurf einer Asynchronmaschine; Entwurf einer PM-Synchronmaschine.

Prof. Dr.-Ing. W. Hofmann

Direktantriebe und Magnetlagertechnik (2/0/1), WS

Wahlpflichtfach Elektroenergietechnik (EET)

Direktantriebe:

Einleitung, Torquemotoren, Hochgeschwindigkeitsantriebe, Linearantriebe, Anwendungen, Regelung von Direktantrieben

Magnetlagertechnik:

Einleitung, aktive Magnetlagerung, passive Magnetlagerung, Auslegung von Magnetlagern, Dynamik magnetgelagerter Rotoren, Regelung eines Magnetlagers, lagerlose Maschinen, Anwendungen.

Prof. Dr.-Ing. W. Hofmann

Elektrische Fahrzeug- und Traktionsantriebe (2/0/1), WS

Wahlpflichtfach Elektroenergie-technik (EET), Mechatronik (MT)

Traktionsantriebe: Grundlagen, Mechanik der Zugförderung, Fahrmotoren, Stromrichtertechnik, Regelung von Fahrmotoren und Netzstromrichter, bahntechnische Regelkreise.

Fahrzeugantriebe: Hybrid-/Elektroantriebsstrukturen, Antriebsanforderungen, Fahrmotoren, Stromversorgung, Stromrichter, Antriebsregelung, Nebenantriebe.

Prof. Dr.-Ing. W. Hofmann

Automatisierte Antriebe (2/1/2), SS

Wahlpflichtfach Mechatronik (MT), Elektroenergie-technik (EET), Wirtschaftsingenieure (WING)

Elemente des Antriebssystems Energetische Komponenten; informationstechnische Komponenten des Antriebssystems; Signalverarbeitungseinheiten.

Automatisierte Drehstromantriebe: Umrichterspeisung frequenzgesteuerter Antriebe; Pulssteuerverfahren zur Umrichterspeisung; Steuerverfahren für umrichter gespeiste Asynchronantriebe; dynamisches Verhalten von Asynchronantrieben; Feldorientierte Regelung einer Asynchronmaschine; dynamisches Verhalten von Synchronantrieben; Steuerung und Regelung umrichter gespeister Synchronantriebe; Wechselwirkungen von Stellglied und Motor.

Systemintegration automatisierter Antriebe: Antriebe in Systemlösungen; Antriebssysteme mit komplexer Mechanik; Regelung von Antriebssystemen mit komplexer Mechanik; funktionsintegrierte und Kombinationsantriebe.

Prof. Dr.-Ing. P. Schegner/ Prof. Dr.-Ing. St. Bernet/ Prof. Dr.-Ing. W. Hofmann

Elektroenergie-technik (2/1/0), WS

Pflichtfach Elektrotechnik (ET), Mechatronik (MT), Regenerative Energiesysteme (RES)

Grundlagen zu Aufbau und Wirkungsweise elektromagnetischer Energiewandler;

Elektromagnetische Energiewandlung (Durchflutungsgesetz, Flussgesetze, Magnetwerkstoffe, Magnetfelder, Induktionsgesetz, Kraft- und Drehmomentbildung, Leistungsbilanz); Leistungstransformatoren (Wechselfelder, Spannungsinduktion, Einphasen-, Drehstromtransformator, Anwendungen); Gleichstrommaschinen, Synchronmaschinen (Magnetfelder, Spannungsinduktion, Drehmoment, Ersatzschaltbild, Betriebsverhalten, Anwendungen); Asynchronmaschinen (Magnetfelder, Schlupf, Spannungsinduktion, Drehmoment, Ersatzschaltbild, Betriebsverhalten, Anwendung).

Priv.-Doz. Dr.-Ing. habil. V. Müller

Schaltungstechnik (2/1/0), SS

Pflichtfach Mechatronik (MT), Regenerative Energiesysteme (RES)

Bauelementmodelle und Verstärker, analoge Grundschaltungen mit Bipolar- und Feldeffekttransistoren; Stromquellen und Stromspiegel, Referenzquellen; Differenzverstärker; Leistungsverstärker; Operationsverstärker; aktive Filter; Signalgeneratoren; digitale Grundschaltungen; Kombinatorische und sequentielle Schaltungen.

Priv.-Doz. Dr.-Ing. habil. V. Müller

Entwurf von Antriebssystemen (2/1/0), WS

Wahlpflichtfach Mechatronik (MT: Makromechatronik), Elektroenergietechnik (EET)

Grundlagen und Komponenten, mechanisches Übertragungssystem; Auswahl und Dimensionierung elektrischer Antriebe; Stellantriebe und Schrittantriebe; Netzurückwirkungen von elektrischen Antrieben; Bewegungssteuerung und Technologiefunktionen; Informationsverarbeitung in Umrichtern; Feldbusse für elektrische Antriebe; Hard- und Softwarestruktur digitaler Reglerbaugruppen; Modellbildung und numerische Algorithmen; Methoden der Systemsimulation; rechnergestützter Entwurf (Rapid Prototyping); Modelle der Elektroenergietechnik; Entwurf und Simulation des Bandantriebs einer Gurtbandförderanlage.

Priv.-Doz. Dr.-Ing. habil. G.-H. Geitner

Leistungsflussorientierte Modellbildung (2/1/0), WS

Wahlpflichtfach Mechatronik (MT: Makromechatronik), Elektroenergietechnik (EET), Regenerative Energiesysteme (RES)

Grundlagen leistungsflussorientierter Modelle, Einführung in Bondgraphen, POG und EMR, SIMULINK-Erweiterungsbibliothek BG V2.1, skalare und vektorielle Modelle, Zustandsdarstellung mit Energie- und Leistungsmatrix, Modellvereinfachungen auf Basis von Leistungsfluss, Modelle elektrischer Maschinen, Ableitung von Modellen für Umlaufrädergetriebe, Systematisierung der Modellbildung, Faltung und Ketten, nichtlineare Modelle, modellbasierte Optimierung von Reglern.

Priv.-Doz. Dr.-Ing. habil. G.-H. Geitner

Aktorik (2/0/2), SS

Pflichtfach Mechatronik (MT), Wahlpflichtfach Studienrichtung Automatisierungs-, Mess- und Regeltechnik (ART)

elektrische Aktoren als Elemente zur Bewegungssteuerung, ausgewählte Grundprinzipien gesteuerter Aktoren, Grundlagen der Projektierung, Grundlagen geregelter Aktoren, Einführung in die leistungsflussbasierte Modellbildung.

Priv.-Doz. Dr.-Ing. habil. G.-H. Geitner

Digitale Antriebsregelung (2/1/0), SS

Wahlpflichtfach Mechatronik (MT: Makromechatronik), Elektroenergietechnik (EET), Regenerative Energiesysteme (RES)

Ableitung von Differenzgleichungen, Quasikontinuierlicher Reglerentwurf, Grundlagen des Entwurfs diskontinuierlicher Regler, Angewandte Z-Transformation, Abtastsignalflussplanmethode, das Digitale Betragsoptimum (BOD), schnelle Regler auf

EEZ-Basis, Modellbildung, Nichtlinearitäten, Begrenzungsvarianten, graphische Programmierung des Reglers, Einführung in Bondgraphen als Streckenmodelle.

Priv.-Doz. Dr.-Ing. habil. G.-H. Geitner

Regelung elektrischer Systeme (2/1/0), WS

Wahlpflichtfach Regenerative Energiesysteme (RES), Wirtschaftsingenieure (WING)

Signalflusspläne als dynamische Modelle elektrischer Antriebe, Normierung, Anwendung von Laplace- und Z-Transformation, Elementar- und Grundglieder, Umformungsregeln, Regelstrukturen, Näherungen für Modellelemente, Definition, Optimierung und Realisierung von kontinuierlichen, quasikontinuierlichen und diskontinuierlichen Reglern für elektrische Systeme, Grundlagen zur Berücksichtigung von Begrenzungen, Nichtlinearitäten und Verkopplungen, Anwendung von ingenieurtechnischer Software, alternative dynamische Modelle.

Dr.-Ing. N. Hildebrand

Transformatoren (2/1/0), WS

Modul „Vertiefung Elektrische Maschinen“ Studienrichtung Elektroenergie-technik

Leistungstransformatoren in der Elektroenergie-technik, Wachstumsgesetze und TK-Zahl; Aufbau, Ausführungsformen, stationärer Betrieb, nichtstationärer Betrieb; Wicklungsaufbau, Wicklungsausführungen; Begriffe, Isoliersysteme, Isolierstoffe für Transformatoren; Entwurf von Transformatoren: Kernausslegung, Wicklungsauslegung, Isolierungsgestaltung; Begriffe, Prinzipien, Materialien; Auslegung der Schenkelpresselemente, Kesselgestaltung; Zusatzverluste; Modellierung elektromagnetischer Felder.

2.2 Lehre für andere Fakultäten

Priv.-Doz. Dr.-Ing. habil. V. Müller

- Elektrische Antriebe für Maschinenbauer (2/1/0), WS
Pflicht- und Wahlpflichtfach - Lehrexport für Fakultät Maschinenwesen
- Elektrotechnik für Fernstudium Maschinenbau (1/0/0), WS und SS
Lehrexport für Fakultät Maschinenwesen

Dr.-Ing. N. Hildebrand

- Elektrotechnisches Praktikum (0/0/2), WS und SS
Lehrexport für Fakultät Maschinenwesen

2.3 Abgeschlossene Diplom- und Studienarbeiten

Diplom- und Masterarbeiten

St. Schwarz / Betreuer: M. Leubner

„Vergleichende Untersuchungen zu Schaltungen eines bidirektionalen und potentialgetrennten DC/DC-Wandlers.“

Ch. Kunze / Betreuer: N. Remus

„Entwicklung eines Entwurfsprozesses für das LC-Filter mit AC-Chopper.“

K. Köthe / Betreuer: N. Remus

„Untersuchung von Strom- und Spannungsqualität am AC-Chopper unter Anwendung unterschiedlicher Kommutierungsverfahren.“

Ph. Burkhardt / Betreuer: A. Brix

„Untersuchungen zur prädiktiven Sollwertvorgabe der feldorientierten Regelung eines Asynchronmotors im Antriebsstrang autonom fahrender Elektrofahrzeuge.“

Z. Cui / Betreuer: G. Steinborn

„Modellbildung zur optimalen Kühlungssteuerung autonom fahrender Elektrofahrzeuge.“

J. Haase / Betreuer: M. Leubner

„Untersuchung eines Modulationsverfahrens für den 4x3-Matrixumrichter zur Reduzierung der Spannungsanstiege an den Klemmen einer angeschlossenen Induktionsmaschine.“

W. Gelke / Betreuer: A. Brix, J. Aurich (IAV GmbH Dresden)

„Entwicklung eines Simulationsmodells für den Antriebstrang und die Nebenverbraucher von Elektro- und Hybridfahrzeugen.“

St. Bailleu / Betreuer: T. Micklitz

„Oberwellenarme Gestaltung des Magnetkreises eisenloser Axialflussmaschinen.“

B. Mößner / Betreuer: R. Seifert

„Parametereinflussanalyse und Auslegung eines Tubular-PM-Synchronlineargenerators nach dem Vernier-Prinzip mit eisenlosem Translator.“

H. Peng / Betreuer: Y. Zhang

„Optimale Auslegung von hochdynamischen Asynchronmaschinen.“

M. Matic / Betreuer: T. Micklitz

„Berechnung des Läuferfeldes im Endbereich großer Synchrongeneratoren.“

J. Neubacher / Betreuer: Th Windisch (Fraunhofer IWU)

„Beeinflussung schwingungsanregender Kräfte in elektrischen Fahrentrieben mittels Einprägung von Stromharmonischen.“

Ch. Steinert / Betreuer: R. Seifert

„Implementierung eines Messglieds fraktionaler Ordnung auf einem FPGA zur Bestimmung des Magnetflusses einer Ringkernspule.“

Studienarbeiten

Macus Heeg / Betreuer: Y. Zhang

„Aufbau und Inbetriebnahme eines Versuchstandes zur Bestimmung der durch die dynamische Stromverdrängung bedingten Stromwärmeverluste in Rotorstäben.“

S. Eichorn / Betreuer: G. Steinborn

„Vergleich verschiedener Methoden zur Parameteridentifikation elektrischer Maschinen und Parameterbestimmung eines elektrischen Fahrmotors.“

J. Postmann / Betreuer: R. Seifert

„Erstellung eines modularen skriptbasierten 2D-FEM-Simulationsmodells für ein axiales Magnetlager zur Identifikation von Streuflusspfaden.“

E. Ens / Betreuer: A. Brix

„Untersuchungen zu einer variablen Zwischenkreisspannung bei elektrischen Fahrantrieben mit Asynchronkäfigläufermaschinen.“

Ph. Hänßgen / Betreuer: C. Evers

„Prädiktive Steuerungs- und Regelungsverfahren in der operativen Ebene von Intralogistiksystemen.“

2.4 Exkursionen

- Folgende Exkursionen wurden den Studenten angeboten:
- VEM Sachsenwerk GmbH, Dresden; 12. Januar 2017
- WITTUR Electric Drives GmbH, Dresden; 26. Januar 2017
- 06. Februar 2017: Im Rahmen der Lehrveranstaltung "Direktantriebe und Magnetlagertechnik" gab es eine Führung im Versuchsfeld des Leibniz-Instituts in Niedersedlitz zur Besichtigung der supraleitenden Magnetschwebbahn.



SupraTrans II (Quelle: Homepage IFW)

- 03. Juli 2017
KBA-Sheetfed Solutions AG & Co. KG, Friedrich-List-Str. 47, 01445 Radebeul
- 10. Juli 2017
Theegarten-Pactec GmbH & Co KG, Breitscheidstraße 46, 01237 Dresden

2.5 Preise

Dr. Jörg Schützold

Förderpreis der Friedrich-und-Elisabeth-Boysen-Stiftung

Der Förderpreis wird an junge Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler der TU Dresden vergeben, die ihre Dissertation auf dem Gebiet der Umwelttechnik mit besonderer Berücksichtigung von ingenieurwissenschaftlichen Lösungen zur Reduktion von Schadstoffen, von Lärm und Energieverbrauch verfasst haben.

Dr.-Ing. Jörg Schützold (ehemals Professur für Elektrische Maschinen und Antriebe)

"Auswahlssystematik für energieeffiziente quasistationäre elektrische Antriebssysteme – am Beispiel von Pumpen- und Förderbandanlagen"



Foto: Lukas Lorenz

Dipl.-Ing. Daniel Bernet

Studienpreis 2016 der SEW-EURODRIVE-Stiftung

Am 23.06.2017 wurde Dipl.-Ing. Daniel Bernet mit dem Studienpreis 2016 der SEW-EURODRIVE-Stiftung für seine Diplomarbeit zu dem Thema "Vergleich indirekter prädiktiver Regelstrategien für den Einsatz in einem linearen PM-Synchrongenerator" am Lehrstuhl ausgezeichnet.

3 ÖFFENTLICHKEITSARBEIT

3.1 Veröffentlichungen

- [1] K. Benath: Analyse und Auslegung energieeffizienter Servoantriebssysteme am Beispiel von Punkt-zu-Punkt-Bewegungsaufgaben, Hrsg.: W. Hofmann, Dresdner Schriftenreihe zu elektrischen Maschinen und Antrieben, Band 10, 256 Seiten, ISBN 978-3-8440-5414-9, August, 2017.
- [2] D. Bernet, R. Seifert: Switching Loss Minimization using Two-Configuration Predictive Control for a Thermo-Hydraulic Linear PMSG, PCIM Europe, International Exhibition and Conference for Power Electronics, Intelligent Motion, Renewable Energy and Energy Management, Nürnberg, Germany, 2017.
- [3] S. Bosch, J. Staiger, H. Steinhart: Single-Phase PWM-Based Unity Power Factor Rectifier with Adaptive Predictive Current Control, PCIM Europe 2017; International Exhibition and Conference for Power Electronics, Intelligent Motion, Renewable Energy and Energy Management, pp. 6, 2017.
- [4] S. Bosch, H. Steinhart: Comparison of Fundamental Active and Reactive Power Determination Methods in Single-Phase Systems, PCIM Europe 2017; International Exhibition and Conference for Power Electronics, Intelligent Motion, Renewable Energy and Energy Management, pp. 7, 2017.
- [5] A. Brix, W. Hofmann: Fundamental Research on the Operating Strategy for a Hybrid Energy Storage System in the Electric Powertrain of Autonomous Vehicles, 30th International Electric Vehicle Symposium & Exhibition, EVS30 Stuttgart, Germany, 12 Seiten, 2017.
- [6] A. Brix, G. Steinborn, V. Müller, W. Hofmann: Prädiktive Sollwertvorgabe für den elektrischen Fahrantrieb in autonomen Elektrofahrzeugen, 10. Haus der Technik Tagung Elektrische Antriebstechnologie für Hybrid- und Elektrofahrzeuge, Würzburg, Deutschland, 10 Seiten, 2017.
- [7] G.-H. Geitner, G. Kömürgöz: Generic power split modelling for compound epicyclic four-speed gears, Mechanism and Machine Theory, 116C, pp. 50 - 68, 2017.
- [8] C. Evers, S. Michel, V. Müller, W. Hofmann: Auswahlkriterien für energieeffiziente elektrische Mehrachsantriebe, ETG-Fachbericht 154, S.46 - 51 : VDE/VDI Tagung Antriebssysteme 2017 22.–23. Nov. Karlsruhe. VDE Verlag. Berlin 2017.
- [9] F. Hänel, R. Seifert, G. Kunze, W. Hofmann: Thermohydraulischer Lineargenerator – Basis für einen dieselektrohydraulischen Hybrid, 6. Fachtagung – Hybride und energieeffiziente Antriebe für mobile Arbeitsmaschinen, 17 Seiten, KTI Scientific Publishing, Karlsruhe 2017.
- [10] J. Jung: Konzentration des Permanentmagnetflusses durch Segmentierung des Stators am Beispiel einer Axialflussmaschine in TORUS-Bauart, Hrsg.: W. Hofmann, Dresdner Schriftenreihe zu elektrischen Maschinen und Antrieben, Band 9, 186 Seiten, ISBN 978-3-8440-5153-7, April, 2017.

