



**TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DRESDEN**

Elektrotechnisches Institut

Prof. Dr.-Ing. W. Hofmann

**JAHRESBERICHT
ANNUAL REPORT**

2018



Lehrstuhl Elektrische Maschinen und Antriebe

Inhalt

1.	Vorwort.....	5
2.	Lehraufgaben	7
2.1	Lehraufgaben für Fakultät.....	7
2.2	Lehraufgaben für andere Fakultäten.....	12
2.3	Abgeschlossene Diplom- und Studienarbeiten.....	13
2.4	Exkursionen	14
2.5	Preise	14
3.	Öffentlichkeitsarbeit.....	15
3.1	Veröffentlichungen	15
3.2	Vorträge und Berichte	16
3.3	Kooperation	23
4.	Forschung	25
4.1	Forschungsprofil – Schwerpunkt Energieforschung..	25
4.2	Forschungsprojekte.....	25
4.3	Dissertationen	27
4.4	Ausgewählte Forschungsergebnisse in Kurzform	30
5.	Ausstattung des Lehrstuhls.....	53
5.1	Prüfstand Elektrische Maschinen und Antriebe.....	53
5.2	Weitere Versuchsstände für die Forschung.....	54
5.3	Versuchsstände für die Lehre	56
5.4	Sonderausstattungen.....	56
6.	Personelle Besetzung.....	57
7.	Anschrift.....	59
8.	Impressum.....	61
9.	Lageplan.....	63

1. VORWORT

Liebe Kollegen, Mitarbeiter und Freunde,

mit diesem Jahresrückblick wollen wir Sie wieder über die Ergebnisse unserer Arbeit informieren.

Die seit 2 Jahren erneut sinkenden Studentenzahlen in den Studiengängen Elektrotechnik, Mechatronik und Regenerative Energiesysteme haben zu einer leichten Entspannung bei der hohen Lehrbelastung geführt, werden aber bei der Gewinnung von Diplomanden in Zukunft nicht ohne nachteilige Folgen bleiben. Erschwert wird dadurch die Gewinnung des eigenen wissenschaftlichen Nachwuchses, da die Konkurrenz aus der Wirtschaft zunehmen wird. Eine wissenschaftlich positive Bilanz des

Jahres kann aufgrund von 2 erfolgreich verteidigten Dissertationen und dem Abschluss von drei langjährigen Forschungsprojekten gezogen werden. Zunächst konnte ein langjähriges DFG-Projekt zum Thema SiC-Bipolartransistoren und deren Anwendung in Motor-Wechselrichtern mit sehr positivem Gutachtervotum abgerechnet werden. Die Dissertation wird im Jahr 2019 folgen. Ein weiteres DFG-Projekt zu Mikrobürstenfeuern in Schleifringssystemen wurde zum Abschluss gebracht, obwohl noch wissenschaftliche Fragestellungen offen geblieben sind. Die bereits langjährige sehr gute Zusammenarbeit mit der Forschungsvereinigung Antriebstechnik (FVA) hat sich auch im zurückliegenden Jahr bewährt. Die Thematik zu Auswahlssystematiken für energieeffiziente Antriebe konnte Ende des Jahres mit dem letzten der 4 Folgeprojekte zu Mehrmotorenantrieben mit Einsatz von Energiespeichern abgeschlossen werden. Auch hier konnte der projektbegleitende Ausschuss bestehend aus Industrievertretern ein sehr positives Resümee ziehen. Der Lehrstuhl hat sich um die Bearbeitung weiterer zukunftssträchtiger Themen bei der FVA beworben, um eine engere Brücke zwischen Wissenschaft und Industrie zu schlagen. Weitergeführt werden insgesamt 5 DFG-Projekte und 2 weitere sollen in Fortsetzung beantragt werden. Ferner wird fortgesetzt ein BMBF-Verbundprojekt zum autonomen Fahren (KLEE). Im Fokus der Grundlagenforschung stehen Projekte mit Instituten des Maschinenwesens wie zum hochausgenutzten Synchronreluktanzmotor sowie zur Prädiktiven Energieeffizienten Logistik und mit Instituten der Elektrotechnik zu hochsteifen Magnetlagern und zur Regelung fraktionaler Systeme. Zahlreiche Drittmittelprojekte aus der Wirtschaft wurden beendet bzw. fortgesetzt.



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 und der FVA, sei an dieser Stelle herzlich gedankt.

Ihr



Wilfried Hofmann

2. LEHRAUFGABEN

2.1 Lehraufgaben für Fakultät

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; Vollpoläufer-Synchronmaschinen; Schenkelpolläufer-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 Elektroenergie-technik (EET), Regenerative Energiesysteme (RES)

Einführung in das Theoriengebäude; 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 (2/1/1), SS

Wahlpflichtfach Elektroenergie-technik (EET), Regenerative Energiesysteme (RES)

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

Prof. Dr.-Ing. W. Hofmann

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

Wahlpflichtfach Elektroenergie-technik (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.

Fahrzeuantriebe: 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 umrichtergespeiste Asynchronantriebe; dynamisches Verhalten von Asynchronantrieben; Feldorientierte Regelung einer Asynchronmaschine; dynamisches Verhalten von Synchronantrieben; Steuerung und Regelung umrichtergespeister 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; Netzrückwirkungen 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), Elektroenergie-technik (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, Wicklungsauslegungsoptimierung, Isolierungsgestaltung; Begriffe, Prinzipien, Materia-

lien; Auslegung der Schenkelpresselemente, Kesselgestaltung; Zusatzverluste; Modellierung elektromagnetischer Felder.

2.2 Lehraufgaben 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

- Praktikum Elektrotechnische Systeme im Maschinenbau (0/0/2),
WS und SS, Lehrexport für Fakultät Maschinenwesen

2.3 Abgeschlossene Diplom- und Studienarbeiten

Diplom- und Masterarbeiten

Wehling, Lukas / Betreuer: T. Micklitz

„Entwurfsoptimierung einer eisenlosen Axialflussmaschine unter Berücksichtigung der Überlastbarkeit.“

Kirsten, Markus / Betreuer: N. Remus

„Entwicklung eines Modulationsverfahrens für den direkten Matrixumrichter mit vorgeschaltetem AC-Chopper.“

Kuta, Matthias / Betreuer: N. Remus

„Eingangsseitige Regelung des direkten Matrixumrichters mit vorgeschaltetem AC-Chopper.“

Hoffmann, Rico / Betreuer: M. Leubner

„Prädiktive Oberschwingungskompensation eines Netzwechsellrichters unter Berücksichtigung der Last.“

Christopher Max Bellut / Betreuer: A. Brix, J. Bonifacio (ZF Friedrichshafen AG)

„Untersuchung zu sensorlosen Regelungsverfahren mit Statorflussbeobachter für Asynchronmaschinen.“

Christian Hufnagel / Betreuer: M. Leubner, S. Birth (novum engineering GmbH),

„Softwareentwicklung zur Entwurfsautomatisierung von stromgeregelten Sperrwandlerschaltungen für Leistungen bis 25 W.“

Leonhardt, Maximilian / Betreuer: G. Steinborn, J. Kopte (VEM Sachsenwerk)

„Modellierung der Erwärmung von Asynchronmaschinen während beliebiger Lastspiele unter Beachtung veränderlicher Kühlbedingungen.“

Heyde, Felix / Betreuer: Dr. G.-H. Geitner

„Stromregelung einer Käfigläufer-Asynchronmaschine zur Einprägung hochdynamischer periodischer Drehmomentprofile.“

Studienarbeiten

Lühning, Benjamin / Betreuer: R. Liebfried

„Messtechnische Untersuchung der Querkopplung eines fünfachsigem Kombimagnetlagers.“

Engelmann, Stefan / Betreuer: G. Steinborn

„Entwurf und Inbetriebnahme einer Volumenstromregelung für eine energieoptimale Kühlungssteuerung.“

Zhao, Long / Betreuer: D. Kranz

„Bewertung der Oberschwingungs- und Oberwellenverluste eines Elektromotors in Hinblick auf einen optimalen Wirkungsgrad.“

Jaster, Michael / Betreuer: T. Micklitz

„Untersuchung erhöhter Stromwärmeverluste in Luftspaltwicklungen.“

Gui, Qiuye / Betreuer: A. Brix

„Heuristische Betriebsstrategien für hybride Energiespeichersysteme im elektrischen Fahrtrieb.“

2.4 Exkursionen

Folgende Exkursionen wurden den Studenten angeboten:

- VEM Sachsenwerk, 22.01.2018,
- WITTUR Electric Drives, 29.01.2018,

2.5 Preise

GUSTAV-ZEUNER-PREIS 2017 des VDI DRESDEN

Herr Dipl.-Ing. Marian Matic (Professur für Elektrische Maschinen und Antriebe) hat für seine Diplomarbeit: „Berechnung des Läuferfelds im Endbereich großer Synchrongeneratoren“ den Gustav-Zeuner-Preis 2017 des VDI Dresden erhalten.