- [11] J. Jung, W. Hofmann: Axialflussmaschine mit segmentiertem Stator für den Antrieb eines Elektrofahrrads, Freiburger Kolloquium Elektrische Antriebstechnik, Freiburger Forschungshefte A925 Elektrische Antriebstechnik (ISBN 978-3-86012-556-4), 8 Seiten, Verlag der TU BA Freiberg, Juni, 2017.
- [12] J. Jung, W. Hofmann: Flux Focusing Effect within the Segmented Stator of an Axial Flux Machine. GMM-Fachbericht 89: Innovative Klein- und Mikroantriebstechnik, GMA/ETG-Fachtagung, S.35 – 40, 27.–28. 09 2017 in Saarbrücken, VDE Verlag. Berlin 2017
- [13] T. Micklitz, W. Hofmann: Design of a Distributed Winding on a Ceramic Carrier for an Ironless, High Speed Axial-Flux PM-Machine, Int. Conf. on Electrical Machines and Systems ICEMS 2017, pp. 6, 2017.
- [14] T. Micklitz, W. Hofmann: Wicklungsgestaltung einer eisenlosen Hochdrehzahl-Axialflussmaschine für Schwungradspeicher, ETG-Fachbericht 154, S.25-30 : Antriebssysteme 2017 22.–23. Nov., Karlsruhe. VDE Verlag. Berlin:2017.
- [15] T. Micklitz, W. Hofmann: Two Layer Winding Arrangement for an Ironless, High Speed Axial-Flux PM-Machine. IEEE Power Electronics Drive Systems Conf. PEDS 2017, Honolulu, pp. 1010-1016,
- [16] S. Miersch, U. Schuffenhauer, N. Michalke, T. Schuhmann: Forcierte Kühlung zur Steigerung der Ausnutzung permanentmagneterregter Außenläufermaschinen, Freiburger Kolloquium Elektrische Antriebstechnik, Freiburger Forschungshefte A925 Elektrische Antriebstechnik (ISBN 978-3-86012-556-4), Juni, pp. 6, 2017.
- [17] S. Miersch, M. Eckart, U. Schuffenhauer, T. Schuhmann, N. Michalke, T. Burkhardt, University of Applied Sciences Dresden, ETG-Fachbericht 154, VDE/VDI Fachtagung Antriebssysteme 2017, 22.–23. Nov., Karlsruhe. S.69 -76: VDE Verlag. Berlin 2017
- [18] C.D. Ngyuen: Loss minimization control of three-phase motors, , Hrsg.: W. Hofmann Reihe: Dresdner Schriftenreihe zu elektrischen Maschinen und Antrieben, Band: 12, ISBN 978-3-8440-5597-9, 160 Seiten, Shaker Verlag, Aachen 2017
- [19] J. Pecho, W. Hofmann: Analytical Approach and Solution for Start-up Behavior of Line-Start Permanent Magnet Synchronous Machines (LSPSM), IEEE Intern. Electrical Machines and Drive Conference IEMDC 2017, pp. 8, 2017.
- [20] N. Remus, M. Leubner, K. Köthe, W. Hofmann: One-Step Commutation Approach for Direct Converters Based on UCE-Measurement, European Power Electronics Conference, EPE 2017, pp 10, 2017.
- [21] R. Seifert, E. Fleischer, W. Hofmann: Experimentelle Bestimmung der Rotorverluste eines dreipoligen kombinierten Radial-/Axialmagnetlagers aus Pulververbundwerkstoffen, 11. Workshop Magnetlagertechnik Zittau-Chemnitz 2017, Tagungsband S.27-34, pp. 27 - 34, 2017.
- [22] R. Seifert, W. Hofmann: Completion of analytical model of active magnetic thrust bearings including asymmetric air gap field between mixed materials, Bulletin of the JSME Mechanical Engineering Journal, Vol. 4, No. 5 (2017), 11 pages, 2017.

- [23] S. Staudt, J. Teigelkötter, A. Stock, Hochschule Aschaffenburg: Automatisierte Aufnahme und Auswertung von Kennlinienfeldern für Traktionsantriebe. ETG-Fachbericht 154, VDE/VDI Fachtagung Antriebssysteme 2017, 22.–23. Nov., Karlsruhe. S.52 -56: VDE Verlag. Berlin 2017
- [24] S. Staudt, J. Teigelkötter, A. Stock: Optimization of Low Voltage Synchronous Reluctance Machines Using Different Modulation Schemes. IEEE Power Electronics Drive Systems Conf. PEDS 2017, Honolulu, pp. 282-286
- [25] Rahmat Suryana: Optimal Operation of Wind Power Plants with Doubly-fed Induction Generators under Considerations to Network Operator Regulations, Hrsg.: W. Hofmann, Dresdner Schriftenreihe zu elektrischen Maschinen und Antrieben, Band 10, 134 Seiten, ISBN 978-3-8440-5281-7, Juni, 2017.

3.2 Vorträge und Berichte

50 Jahre ANEX, 1967 – 2017

Im Juli 1967 begann eine Tradition am damaligen Institut für elektrische Maschinen und Antriebe der Fakultät Elektrotechnik, die bis heute viele Fortsetzungen gefunden hat. Die Assistenten der Arbeitsgruppe Antriebe unter ihrem späteren Chef Professor Dr. Rolf Schönfeld führen über ein verlängertes Wochenende ins Umland zur „Antriebsexkursion – ANEX“.

Bis 1997 stehen 27 ANEX zu Buche. Da viele ehemalige Assistenten die Kontakte nach Dresden hielten, wurden ab 1982 Treffen als „Veteranen-ANEX“ einberufen, die immer wieder großen Anklang finden. Das neunte Treffen fand im Juni 2017 in Dresden und Freital statt, wobei Prof. Dr. Wilfried Hofmann als aktueller Inhaber des Lehrstuhls über 40 Ehemalige begrüßen konnte.



Bei Vorträgen und Vorführungen im Görgesbau über aktuelle Themen in Forschung und Lehre, mit einem Abend im „Klosterhof“ in Leubnitz, in der Nähe der Gräber von Prof. Schönfeld und seines Vorgängers Prof. Pommer, einem Ausflug ins Schloss Freital-Burgk mit Besichtigungen des Bergbaumuseums und der Galerie Freital gab es umfangreiche Möglichkeiten des persönlichen Gesprächs und des Austauschs von Erinnerungen an die gemeinsamen Jahre am Institut. Im Bergbaumuseum wartete auf uns die weltweit erste elektrische Grubenlok „Dorothea“ (siehe Bild), die 1882 von Siemens nach Freital-Zuckerode geliefert wurde und die bis 1927 im Oppelschacht Dienst tat. Sie ist eine Leihgabe der Firma Siemens an das Museum Freital.

Auch wenn sich viele Teilnehmer in ihrer Assistentenzeit nicht begegnet sind, ist die Kommunikation untereinander keine Hürde, denn alle entstammen der gleichen Dres-

der Schule der Antriebstechnik. Die weiteste Anreise hatte Prof. Quang von der TU Hanoi, zu der es langjährig gute Kontakte gibt.

Am Ende der ANEX 2017 haben wir mehrheitlich vereinbart, dass eine Fortsetzung in zwei Jahren mit der dann 10. Veteranen-ANEX erfolgen soll. (Autor: P. Büchner)

Ehrung von Prof. Büchner für 50 Jahre ANEX

Anlässlich des Tags der Fakultät, am 29.09.2017, wurde Herr Prof. Peter Büchner für sein Jahrzehnte währendes Engagement und seine Verdienste in der Alumniarbeit durch den Dekan der Fakultät, Herrn Prof. Ronald Tetzlaff, geehrt.



Foto: Lukas Lorenz

Aus der Laudatio von Prof. W. Hofmann:

Sehr geehrte Damen und Herren,

die Fakultät E/I und das Elektrotechnische Institut wollen diesen Tag der Fakultät zum Anlass nehmen, für ein über Jahrzehnte währendes außergewöhnliches Engagement Dank zu sagen. Vor 50 Jahren im Sommer 1967 fand zum ersten Mal die sogenannte ANEX statt – die Abkürzung steht für Antriebsexkursion. Als zünftiger Ausflug junger Promovenden mit Ihrem damaligen Chef Prof. Schönfeld war die ANEX ein Ausdruck von regem Gedankenaustausch, gepflegtem Gemeinschaftssinn und auch ausgelassener Fröhlichkeit. Man verließ einmal im Jahr für mehrere Tage die Arbeitsstätte, bewegte sich lange und ausgiebig an frischer Luft, um wieder einen klaren Kopf für neue Ideen zu bekommen und hockte am Abend meist erschöpft in einem Gasthaus oder der Unterkunft beisammen, um bei einem guten Tropfen über Gott und die Welt zu sinnieren. In den Annalen ist vieles festgehalten, so führte die kürzeste Exkursion wegen Dauerregens in den Garten des Chefs, die weiteste bis nach Florenz zu einer Konferenz. Genächtigt wurde in Hütten, Bauden, Boofen, Wohnmobilen, Bungalows,

Zelten natürlich, oder unter freiem Himmel wie am Gardasee. Endete dann nach 4 Jahren die Assistentenzeit, war man nicht vergessen, sondern man wurde befördert in die Veteranen-ANEX. Damit verbunden war auch ein nicht ganz unwichtiger Statuswechsel vom vorher Angetriebenen zum Antreiber, denn die meisten in der Industrie oder an Hochschulen Verbliebenen haben oder hatten dann bereits Personalverantwortung. Geblieben ist bis heute die Veteranen-ANEX, zuerst aller 5 Jahre stattfindend, so sind wir heute mittlerweile bei einem 2-Jahresturnus angelangt. Die Wanderungen werden inzwischen immer kürzer, die Kneipen-aufenthalte dafür länger. Man wird halt älter - aber der fachliche Teil, der ist geblieben. Diese Tradition geht auf Prof. Peter Büchner zurück, der über all die Jahre zunächst als Oberassistent die Fäden in der Hand gehalten hat, später selbst als Professor und Lehrstuhlleiter und nun als Pensionär zwischen den Ingenieursgenerationen den Kontakt immer wieder hergestellt und gepflegt hat. Sehr geehrter Prof. Büchner, lieber Peter, die Fakultät, das Institut und natürlich die aktuell 66 Veteranen (Stand: Juni 2017), die in ihrer Zeit alle einen Beitrag zum Fachgebiet geleistet haben und Teil dieser wissenschaftlichen Schule sind, wir wollen Dir mit dieser Ehrung herzlich danken für Dein unermüdliches und selbstloses Wirken. Du hast vor 50 Jahren genau das begonnen, was man heute als Alumni-Arbeit bezeichnet, zu einer Zeit, als dieses Wort uns noch nicht so geläufig war. Da Vergleichbares an unserer Uni bisher nicht gewürdigt worden ist oder es vielleicht auch nicht gegeben hat, war unsere Verwaltung gefordert, eine vorlagenfreie Dankesurkunde extra für diesen Anlass zu entwerfen. Herzlichen Dank!!!

Technische Berichte

Evers, C.: Auswahlkriterien für energieeffiziente elektrische Mehrachsantriebe, Abschlussbericht FVA-Projekt: Auswahlkriterien für energieeffiziente elektrische Mehrachsantriebe, FVA-Heft, TB 2017/1

Brix, A.; Steinborn, G.: Energieeffiziente Antriebsregelung und Kühlungssteuerung. BMBF-Zwischenbericht im Projekt KLEE, TB 2017/2

Remus, N.; Leubner, M.: Überarbeitung der Mittelmotor-Software der Binova GmbH Revision 0.7.11 für ein Elektrofahrrad. Dokumentation zur Softwareüberarbeitung, TB2017/3

Seifert, R.; Micklitz, T.; Hänel, F.: Thermohydraulischer Lineargenerator. DFG-Zwischenbericht. TB2017/4

Fleischer, E.; Seifert, R.: Verlustarme magnetische Radial-/Axiallagerung unter Verwendung von Pulververbundwerkstoffen. DFG-Abschlussbericht, TB2017/5

Krauß, S.; Remus, N.; Leubner, M.: Aktive Dämpfung filterbedingter eingangsseitiger Oberschwingungen. DFG-Abschlussbericht, TB 2017/6

Günther, S.: Hochausgenutzte synchrone Reluktanzmotoren durch lokale Beeinflussung der magnetischen Eigenschaften des Elektrolechs beim Laserschneiden. DFG-Zwischenbericht, TB 2017/7

Döring, J.; Günther, S.: Maschinenwicklungen in Kombinationsschaltung. DFG-Zwischenbericht TB 2017/8

Micklitz, T.: Refined calculation of circulating currents in turbine generators II. Verfeinerte Schlingstromberechnung für Turbogeneratoren, Fortsetzung der Arbeiten aus TB 04/2016 (GESPERRT) Projektpartner: Siemens AG Erfurt, TB 2017/9

Micklitz, T.: Eisenlose Axialfluss-Permanentmagnet-Synchronmaschine mit Keramikwicklungsträger für Schwungradspeicher. Gestaltung, Wicklungsfaktoren und Oberwellenstreuung verschiedener Wicklungsvarianten. TB 2017/10

Evers, C.: Energieeffiziente Mehrmotorenantriebe. FVA-Sachstandsbericht. TB 2017/11

Vorträge ohne Publikation

W. Hofmann

„Energieeffiziente elektromotorische Antriebsstränge – was kann man wie erreichen?“ Ehrenkolloquium zum 60. Geburtstag von Prof. Binder, Darmstadt, 16.09.2017

„Mehrmotorenantriebe im Gleichstromverbund mit Energieeffizienzgewinn“ 16. Technischer Tag der VEM, Wernigerode am 11.10.2017

„Wege zu energieeffizienten Lösungen für elektrische Antriebsstränge“ VDE-Vortrag an TU Ilmenau, 20.11.2017

R. Seifert

„Wirbelströme in aktiven Magnetlagern“ Tag der Fakultät ET&IT, TU Dresden, 29.09.2017

T. Micklitz

„Eisenlose Hochdrehzahl-Axialflussmaschine für Schwungradspeicher“ Tag der Fakultät ET&IT, TU Dresden, 29.09.2017

A. Brix

„KLEE - Kombinierte Logik für Energieeffiziente Elektromobilität.“ HdT-Tagung Würzburg

Forschungsvorträge

08.01.2016

J. Döring

„Transversalfeldreluktanzmaschine mit mechanisch robusten und elektromagnetisch hochausgenutzten Aktivteilen“

12.01.2017

C. Evers

„Projektierung energieeffizienter Mehrachsenantriebe: Energieeffizienzmaßnahmen am Beispiel Regalbediengerät“

20.01.2017

A. El-Naggar, (Universität Duisburg-Essen)

„Advanced Modeling and Analysis of the Doubly-Fed Induction Generator Based Wind Turbines“

17.02.2017

T. Micklitz

„Eisenlose Axialflussmaschine für Schwungradspeicher – Projektübersicht“

S. Günther

„Hochausgenutzte synchrone Reluktanzmaschinen für den Einsatz als elektrische Fahrmotoren“

03.03.2017

S. Michel

„Entwicklung eines energieeffizienten Steuerungsverfahrens für maschinelle Verpackungsvorgänge“

21.04.17

S. Staudt

„Geberlose Regelung von Synchron-Reluktanzmaschinen in Flurförderfahrzeugen“

28.04.17

L. Schlegel

„Simulation hochdynamischer Regelung periodischer Drehmomentverläufe einer permanentmagneterregten Synchronmaschine am Beispiel eines Verbrennungsmotors“

12.05.17

F. Jurisch

„Magnetwerkstoffe – Eigenschaften, Verluste und Anwendungen“

19.05.17

M. Leubner

„1-Schritt-Kommutierung am 4x3-Matrixumrichter“

30.06.17

S. Bosch

„Selbstadaptive Frequenznachführung der aktiven Dämpfung des netzseitigen LCL-Filters beim Active Power Filter“

07.07.17

J. Pecho

„Analytische Näherung zur Bestimmung des transienten Stromes und des Drehmoments beim Zuschalten von netzanlauffähigen permanentmagneterregten VPSM“

28.07.17

N. Remus

„Einschrittkommutierungsverfahren für direkte Umrichter basierend auf UCE-Messung“

20.10.17

W. Bauer (Johannes Kepler Universität Linz)

„Entwicklung von lagerlosen Axialkraft-/Momentenmotoren“

A. Brix, Dipl.-Ing.

„Dimensionierung eines hybriden Energiespeichersystems im elektrischen Fahrantrieb“

10.11.2017

R. Seifert, Dipl.-Ing.

„Fraktionale Flusschätzer zur Regelung axialer Magnetlager - Eine Einführung“

24.11.2017

G. Steinborn, Dipl.-Ing.

Kühlungssteuerung eines autonom fahrenden Elektrofahrzeuges

01.12.2017

H. Stichweh, Dr.-Ing.

Gastvortrag - Innovation @ Lenze:

„Trends in der Antriebs- und Automatisierungstechnik“

07.12.2017

H. Barth, Dipl.-Ing.

„Herausforderungen beim Einsatz von diskreten SiC-Halbleiterbauelementen im Antriebsstromrichter“

Doktorandenseminar Kleinwalsertal (31.08.- 03.09.2017),

Die Walser Berge grenzen im Osten und Südosten an die Lechtaler Alpen, nach Norden hin öffnet sich das Alpenvorland und der Große Widderstein (2.536 m) grenzt im Süden und Westen an das Lechquellengebirge/Arzlberg und den Bregenzerwald. Das Tal wurde um 1270 von Walsern besiedelt, einer Volksgruppe, die aus dem oberen Wallis (Schweiz) zuwanderte. Der Dialekt hat sich noch recht gut erhalten und unterscheidet sich deutlich von den Nachbarn in Vorarlberg und im Allgäu. Während sich die Walser entlang der Breitach ansiedelten, blieben die Seitentäler reines Alpgelände - ursprünglich und naturbelassen. Vier Berge sind mit Bergbahnen für Sie erschlossen. Selbst im Sommer stehen Ihnen acht Bergbahnen und Sessellifte zur Verfügung. Heute leben in den drei Dörfern Riezlern, Hirschegg und Mittelberg mit Baad etwa 5.000 Menschen, die zum großen Teil im Tourismus tätig sind und sich auf Ihren Besuch freuen. (Quelle: Internet)

Ein Ort - sich nach langer Tradition (seit 1991) zum wiederholten Male zum Doktorandenseminar zu treffen. Veranstaltet wird es gemeinsam mit der TU Darmstadt, um einer Vielzahl von Doktoranden und Mitarbeitern die Möglichkeit zu geben, sich in Form von Vorträgen und Diskussionsrunden weiterzubilden.



Vorträge TU Darmstadt

- An, Jeongki
Doppel-E-Antrieb mit Range-Extender
- Lehr, Marcel
Auslegung und Vermessung einer permanentmagneterregten Flux-Switching-Machine als Industrieantrieb
- Erd, Nicolas
Transiente Spannungsverteilung in Runddrahtwicklungen
- Neusüs, Sascha
Auslegung eines Reluktanzläufers für den Stator einer 11 kW-Normasynchronmaschine
- Dietz, Daniel
Critical Review on the benefits of C- and E-Core Flux-Switching-PM-Machines
- Li, Xing
Design of a High-Speed Flywheel Energy Storage Demonstrator
- Deusinger, Björn
Indirekte Wirkungsgradbestimmung von Permanentmagnet-Synchronmaschinen
- Schuster, Martin
Bearing currents of a 2.4 kW-PM-synchronous motor fan drive with integrated frequency inverter

Vorträge TU Dresden

- Martin, Eckart
Energetische Simulation rotierender regenerativer Energiesysteme
- Remus, Nico
Regelung des hochsetzenden Matrixumrichters mit AC-Chopper und Verhalten bei Netzspannungseinbrüchen
- Miersch, Sören
Kühlsystemauslegung für Außenläufermaschinen mit Statorrohrinnenkühlung
- Michel, Stephan
Energieeffizienzsteigerung von elektrischen Servoantriebssystemen
- Arias, Arturo
Entwurf und Aufbau eines Versuchsstandes für den Z-Source-Wechselrichter
- Kranz, Daniel
FEM-Modellierung eines realen PM-Traktionsgenerators - Modellverifikation, Modifikation sowie Ableitung von Ersatzschaltbild-Daten für das Oberschwingungsverhalten
- Liebfried, Robin
Untersuchung von dynamischen Betriebszuständen eines zellbasierten Mittelspannungsumrichters

- Woo, Kyoungseok
Entwicklung von Steuerungs- und Antriebskonzepten zur Planung einer industriellen Fertigungsanlage
- Yuan, Shaohui
Optimierung der Planetenradsätze von Automatikgetrieben
- Stefan Staudt
Geberlose Regelung von Synchron-Reluktanzmaschinen in Flurförderfahrzeugen.
- Yuanpeng Zhang
Energieoptimale Drehmomentsteuerung und Auslegung von hochdynamischen Asynchronantrieben unter besonderer Berücksichtigung der transienten Stromverdrängung
- Robert Seifert
Rotorverluste eines dreipoligen SMC-Kombilagere
- Ludwig Schlegel
Simulation der Regelung hochdynamischer periodischer Drehmomentverläufe einer permanentmagneterregten Synchronmaschine
- Tobias Micklitz
Wicklungsgestaltung für eine eisenlose Hochdrehzahl-Axialflussmaschine.
- Henry Barth
Ansteuerung von SiC-Bipolartransistoren im Tiefsetzsteller und Wechselrichter.
- Chris Evers
Energieeffizienzmaßnahmen am Beispiel Regalbediengerät
- Gunar Steinborn
Temperaturabhängigkeit der Motorverluste und verlustoptimale Motortemperatur
- Swen Bosch
Selbstadaptive Frequenznachführung der aktiven Dämpfung des netzseitigen LCL-Filters beim Active Power Filter.

3.3 Kooperation

IAESTE – Praktikanten

Lanah Al Sammarraie – Norwegen / Betreuer: Gunar Steinborn
“Heat transfer and coolant flow in a closed loop vehicle cooling system”

Aizhan Bashenova – Kasachstan / Betreuer: Arturo Arias
“Adapter Circuit for Z-Source Inverter”

Lina Tatiana Gomez Gamba – Kolumbien / Betreuer: Tobias Micklitz
“Project assessment of an electrical machine design process”

Elmas Mujan - Bosnien und Herzegowina / Betreuer: Daniel Kranz
“System modelling and control for different types of electrical machines”

Alice Kwamboka Nyasimi – Kenia / Betreuer: Martin Leubner

“Development, simulation and test of a current measurement circuit for magnetic bearings”

Taner Ozer - Türkei / Betreuer: Yuanpeng Zhang

“Energy optimal control of induction motors”

Hector Perez Aguilar – Mexico / Betreuer: Stephan Michel

“Integration of CAN Bus communication for functional enhancements of a test bench for energy-efficient multi-motor drives”

Barara Posavac – Croatien / Betreuer: Gunar Steinborn

„Heat transfer, friction and vibration in an induction motor“

Gremien und Gutachten

Prof. Dr.-Ing. W. Hofmann

- Ordentliches Mitglied der Deutschen Akademie der Technikwissenschaften (acatech)
- Ordentliches Mitglied der Sächsischen Akademie der Wissenschaften zu Leipzig (Technikwissenschaftliche Klasse)
- Mitglied des Präsidiums der Sächs. Akademie der Wissenschaften und Sekretar der Technikwissenschaftlichen Klasse
- Member of Editorial Board of European Transaction on Electrical Power (ETEP) Wiley & Sons
- Member of Editorial Board of Electrical Engineering (Archiv für Elektrotechnik), Springer Verlag
- VDE: ETG-FB A1: Elektrische Maschinen und Antriebe; Mechatronik: AK19 Elektrische Maschinen und Antriebe; ETG-FB Q1: Leistungselektronik;
- VDI: Mitglied der Gesellschaft Mess- und Automatisierungstechnik, GMA
- Member of Electric Machine Committee of IEEE Industrial Electronics Society IES
- IEEE: Senior Member; Industry Application Society; Power Electronics Society; Industrial Electronics Society; Reviewer IEEE Transaction on Industrial Electronics/Mechatronics
- Sondergutachter DFG, VW-Stiftung
- Member of Intern. Steering (Scientific) Committees:
 - European Conference on Power Electronics and Drives, EPE
 - International Power Electronics Conferences Japan, IPEC
 - International Symposium on Magnetic Bearings, ISMB
 - International Symposium on Power Electronics, Electrical Drives, Automation and Motion, SPEEDAM

Priv.-Doz. Dr.-Ing. habil. G.-H. Geitner

- Reviewer IEEE Vehicle Power and Propulsion Conference
- CRC Press Taylor & Francis

Priv.-Doz. Dr.-Ing. habil. V. Müller

- VDE
VDI-FA 823 Motion Control.

Dr.-Ing. N. Hildebrand

- VDE: VDE-Arbeitskreis 19 "Elektrische Maschinen und Antriebe".

Prof. Dr.-Ing. Heinz-Dieter Eberhardt

- VDE: VDE-Arbeitskreis 19 „Elektrische Maschinen“.

4 FORSCHUNG

4.1 Forschungsprofil

Das Forschungsprofil des Lehrstuhles Elektrische Maschinen und Antriebe ist geprägt durch Grundlagen und Anwendungen folgender Forschungsgebiete:

- Methodik, Modellbildung, Simulation und Werkzeuge für Maschinen und Antriebe
- Industrieelektronik und Stromrichter
- Magnetlager und Mechatronik
- Regenerative Energiequellen
- Hybrid- und Elektrofahrzeuge
- Kühlung elektrischer Maschinen

4.2 Forschungsprojekte

DFG-Projekte

1. Verlustarmer Umrichter mit SiC-Bipolartransistoren durch angepasstes Treiberdesign und Schätzung des Laststromverlaufs.
DFG – HO 1483/62-1+2, 2015 – 2017
2. Generalized Space Vector Modulation for Impedance Source Inverters Applied to Fuel-Cell-Based Isolated Electric Power Generation.
DFG - HO 1483/53-1+2, 2008 - 2017
3. Diagnose von Mikrobürstenfeuer bei Reibkontaktierung von Graphit/Graphit-Bürsten/Schleifringssystemen.
DFG - HO 1483/54-1+2, 2009 - 2018
4. Verlustarme magnetische Radial-/Axiallagerung unter Verwendung von Pulververbundwerkstoffen
DFG - HO 1483/55-1, 2009 - 2017
5. Direkte Regelung der Netz- und Lastgrößen eines Matrixumrichters mit optimalen netz- und lastseitigen Filtern.
DFG - HO 1483/59-1 2010 – 2017
6. Hochausgenutzte synchrone Reluktanzmotoren durch lokale Beeinflussung der magnetischen Eigenschaften des Elektroblechs beim Laserschneiden
DFG - HO 1483/69 BE 1875/32, 2013 – 2017
7. Maschinenwicklungen in Kombinationsschaltung
DFG - HO 1483/71, 2014 – 2017
8. Theoretische Grundlagen zur Verknüpfung von thermohydraulischer und thermoelektrischer Leistungswandlung in einem Aggregat - Thermohydraulischer Linear-generator
DFG - HO 1483/72, 2015 – 2017

9. Neue Generatoranordnung mit der doppeltgespeisten Asynchronmaschine für besseres Verhalten beim Durchfahren von Netzfehlern
DFG - HO 1483/74, 2015 – 2018
10. Fraktionale Flusschätzer zur Regelung axialer Magnetlager unter dem Einfluss von Wirbelströmen
DFG – 1483/78-1, 2017-2020
11. Eisenlose Axialfluss-Permanentmagnet-Synchronmaschine mit Keramikwicklungs-träger
DFG – HO 1483/77-1, 2017 – 2020
12. Aktive verlustarme Magnetlager hoher Steifigkeit und Präzision mit integrierter Induktionsmessung
DFG – HO 1483/64-2, 2016 - 2018

Industrieprojekte

13. Verfeinerte Schlingstromverlustbetrachtung von Turbogeneratoren, Projekt 2
2017

FVA Forschungsvereinigung Antriebstechnik

1. Auswahlkriterien für energieeffiziente elektrische Mehrachsantriebe
2015 – 2017
2. Auswahlkriterien für energieeffiziente Mehrmotorenantriebe mit Gleichstromverbund 2017 -2018

BMBF

1. KLEE, Kombinierte Logik für energieeffiziente Elektromobilität
2016 - 2018

ZIM

1. Bidirektionales Ladegerät
2015 – 2017

4.3 Dissertationen

A. T. Hermann Houenouvo

Analyse und Diagnose von Mikrobürstenfeuer bei der Stromübertragung in doppelspeisenden Drehstrom-Asynchrongeneratoren.

Vorsitzender: Prof. Dr.-Ing. habil. U. Marschner
Gutachter: Prof. Dr.-Ing. W. Hofmann,
Prof. Dr.-Ing. F. Berger, TU Ilmenau

Tag der Einreichung: 21.11.2016, Tag der Verteidigung: 23.06.2017

Zusammenfassung:

Die in der Windbranche dominierenden Asynchron-Schleifringläufermaschinen besitzen Schleifringssysteme, die zur Stromübertragung auf den Rotor verschleißbehaftete Komponenten eingesetzt werden. Die Forderung nach höheren Standzeiten bis zu 5 Jahren wird sich durch die zukünftige offshore Anwendung stellen und könnte sich durch Graphit-Graphit-Gleitkontakte erfüllen lassen. Die Verschleißmechanismen, die durch das komplexe Zusammenwirken von mechanischer und elektrischer Beanspruchung entstehen, werden von sogenannten Mikro- oder Makrobürstenfeuern beeinflusst, die zu einem frühzeitigen Ausfall des Schleifringsystems beitragen. Aufgrund der komplexen Beanspruchungen in der elektrischen Kontaktmechanik wurden anhand von numerischen Simulationen die Zusammenhänge zwischen den elektrischen, mechanischen, thermischen und magnetischen Größen analysiert. Zur Verifizierung der Feldmodelle wurde ein komplexer Versuchsstand basierend auf online arbeitenden Verhaltensmodellen entwickelt. Die Auswertung der zeitlichen Untersuchungen zeigt, dass sowohl die berechnete Kontaktkraft im Kontaktbereich, die Umfangsgeschwindigkeit des Schleifrings, die im Versuchsraum herrschende Luftfeuchtigkeit als auch die Rundlaufabweichung wichtige Beiträge bei der Entstehung von Mikro- und Makrobürstenfeuern leisten. Es wurde festgestellt, dass die ermittelten Reibungskoeffizienten im Grenzbereich der Mischreibung liegen. Dabei entstehen zusätzliche Reibungskräfte (elasto-hydrodynamische Kräfte), wobei deren Größe i.A. nicht bekannt ist. Es wurde festgestellt, dass das Übertragungsverhalten durch steigende Kontakttemperatur aufgrund der Reibung und der Rauheit der Kontaktflächen beeinflusst wird. Mit Hilfe der entwickelten Diagnosesoftware war es möglich, unter Betrachtung von zwei wichtigen Parametern (Kontaktkraft, Umfangsgeschwindigkeit), die Störsignale aus den elektrischen Größen (Bürstenstrom sowie Kontaktspannung) zu extrahieren und zu analysieren. Mikrobürstenfeuer treten bei Kontaktkräften kleiner gleich 2,5 N und bei Umfangsgeschwindigkeit kleiner gleich 9 ms⁻¹ auf. Oberhalb dieser Grenze der Umfangsgeschwindigkeit entstehen Makrobürstenfeuer, die hauptsächlich zum elektrischen Verschleiß führen. Der mechanische Verschleiß verstärkt sich, wenn die herrschende Kontaktkraft größer als 2,5 N und die Umfangsgeschwindigkeit größer als 9 ms⁻¹ sind. Die erhaltenen Ergebnisse und die entwickelten Diagnosesoftware können genutzt werden, um mögliche Übertragungs-

störungen vorherzusagen und an den Anwender zur Verfügung zu stellen. Anhand dieser Erkenntnisse kann eine Anpassung der Druckfingerkräfte vorgenommen werden.