FÖRDERPREIS "RICHARD HARTMANN" DES INDUSTRIEVEREINS SACHSEN 1828 E.V.

Herr Dr. Jakob Jung (Professur für Elektrische Maschinen und Antriebe) wurde für seine Dissertation: „Konzentration des Permanentmagnetflusses durch Segmentierung des Stators am Beispiel einer Axialflussmaschine in TORUS-Bauart“ mit dem Förderpreis „Richard Hartmann“ des Industrievereins Sachsen 1828 e.V. ausgezeichnet.

3. ÖFFENTLICHKEITSARBEIT

3.1 Veröffentlichungen

- [1] S. Bosch, J. Staiger, H. Steinhart: Predictive Current Control for an Active Power Filter With LCL-Filter, IEEE Transactions on Industrial Electronics, Vol. 65, no. 6, p. 4943 - 4952, 2018.
- [2] H. Barth, W. Hofmann: Potentials and Boundaries of Discrete SiC-Transistors in AC Drives, European Power Electronics Conference, EPE 2018, p. 8, 2018.
- [3] E. Fleischer: Entwurf, Modellierung und nichtlineare Regelung eines integrierten Radial-Axial-Magnetlagers, Hrsg.: Univ.-Prof. Dr.-Ing. W. Hofmann, Dresdner Schriftenreihe zu elektrischen Maschinen und Antrieben, Band 14, 182 Seiten, ISBN 978-3-8440-5934-2, Shaker Verlag, Aachen, Mai, 2018.
- [4] M. Leubner, N. Remus, S. Schwarz, W. Hofmann: Voltage based 2/3/4-step commutation for direct three-level matrix converter, IEEE Applied Power Electronics Conference - APEC, San Antonio, TX USA, S. 2507 - 2514, 2018.
- [5] M. Leubner, N. Remus, J. Haase, W. Hofmann: Collector-Emitter voltage based one-step commutation for direct three-level matrix converter, European Power Electronics Conference, EPE 2018, pp. 10, 2018.
- [6] R. Liebfried, W. Hofmann: Performance of Flux Density Based Control Approaches for Active Magnetic Bearings -- an Overview, Proceedings of the 16th International Symposium on Magnetic Bearings, Beijing, p. 8, 2018.
- [7] J. Pecho, W. Hofmann: Analysis of Start-up of Line-Start Permanent Magnet Synchronous Machines with anisotropic rotor reluctance, Int. Conference on Electrical Machines - ICEM, Alexandroupoli, Greece, p. 72 - 78, 2018.
- [8] T. Micklitz, W. Hofmann: Two Layer Winding Arrangement for an Ironless, High Speed Axial-Flux PM-Machine, 12th IEEE Conference on Power Electronics and Drive Systems (PEDS) 2017. Honolulu, HI, USA: IEEE, 12.-15. Dez, p. 1010 - 1016, 2017.
- [9] N. Remus, M. Leubner, W. Hofmann: Control of buck-boost direct matrix converter with low voltage ride-through capability, International Power Electronics Conference - IPEC 2018, Niigata, Japan, p. 3243 - 3250, 2018.
- [10] N. Remus, M. Leubner, W. Hofmann: Dead-Time Compensation Method Based on UCE-Measurement for Direct Converters, 10th IEEE Energy Conversion Congress & Expo - ECCE 2018, Portland, Oregon, USA, p. 576 - 583, 2018.
- [11] G. Steinborn, W. Hofmann: Energy Optimal Motion and Rotor Flux Trajectories for an Induction Motor Drive, PCIM 2018, Nürnberg, p. 1221 - 1227, 2018.

- [12] St. Tenner: Energieoptimale Regelung von permanenterregten Synchronmaschinen mit Z-Source Inverter in elektrischen Fahrtrieben, Hrsg.: Univ.-Prof. Dr.-Ing. W. Hofmann, Dresdner Schriftenreihe zu elektrischen Maschinen und Antrieben, Band 15, 156 Seiten, ISBN: 978-3-8440-5959-5, Shaker Verlag, Aachen, Mai, 2018.
- [13] Y. Zhang, W. Hofmann: Determination of transient eddy current losses in induction motors with high torque dynamics, IEEE 44th Annual Conf. of Industrial Electronics Society IECON, Washington D.C., USA, 2018, p. 477-482.
- [14] R. Seifert, T. Micklitz, B. Mößner, W. Hofmann: Methodologies for the Analytical Design of Tubular Linear Vernier Synchronous Generators with Quasi-Halbach-Magnetization, 23rd IEEE International Conference on Electrical Machines (ICEM) 2018, Alexandroupoli, Greece, 2018, p. 2235-2242
- [15] W. Hofmann, M. Stiebler: Elektrotechnik (Kapitel V) In: Dubbel – Taschenbuch für den Maschinenbau, V 1 – 72, Springer, 25. Auflage, 2018

3.2 Vorträge und Berichte

Vorträge ohne Publikation

W. Hofmann: Projektierungsfreiheitsgrade und Auswahlssystematik für energieeffiziente Antriebe. Vortrag zum Ehrenkolloquium Prof. Michalik an der HTW Dresden. 19.01.2018

C. Evers: Energieeinsparpotentiale in Mehrachsenantrieben an der Beispielapplikation Regalbediengerät. Vortrag zum Tag der Fakultät. 28.09.2018

A. Brix: Prädiktive Antriebsregelung in autonomen Elektrofahrzeugen. Vortrag zum Tag der Fakultät. 28.09.2018

C. Evers: FVA GEA in Frankfurt „Energieeffiziente Mehrmotorenantriebe FVA 673-IV Abschlussvortrag“, 17.10.2018

C. Evers: FVA Informationstagung Würzburg „Energieeffiziente Mehrmotorenantriebe FVA 673-IV“, 04.12.2018

Forschungsvorträge

05.01.2018

J. Döring

„Auslegung einer Transversalflussreluktanzmaschine in Scheibenläuferbauweise.“

T. Jonsky (Lenze Automation)

„Modellbildung, Identifikation und Regelung von fünfphasigen Synchronmaschinen.“

19.01.2018

J. Pecho

„Analytische Bestimmung des Einschaltstroms und Einschaltmoments von Line-Start-PSM mit unterschiedlichen Reaktanzen in den beiden Hauptachsen.“

13.04.2018

S. Staudt

„Geberlose Regelung von Synchron-Reluktanzmaschinen in Flurförderfahrzeugen.“

04.05.2018

T. Micklitz

„Entwurf einer eisenlosen Hochdrehzahl-Axialflussmaschine.“

08.06.2018

P. Miska

„Entwurf, Simulation und Erstellung passiver EMV-Filter für hochfrequenten DC/DC-Wandler im Rahmen netzkonformer Rückspeisung.“

22.06.2018

Y. Zhang, Dipl.-Ing.

„Energieoptimale Drehmomentsteuerung und Auslegung von hochdynamischen Asynchronantrieben unter besonderer Berücksichtigung der transienten Stromverdrängung.“

29.06.2018

A. Arias, M. Sc.

„Exakte und genäherte Analyse von Z-Source Wechselrichtern.“

L. Schlegel, Dipl.-Ing.

„Untersuchung der schwingungsfähigen Mechanik eines E-Maschinen-Prüfstandes bei der Einprägung hochdynamischer Drehmomentprofile.“

20.07.2018

S. Bosch, M. Sc.

„Beitrag der Blindleistungskompensation zur effizienten Nutzung des Energieversorgungsnetzes.“

03.08.2018

N. Remus, Dipl.-Ing.

„Regelung des hochsetzenden Matrixumrichters und experimentelle Ergebnisse.“

D. Kranz, Dipl.-Ing.

„Untersuchung von Optimalsteuerverfahren unter Berücksichtigung charakteristischer Maschinenparameter.“

31.08.2018

K. Woo, Dipl.-Ing.

„Entwurf von netzanlauffähigen Synchronreluktanzmaschinen.“

R. Seifert, Dipl.-Ing.

„Implementierung einer Flussregelung mit fraktionaler Flusschätzung am Beispiel einer Ringkernspule.“

23.11.2018

Ch. Evers

„Dimensionierung elektrischer Energiespeicher für Antriebssysteme.“

30.11.2018

A. Brix

„Prädiktive Rotorflusssteuerung im autonomen Elektrofahrzeug.“

14.12.2018

F. Bahr

„Flussbasierte Regelung aktiver Magnetlager mit integrierter Luftspaltfeldsensorik.“

Gastvorträge

27.04.2018

O. Drubel, Dr.-Ing.

WILO SE, Group Electronics & Motors - Group Motors, Senior Manager

“Electromagnetic Design, „Diversität – Basis von Innovationen bei elektrischen Großmaschinen.“

07.12.2018

W. Hackmann, Dr.-Ing.

Principal Expert ‘Electric Machines’ Fa. Continental AG

“Electrical Machines in Traction Applications: Special Requirements / Design / Measurements.“

11.12.2018

Vo Thanh Ha, M. Sc.

PhD-Studentin, Hanoi University of Science and Technology

„Flatness-Based Control Design for Two-Mass System Using Induction Motor Drive Fed by Voltage Source Inverter with Ideally Control Performance of Stator Current.“

Technische Berichte

Brix, Arne/Steinborn, Gunar: Energieeffiziente Antriebsregelung und Kühlungssteuerung, BMBF-Zwischenbericht im Projekt KLEE, TB 2018/01.

Barth, Henry: Verlustarmer Umrichter mit SiC-Bipolartransistoren durch angepasstes Treiberdesign und Schätzung des Laststromverlaufs + Potenziale und Grenzen der Schaltverlustreduktion in Antriebsstromrichtern durch Einsatz schnell schaltender SiC-Bipolartransistoren, DFG-Abschlussbericht, TB 2018/02.

Steinborn, Gunar: Kühlungssteuerung im Projekt KLEE, Abschließender Technischer Bericht, TB 2018/03.

Evers, Chris: Abschlussbericht Energieeffiziente Mehrmotorenantriebe, FVA Abschlussbericht, TB 2018/04.

Kranz, Daniel: Validierung eines Motor-Umrichter-Systems, Validierung eines durch den Auftraggeber vorgegebenen Systems aus Motor und Umrichter mit besonderem Schwerpunkt der Wicklungsisolierung und des Explosionsschutzes, FL Smidth MAAG Gear AG Winterthur, TB 2018/05.

Micklitz, Tobias: Refined calculation of circulating currents in turbine generators: II Verfeinerte Schlingstromberechnung für Turbogeneratoren, Fortsetzung der Arbeiten aus TB 2016/04 (GESPERTT) Projektpartner: Siemens AG Erfurt, TB 2018/06.

Doktorandenseminar Oberelsbach (08.09.-12.09.2018)

Ort des diesjährigen Doktorandenseminars – Oberelsbach. Der Ort wurde im Jahr 812 erstmals urkundlich erwähnt und war im Besitz des Stiftes Fulda und ging 1332 an das Kloster Wechterswinkel über. Er kam schließlich an das Juliuspital Würzburg und damit an das Hochstift Würzburg, das ab 1500 zum Fränkischen Reichskreis gehörte. Mit dem Wüstfallen der nördlich gelegenen Orte Lahr und Lanzig im Spätmittelalter wurden die Gemarkungen vom Ort hinzugekauft.

Der Ort besitzt seit dem Jahr 1726 das Marktrecht. Das Amt des Hochstiftes Würzburg wurde nach der Säkularisation 1803 zugunsten Bayerns 1805 Erzherzog Ferdinand von Toskana zur Bildung des Großherzogtums Würzburg überlassen und fiel mit diesem 1814 endgültig an Bayern. Im Zuge der Verwaltungsreformen in Bayern entstand mit dem Gemeindeedikt von 1818 die politische Gemeinde Oberelsbach. (Quelle: Internet)



(Bildquelle: T. Micklitz)

Vorträge TU Darmstadt

- Lehr, Marcel
Geräuschentwicklung und -vermessung einer permanentmagneterregten 50 kW Flux-Switching-Machine
- Liu, Xinjun
Untersuchung der Verluste am Beispiel einer permanentmagneterregten Synchronmaschine mit Anlaufkäfig

- Erd, Nicolas
Numerical and Analytical Analysis of Wave Harmonics under Spatially Intermittent Feeding
- Erd, Nicolas
Eddy Currents in Solid Rotor under Spatially Intermittent Feeding of the Stator Winding
- Dr. Ito, Makoto
A narrow-bridge rotor to reduce magnetic flux leakage
- Weicker, Martin
Comparison of a 1.1 kW-induction machine and a 1.5 kW-PMSM regarding common-mode bearing currents
- Deusinger, Björn
Kritische Betrachtung des Bohrungsfeldversuchs
- Li, Xing
Design and Prototyping of a High-Speed Flywheel Demonstrator
- Dietz, Daniel
Bearingless PM synchronous machine with a star point-connected active magnetic thrust bearing
- Neusüs, Sascha
Betriebsstrategie einer Synchron-Reluktanzmaschine

Vorträge TU Dresden

- Leubner, Martin
Angepasstes Pulsverfahren für den 4x3 Matrixumrichter
- Evers, Chris
Dimensionierung elektrischer Speicher für Antriebssysteme
- Steinborn, Gunar
Geschlossener Kühlkreislauf für einen elektrischen Fahrzeugantrieb
- Eckart, Martin
Fertigungsgünstige Methoden zur Reduzierung von Nutrastrmomenten
- Miersch, Sören
FuE-Vorhaben InnoWilso „Innovative Wicklungsisolation auf der Basis keramikähnlicher Kompositsysteme für energieeffiziente und hochausgenutzte elektrische Maschinen und Komponenten
- Micklitz, Tobias
Methodologies for the Analytical Design of Tubular Linear Vernier Synchronous Generators with Quasi-Halbach-Magnetization
- Remus, Nico
Kompensation des Totzeiteffekts für direkte Umrichter
- Kranz, Daniel
Untersuchung von Optimalsteuerverfahren unter Berücksichtigung charakteristischer Maschinenparameter

- Staudt, Stefan
Geberlose Regelung von Synchron-Reluktanzmaschinen in Flurförderfahrzeugen
- Joshi, Hrishikesh
Thermische Modellierung von elektrischen Maschinen für den Automotive Industriebereich
- Arias, Arturo
Regelung des Z-Source-Wechselrichters
- Bosch, Swen
Hybridfilter zur Blindleistungskompensation - Aufbau, Regelung und experimentelle Ergebnisse
- Woo, Kyoungseok
Auslegung eines netzanlauffähigen Synchronreluktanzmotors
- Pecho, Johann
Näherungslösungen für die Berechnung des transienten Stroms bei LSPSM mit blockiertem Läufer
- Shaohui, Yuan
Freiheitsgrade in der Auslegung der EV-Antriebsstränge
- Zhang, Yuanpeng
Energieoptimale Drehmomentsteuerung und Auslegung von hochdynamischen Asynchronantrieben unter besonderer Berücksichtigung der transienten Stromverdrängung
- Miska, Philipp
Passiver EMV-Filter: Optimierte Bauteilwahl
- Liebfried, Robin
Vergleich flussdichtebasierter Regelungsverfahren für aktive Magnetlager
- Brix, Arne
Prädiktive Rotorflusssteuerung in autonomen Elektrofahrzeugen
- Schlegel, Ludwig
Untersuchung der schwingungsfähigen Mechanik eines E-Maschinen-Prüfstandes

Externe

- Fleischer, Erik
Vortrag Ehemaliger (IAV) „Elektrische Antriebe in Serie - Entwicklungsdienstleistung für die Serienentwicklung elektrischer Fahrzeugantriebe“
- Suryana, Rahmat
Vortrag Ehemaliger (Siemens) "Systemdienstleistungsverordnung von Windkraftanlagen."

3.3 Kooperation

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 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

- Transact. on Industrial Electronics
- Intern. Trans. on EES

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“.

IAESTE – Praktikanten

Mukul Joshi – India / Betreuer: Robin Liebfried

“Design and implementation of a field oriented speed control for an induction motor.”

Justyna Laczoroska – Polen / Betreuer: Daniel Kranz:

„Implementation of an optimal control method for a permanent magnet excited synchronous machine in MATLAB/Simulink.“

Ivana Trajkovska – Macedonia / Betreuer: Shaohui Yan

“Modelling and simulation of the powertrain in electric vehicles.”