Kenneth Benath

Analyse und Auslegung energieeffizienter Servoantriebe – am Beispiel von Punkt-zu-Punkt Bewegungsaufgaben.

Vorsitzender: Prof. Dr.-Ing. habil. K. Röbenack
Gutachter: Prof. Dr.-Ing. W. Hofmann
Prof. Dr.-Ing. J. Böcker, Uni Paderborn

Tag der Einreichung: 03.12.2016 Tag der Verteidigung: 15.06.2017

Zusammenfassung:

Für die Steigerung der Energieeffizienz von Servoantriebssystemen für Punkt-zu-Punkt Bewegungsaufgaben werden Freiheitsgrade für die Projektierung analysiert. Dabei ist es besonders wichtig nicht nur einzelne Komponenten, sondern das Zusammenspiel aller Komponenten und Freiheitsgrade zu berücksichtigen. Es wird ein analytisches Verlustleistungsmodell entwickelt, das allein mit Datenblattangaben parametrierbar ist und womit die Verluste abhängig vom Arbeitspunkt und den Projektierungsfreiheitsgraden berechenbar sind. Die wesentlichen Projektierungsfreiheitsgrade sind Parameter der Bewegungssteuerung, die Wahl der Getriebeübersetzung, die Größe der Zwischenkreiskapazität sowie die Dimensionierung und Ausnutzung von Motor, Getriebe und Umrichter. Die Ergebnisse der Untersuchung zur Energieeffizienz werden in Form von Projektierungsregeln und einem Projektierungsschema zusammengefasst. Diese Ergebnisse sind vor allem für Ingenieure interessant, die sich mit der Projektierung von Servoantriebssystemen beschäftigen. Die Erkenntnisse dieser Arbeit zeigen auch, wie bereits beim Motordesign sowie der Konstruktion der Mechanik und Bewegungsplanung die Energieeffizienz beeinflusst wird.

Chi Dung Nguyen

Loss minimization control of three-phase motors.

Vorsitzender: Prof. Dr.-Ing. P. Schegner
Gutachter: Prof. Dr.-Ing. W. Hofmann
Prof. Dr.-Ing. habil. N.P. Quang, TU Hanoi

Tag der Einreichung: 28.06.2016 Tag der Verteidigung: 22.06.2017

Abstract:

Nowadays, three-phase motors are very widely used in many types of applications, such as in the industry, the commercial, residential, agricultural and transportation sectors. Simultaneously, efforts to reduce losses of these motors have also been performed for power saving requirement. To contribute in these efforts, this research work develops optimization control strategies which combine the model-based con-

trol technique and the search control technique to minimize electrical losses of induction motors, permanent magnet synchronous motors and synchronous reluctance motors. The strategies focus on establishing the loss minimization condition from the loss model and then combining with optimal results obtained from a search control strategy to determine unknown parameters of this condition. In this way, they can be performed without knowledge of motor parameters. This work also presents a new approach based on the hybrid control technique to minimize copper losses of externally excited synchronous motors. From the motor model optimal values of current components are defined as an explicit solution. Then, by combining with a search control algorithm, it is able to avoid variation of motor inductances due to the magnetic saturation. The advantages of this hybrid control strategy are that it requires no extra hardware and can be easily performed with only knowledge of the ratio between stator- and excitation resistances, which is not seriously affected by variations of the motor temperature.

Erik Fleischer

Entwurf, Modellierung und nichtlineare Regelung eines integrierten Radial-Axial-Magnetlagers.

Vorsitzender: Prof. Dr.-Ing. S. Großmann

Gutachter: Prof. Dr.-Ing. W. Hofmann

Prof. Dr.-Ing. W. Amrhein, JKU Linz

Tag der Einreichung: Okt. 2016

Tag der Verteidigung: 08.09.2017

Zusammenfassung:

Die Lagerung zueinander beweglicher Körper im magnetischen Feld erlaubt einen Betrieb ohne mechanischen Kontakt und somit frei von Schmiermitteln und Abrieb-Partikeln. Dieser wesentliche Vorzug trägt dazu bei, dass Magnetlager für Vakuumanwendungen prädestiniert sind. Obwohl kein mechanischer Kontakt vorliegt, entstehen dennoch Verluste im Rotor in Form von Ummagnetisierungsverlusten durch die Rotation in einem örtlich feststehenden Magnetfeld. Die so entstehende Wärme kann bei einem Betrieb im Vakuum nur in geringem Maße abgeführt werden. Insbesondere für schnell laufende Rotoren resultiert daraus die Gefahr einer Überhitzung im Dauerbetrieb. Es stehen nur wenige Maßnahmen zur Verfügung um die Kühlung von Rotoren im Vakuum zu verbessern. Somit muss von vornherein auf geringen Wärmeeintrag in den Rotor geachtet werden. Die vorliegende Arbeit soll einen Beitrag zur Entwicklung aktiver Magnetlager leisten, die sich durch einen besonders niedrigen Wärmeeintrag in den Rotor auszeichnen. Zu diesem Zweck wird vorgeschlagen, Pulververbundwerkstoffe im Rotor einzusetzen und eine dafür geeignete Magnetlagerstruktur entworfen. Dabei werden die besonderen Anforderungen des Werkstoffes beachtet und gezielt dessen Vorzüge ausgenutzt. Zugleich wird die Topologie im Hinblick auf minimale Verluste im Rotor optimiert. Für die daraus resultierende Struktur des dreipoligen Kombilagers wird beispielhaft ein Labormuster mit Hinblick auf die Vergleichbarkeit mit einem vorhandenen konventionellen magneti-

schen Lager entworfen. Dies erlaubt eine Analyse hinsichtlich der aus dem verwendeten Werkstoff resultierenden besonderen Eigenschaften. Die neue Lagerstruktur erfordert den Entwurf und die Verifikation angepasster Regelungsstrategien. Da Letzteres soweit wie möglich anhand eines Simulationsmodells mit guter Genauigkeit erfolgen sollte, wird eine domänenübergreifende Modellierungsmethodik auf Basis des Lagrange-Formalismus vorgestellt. So können die Wandlereigenschaften aktiver Magnetlager und Kreiseffekte in das Modell eingearbeitet werden. Den Abschluss bilden der Entwurf und die Diskussion zweier Regelungsstrategien, eine lineare basierend auf einer Transformationsmatrix und eine nichtlineare auf Basis exakter Ein-/Ausgangs-Linearisierung. Letztere bietet die Möglichkeit das erarbeitete Lager mit minimalen Flussdichten im Luftspalt und somit optimal hinsichtlich der Verluste im Rotor zu betreiben. Der Vergleich beider Ansätze im Zeit- und Frequenzbereich zeigt, dass trotz des Betriebes ohne magnetische Vorspannung mit der Methode der exakten Linearisierung ein ebenbürtiges oder teilweise besseres Verhalten der Lagerung im Vergleich zum Betrieb mit Vorspannung und der linearen Regelung erreicht werden kann. Die spezielle Struktur des Lagers erlaubt einen Betrieb mit minimalen Flussdichten und Strömen in den Wicklungen. Somit erhält man ein rein elektrisch betriebenes Lager, dessen Kupferverluste in den Bereich permanentmagnetisch vorgespannter Lager reichen und das dennoch wesentlich geringere Verluste im Rotor verursacht.

Jacob Jung

Konzentration des Permanentmagnetflusses durch Segmentierung des Stators am Beispiel einer Axialflussmaschine in TORUS-Bauart.

Vorsitzender: Prof. Dr.-Ing. habil. U. Marschner

Gutachter: Prof. Dr.-Ing. W. Hofmann

Prof. Dr.-Ing. I. Hahn, FAU Erlangen-Nürnberg

Tag der Einreichung: 05.07.2016,

Tag der Verteidigung: 22.02.2017

Zusammenfassung:

Leichte Elektrofahrzeuge stellen besondere Anforderungen an die antreibende elektrische Maschine, insbesondere im Hinblick auf Bauraum und Kosten. In diesem Kontext stellt die Modularisierung des Stators einen vielversprechenden Ansatz dar. Am Beispiel einer Axialflussmaschine in TORUS-Bauart wird die Teilung des Statoreisens in einzelne Segmente motiviert und analysiert. Es zeigt sich, dass die räumliche Trennung der Eisensegmente den vorteilhaften Effekt der Flusskonzentration hervorbringen kann. Als praktische Anwendung dient das Beispiel eines Mittelmotors für ein Elektrofahrzeug. Die Arbeit schließt mit der messtechnischen Untersuchung eines Prototypen ab.

4.4 Ausgewählte Forschungsergebnisse in Kurzform

Dipl.-Ing. Gunar Steinborn

Energieoptimale Kühlungssteuerung eines autonom fahrenden Elektrofahrzeuges

Autonom fahrende Elektrofahrzeuge stellen, frei von menschlichem Einfluss, verlässliche Vorhersagedaten zu zukünftigen Lastzuständen des elektrischen Antriebsstranges zur Verfügung. Es ist damit möglich, die elektrischen Zustandsgrößen des Antriebssystems und den Kühlvolumenstrom vorausschauend so einzustellen, dass der Energieverbrauch minimiert und die Reichweite des Fahrzeuges erhöht werden.

Für die Optimierung des Kühlvolumenstromes wurden zunächst temperaturabhängige Modelle für die Verluste und Erwärmung des Antriebes erstellt. Darauf aufbauend wurde ein Optimierungsalgorithmus entworfen, der abhängig von gemessenen Temperaturen, Lastprofil und Vorhersagedaten, den Sollvolumenstrom so vorgibt, dass möglichst wenig elektrische Energie aus der Fahrzeugbatterie benötigt wird. Da Wechselrichter und Fahrmotor unterschiedliche Zeitkonstanten haben und teils auch unterschiedlich belastet werden, hat sich zudem eine hydraulische Parallelschaltung der beiden Kühlstrecken als vorteilhaft erwiesen.

In Fig. 1 ist ein Referenzfahrprofil dargestellt, das im Raum Chemnitz aufgenommen wurde. Für dieses Profil wurde eine Optimierung unter Berücksichtigung der Lastprädiktion durchgeführt, wobei angenommen wurde, dass das reale Fahrprofil stets dem vorhergesagten Profil entspricht. Im Vergleich zu einem Betrieb mit einem konstantem Volumenstrom von $Q = 10\text{ l/min}$ bei hydraulischer Reihenschaltung aus Wechselrichter und Motor können durch die Optimierung etwa 4,5% Verlustenergie im gesamten Antriebsstrang und Kühlsystem eingespart werden. Die optimalen Sollvolumenströme sind in Fig. 2 dargestellt.

Die Forschung findet im Rahmen des vom BMBF geförderten Projektes KLEE (Kombinierte Logik für Energieeffiziente Elektromobilität) statt, das gemeinsam mit Partnern aus Wissenschaft und Industrie durchgeführt wird.

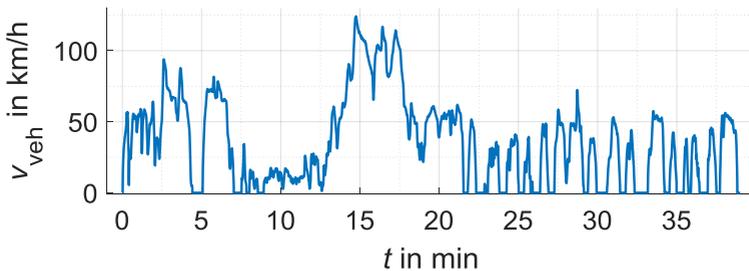


Fig. 1: Gemessenes Geschwindigkeitsprofil; Measured velocity profile. Source: IAV GmbH

Energy optimal cooling control of an autonomous electric vehicle

Autonomous driving electric vehicles provide, free of human influence, reliable predictions for future loads of the electric drive train. This enables predictively adjusting the electric state variables of the electric drive and the cooling flow so, that energy consumption decreases and the range of the vehicle increases.

For the optimization of the cooling flow, temperature dependent models for losses and heating of the drive were created. Based on that, an optimization algorithm was designed that calculates the set value of the cooling flow so that the electric energy taken from the battery is minimized. The algorithm is dependent on measured temperatures of motor and inverter, current torque and speed requirements and the load prediction. Since inverter and motor have different thermal time constants and may be subjected to different loads at different times, setting the cooling channels in parallel has proven to be of advantage. With this, inverter and motor are cooled independently.

Fig. 1 shows a reference driving cycle, which was recorded in the greater Chemnitz area. For this cycle, an optimization was conducted, which takes into account the influence of load prediction. For lack of concrete data it was assumed, that real the load requirements and the predicted load profile are equal, meaning, the vehicle drives exactly as previously planned. Compared to the operation at constant volumetric cooling flow of $Q = 10 \text{ l/min}$ with inverter and motor connected in series, the optimization yields about 4,5% of saved loss energy in the electric drive train and the cooling system. The optimal set values for the cooling flows are shown in Fig. 2.

All research is conducted in the frame of project KLEE (combined logic for energy-efficient electro-mobility), which is funded by the BMBF (German ministry of education and research) together with multiple partners from science and industry.

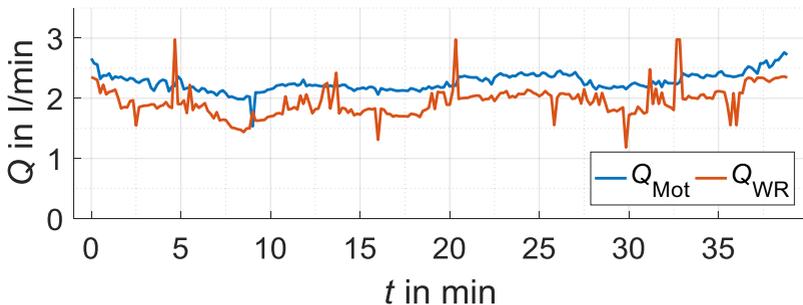


Fig. 2: Optimierte Volumenströme von Motor und Umrichter für das Fahrprofil aus Fig. 1; Optimized cooling flow for motor and inverter for the driving cycle see Fig. 1.

Verlustarme magnetische Radial-/Axiallagerung unter Verwendung von Pulververbundwerkstoffen

In Vakuumanwendungen, wie Molekularpumpen oder Schwungradspeichern, treffen oftmals hohe Drehzahlen auf schwierige Kühlbedingungen. Es besteht daher der Bedarf nach aktiven Magnetlagern mit einem besonders geringen Leistungsbedarf sowie geringen Ummagnetisierungsverlusten im Rotor. Die zur Verlustminimierung prädestinierten Pulververbundwerkstoffe (SMC - Soft Magnetic Composites) zeichnen sich durch eine sehr niedrige elektrische Leitfähigkeit ($< 15 \text{ kS/m}$) aus, finden aufgrund ihrer ebenfalls geringen mechanischen Festigkeit (Streckgrenze $< 100 \text{ MPa}$) allerdings bisher keine Anwendung in industriellen Hochgeschwindigkeitsantrieben. Im Zuge des DFG-Projekts HO 1483/55 konnte jedoch der experimentelle Nachweis erbracht werden, dass die neu entwickelte dreipolige Lagerstruktur mit kombiniertem Radial- und Axiallager die Anwendung von SMC im Rotor auch bei Drehzahlen von bis zu 30000 min^{-1} erlaubt. Der Einsatz von Klebstoffen statt sonst üblicher Schrupfbohrungen und ein geringer Rotoraußenradius machen es möglich.

Bei den abschließenden Auslaufversuchen wurde mit maximal 10 W die gleiche geringe Verlustleistung, wie bei einem verlustoptimierten industriellen Referenzlager (Rotor aus NO20-Blech) erreicht. Eine Projizierung der Messergebnisse auf neuartige, industrielle SMC-Sorten des Jahres 2017, verspricht zudem ein Reduzierungspotential der Rotorverluste von mindestens $23 - 44 \%$, wobei insbesondere kompakte und hochausgenutzte Geometrien im Vorteil sind. Für die neue Lagerstruktur wurden außerdem passende Regelungsstrategien entworfen und experimentell verifiziert. Neben einer klassischen linearen Kraftregelung wurde auch eine nichtlineare Regelung entwickelt, die einen Betrieb ohne Vormagnetisierung der Lager erlaubt. Diese verspricht nicht nur eine weitere Reduzierung der Rotorverluste um bis zu 25% , sondern kann auch die Kupferverluste im Stator auf ein Viertel senken.