Abraham Boussetta – Tunesia / Betreuer: Gunar Steinborn

„Thermal Calculation.“

Oguz Saritoprak – Türkei / Betreuer: Kyoumseok Woo

“Investigation of the stationary and dynamic operating behavior of a squirrel cage induction motor.”

Milos Pavlovic – Serbia / Betreuer: Arne Brix

“Design of an Energy Management Strategy for a Hybrid Energy Storage System in Full Electrical Vehicles.”

4. FORSCHUNG

4.1 Forschungsprofil – Schwerpunkt Energieforschung

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. Energieoptimale Drehmomentsteuerung und Auslegung von hochdynamischen Asynchronantrieben unter besonderer Berücksichtigung der transienten Stromverdrängung. DFG – HO 1483/60-1, 2, 3; 2011 - 2018
2. Neue Generatoranordnung mit der doppeltgespeisten Asynchronmaschine für besseres Verhalten beim Durchfahren von Netzfehlern, DFG - HO 1483/74, 2015 – 2018
3. Aktive verlustarme Magnetlager hoher Steifigkeit und Präzision mit integrierter Induktionsmessung und schneller Leistungselektronik, DFG – HO 1483/64-1, 2; 2013 - 2019
4. Eisenlose Axialfluss-Permanentmagnet-Synchronmaschine mit Keramikwicklungsträger für Schwungradspeicher, DFG – HO 1483/77-1, 2016 – 2018
5. Fraktionaler Flusschätzer zur Regelung axialer Magnetlager unter dem Einfluss von Wirbelströmung, DFG – HO 1483/78-1, 2017 – 2020
6. Generalized Space Vector Modulation for Impedance Source Inverters Applied to Fuel-Cell-Based Isolated Electric Power Generation, DFG - HO 1483/74, 2015 – 2019
7. Diagnose von Mikrobürstenfeuer bei Reibkontaktierung von Graphit/Graphit-Bürsten/Schleifringsystemen, DFG - HO 1483/54-1, 2, 3; 2009 – 2018

8. Verlustarmer Umrichter mit SiC-Bipolartransistoren durch angepasstes Treiberdesign und Schätzung des Laststromverlaufs, DFG – HO 1483/62-1, 2; 2015 - 2018

FVA Forschungsvereinigung Antriebstechnik

1. Einsatzanalyse und Auslegungsmethodik von Gleichspannungsverbänden für energieeffiziente Mehrmotorenantriebe
2017 -2018

BMBF

1. Projekt KLEE: Kombinierte Logik für Energieeffiziente Elektromobilität, 2016-2019

ZIM

1. Bidirektionales Ladegerät, 2015 - 2018

Industrie

1. Berechnungsprogramm für luftgekühlte Generatoren, 2016 - 2018
2. Regelung eines Schwungradantriebs, 2018 -2019

4.3 Dissertationen

Thomas Windisch

Energieeffiziente Antriebsregelung für hochausgenutzte Drehstrommotoren in elektrisch angetriebenen Fahrzeugen.

Vorsitzender: Prof. Dr.-Ing. habil. Wolfgang Schwarz

Gutachter: Prof. Dr.-Ing. Wilfried Hofmann
Prof. Dr.-Ing. Joachim Böcker, Universität Paderborn

Tag der Einreichung: 04.09.2017

Tag der Verteidigung: 24.07.2018

Zusammenfassung:

Elektromotoren in Fahrzeugantrieben müssen möglichst kompakt sein und eine hohe Leistungsdichte bieten, weshalb sie besonders hoch ausgenutzt werden. Als Referenzfahrzeug dient in den Betrachtungen der Arbeit ein serieller Hybridbus, der im innerstädtischen Bereich verkehrt und Haltestellenbetrieb gewährleistet. Das bedingt wiederholtes Anfahren und hohe Rekuperation während Bremsvorgängen jeweils mit Maximalmoment durch die hohe Masse des Busses. Die Elektromaschine wird aus dem Hochvolt-Gleichspannungs-Bordnetz durch einen Wechselrichter gespeist, der eine feldorientierte Regelung implementiert. Es werden permanenterregte Synchronmotoren mit vergrabenen Magneten, sowie Asynchronmotoren mit Käfigläufer betrachtet. Für diese beiden Motorentypen wird ein wirkungsgradoptimaler Betrieb in allen auftretenden Arbeitspunkten durch eine verbesserte Antriebsregelung angestrebt, damit der Energieverbrauch pro gefahrener Wegstrecke minimiert wird.

Aufgrund der hohen Ausnutzung und kompakten Bauform der Maschinen muss das nichtlineare Sättigungsverhalten berücksichtigt werden. Zwei Besonderheiten der gewählten Maschinentypen kommen hinzu, die das Problem verkomplizieren. Die permanenterregte Synchronmaschine mit vergrabenen Magneten weist ein Reluktanzmoment auf, welches von den wirksamen Induktivitäten in Längs- und Querrichtung abhängt. Diese ändern sich nichtlinear je nach resultierendem Fluss und sind miteinander verkoppelt, weshalb sich eine zweidimensionale Abhängigkeit ergibt, die in der Wirkungsgradoptimierung beachtet werden muss. Die Sättigungsabhängigkeit der Hauptinduktivität der Asynchronmaschine ist eindimensional darstellbar, jedoch unterliegt die Rotorzeitkonstante hohen Schwankungen aufgrund der Erwärmung, die wenn sie nicht kompensiert werden, eine Fehlorientierung und damit eine Abweichung im Drehmoment zur Folge haben. Beiden Besonderheiten wird durch genauere Maschinenmodelle Rechnung getragen.

Zur Identifizierung der energieoptimalen Steuergrößen der Regelung werden für beide Maschinentypen zwei Ansätze verfolgt. Zunächst wird eine modellbasierte Optimierung durchgeführt, die die Verluste des Antriebs bestehend aus Wechselrichter und Maschine für jeden gewünschten Arbeitspunkt minimiert. Diese muss vorab gelöst werden, woraufhin die optimalen Steuergrößen in Tabellen abgespeichert werden, aus denen zur Laufzeit interpoliert wird. Falls keine sättigungsabhängigen Maschinenmodelle vorhanden sind oder diese aufgrund von Toleranzen oder Temperatureinflüssen ungenau sind, kann ein Online-Suchverfahren den wahren sättigungsabhängigen Punkt während des Betriebs ohne Nutzung von Maschinenparametern finden. Dazu wird ein Ansatz vorgeschlagen, der sich in einem Zustandsautomaten programmieren lässt. Dieser Algorithmus wird für beide Maschinentypen getestet und jeweils mit einem bereits publizierten Verfahren verglichen. Messungen an einem Antriebsversuchsstand mit eigenem Wechselrichter validieren die Maschinen- und Verlustleistungsmodelle und zeigen, dass das entwickelte Online-Verfahren den tatsächlichen Optimalpunkt innerhalb einer für die Anwendung vertretbaren Konvergenzzeit findet

Dipl.-Ing. Stephan Tenner

„Energieoptimale Regelung von permanenterregten Synchronmaschinen mit Z-Source Inverter in elektrischen Fahrantrieben“

Vorsitzender: Prof. Dr.-Ing. habil. Dipl.-Math. Klaus Röbenack (TUD)

Gutachter: Prof. Dr.-Ing. Wilfried Hofmann (TUD)
Prof. Dr.-Ing. Bernhard Piepenbreier, Friedrich-A.-Universität Erlangen-Nürnberg

Tag der Einreichung: 02.05.2017

Tag der Verteidigung: 09.03.2018

Zusammenfassung:

In den letzten Jahrzehnten kehrte in Straßenfahrzeugen eine stetig steigende Elektrifizierung des Antriebstranges ein. Dabei wird der konventionelle Verbrennungsmotor sukzessiv aus dem Fahrantrieb verdrängt. Damit wird die Hauptantriebsleistung im Fahrzeug immer mehr durch Elektroantriebe erbracht. Die für die Traktion erforderlich elektrische Energie wird bei Straßenfahrzeugen in Hochvolt-Batterien gespeichert. Sie weisen eine wesentlich geringere Leistungsdichte auf als fossile Brennstoffe. Darum ergibt sich für Straßenfahrzeuge die Notwendigkeit eines energieeffizienten Antriebstrangs, da bei der Wandlung der elektri-

schen Energie in mechanische Energie möglichst geringe Verluste anfallen sollen. Somit wird die erzielbare Reichweite des Fahrzeugs maximiert.

Eine Verbesserung der Effizienz von elektrischen Fahrzeugantrieben wird durch eine günstige Wahl der Antriebstopologie, eine energieoptimierte Steuerung der leistungselektronischen Baugruppe und der energieoptimierte Regelung des Fahrmotors erzielt. In der vorliegenden Arbeit werden die drei Ansatzpunkte für einen Antrieb mit einer permanentmagneterregten Synchronmaschine mit einem ausgeprägten Reluktanzeffekt beleuchtet. Als Stellglied wird mit dem Z-Source Inverter ein hochsetzender Antriebswechselrichter gewählt. Für einen energieeffizienten Betrieb des Wechselrichters wird ein energieoptimales Pulsmuster entwickelt. Dadurch wird sichergestellt, dass der Wechselrichter möglichst geringe Gesamtverluste aufweist.

Die variabel einstellbare Zwischenkreisspannung des Z-Source Inverters wird in der Regelung des Fahrmotors als zusätzlicher Freiheitsgrad genutzt, um die Gesamtverluste des Antriebssystems für jeden Arbeitspunkt zu minimieren. Dazu wird mit Hilfe eines Optimierungsverfahrens die Sollwertvorgabe für die feldschwächende Stromkomponente I_d , die drehmomentbildende Stromkomponente I_q und die Zwischenkreisspannung U_{ZK} für Arbeitspunkte im Kennlinienfeld des Fahrmotors ermittelt. Die Sollwerte minimieren die Gesamtverluste des elektrischen Antriebs. Die Ergebnisse der Optimierung werden mit alternativen Betriebsstrategien verglichen und die Vorteile der energieoptimalen Regelung gezeigt.

Die Ergebnisse eines Antriebs mit Z-Source Inverter werden mit zwei alternativen Topologien verglichen, die in der Kraftfahrzeugtechnik häufig Anwendung finden. Dabei handelt es sich einerseits um einen Wechselrichter mit konventionellem Spannungszwischenkreis und einem Wechselrichter mit Hochsetzsteller im Zwischenkreis. Die Antriebstopologien werden hinsichtlich ihrer Verluste untersucht und Bereiche mit Vor- und Nachteilen im Kennfeld des Fahrmotors identifiziert. Dabei wird gezeigt, dass hochsetzende Antriebswechselrichter bei Fahrzeuganwendungen klare Effizienzvorteile bieten. Darüber hinaus wird der Einfluss der Batteriespannung auf die Antriebsverluste nachgewiesen und eine energieoptimale Batteriespannung identifiziert. Die theoretischen Ausführungen werden durch Messungen an einem 30-kW-Antrieb mit Z-Source Inverter und permanentmagneterregter Synchronmaschine unterstützt.

4.4 Ausgewählte Forschungsergebnisse in Kurzform

Dipl.-Ing. Daniel Kranz

Einfluss der Maschinenparameter auf den Teillastwirkungsgrad

Beim Einsatz elektrischer Maschinen als Antriebsmotoren ist der hohe Wirkungsgrad meist ein großer Vorteil. Durch variable Lastprofile und Arbeitspunkte im Teillastbereich kann die Gesamteffizienz der Maschine allerdings gegenüber dem Bemessungsbetrieb stark absinken.

Es soll untersucht werden, inwiefern die Teillastwirkungsgrade von charakteristischen Maschinenparametern abhängen und ob sich im Entwurfsprozess die Effizienz für definierte Lastprofile steigern lässt. Fig. 1 zeigt die für diese Untersuchung ausgewählten Lastpunkte, wobei es sich um vier Teillastpunkte aus der Norm IEC 61800-9-2 handelt. Als Referenz dient der Bemessungsarbeitspunkt P_N .

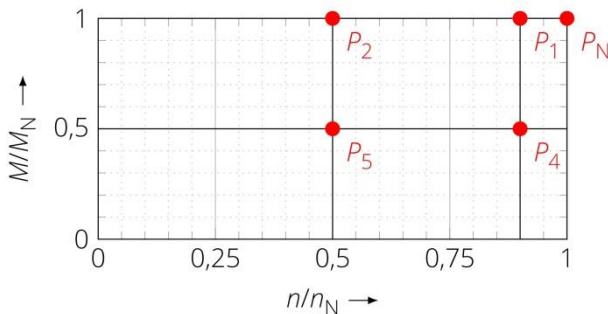


Fig.1: Teillastarbeitspunkte. Partial load operating points

Für die hier gezeigte Untersuchung wurde eine Asynchronmaschine mit 11 kW Bemessungsleistung gewählt. Unter Vernachlässigung der Ummagnetisierungsverluste wurde das Wirkungsgradkennfeld analytisch berechnet und anschließend bestimmte Parameter der Maschine variiert, um den Einfluss der Parameter auf die Teillastwirkungsgrade zu bestimmen. Zunächst wurde das Widerstandsverhältnis R_r / R_s , das für die betrachtete Maschine nominell bei 1,41 liegt, im Bereich 1...2 variiert, anschließend die Streuung σ zwischen 8...13 % (nominell 10,4 %). Die Ergebnisse sind in Fig. 2 für die Variation beider Parameter dargestellt.

Insbesondere die Variation des Widerstandsverhältnisses zeigt die Möglichkeit auf, eine Maschine durch Parameteranpassung auf maximale Effizienz an bestimmten Teillastpunkte hin zu optimieren. In einer detaillierten Parameterstudie

ist im Folgenden zu untersuchen, wie diese Anpassung anhand von Entwurfsparemtern erfolgen kann.

Influence of machine parameters on the partial load efficiency

The high efficiency of electrical machines is a great advantage when using them for drive applications. However, varying load profiles and operating points in the partial load area can take a heavy toll on the overall efficiency of the drive compared to the nominal operating point.

It is therefore important to examine the correlation between the partial load efficiency and the machine parameters to determine if the efficiency can be improved by changing the machine design if a load profile is predefined. Fig. 1 shows the operating points considered in this analysis, which are taken from standard IEC 61800-9-2. The rated operating point is also considered as reference.

For the shown analysis, an induction machine with a rated power of 11 kW was used. Neglecting the iron losses, the efficiency map was calculated analytically and selected machine parameters were varied to observe the influence on the partial load efficiency. The quotient of rotor and stator resistance R_r / R_s was varied in the range 1...2 (nominal value: 1.41) and the stray factor σ in the range 8...13% (nominal value: 10.4%). The results are depicted in Fig. 2 for both parameters.

Especially the variation of the resistance quotient R_r / R_s shows the possibility to optimize the machine for a given partial load operating point or operating area by adjusting the machine parameters during the design process. A detailed parameter study will determine how this adjustment can be conducted using the design parameters of the electrical machine.

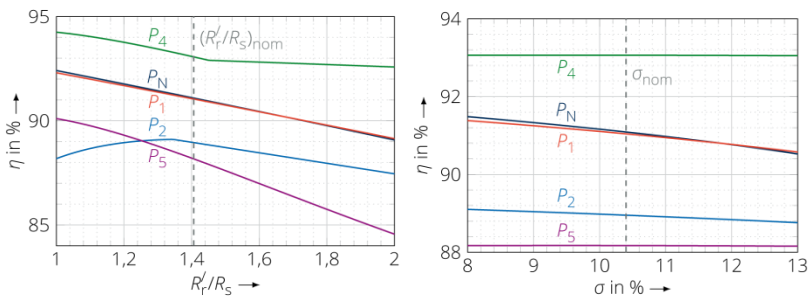


Fig. 2: Teillastwirkungsgrade abhängig von ausgewählten Maschinenparametern. Partial load efficiency at different operating points dependent on machine parameters

Flussdichtebasierte Regelungsverfahren für aktive Magnetlager

Magnetlager ermöglichen eine berührungsfreie Lagerung und reduzieren somit die Reibungsverluste eines Systems sowie die Geräuschemissionen. Aktive Magnetlager werden zunehmend in Hochgeschwindigkeitsanwendungen wie Schwungradspeichern, Turbogebläsen oder Vakuumpumpen verwendet.

Bei einem aktiven Magnetlager handelt es sich um ein nichtlineares, inhärent instabiles System. Daher ist eine Regelung zwingend notwendig. Industrieller Standard ist eine Stromregelung mit überlagertem PID-Lageregelkreis. Im Rahmen eines Projektes sollen Regelungsansätze untersucht werden, die auf einer Messung der Luftspaltflussdichte B_δ beruhen. Im Gegensatz zum Strom ist B_δ direkt kraftbildend. Dies ist besonders bei hochdynamischen Anwendungen von Vorteil, da Streuung und Wirbelströme nicht berücksichtigt werden müssen. Alternativ bietet die Flussdichtemessung eine Möglichkeit der Kostenreduktion bei Verzicht auf die Lagemessung bzw. schafft Redundanz.