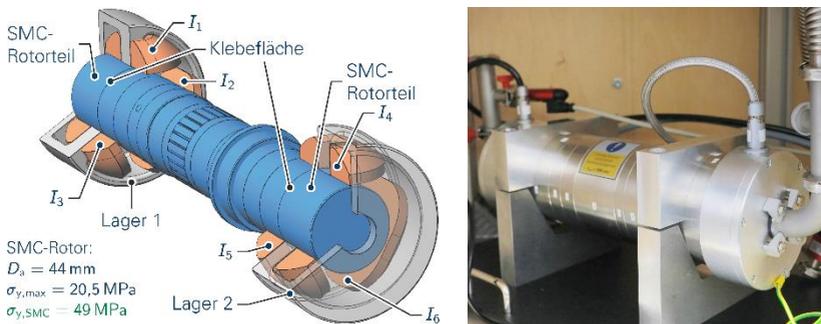


Fig.1: Prinzip-Zeichnung und Vakuum-Versuchsaufbau: dreipoliges SMC-Kombilager in gespiegelter Anordnung für 5-achsige Magnetlagerung

Low-Loss Magnetic Radial-/Axial Bearing by use of Soft Magnetic Composites

In vacuum applications like turbomolecular pumps or flywheel accumulators, high velocities meet difficult cooling conditions. Therefore, there is a need for active magnetic bearings with a particularly low power requirement as well as low core losses in the rotor. Predestined materials for the desired loss minimization are Soft Magnetic Composites (SMC), which feature a very low electric conductivity ($< 15 \text{ kS/m}$), but suffer from a likewise weak mechanical tensile strength ($< 100 \text{ MPa}$). Hence, they are not used in industrial high-speed applications yet. However, in the course of the DFG-project HO 1483/55 could be shown, that the new three-pole combined radial/axial bearing allows the application of SMC in the rotor up to velocities of 30000 min^{-1} . The use of glued joints instead of shrink-fit bores as well as a reduced rotor outer diameter makes it possible.

In the final rundown tests, core losses as low as 10 W were achieved, the same amount which was determined for a loss optimized industrial reference bearing (rotor made of NO20-sheets) as well. The projection of the measurement results on novel industrial SMC-grades available in 2017, promises a potential for rotor loss reduction of at least $23 - 44 \%$, where especially compact and high-utilized geometries have an advantage. Furthermore, two suitable control strategies have been developed and verified for the new bearing topology. Besides a classic linear force control, a non-linear control scheme was developed, which allows the operation without a bias flux and therefore lower core flux densities as well as bias currents. This way not only another rotor loss reduction of 25% is possible, but also stator losses can be reduced about 75% .

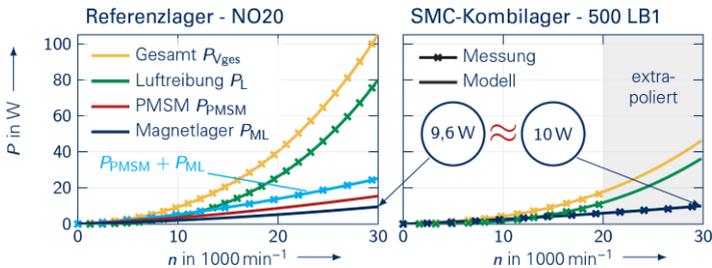


Fig. 2: Components of rotor losses for reference bearing three pole combined radial/axial active magnetic bearing made of SMC (nonlinear position control)

Literature

R. Seifert, E. Fleischer, W. Hofmann: *Experimentelle Bestimmung der Rotorverluste eines dreipoligen kombinierten Radial-/Axialmagnetlagers aus Pulververbundwerkstoffen*, 11. Workshop Magnetlagertechnik Zittau-Chemnitz 2017, Tagungsband S.27-34, pp. 27 - 34, 2017

Geberloser Betrieb von Synchron-Reluktanzmaschinen in Flurförderfahrzeugen für den gesamten Drehzahlbereich

Aufgrund des Wandels im Bereich der Traktionsanwendungen hin zur Elektrifizierung jeglicher Antriebe steigen die Anforderungen an die Robustheit und Effizienz. Der in diesem Forschungsvorhaben untersuchte Maschinentyp der Synchron-Reluktanzmaschine erweist sich als robuster und kostengünstiger Antrieb der die bisherig eingesetzten Asynchronantriebe ersetzen soll. Mittels unterschiedlicher Regel- und Modulationsverfahren wird der Antrieb hinsichtlich der Antriebsstrangverluste optimiert. Zur weiteren Steigerung der Robustheit und Redundanz wird der externe Lagegeber durch ein geberloses Verfahren substituiert. Da die geberlosen Methoden den Rotorlagewinkel auf Basis der elektrischen Signale berechnen liegt immer ein minimaler Winkelfehler vor. Diese Abweichungen haben eine direkte Auswirkung auf den Wirkungsgrad der elektrischen Maschine. Die unterschiedlichen Verfahren werden unter Berücksichtigung der damit entstehenden elektrischen Verluste ausgewählt, um diese so gering wie möglich zu halten. Fig.1 zeigt den Einsatz dreier unterschiedlicher Regelverfahren, die d/q-Stromregelung mittels Pulsweitenmodulation (FOR) [1], die Dreifach-Flankenmodulation (3F) [2] und die Grundfrequenztaktung (GFT) [3][4] mit deren Arbeitsbereiche. Die geberlose Regelung wird ab der Drehzahl 0 min^{-1} eingesetzt. Das Anfahren mit Nennmoment ist dabei die Grundvoraussetzung für den Traktionsantrieb. Das eingesetzte und angepasste Verfahren [5] ermöglicht das Anfahren aus dem Stillstand mit annähernd dem doppelten Nennmoment. Fig. 2 zeigt das gemessene Drehmoment im Fahrzeugstillstand.

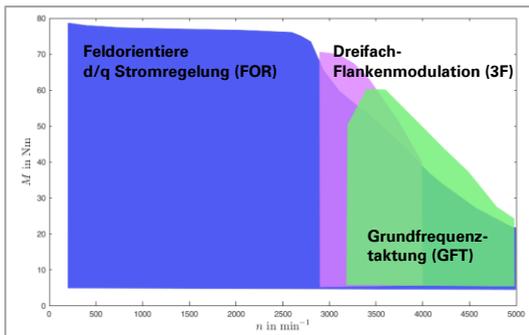


Fig.1:

Arbeitsbereiche der Regelverfahren FOR, 3F und GFT.

Working areas of the three control schemes FOR, 3F and GFT.

Sensorless Control of Synchronous Reluctance Machine in Fork-lift Trucks over the entire speed range

Owing to the change in the area of traction applications to the electrification of any drive, the demands on robustness and efficiency increase. The synchronous reluctance machine is a more robust and cost-effective drive that can replace the currently used asynchronous drives. The drive is optimized with respect to drive train losses by means of different control and modulation methods. In order to further increase the robustness and redundancy, the external position sensor is replaced by a sensorless method. Since the sensorless methods calculate the rotor position angle on the basis of electrical signals, there is always a minimal angle error. These deviations have a direct effect on the efficiency of the electrical machine. The different methods are selected taking into account the electrical losses that arise with them, in order to keep them as low as possible. Fig.1 shows the use of three different control methods, the d/q current control using pulse width modulation (FOR) [1], the triple-edge modulation (3F) [2] and the fundamental frequency modulation (GFT) [3][4] with their operating ranges. The sensorless control is used from 0 min^{-1} . Starting with rated torque is the basic prerequisite for traction drive. The adapted and adapted method [5] enables starting from standstill with approximately double the rated torque. Fig. 2 shows the measured torque in the vehicle standstill.

tance machine is used in this research project. This machine type is a robust and cost-effective drive, which should replace the existing induction machine. By means of different control and modulation methods, the drive is optimized with respect to the drive train losses. In order to increase the robustness and redundancy, the external position sensor is substituted by a sensorless control scheme. Since the sensorless methods calculate the rotor position angle on the basis of the electrical signals, this always leads to a minimum angular error. These deviations have a direct effect on the efficiency of the electric machine. The different control schemes are selected in dependency of their electrical losses, with the aim to minimize them as effectively as possible. Fig. 1 shows the use of three different control methods: Standard field-oriented control scheme with two internal d- and q-current controllers for the corresponding current space vector (FOR eng. FOC) [1], three-fold switching (3F) strategy with corner folding [2], and square wave mode (GFT eng. SWM) with their working areas. The sensorless control is used from the speed of 0 min^{-1} . The basic requirement for the traction drive is to start with nominal torque. The applied and adapted method [5] allows starting from standstill with approximately twice the nominal torque. Fig 2. shows the measured torque during standstill (sensorless control).

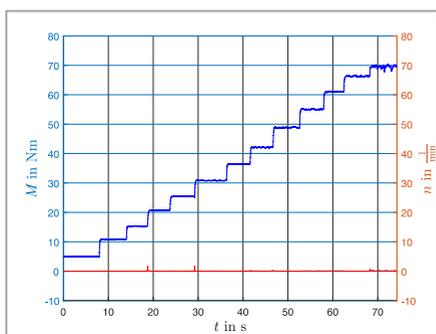


Fig.2:

Stufenweise Erhöhung des Drehmoments bei $n=0 \text{ min}^{-1}$,
Torque steps at $n=0 \text{ rpm}$

Literature

- [1] Kilthau A. and Pacas J. M., Appropriate models for the control of the synchronous reluctance machine, in Conference Record of the 37th IAS Annual Meeting, Industry Applications Conference, 2002.vol. 4, pp. 2289-2295, 2002
- [2] Wörner K.: Quasi-synchrone statorflussgeführte Pulsverfahren für die wechselrichter gespeiste Induktionsmaschine, VDI, Düsseldorf 2007
- [3] U. Baader, M. Depenbrock, G. Gierse, Direct Self Control (DSC) of Inverter-Fed Induction Machine: A Basis for Speed Control Without Speed Measurement, in IEEE Transactions on Industry Applications, (Volume: 28, Issue: 3, May/June 1992)
- [4] Jänecke M.: Die Direkte Selbstregelung bei Anwendung im Traktionsbereich, VDI, Duisburg 1991
- [5] Linke M., Kennel R. und Holtz J.: Sensorless Speed and Position Control of Synchronous Machines using Alternating Carrier Injection. Techn. Ber. 0-7803-7817-2/03. University of Wuppertal, 2003.

Steigerung der elektromagnetischen Ausnutzung von permanentmagneterregten Außenläufermaschinen durch Statorrohrinnenkühlung

Kleinwindenergiegeneratoren werden vorteilhaft als getriebelose, hochpolige, permanentmagneterregte Synchronmaschinen in Außenläuferbauweise ausgeführt. Für die Statorrohrinnenkühlung der Maschine in Fig. 1a wird die Windströmung genutzt. Numerische Modelle dienen der Bestimmung des Kühlluftvolumenstromes im Arbeitspunkt (Fig. 1b) und zur Berechnung der Temperaturverteilung im Kühlsystem (Fig. 2) [1, 2]. Im dargestellten Lastfall werden ca. 80 % der Verlustleistung des Stators über das Kühlsystem abgeführt und die Temperaturdifferenz zur maximal zulässigen Wicklungstemperatur beträgt ca. 66 K. Weiterführend und in Analogie zu [3] soll für den Generator im Inselbetrieb die Ausnutzung in Abhängigkeit der Belastung untersucht werden. Es werden Ausnutzungsziffern C bis 3 kVA·min/m³ erwartet.

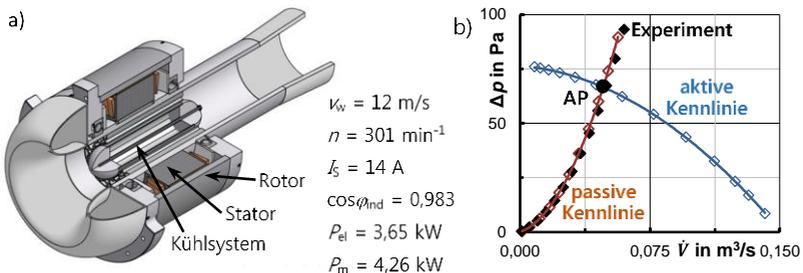


Fig.1: Berechnung des Kühlluftvolumenstromes im Arbeitspunkt
 Calculation of the cooling air volume flow at the operating point

Increasing the electromagnetic utilization of permanent magnet-excited outer rotor machines by stator tube inner cooling

Small wind energy generators are advantageously designed as gearless, high-pole, permanent magnet-excited synchronous machines in external rotor construction. The wind flow is used for the stator tube inner cooling of the machine in Fig. 1a. Numerical models are used to determine the cooling air volume flow at the operating point (Fig. 1b) and to calculate the temperature distribution in the cooling system (Fig. 2) [1, 2]. For the illustrated loading point, approx. 80 % of the stator losses are dissipated via the cooling system and the temperature difference to the maximum admissible winding temperature is approx. 66 K. In further work and in analogy to [3], the electromagnetic utilization of the generator in isolated operation mode is to be tested experimentally as a function of the load condition. The electromagnetic utilization factors C up to 3 kVA·min/m³ are expected.

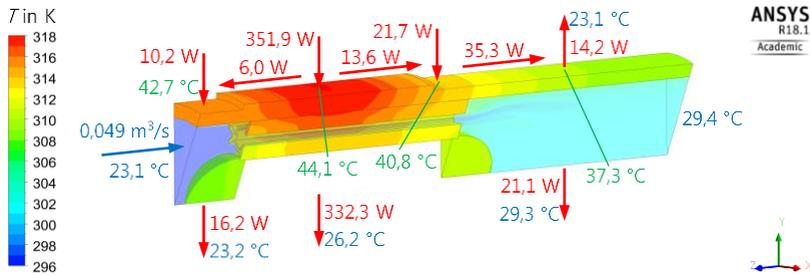


Fig.2: Numerische Berechnung der Temperaturverteilung im Kühlsystem
Numerical calculation of the temperature distribution in the cooling system

Literature

- [1] MIERSCH, S.; SCHUFFENHAUER, U.; THIEME, D.; et al.: *Forcierte Kühlung zur Steigerung der Ausnutzung permanentmagneterregter Außenläufermaschinen*. 68. BHT - Freiberger Universitätsforum, Deutschland, Freiberg: 2017, A925 elektrische Antriebstechnik, S. 20 - 25
- [2] MIERSCH, S.; ECKART, M.; SCHUFFENHAUER, U.; et al.: *Coupled calculation of a permanent magnet-excited small wind energy generator in outer rotor construction cooled in the stator tube*. VDE/VDI-Fachtagung Antriebssysteme, Deutschland, Karlsruhe: 2017, S. 1 - 8
- [3] WROBEL, R.; DRURY, D.; MELLOR, P. H.; et al.: *Contra-Rotating Modular Wound Permanent Magnet Generator for a Wind Turbine*. 4th IET International Conference on Power Electronics, Machines and Drives, England, York: 2008, S. 330 - 334

Entwicklung eines energieeffizienten Steuerungsverfahrens für maschinelle Verpackungsvorgänge

Ziel des Projekts war das Systematisieren der Energiesparpotentiale einer Verpackungsmaschine unter der Vorgabe, dass prozesstechnische Größen wie die Qualität und Taktrate des Verpackungsvorgangs keinerlei Einschränkungen erfahren durften. Dafür wurden Leistungsflussmodelle für einzelne Antriebskomponenten, dargestellt in Fig. 1 am Beispiel der Quersiegeleinheit, und eine Energiesimulation der gesamten Verpackungsmaschine entworfen.

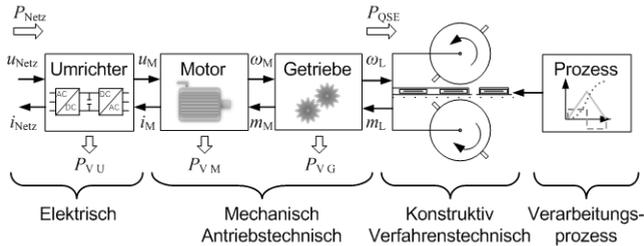


Fig. 1: Leistungsflussmodelle am Beispiel der Quersiegeleinheit
Power flow models shown through the example of cross sealing

Jedes Teilaggregat lässt sich mit so einem Leistungsflussmodell abstrahieren. Die Ebenen „Verarbeitungsprozess“ und „Konstruktiv/Verfahrenstechnik“ variieren je nach Aggregat stark. Dies erfordert eine separate und möglichst exakte Modellierung der Teilprozesse. Daraus ergibt sich eine hohe Anzahl an Freiheitsgraden, um eine energiesparende Konstruktion zu realisieren und Energiesparmaßnahmen anzuwenden. Als Ausgangsgröße entsteht ein Lastprofil in Form einer Drehmoment- und Drehzahlanforderung an die darüber liegende Ebene. Der elektrische und mechanisch/antriebstechnische Teil dieser Leistungsflussmodelle wird anhand von vereinfachten Verlustmodellen abgebildet. Dies ermöglicht eine vielseitige Wiederverwendbarkeit, auch abseits der hier dargestellten Anwendung. Auch können Direktantriebe (Wegfall des Getriebes) oder direkt am Netz betriebene, elektrische Maschinen untersucht werden.