Zum Entwurf und der Überprüfung von Regelungsansätzen wurde ein aufwendiges, fünfschichtiges Simulationsmodell erstellt. Außerdem wurde für den Funktionsnachweis eine Auswertelektronik für ultra-dünne Hall-Elemente mit Dicken $< 150 \mu\text{m}$ entwickelt und der Versuchsaufbau nach Fig. 1 entworfen. Fig. 2 vergleicht die kaskadierte Stromregelung (I-control) mit einer kaskadierten Flussdichteregelung (B-control) ausgelegt nach Betragsoptimum (AO) und symmetrischem Optimum (SO). Mithilfe der Flussdichteregelung kann das Überschwingen um ca. 40 % und die Einschwingzeit um ein Vielfaches reduziert werden.

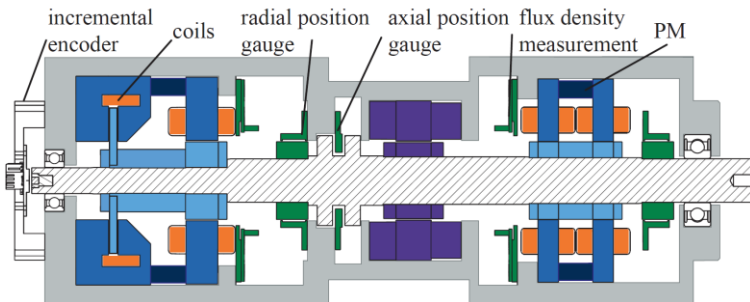


Fig. 1: Versuchsaufbau mit Kombilager (links) und Unipolarlager (rechts). Test rig with combined radial/thrust bearing (left) and hybrid bearing (right)

Flux density based control approaches for active magnetic bearings

Magnetic bearings can provide contactless suspension and therefore reduce friction losses and noise. Active magnetic bearings (AMB) are more and more commonly used in high-speed applications like flywheel accumulators, blowers, and vacuum pumps. Since an AMB is a non-linear, inherently unstable system, a control is vital for the dynamic stability of the drive. The most straightforward control approach is a PID displacement control with an inner current control loop. The scope of the project is to develop control approaches, based on the air gap flux density B_δ . In contrast to the current, B is directly force related and therefore offers advantages in highly dynamic applications. Alternatively, flux measurement can replace position gauges to reduce cost or create redundancy when used additionally.

A comprehensive five-axis simulation model was developed for designing and testing possible control approaches. Further, a circuit was designed to evaluate the ultra-thin Hall-sensors ($< 100 \mu\text{m}$) and was integrated into the test rig shown in Fig. 1. A comparison between current control (I-control) and flux density control (B-control) with amplitude or symmetrical optimum (AO/SO respectively) can be found in Fig. 2. By using B-control the overshoot for the step response can be reduced by about 40 % and the settling time gets many times smaller.

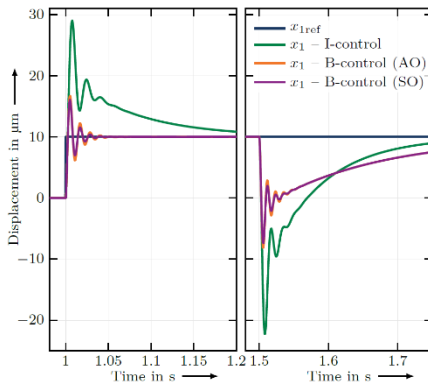


Fig. 2: Simulierte Soll- und Störgrößensprungantwort ($F_d = 5 \text{ N}$ bei $t = 1.5 \text{ s}$) für Strom- und Flussdichteregelung. Simulated command and disturbance response ($F_d = 5 \text{ N}$ at $t = 1.5 \text{ s}$) for current control and flux density control

Literature

- [1] R. Liebfried, W. Hofmann: Performance of Flux Density Based Control Approaches for Active Magnetic Bearings – an Overview, Proceedings of the 16th International Symposium on Magnetic Bearings, Beijing, 2018.

Hybridfilter zur Kompensation von Verschiebungs- und Verzerrungs-Blindleistung in Niederspannungsnetzen

Über das Energieversorgungsnetz werden über alle Spannungsebenen sowohl Wirkleistung als auch Blindleistung übertragen. Mit Hilfe entsprechender Anlagen kann die Blindleistung ortsnah am Verbraucher kompensiert werden. Dies verringert die Belastung der Übertragungseinrichtungen und damit die auftretenden Verluste. Zudem werden freie Kapazitäten geschaffen, die wiederum zur Übertragung von Wirkleistung genutzt werden können.

Im Rahmen dieser Forschungsarbeit wurde eine Versuchsanlage bestehend aus zwei Kompensatoren inklusive der zugehörigen Verbraucher aufgebaut. Die Kompensationsanlage besteht aus einem *Reactive Power Compensator* (RPC) und einem *Active Power Filter* (APF).

Der RPC schaltet zur Kompensation induktiver Verschiebungsblindleistung verdrosselte Kompensationskondensatoren mittels Thyristoren (Fig. 1a) bedarfsgerecht aufs Netz, um einen gewünschten Leistungsfaktor einzuhalten. Das Hauptaugenmerk besteht hierbei auf einer hohen Dynamik (Reaktionszeit unterhalb einer Netzperiodendauer) und einem möglichst netzrückwirkungsfreien Zuschalten ohne transiente Vorgänge, was durch eine entsprechende Vorladung der Kondensatoren und das Zuschalten zu einem geeigneten Phasenwinkel der Netzspannung realisiert wird.

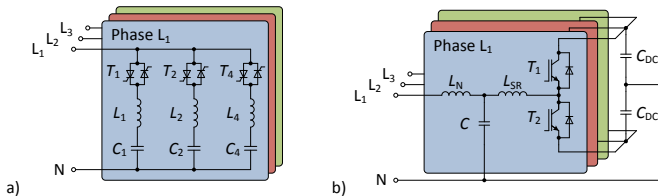


Fig.1: Hardwareschaltungen: a) Blindleistungskompensator, b) Aktivfilter.
Hardware Setup: a) Reactive Power Compensator, b) Active Power Filter

Beim APF (Fig. 1b) handelt es sich um einen selbstgeführten Stromrichter. Dieser dient zur Kompensation von Verzerrungs-Blindleistung, welche durch Oberschwingungen im Verbraucherstrom verursacht wird. Das APF erfasst hierzu die Oberschwingungsströme der Verbraucher und speist einen Kompensationsstrom so ein, dass sich die Oberschwingungsströme der Verbraucher und des APFs gegenseitig aufheben und somit dem Netz ein sinusförmiger Strom entnommen wird. Der Fokus liegt dabei auf einem Stromregelverfahren, welches neben einem PI-Regler eine modellbasierte Vorsteuerung und einen repetitiven Regler umfasst. Hierbei werden die Oberschwingungen nicht wie allgemein üblich separat geregelt, sondern der

gesamte Verzerrungsstrom, also die Summe aller Oberschwingungen. Dadurch lässt sich der Aufwand zur Berechnung der Steuer- und Regelalgorithmen reduzieren.

Hybrid filter for compensation of fundamental reactive power and distortion power in low-voltage grids

Via the energy supply grid, active power as well as reactive power is transferred across all voltage levels. By using appropriate technical devices, the reactive power can be compensated close to the load. By this, transmission devices are burdened less and with this, losses are reduced. Furthermore, additional transmission capacities are available and can be used for the transfer of active power.

As part of this research work, a test bench consisting of two compensators and various loads was built up. The compensation plant is composed of a Reactive Power Compensator (RPC) and an Active Power Filter (APF).

For the compensation of inductive fundamental reactive power, the RPC is connecting chocked compensation capacitors via thyristors (see Fig. 1a) to the grid, in order to keep the power factor at a desired level. At this, the main focus is on a high dynamic behavior (reaction time within one fundamental period) and on a switching method, which is causing no perturbation to the grid. This is realized by precharging the compensation capacitors and by connecting them to the grid at the correct phase angle of the grid voltage.

The APF is built up as a self-commutated converter (see Fig. 1b) and is utilized for the compensation of distortion power, which is caused by harmonics in the load currents. For this, the APF is measuring the grid or the load currents and is feeding a current to the grid in a way, so that the harmonic currents of the APF and the load are eliminating each other and the grid is unburdened from harmonic currents. At the APF, the main focus is on a current control scheme, which is based on a PI-controller with an additional model based feed forward control and a repetitive controller. Here, the harmonics are not controlled separately as it is usually done, but the sum of all harmonics (the distortion current) is controlled. With this, the effort for the computation of the control algorithms can be reduced.

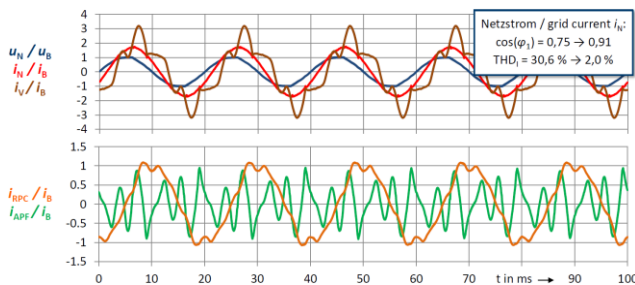


Fig. 2: Kompensationsergebnisse. Compensation results

Energieeffiziente Mehrmotorenantriebe

In technologisch gekoppelten drehzahlvariablen Mehrmotorensystemen von Verarbeitungsmaschinen und Logistik stellt ein Gleichspannungsverbund der Frequenzumrichter zusammen mit Energiespeichern ein wichtiges Mittel zur Verbesserung der Energieeffizienz der Gesamtanlage dar. Neben der Energieeinsparung bietet das Konzept die Nutzeffekte: Reduzierung von Umwandlungsverlusten, Platz- und Kosteneinsparung, Vereinfachung der Installation.

Das Ziel dieses Forschungsvorhabens ist es, Projektierungsregeln zu entwickeln, mit denen auf Basis möglichst weniger Prozessvorgaben das energetisch optimale Mehrmotorenantriebssystem projiziert werden kann.

Die Projektierungsregeln werden allgemein hergeleitet und am Anwendungsbeispiel Regalbediengeräte aufgestellt. In diesem Teilforschungsvorhaben wird insbesondere die Dimensionierung des Speichersystems thematisiert. Bei der Projektierung des Energiespeichers wird der Funktionsumfang berücksichtigt: Zwischenspeichern von Bremsenergie, Unterbrechungsfreie Stromversorgung und Vergleichmäßigung und Reduzierung des Netzstromes. Zur Erreichung der Zielstellung wurden folgende Punkte ausgearbeitet:

1. Berechnungsalgorithmus für eine prädiktive Speichersteuerung zur Vergleichmäßigung und Reduzierung der Netzbelastung
2. Verallgemeinertes Lastprofil für Regalbediengeräte
3. Modellbildung Doppelschichtkondensator und Lithium-Ionen-Akkumulator auf Basis von allgemein zugänglichen Datenblattangaben
4. Verfahren zur Speicherdimensionierung anhand des Lastprofils, der Lebensdaueranforderungen, des Speicherfunktionsumfanges und Speichertopologien

Die theoretischen Ausarbeitungen münden in einem praxisorientierten, umfangreichen Projektierungstool mit einer benutzerfreundlichen Oberfläche. Der Anwender wird auch durch den Vergleich verschiedener Speicher und Speichertopologien befähigt eine geeignete Auswahl nach folgenden Kriterien zu treffen: Lebensdauer, Volumen, Gewicht, Verlustleistung und Kosten.

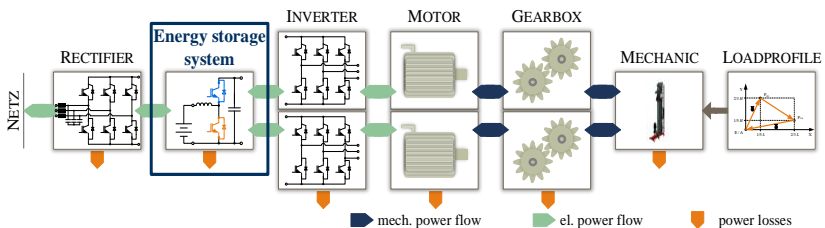


Fig. 1: Leistungsflussmodell eines Mehrmotorenantriebs im DC-Verbund.
Power flow model of a multi-motor drive system in a DC voltage network

Energy-efficient multi-motor drives

In technologically coupled variable-speed multi-motor systems of processing and logistics a DC network of the frequency converters in combination with energy storage devices is an important means of improving the energy efficiency of the entire system. In addition to saving energy, the DC network offers the user further immediate benefits: reduction of conversion losses, saving space and investment costs, reduction and equalization of load on grid and simplification of the installation. The aim of this research proposal is to develop project-planning rules for an energetically optimized multi-motor drive system by using a minimum of process instructions. For the derivation of the project-planning rules based on the application example of storage and retrieval machines the following points will be worked out:

1. General generator of load profiles for storage and retrieval machines
2. Modeling double-layer capacitor and battery based on technical datasheets
3. Calculation algorithm for predictive control of energy storage for equalization and reduction of load on grid
4. Dimensioning of the energy storage based on load profile, lifetime requirements and various features of the energy storage

The theoretical elaborations culminate in a practice-oriented, comprehensive project-planning tool with a user-friendly interface. With this tool, the user can select an energy-efficient drive structure of multi-motor drives and the demand dimensioning of an energy storage in the DC network. Furthermore, by comparing different energy storages and topologies the user is able to make an appropriate choice according to the criteria of lifetime, volume, weight and power loss.

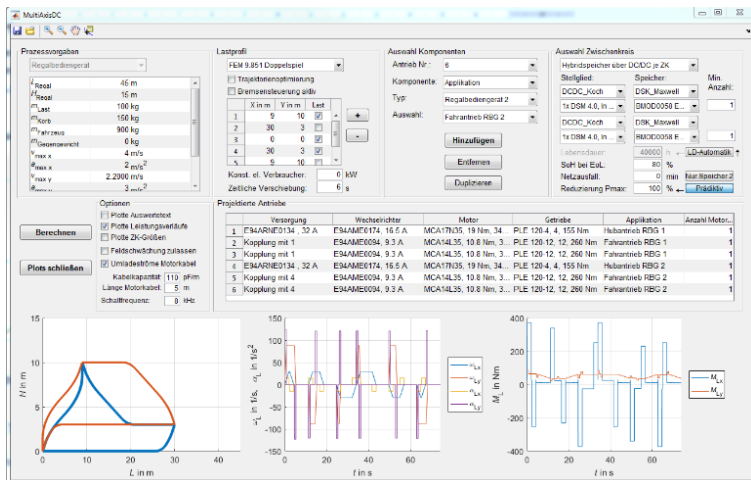


Fig. 2: Projektierungstool zur Dimensionierung von Energiespeichern.
Tool for dimensioning of energy storage

Auswahlssystematik für energieeffiziente Antriebsstränge in rein elektrischen Straßenfahrzeugen

Die Reichweitenbegrenzung elektrischer Fahrzeuge behindert derzeit eine zügige Einführung der Elektromobilität. Hebel zur Problemlösung sind neben einer größeren Batteriekapazität und Energieverbrauchsreduktion der Nebenaggregate die Steigerung der Energieeffizienz im kompletten Antriebsstrang. Der Wirkungsgrad einzelner Komponenten im Antriebsstrang bleibt eher nicht konstant während der Fahrt. Die alleinige Optimierung des höchsten Wirkungsgrades der Komponenten erschließt dabei ein vergleichsweise geringes Energiesparpotenzial. Eine wesentliche Steigerung der Energieeffizienz lässt sich aus dem Blickwinkel des Gesamtsystems durch eine umfassende Untersuchung des Zusammenspiels der Komponenten erreichen, wobei das Lastprofil der Komponenten bezüglich konkreter Fahrzyklen oder Fahrzeuganwendungen analysiert wird und eine vernünftige Dimensionierung der Komponenten erfolgt.

Zum Vergleich der Energieeffizienz von verschiedenen Antriebsstrangvarianten werden für die Einzelkomponenten vereinfachte Verlustmodelle bestimmt. Mit diesen Verlustmodellen ist nur ein geringes Detailwissen für die Abschätzung des Energieverbrauchs der Elektrofahrzeuge erforderlich, damit in einer frühen Projektierungsphase die Bewertung der Antriebsstränge durchgeführt werden kann. Die Bewertung der Varianten führt zu einem Auswahldiagramm, welches die Auswahl eines energieeffizienten Antriebsstrangs mit wenigen anwendungsspezifischen Auswahlkriterien ermöglicht. Beispielsweise dient das in Fig.2 dargestellte Auswahldiagramm zur Auswahl der Getriebekonzepte für Elektrofahrzeuge bzgl. spezifischen Systemanforderungen.