Die untersuchten Energiesparmaßnahmen umfassten neben der Anpassung der Konstruktion und von mechanischen Parametern, die Anwendung von Bewegungsprofilen mit Geschwindigkeitsbegrenzung, eine auf das zu erwartende Lastprofil optimierte Kombination aus Motor, Umrichter und Getriebe, die Anwendung einer energieoptimalen Getriebeübersetzung oder die Ausnutzung von Rekuperationsenergie bei Mehrachs Antriebssystemen.

Unter der aus der Praxis relevanten Voraussetzung, dass nur eine bestimmte Bandbreite an Produkten durch diese Maschine verpackt werden sollte, konnte eine Energieeinsparung von bis zu 65 % erreicht werden.

Development of an energy-efficient control method for automated packaging processes

Target of this project was to systematize the energy-saving potential of a packaging machine presuming that process-technical variables such as the quality and cycle rate of the packaging process were not allowed to be restricted. For this purpose, power flow models for individual drive components and an energy simulation of the entire wrapping machine were designed, illustrated in Fig. 1 on the example of a transverse sealing unit.

Each sub-assembly can be abstracted with such a power flow model. The levels "processing" and "constructive/procedural" vary greatly depending on the aggregate. This requires a separate and as exact as possible modeling of the sub-processes. This results in a large number of degrees of freedom in order to realize an energy-saving design and to apply energy-saving measures. The output is a load profile in the form of a torque and rotational speed request to the level above. The electrical and mechanical / drive engineering part of these power flow models is mapped using simplified loss models. The electrical and mechanical part of these power flow models is mapped using simplified power loss models. This allows a versatile reusability, even apart from the application presented here. Also, direct drives (elimination of the gearbox) or electrical machines powered directly at the mains can be examined.

The analyzed energy saving measures included the adaptation of the design and mechanical parameters, the application of motion profiles with speed limitation, an optimized combination of motor, inverter and gearbox for the expected load profile, the application of an energy-optimized gear ratio or the use of recuperation energy in multi-axis drive systems.

Under the relevant condition that only a specific range of products should be packaged by this machine, energy savings of up to 65% could be achieved.



Fig. 2: Schlauchbeutelverpackungsmaschine FPC5 der Firma THEEGARTEN-PACTEC
High speed wrapping machine for products in flow packs by THEEGARTEN-PACTEC

Einsatz von SiC-Transistoren in Antriebsstromrichtern

Die leistungselektronischen Bauelemente aus Siliziumkarbid (SiC) haben sich in den letzten fünf Jahren enorm weiterentwickelt. Trotzdem besteht die überwiegende Mehrheit der leistungselektronischen Bauelemente weiterhin aus Silizium (Si). Der Si-IGBT ist das Bauelement der Wahl für die meisten industriellen elektrischen Antriebe. Die intensive Forschung der letzten 30 Jahre hat zu einer Perfektion der IGBT- und Freilaufdioden-Technologie geführt, sodass die noch möglichen Verbesserungen der IGBT-Eigenschaften, die mit jeder neuen IGBT-Generation einhergehen, immer kleiner werden. Deshalb besteht ein großes Interesse an Bauelementen aus Halbleitermaterialien mit großem Bandabstand wie SiC oder Galliumnitrid (GaN). Aufgrund ihrer Materialeigenschaften haben sie das Potenzial, Si-IGBTs in Bezug auf ihren Wirkungsgrad bzw. die Höhe der Schaltfrequenz deutlich zu übertreffen [1]. Der SiC-Bipolartransistor scheint besonders für den Einsatz im Antriebsstromrichter prädestiniert zu sein, da er von allen aktiven Bauelementen aus SiC den geringsten Widerstand im eingeschalteten Zustand (R_{ON}) und somit die geringsten Durchlassverluste aufweist [2]. Im Rahmen der Forschungsarbeiten am Lehrstuhl für Elektrische Maschinen und Antriebe wird die Ansteuerung von diskreten SiC-Bipolartransistoren im TO247-Gehäuse und deren Einsatz in Antriebsstromrichtern untersucht. Die Ergebnisse des Doppelpuls-Tests für einen schnell schaltenden Si-IGBT, einem SiC-Bipolartransistor (SiC-BJT) und einem SiC-MOSFET sind in Fig.1 dargestellt.

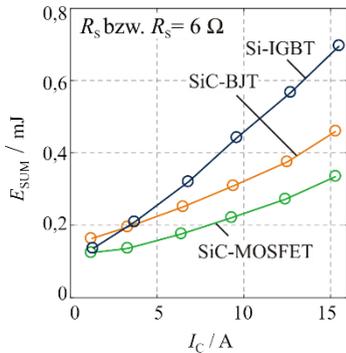


Fig.1:

Schaltverlustenergien bei einer Treiber-versorgungsspannung von +20 V/ -5V und einem Basis- bzw. Gate-Widerstand von 6 Ω

Switching loss energies at a driver supply voltage of +20 V/ -5V and basis / gate resistor of 6 Ω

Bei annähernd gleichen Randbedingungen in Bezug auf die Ansteuerung und den Messaufbau zeigt sich, dass der SiC-BJT hinsichtlich der Schaltverlustenergie hinter den SiC-MOSFET zurückfällt. Es hat sich jedoch gezeigt, dass diese Schaltverlustenergien in der Umrichter-Umgebung nicht erreicht werden können. Einerseits stellen die hohen Spannungsanstiege der SiC-Bauelemente, welche um die 25 kV/ μ s liegen, eine Gefahr für die Umrichter-Ansteuerung und den angeschlossenen Motor dar. Andererseits überschreiten die transienten Gate- bzw. Basisspannungen der für Fig.1 ausgewerteten Messungen die zulässigen Datenblattwerte. Für einen stabilen

Betrieb war daher der Einsatz einer reduzierten Treiberversorgungsspannung notwendig.

SiC-Transistors in Drive Power Converters

The power electronic components made of silicon carbide (SiC) have developed enormously over the last five years. Nevertheless, the overwhelming majority of the power electronics components still consists of silicon (Si). The Si-IGBT is the device of choice for most industrial drive power converters. Intensive research over the past 30 years has led to an outstanding IGBT and free-wheeling-diode technology. This also means that the improvements in device characteristics associated with each new IGBT generation are becoming ever smaller. Therefore, there is a great interest in devices made of semiconductor materials having large bandgaps such as SiC or gallium nitride (GaN). Due to their material properties, they have the potential to exceed Si-IGBTs in terms of their efficiency or the switching frequency significantly [1]. The SiC bipolar transistor seems to be particularly suitable for use in the drive power converters since it has the lowest resistance in the switched-on state (RON) of all active SiC-devices [2]. Especially SiC bipolar transistors in TO247 package and their use in drive power converters have been investigated at the the Chair for Elektrische Maschinen und Antriebe. The results of the double-pulse test for a fast switching Si-IGBT, a SiC bipolar transistor (SiC-BJT) and a SiC-MOSFET are shown in Fig.1.

The boundary conditions with regard to the control and the measurement setup were equal, approximately. In comparison to the switching loss energies of the SiC-MOSFET the SiC-BJT falls behind. However, experiments have shown that these switching loss energies cannot be achieved in converter environment. On the one hand, the high voltage rise at turn-off of SiC devices (approx. 25 kV/ μ s) represent a danger to the inverter control and the motor. On the other hand, the transient gate / basis voltages of the measurements evaluated for Fig. 1 exceed the maximum ratings. Therefore, the use of a reduced driver supply voltage was necessary for stable converter operation.

Literature

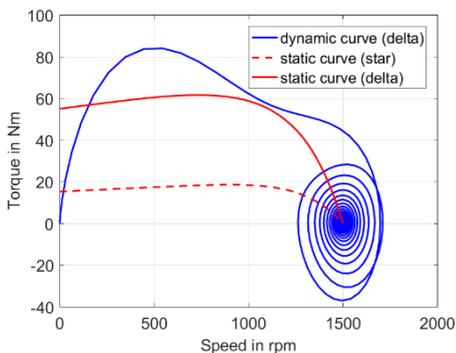
- [1] N. Oswald et al. An Experimental Investigation of the Tradeoff between Switching Losses and EMI Generation with Hard-Switched All-Si, Si-SiC, and All-SiC Device Combinations. In IEEE Transactions on Power Electronics, Volume 29, S. 2393–2407, May 2014.
- [2] C. DiMarino, et al. Characterization and Comparison of 1.2 kV SiC Power Semiconductor Devices. In 15th European Conference on Power Electronics and Applications, Sept 2013.

Untersuchung des stationären und dynamischen Betriebsverhaltens einer Kurzschlussläufer-Asynchronmaschine

Seit einiger Zeit finden auch Synchronreluktanzmotoren zunehmend Verbreitung, die die neue Effizienzklasse IE4 erfüllen. Aufgrund der unbedingten synchronen Betriebsweise können allerdings Synchronreluktanzmotoren bisher nur mit einem Frequenzumrichter betrieben werden. Damit Synchronreluktanzmotoren selbstständig am Netz anlaufen können, wird im Läufer ein Anlaufkäfig verbaut, analog zu Asynchronmotoren.

In der ersten Vorbereitungsphase des Forschungsvorhabens zum Thema „Netzbetriebsfähige selbstlaufende Synchronreluktanzmaschine“ wurde das Betriebsverhalten einer Kurzschlussläufer-Asynchronmaschine untersucht. Ziel dieser Arbeit ist es, die von Asynchronmaschinen erreichbaren Parameter als Orientierung für die künftige Entwicklung von netzanlaufähigen Synchronreluktanzmaschine zu verwenden.

Aus den gegebenen Bemessungswerten ($U_N = 400 \text{ V}$, $f_N = 50 \text{ Hz}$, $n_0 = 1500 \text{ min}^{-1}$) wurde eine 3 kW-Asynchronmaschine mit Ovalstab-Kurzschlussläufer entworfen. Dafür wurde der Entwurfs- und Berechnungsgang nach [1] durchgeführt. Nach der Geometrie-Aufbereitung aller berechneten Abmessungen wurde ein dafür ausgelegtes Maschinenmodell in ANSYS RMxprt aufgebaut, um seine Betriebseigenschaften zu ermitteln. Demzufolge konnte die Analyse des Anlaufverhaltens dieser Maschine mit MATLAB/Simulink durchgeführt werden. Im Folgenden sind die Daten der 3 kW-Asynchronmaschine und deren Analyseergebnis zusammengestellt.



P_N	3 kW
U_N	400 V (delta)
I_N	6.44 A
η_N	81 %
$\cos\varphi_N$	0.81
n_N	1420 min^{-1}
M_N	20.2 Nm
R_s	10.1059 Ω
R_r	6.48888 Ω
L_s	0.5841 H
L_r	0.5905 H
L_h	0.5689 H
J_N	0.00808 kgm^2

Fig.1: Dynamische und stationäre Hochlaufkurven. Dynamic and static torque-speed characteristic

Investigation of stationary and dynamic operating behavior of a squirrel-cage induction motor

Since approximately three years, the demand for synchronous reluctance motors which fulfill the new efficiency class IE4 has increased noticeably. Due to the absolute synchronous operation, synchronous reluctance motors can only be operated with a variable-frequency drive. In order to run synchronous reluctance motors directly on line, a squirrel-cage must be installed in the rotor, analogous to asynchronous motors.

In the first preparatory phase of the research project on the topic of "Direct-on-Line synchronous reluctance machine", the operating behavior of a squirrel-cage asynchronous machine was investigated. The aim of this report is to use the parameters that can be achieved by asynchronous machines orientation in the development of Direct-on-Line synchronous reluctance machines.

A 3 kW-asynchronous machine with a squirrel-cage (oval rotor bars) was designed from the given rated values ($U_N = 400 \text{ V}$, $f_N = 50 \text{ Hz}$, $n_0 = 1500 \text{ min}^{-1}$). For this, the design and calculation was carried out as shown in [1]. According to geometry preparation of all calculated dimensions, a machine model designed for this purpose was set up in ANSYS RMxprt, in order to determine its operational properties. Therefore, the analysis of the operating behavior of this machine was conducted with MATLAB/Simulink. In the following, the analysis result of the 3 kW-asynchronous machine with a squirrel-cage are presented.

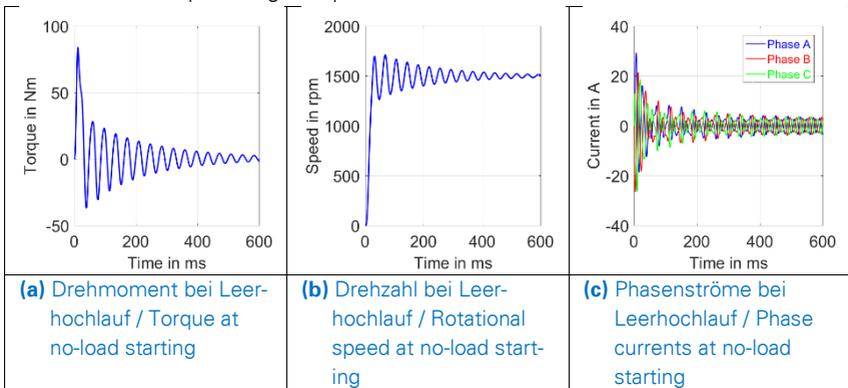


Fig. 2: Analyseergebnis der 3 kW-Asynchronmaschine mit Kurzschlussläufer / Analysis result of the 3 kW-asynchronous machine with a squirrel-cage

Literature

G. Müller, K. Vogt, B. Ponick: Berechnung elektrischer Maschinen, 6. Auflage, Wiley-VCH Verlag, Weinheim, 2008, s. 563-613.

Parameterstudie elektrischer Maschinen bezüglich erzielbarer Wirkungsgradgewinne bei Einsatz von Optimalsteuerverfahren

Elektrische Maschinen sind als Antriebsmotoren in vielen Einsatzbereichen beliebt. Neben guten Betriebseigenschaften erreichen sie hohe Wirkungsgrade und decken weite Drehzahl- und Drehmomentbereiche ab. Im Teillastbereich allerdings sinkt der Wirkungsgrad elektrischer Maschinen meist stark ab, sodass Motoren mit variablen Lastprofilen (z. B. Servomotoren) Einbußen in der Energieeffizienz erleiden.

Optimalsteuerverfahren versuchen, die Freiheitsgrade in der Regelung der Maschine dahingehend auszunutzen, dass bei einem gegebenen mechanischen Arbeitspunkt des Motors die geringsten Verluste entstehen. Die Verfahren können in modellbasierte Verfahren, Suchstrategien und hybride Verfahren unterteilt werden [1].

Für die Parameterstudie wurde zunächst in MATLAB/Simulink ein Modell einer Asynchronmaschine mit Regelung und überlagerter Optimalsteuerung erstellt. Am Modell können verschiedene Optimalsteuerverfahren implementiert und getestet werden.

Erste Ergebnisse sind in Fig. 1 dargestellt und zeigen den Anstieg im Wirkungsgrad beim Einsatz einer einfachen Optimalsteuerung für zwei Asynchronmotoren mit Bemessungsleistungen von 0,75 kW und 90 kW. Es ist zu erkennen, dass gerade kleine Maschinen vom Einsatz einer Optimalsteuerung profitieren. Fig. 2 zeigt zudem, dass der Teillastbereich ein größeres Optimierungspotential bietet.

Das angestrebte Hauptziel der Studie ist, die Optimalsteuerverfahren auf Abhängigkeiten von charakteristischen Maschinenparametern zu untersuchen, um ggf. Motoren bereits beim Entwurf auf bestimmte Steuerverfahren hin zu optimieren. Ein weiterer Gesichtspunkt ist die Auswirkung von Parameterunsicherheiten auf die Effektivität der Optimalsteuerstrategien und wie diese am besten kompensiert werden können. Der Fokus der Untersuchungen liegt auf Asynchronmaschinen, permanenterregten Synchronmaschinen und synchronen Reluktanzmaschinen.

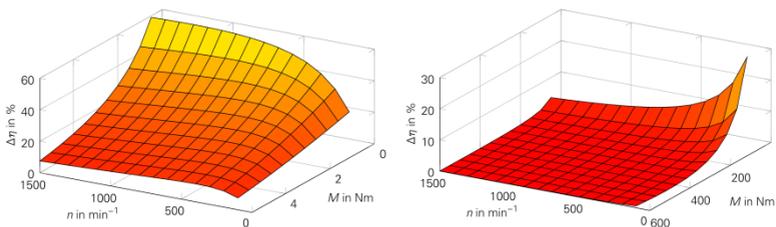


Fig. 1: Wirkungsgradsteigerung durch Optimalsteuerung bei Motoren unterschiedlicher Bemessungsleistung (links: 0,75 kW, rechts: 90 kW)

Efficiency gain achieved with optimal control for motors with different rated power (left: 0.75 kW, right: 90 kW)

Parameter study of electrical machines regarding possible efficiency gains when employing optimal control strategies

Electrical machines are popular drive motors in many application fields. They combine good operating behavior with high efficiency and are able to cover wide speed and torque range. However, when operating with partial load, efficiency generally declines significantly, with the result that motors with variable load profiles (e. g. servo motors) suffer in regards of efficiency.

Optimal control strategies try to exploit the degrees of freedom, which are inherent in the control system, so that a given mechanical operating point can be reached with minimum losses in the machine. The strategies can be distinguished in three groups: model-based control strategies, search control strategies and hybrid strategies [1].

For the parameter study the model of an induction machine together with control and overlaid optimal control strategy was developed in MATLAB/Simulink. This model can be used to implement and test different optimal control strategies.

Fig. 1 shows the efficiency gains for two different induction motors with rated powers of 0.75 kW and 90 kW respectively. Both machines were simulated with a simple optimal control technique. It can be observed that optimal control benefits especially small motors. Fig. 2 shows that the partial load area offers especially high potential for efficiency optimization.

The main objective of the parameter study is the analysis of optimal control strategies regarding dependency on characteristic machine parameters. The results can then be used to optimize machines as early as the design process to achieve minimum losses with the optimal control strategy. Another aspect is the influence of parameter uncertainties on the effectivity of optimal control strategies and how these could be compensated. The focus in this study lies on induction machines, permanent magnet synchronous machines and synchronous reluctance machines.

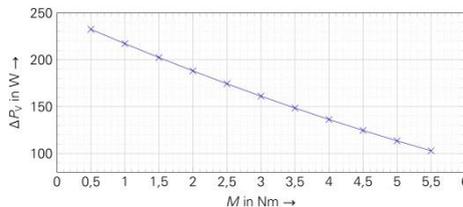


Fig. 2: Verlustreduzierung der 0,75 kW-Maschine abhängig vom Lastmoment
Loss reduction of the 0.75 kW machine dependent on load torque

Literature

Bazzi, A. M.; Krein, R. T.: Review of Methods for Real-Time Loss Minimization in Induction Machines. In: *IEEE Transactions on Industry Applications* 46.6. November 2010, S. 2319-2328. DOI: 10.1109/TIA.2010.2070475.

Simulation der Regelung hochdynamischer periodischer Drehmomentverläufe einer permanentmagneterregten Synchronmaschine

Die Automobilindustrie nutzt für die Tests der Schalt- und Automatik-Getriebe elektrische Maschinen. Eine der Maschinen bildet die Drehzahl der Antriebswelle nach. Auf der Verbrennungsmotorseite des Getriebes ist eine E-Maschine angeschlossen, die den Drehmomentverlauf (jeden Zündimpuls) des Verbrennungsmotors simuliert. Dort müssen hochdynamische periodische Drehmomente (siehe Fig. 1 links) realisiert werden. In einem ersten Schritt werden dazu Regelungsverfahren untersucht und darauf folgend wird betrachtet, welchen Einfluss die Drehmomentverläufe auf die Maschinen haben. Als Basis wird die Feldorientierte Regelung eingesetzt. Im Bereich der Aktiven Netzfilter werden Vektordreher in dq-Koordinaten zum Regeln der Grundschwingung und für das Einprägen von Harmonischen im Strom genutzt. Dieses Prinzip wird jetzt auf die Drehmomentregelung der E-Maschine angewendet. Das Soll Drehmoment wird in einen Sollstrom umgerechnet. Unter Nutzung der FFT des Stromes kann gezeigt werden, dass unter Berücksichtigung der Grundwelle, sowie der 2., 3., und 4. Harmonischen der Strom sehr gut (Abweichung zum Original kleiner 1 %) nachgebildet werden kann. Entsprechend werden zusätzlich zum Regler für die Grundschwingung noch Regler für die 2., 3. und 4. Harmonische eingesetzt.

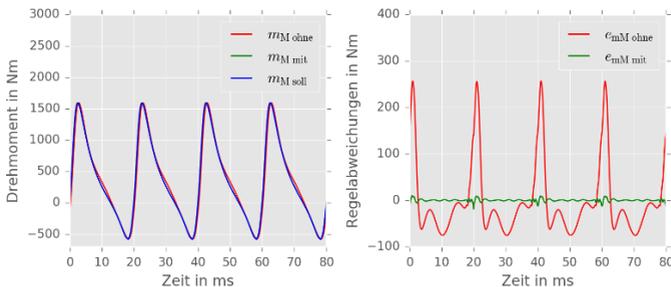


Fig. 1: Simulationsergebnisse zur Drehmomentregelung: Soll- und Ist-Werte (links) und Regelabweichung (rechts), jeweils mit und ohne zusätzliche Regler für die Strom-Harmonischen

In Fig. 1 links scheint es, dass sich auch ohne Regler für die Strom-Harmonischen (rot) eine recht gute Annäherung von Soll- und Ist-Wert für das Drehmoment ergibt. Die Regelabweichung (Fig. 1 rechts) zeigt aber deutlich, dass sich eine Abweichung von bis zu 250 Nm und damit 15 % des maximalen Sollwertes ergeben. Durch den Einsatz der zusätzlichen Regler lässt sich die Abweichung auf unter 1 % (10 Nm) reduzieren. Die Untersuchungen erfolgen in Kooperation mit der M&P GmbH (M&P Motion Control and Power Electronics GmbH).

Simulation of control of high dynamic periodic torque curve of a permanent magnet synchronous machine

Automotive industry uses for tests of vehicle transmissions electrical machines. One emulates the drive shaft speed. On the other side of the gearbox an electrical machine emulates the torque curve (every ignition pulse) of the combustion engine. There has to be realised high dynamic periodic torque (compare Fig. 1 left). First of all control algorithms and afterwards the influence of the torque curve to the machine will be analysed.

As basis is used field oriented control. In the area of active harmonic filters the coordinate transformation in dq-coordinates is used for the fundamental oscillation and harmonics. This principle is used for the torque control of the machine. The set point current is calculated from set point torque. Using the FFT of the current it could be shown that it is enough to take the fundamental current, the 2nd, 3rd and 4th harmonic into account to reproduce the current with small error (less than 1 %). According to these analyses additional controllers are used for the 2nd, 3rd and 4th harmonics.

In Fig. 1 on the left side it's apparent that even without controllers for the harmonics (red) it's possible to get a good result. However the right side of Fig. 1 shows that there is a big error of up to 250 Nm (15 % of the maximum value). By using the regulators for the harmonics it is possible to reduce the error to less than 1 % (10 Nm).

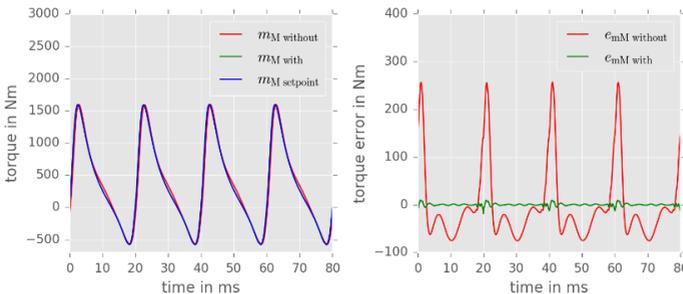


Fig. 2: Simulation results of torque control: setpoint and control results (left) and torque error (right), in each case without and with additional controllers for the harmonics

The investigations were done in cooperation with M&P GmbH (M&P Motion Control and Power Electronics GmbH).

Dipl.-Ing. Martin Eckart

Energetische Modellierung eines windenergiegespeisten Wärmespeicher-Systems

Windenergieanlagen sind volatile Energiewandler, ihre Leistung ist abhängig von den meteorologischen Bedingungen am Anlagenstandort. Der Energiebedarf in Privathaushalten folgt hingegen wiederkehrenden tages- und jahreszeitlichen Schemen. Damit die regenerativ gewonnene Energie zu 100 % genutzt werden kann, sind zwei wesentliche Problemstellungen zu lösen: die Erhöhung der zeitlichen Korrelation von Energiebedarf und Energiebereitstellung und die Zwischenspeicherung temporär überschüssiger Energiemengen. Lösungsansatz und Kern des Forschungsprojektes ist die Nutzung und Speicherung der Windenergie für Wärmeanwendungen im Bilanzkreis eines Gebäudes. Maßgeblicher Vorteil gegenüber solaren Energiequellen ist die deutlich bessere saisonale Deckung von Windenergieangebot und Wärmebedarf. Für den Gesamtwärmebedarf erscheinen damit Deckungsgrade bis $g_D = 70\%$ realisierbar. Solarthermieanlagen erreichen lediglich eine 20 prozentige Energiebedarfsdeckung. [1, 2]

Power to Heat (P2H) Systeme ermöglichen die dezentrale Energiespeicherung im Endverbrauchermaßstab. Kleinwindenergieanlagen (KWEA) als Energiequelle und ökologische, thermische Speicher steigern die Nachhaltigkeit des regenerativen Energiesystems gegenüber derzeit üblichen batterieelektrischen Speichersystemen. Der vermeintliche Verlust an Exergie ist als nachrangig zu betrachten. Maßgeblich im Sinne der regenerativen Energieversorgung ist letztlich die Deckung des Gesamtenergiebedarfs. Im Wärmesektor liegt diese in Deutschland erst bei 13,3 % im Vergleich zum Energiesektor mit 31,5 % regenerativer Deckung. [3] Die direktelektrische Speicherbeladung mit Heizelementen ist zudem mit vergleichsweise einfachen Leistungsreglern kostengünstig realisierbar. Niedrige Energiegestehungskosten machen das System auch wirtschaftlich konkurrenzfähig zu konventionellen Heizungssystemen und runden diesen Beitrag zur dezentralen Wärmewende ab.

Im Forschungsprojekt wird das Wind-Wärmespeicher-System (W²S) (Fig.1) an der Hochschule für Technik und Wirtschaft Dresden (HTW Dresden) energetisch modelliert und dessen Wirksamkeit nachgewiesen. In Zusammenarbeit mit Industriepartnern erfolgt die Konzeption ausgewählter Komponenten wie beispielsweise des Leistungsreglers. Im Ergebnis entstehen ein Berechnungsmodell und Dimensionierungsrichtlinien für Wind-Wärmespeicher-Systeme zur Nutzung in Neu- und Bestandsanlagen für private und gewerbliche Verbraucher.

Gefördert vom

STAATSMINISTERIUM
FÜR WISSENSCHAFT
UND KUNST



Energetic modeling of a wind energy powered heat storage system

Wind turbines are volatile energy converters, their performance depends on the meteorological conditions at the plant site. The energy demand in private households, however, follows recurring daily and seasonal schemes. In order to be able to use 100% of the regenerative energy, the temporal correlation between energy demand and energy supply has to be increased and excess energy has to be stored. The goal of the research project is the use and storage of wind energy for heat applications in buildings. With significantly better seasonal coverage of wind energy supply and heat demand, coverages up to $g_D = 70\%$ are expected for overall heat demand. Solar thermal systems only achieve approx. 20% energy demand coverage. Power to heat (P2H) systems enable decentralized energy storage at the end-user scale. Small wind turbines (CHP) as an energy source and ecological heat storage increase the sustainability of the regenerative energy system compared to battery-electric storage systems.

The Wind Heat Storage System (W²S) (Fig.1) is being developed at the University of Applied Sciences Dresden (HTW Dresden). The system is energetically modeled and its effectiveness demonstrated. In cooperation with industrial partners, the conception of selected components, such as the power controller, takes place. The result is a calculation model and dimensioning guidelines for wind heat storage systems for private and commercial consumers.

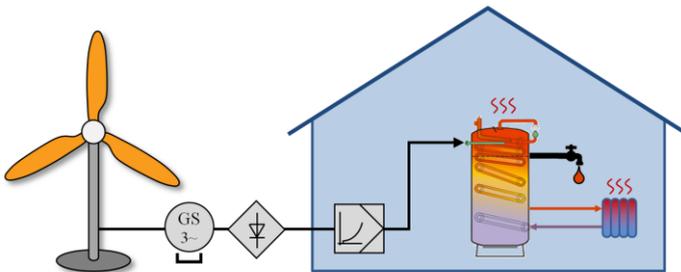


Fig.1: Strukturbild des Wind-Wärmespeicher-Systems
Structure of the wind-heat-storage-system

Literature

- [1] Marktübersicht zu Solarthermie Paketen; Sonne Wind und Wärme; 03/2011
- [2] H.-M. Henning und A. Palzer, 100 % Erneuerbare Energien für Strom und Wärme in Deutschland, Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE, Freiburg, 2012
- [3] Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi), Erneuerbare Energien in Zahlen, Berlin, 2015

Analytische Näherungslösung für das Anlaufverhalten von Line-Start Permanent Magnet Motoren

Line-Start Permanent Magnet-Motoren sind permanenterregte Synchronmotoren, die zusätzlich zu den Dauermagneten über einen Kurzschlusskäfig für den selbstständigen Netzhochlauf verfügen, siehe Fig. 1. Während des Hochlaufs entstehen hohe transiente Momente und Ströme, die mit einer analytischen Berechnungsformel dargestellt werden sollen. Als Basis der analytischen Betrachtung dienen die Spannungs- und Flussverkettungsgleichungen der Asynchronmaschine im statorfesten Koordinatensystem. Die analytische Lösung des differentialen Gleichungssystems wurde durch den Vergleich mit einer numerischen Lösung verifiziert.

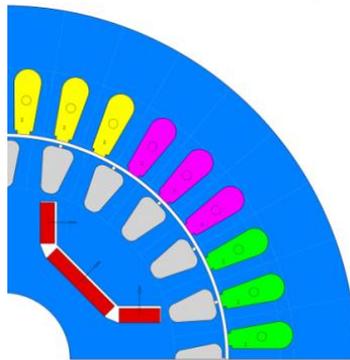


Fig. 1: Darstellung LSPSM mit Kurzschlusskäfig und Dauermagneten
Cross-section with squirrel-cage and permanent magnets

Fig. 2 zeigt den Abgleich des analytisch berechneten Drehmomentes in blau mit dem numerisch simulierten Verlauf in rot. Vor allem bei kleinen Drehzahlen zeigt sich eine gute Übereinstimmung der Ergebnisse. So konnte im Verlauf der Forschungsarbeit gezeigt werden, dass während des Hochlaufens die maximalen transienten Werte von Moment und Strom bei blockiertem Läufer auftreten, dies wurde durch einen Vergleich mit Messwerten von einer Versuchsmaschine bestätigt. Die Forschungsarbeit lieferte zudem eine Näherungsformel für das Spitzenmoment während des Hochlaufs

$$\hat{M} = M_A \left(1 + \frac{1}{\cos \varphi_A} \right) + \frac{3}{2} p \cdot \frac{\hat{U} \cdot \hat{\psi}_{PM}}{R_S}$$

M_A ist das stationäre Anlaufmoment und $\cos \varphi_A$ der Leistungsfaktor bei blockiertem Läufer des asynchronen Teils der Maschine. \hat{U} ist der Strangspannungsscheitelwert, $\hat{\psi}_{PM}$ der Scheitelwert des Permanent-Magnetflusses und R_S der Wicklungswiderstand der Maschine.

Analytical Approach and Solution for start-up behavior of Line-Start - Permanent Magnet Synchronous Machines

Line-Start permanent magnet motors are permanent-magnet synchronous motors with a squirrel cage (see Fig. 1) to have the feasibility of direct on line start-up. The analytical derivation is started with the voltage and flux linkage equations of asynchronous machine and an additional summand for the permanent flux is added to the flux linkages of the stator and rotor. After deriving the analytical solution for the differential-algebraic system of equations, it was verified by comparison with a numeric solution, see Fig. 2. It shows that the analytical solution (blue line) fits very well with the numeric solution (red line).

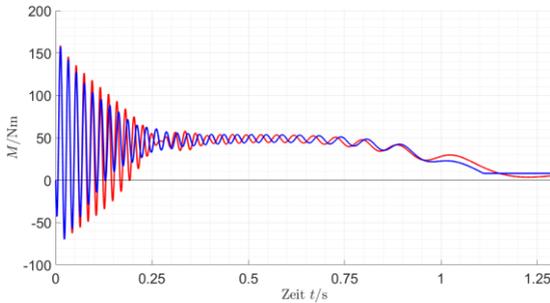


Fig. 2: Vergleich der Rechenergebnisse; blau: analytisch, rot: numerisch
Comparison of results; blue: analytical, red: numerical

It has been shown that maximum transient peak values of torque and current occur when the rotor is locked and that the time dependent characteristic of torque and current can be reproduced by using quasi-stationary approximation. The research also provided an approach for the peak torque during start-up:

$$\hat{M} = M_A + \left(1 + \frac{1}{\cos \varphi_A}\right) + \frac{3}{2} p \cdot \frac{\hat{U} \cdot \hat{\psi}_{PM}}{R_S}$$

Where M_A is the static cage torque, and $\cos \varphi_A$ the power factor at locked rotor operation. \hat{U} is the peak value of phase voltage, $\hat{\psi}_{PM}$ is the peak value of permanent flux and R_S the stator winding resistance.

Kommutierungsverfahren für den AC-Chopper als Vertreter direkter Stromrichter mit bidirektionalen Leistungsschaltern

Der direkte Matrixumrichter (DMC) liefert analog zum Spannungszwischenkreisumrichter einen sinusförmigen Ausgangsstrom einstellbarer Frequenz und Amplitude sowie sinusförmige Eingangsströme mit verstellbarem Leistungsfaktor. Ein Nachteil des Matrixumrichters ist der begrenzte Spannungsübertragungsfaktor kleiner eins, welcher den Umrichter für das Durchfahren von Netzfehlern unbrauchbar macht. In [1] wurde eine erweiterte Topologie des DMCs vorgeschlagen, in der ein AC-Chopper zwischen den Drosseln und Kondensatoren des Netzfilters ergänzt wurde (Fig. 1).

Für den AC-Chopper als Vertreter der direkten Stromrichter wurde ein Einschnittkommutierungsverfahren entwickelt, dessen Schalthandlungen auf Grundlage von UCE-Messsignalen ermittelt werden. An jedem Leistungshalbleiter (in diesem Fall IGBTs) des Stromrichters ist eine UCE-Messschaltung angebracht, welche ein Signal ausgibt, wenn die antiparallele Diode einen Strom führt. Mit den gemessenen Leitzuständen der Leistungsdioden und den bekannten Schaltzuständen der IGBTs können Pfad und Vorzeichen des Stromes durch den AC-Chopper bestimmt werden. Diese Informationen reichen aus, um eine sichere Einschnittkommutierung zu realisieren. Das entwickelte Kommutierungsverfahren wurde experimentell erprobt, wie in den Ergebnissen in Fig. 2 eingesehen werden kann. Es sind jedoch Verzerrungen des Netzstromes beim Nulldurchgang zu erkennen. Diese sind darauf zurückzuführen, dass das Kommutierungsverfahren durch die UCE-Messung direkt vom Schaltverhalten der IGBTs abhängig ist. Bei kleinen Strömen nahe null ist der Ausschaltvorgang der am Versuchsstand genutzten IGBTs erst nach bis zu $5 \mu\text{s}$ beendet. Bei kleinem Modulationsgrad macht sich diese Verzögerung besonders stark bemerkbar in der Stromqualität.

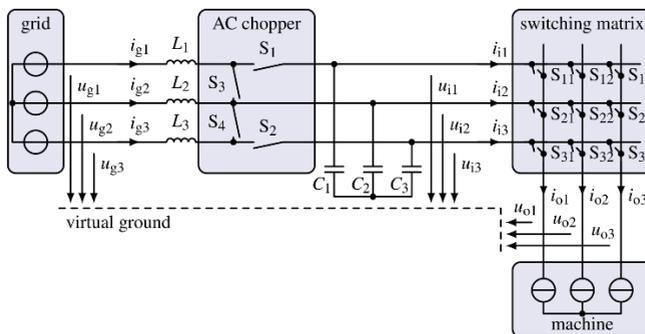


Fig. 1: Direkter Matrixumrichter mit eingangsseitigem AC Chopper
Direct matrix converter with input side AC chopper

Commutation approach for the AC chopper as representative of direct converters with bidirectional power switches

Similar to the voltage source converter (VSC) the direct matrix converter (DMC) delivers sinusoidal output currents with adjustable frequency and amplitude as well as sinusoidal input currents with controllable power factor. A drawback is the restricted voltage transfer ratio less than one. Consequently, the DMC cannot be utilized for riding through grid faults. An extended topology of the DMC was proposed in [1]. An AC chopper is added between the chokes and capacitors of the grid filter (Fig. 1).

A one-step commutation approach was developed for the AC chopper as representative of direct converters. The switching sequence is deduced from the signals of UCE-measurement circuits. At every power semiconductor (IGBTs are utilized) of the converter one measurement circuit is attached, which gives an output signal if the anti-parallel diode is conducting a current. With the conduction state of the power diodes and the known switching states of the IGBTs, conducting path and sign of the current through the AC chopper can be determined. This information is enough for realizing the one-step commutation. The developed commutation approach was proven experimentally as can be seen in the results in Fig. 2. However, distortions of the grid current are identifiable. These have to be ascribed to the dependence of the commutation approach from the switching behavior of the IGBTs. At low current values near zero the turn off process can last up to $5 \mu\text{s}$ with the IGBTs utilized at the test bench. Specially at low duty cycles the delay is noticeable in the current quality.

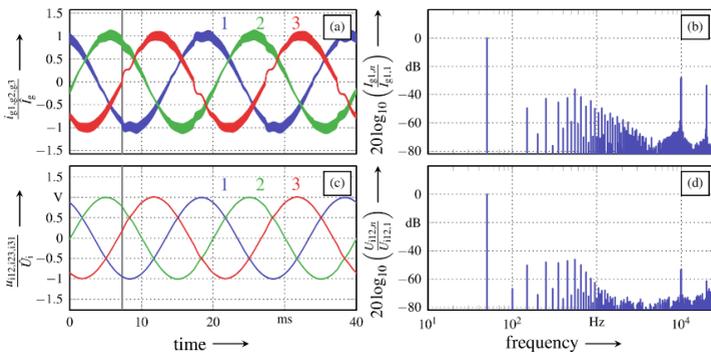


Fig. 2: Messergebnisse des Einschrittkommutierungsverfahrens für den AC-Chopper. Experimental results of the one-step commutation approach for the AC chopper

Literature

Itoh, J.-I.; Koiwa, K. & Kato, K. Input current stabilization control of a matrix converter with boost-up functionality Proc. Int. Power Electronics Conf. (IPEC), 2010, 2708-2714

5 AUSSTATTUNG DES LEHRSTUHLS

Neben Arbeitsräumen für Diplomanden, Studienarbeiter, Gastwissenschaftler, IAESTE-Studenten, die mit moderner Büro- und Rechentechnik ausgestattet sind, verfügt der Lehrstuhl über eine Vielzahl von Versuchsständen für Forschung und Lehre.

- Lichthof (354 qm)
- 7 Forschungslabore (400 qm)
- 3 Labore für Praktika (112 qm)
- 1 PC-Pool (14+1 Rechner)



Lichthof des Instituts



Übergabe Versuchsstand „Elektromobilität“



Schaltschrankbatterie „Elektromobilität“

5.1 Versuchsstände für die Forschung

a) Prüfstand Elektrische Maschinen und Antriebe

Auf der größten Versuchsanlage des Lehrstuhls (Baujahr 2015) können Elektromotoren und zugehörige Leistungselektronik im Leistungsbereich bis 200 kW unter realitätsnahen Bedingungen optimiert, analysiert und validiert werden. Die Konzeption unterstützt insbesondere Forschungs- und Entwicklungsaufgaben auf den Gebieten der Elektromobilität sowie der Energieeffizienz stationärer und mobiler Antriebe. Die Prüfanlage ist mit rückspeisefähigen Netzstromrichtern auf der Belastungs- und Prüfungsseite ausgerüstet, so dass ein drehzahl- oder drehmoment geregelter Betrieb des Maschinensatzes in allen vier Quadranten möglich ist. Gegenwärtig sind eine hochtourige Belastungseinheit (106 Nm @ 13.500 min⁻¹) und eine niedertourige Belastungseinheit (1010 Nm @ 1.750 min⁻¹) zur Aufnahme der mechanischen Leistungen der Prüfingsmotoren verfügbar. Eine Besonderheit ist die Bereitstellung einer variablen Zwischenkreisspannung für die Maschinenstromrichter auf der Prüfungsseite (10...800 VDC, ± 600 ADC). Damit ist die Anpassung an verschiedene Gleichspan-

nungsebenen für EV/HEV-Antriebe und stationäre Industrieantriebe ausführbar. Zur Untersuchung neuer stromrichterlicher Steuer- und Regelalgorithmen ist zusätzlich ein Experimentierstromrichter in Kombination mit einem universellen Mikrorechner-system als Rapid Control Prototyping System der Fa. dSpace installiert.

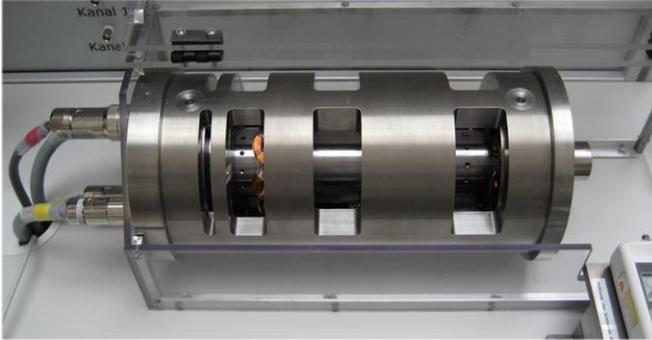
Die Mess- und Automatisierungstechnik der Prüfanlage ist vor allem auf die lückenlose Erfassung von Leistungen, Effizienz- und Wirkungsgrade von der elektrischen Einspeisung bis zur Motorwelle im stationären bzw. dynamischen Betrieb des Antriebsstrangs ausgerichtet. Wesentliche Elemente der Messtechnik sind Leistungsmessgeräte WT 3000 und WT 1800 (Fa. Yokogawa) zur Messung von gepulsten Spannungen und überschwingungsbehafteten Strömen sowie Messflansche T12 (Fa. HBM) zur Drehzahl- und Drehmomentmessung. Die Messmittel besitzen die notwendige Messgenauigkeit, um auch im Teillastbereich auf der Grundlage von Differenzmessungen Aussagen zur Effizienz einer untersuchten Komponente zu treffen. Alle Vorgaben zur Messgenauigkeit bei der Bestimmung von Verlusten und Wirkungsgraden elektrischer Maschinen nach der Norm DIN EN 60034-2 werden eingehalten.

b) Weitere Versuchsstände

- Labor Energiesystemtechnik mit Netznachbildung, Filtertechnik und Modellanlage für Windenergie und zur Untersuchung von Netzurückwirkungen
- Druck-Volumenstrom-Messeinrichtung zur experimentellen Bestimmung thermischer und strömungstechnischer Eigenschaften elektrischer Maschinen
- Optimale Bewegungssteuerung mit Rotations- und Linearantrieben
- Matrixrichter, Z-Source-Inverter
- Rechnergestützte Bewegungssteuerung: automatisierter Entwurf des Programm-kodes für Steuergeräte
- Messeinrichtungen zur Feld- und Wirbelstromverteilung
- Aktive Magnetlager
- Schleifringprüfstand



- Arbeitsplatz FEM-Modell der Vollpolmaschine
- Magnetlagerversuchsstand für die Lehre
- Hochgeschwindigkeitsmagnetlager für Forschung,



- Versuchsstand zur Messung des Wärmewiderstands von Wälzlagern
- Versuchsstand zur Messung der Verluste im quergekühlten Statorblechpaket
- Motorenprüfstand für Luftkühlung



5.2 Versuchsstände für die Lehre

- Schrittmotoren, geschalteter Reluktanzmotor
- Binäre Steuerungen in der elektrischen Antriebstechnik
- Antriebsregelung, Buskommunikation, technologisch verkettete Antriebe am Netz (4 stromrichter gespeiste Antriebssätze Gleichstrommotor - Drehstrommotor (je 10 kW))
- Praktikum „Analyse des Betriebsverhaltens und Messung des Leistungsflusses im Antriebsstrang von Elektrofahrzeugen“ am Versuchsstand Elektromobilität - Förderung im Rahmen der akademischen Bildungsinitiative im Schaufenster Elektromobilität
- Drehstromtransformator
- Feldorientierte Regelung (sensorloser Betrieb)
- Stoßkurzschluss bei Synchronmaschinen
- Gleichstrom- und Drehstromstellantriebe

- Bewegungssteuerung, graphische Programmierung, Echtzeitcodegenerierung, Profibus (3 Drehstromstellantriebe)
- Weitere Versuchsstände zur Vertiefungsausbildung elektrische Maschinen und Antriebe in den Studiengängen Elektroenergietechnik und Mechatronik

5.3 Sonderausstattungen

- Separate Netzeinspeisung 0...400V über Stelltransformator, 100A
- Zwei Umformersätze 3x400V, 190kVA (bis 400Hz) und 120 kVA (50Hz / 60Hz)
- Schwerlastversuchsfläche mit Zufahrt und Hallenkran (3t)
- Pendelmaschinen zur Motorenprüfung
- Hochwertige Speicheroszilloskope (Bandbreite 600 MHz), Drehmomentmesswellen (2Nm ... 200Nm), Power-Analyzer, Echtzeitrechensysteme (Fa. dSpace)

6 PERSONELLE BESETZUNG

Lehrstuhlinhaber

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Wilfried Hofmann

Emeriti:

Prof. (i.R.) Dr.-Ing. habil. Peter Büchner

Prof. (i.R.) Dr.-Ing. Manfred Liese

Prof. (i.R.) Dr.-Ing. habil. Germar Müller

Sekretariat

Peggy Martin

Wissenschaftliche Mitarbeiter

Priv.-Doz. Dr.-Ing. habil. Gert-Helge Geitner

Priv.-Doz. Dr.-Ing. habil. Volkmar Müller

Dr.-Ing. Nicol Hildebrand

M. Sc. Arturo Arias

Dipl.-Ing. Falk Bahr

Dipl.-Ing. Henry Barth

Dipl.-Ing. Arne Brix

Dipl.-Ing. Jan Döring

Dipl.-Ing. Chris Evers

Dipl.-Ing. Stephan Günther

Dipl.-Ing. Robin Liebfried

Dipl.-Ing. Martin Leubner

Dipl.-Ing. Stephan Michel

M. Sc. Tobias Micklitz

M. Sc. E.E. Chi Dung Nguyen

Dipl.-Ing. Nico Remus

Dipl.-Ing. Robert Seifert

Dipl.-Ing. Gunar Steinborn

M. Sc. Rahmat Suryana

Dipl.-Ing. Thomas Tannert

Dipl.-Ing. Kyoungseok Woo

M.Sc. Shaohui Yuan

Dipl.-Ing. Yuanpeng Zhang

Freie Mitarbeiter

Prof. (i.R.) Dr.-Ing. Heinz-Dieter Eberhardt

Fachpersonal

Sylvia Schad

Dipl.-Ing. Axel Rusch

Doktoranden

Dipl.-Ing. (FH) Martin Eckart

Dipl.-Ing. (FH) Philipp Miska

Dipl.-Ing. Ludwig Schlegel

Dipl.-Ing. Stephan Tenner
Dipl.-Ing. Thomas Windisch
M. Eng. Stefan Staudt
M. Sc. Sven Bosch
M. Sc. Sören Miersch
M. Sc. Johann Pecho

Studentische Hilfskräfte:

Toka Paulin Awassi
Felix Eichler
Simon Schneider
Maximilian Leonhardt
Hujun Peng

7 ANSCHRIFT

Postanschrift:

Technische Universität Dresden
Fakultät Elektrotechnik und Informationstechnik
Elektrotechnisches Institut
01062 Dresden

Sitz:

Helmholtzstr. 9
Görgesbau, Raum 206/207
01069 Dresden

Telefon, Fax, E-Mail:

Lehrstuhlinhaber: 0351-463-37634
wilfried.hofmann@tu-dresden.de
Sekretariat: 0351-463-33223
peggy.martin@tu-dresden.de
Fax: 0351-463-33655

Website: <http://ema.et.tu-dresden.de>

8 IMPRESSUM

Anbieter:

Lehrstuhl Elektrische Maschinen und Antriebe
Fakultät Elektrotechnik und Informationstechnik
Elektrotechnisches Institut
01062 Dresden

Kontakt:

Telefon: 0351-463-33186
Telefax: 0351-463-33655
e-Mail: sylvia.schad@tu-dresden.de

Verantwortlich:

Redaktion: Priv.-Doz. Dr.-Ing. habil. G.-H. Geitner
Gestaltung und Betreuung: Sylvia Schad