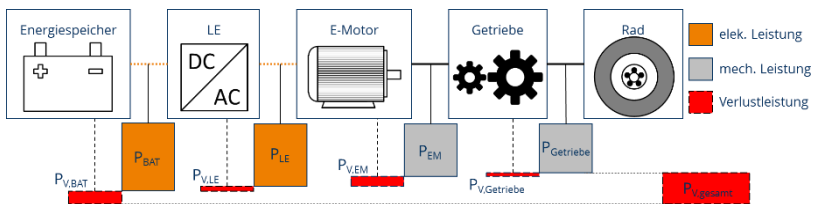


Fig.1: Leistungsfluss im Antriebsstrang der Elektrofahrzeuge.
Power flow in the powertrain of the electric vehicle

Selection systematics for energy efficient powertrains in full electric road vehicles

The limited range of electric vehicles hinders currently the rapid introduction of electric mobility. Enhancement of energy efficiency throughout the entire powertrain is the solution to the problem besides a greater battery capacity and the energy consumption reduction of auxiliary units. Because the efficiency of components in the powertrain does not remain constant while driving, the optimization of the highest efficiency at the components has only a relatively low potential for energy saving. From the perspective of the whole system, a significant improvement in energy efficiency can be achieved through a comprehensive study of the components interaction, in which the load profile of the components is analysed for specific driving cycles or automotive applications to ensure a reasonable dimensioning of the components.

To compare the energy efficiency of different powertrain variants, simplified loss models are determined for the components. The models require little detailed knowledge to estimate the energy consumption of the electric vehicles and make possible the valuation of powertrain variants in an early projecting phase. The valuation result leads to a selection chart, which provides the basis for selection of an energy efficient powertrain with application-specific selection criteria. For example, the selection chart in Fig 2 is used to select the optimal transmission concept for electric vehicles under specific design requirements on the drive system.

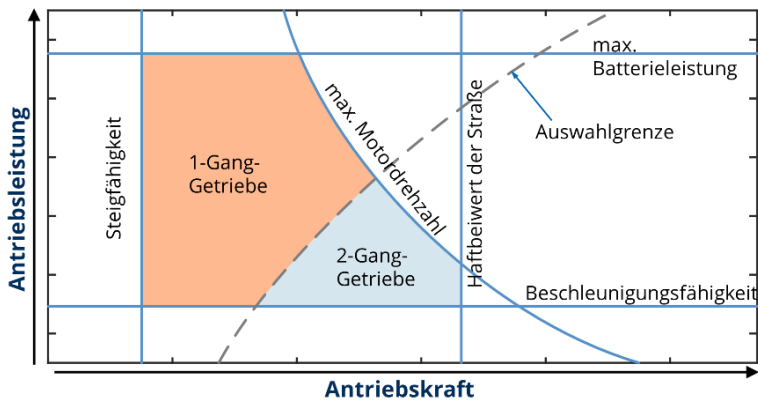


Fig. 2: Auswahldiagramm für Variantenauswahl des Getriebes. Selection diagram for the best transmissions

Prädiktive Rotorflusssteuerung in autonomen Elektrofahrzeugen

Im BMBF geförderten Verbundprojekt *KLEE*, stellt die Fahrplanung des autonomen Fahrzeugs vertrauenswürdige Vorhersagedaten des zukünftigen Lastprofils bereit. Diese Daten werden zur Berechnung optimierter Sollwerttrajektorien im elektrischen Fahrantrieb genutzt. Eine dieser Trajektorien bestimmt die Rotorflussverkehtung der Asynchronmaschine. Im ersten Schritt werden Referenztrajektorien mit Hilfe der Diskreten Dynamischen Programmierung ermittelt. Im Sinne einer einfachen Integration der neuen Funktionen in bestehende Fahrzeuge werden anhand der Ergebnisse der Referenztrajektorien analytische Verfahren zur prädiktiven Sollwertvorgabe entwickelt. Fig. 1 zeigt die Verläufe des Drehmoments, des Rotorflusses und der Verlustenergie bei einem Anfahrvorgang. In Fig. 2 sind die aus den unterschiedlichen Steuerungen resultierenden Verluste im Stadtverkehr zu erkennen.

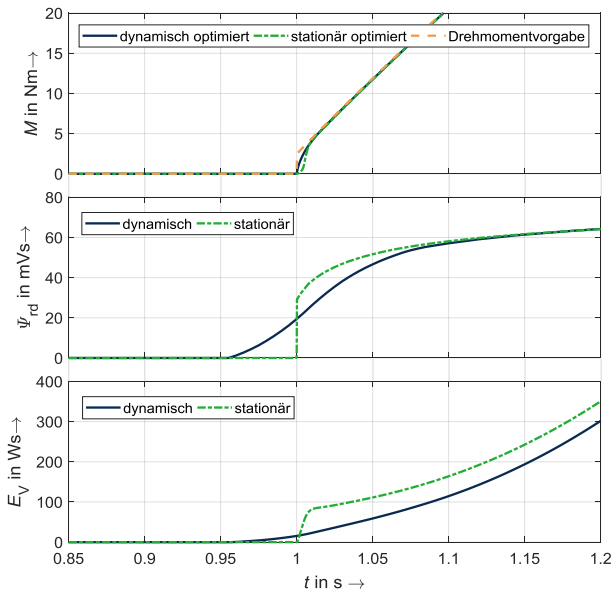


Fig.1: Prädiktive Rotorflusssteuerung im Vergleich zur stationär optimalen Steuerung bei einem Anfahrvorgang. Predictive rotor flux control in comparison to stationary optimal control during an acceleration sequence

Mit einer optimalen stationären bzw. zusätzlich dynamischen Flusssteuerung können die Verluste im Stadtverkehr um 59 % bzw. 61 % gegenüber einer kon-

stanten Rotorflussvorgabe reduziert werden, was zu einer Reichweitenerhöhung von 39 % bzw. 40 % führt.

Predictive rotor flux control in autonomous electric vehicles

As part of the BMBF-funded research project *KLEE*, the autonomous vehicle's schedules provide trustworthy prediction data for the future load profile. These data are used for the calculation of optimized reference value trajectories in the electric traction drive. One of these trajectories determines the rotor flux of the asynchronous machine. In the first step, reference trajectories are determined using Discrete Dynamic Programming. In the sense of a simple integration of the new functions into existing vehicles, analytical methods for predictive reference value specification are developed on the results of the reference trajectories. Fig. 1 shows the curves of torque, rotor flux and losses during an acceleration sequence. Fig. 2 shows the losses in urban traffic caused by the different control methods.

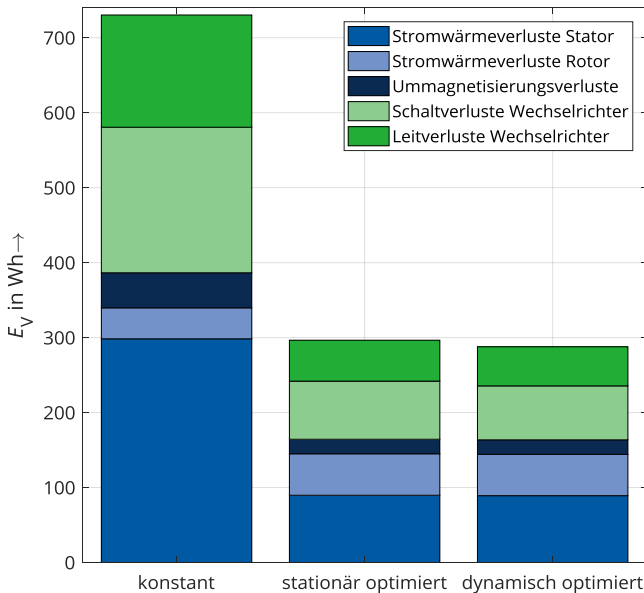


Fig. 2: Vergleich der Verluste im Stadtverkehr. Comparison of losses in urban traffic

With optimal steady state or additional dynamic flux control, losses in urban traffic can be reduced by 59 % or 61 % compared to a constant rotor flux control. This results in an extension of the range of 39 % and 40 % respectively.

Entwurfsoptimierung einer eisenlosen Axialflussmaschine

Der Einsatz einer eisenlosen Axialflussmaschine (AFM) als Antrieb für Schwungradspeicher dient einerseits der Verkürzung der Antriebswelle, andererseits der Minimierung der Leerlaufverluste. Die Maschine besteht aus einem keramischen Wicklungsträger (Fig. 1) zwischen zwei permanentmagnetischen Rotorscheiben.

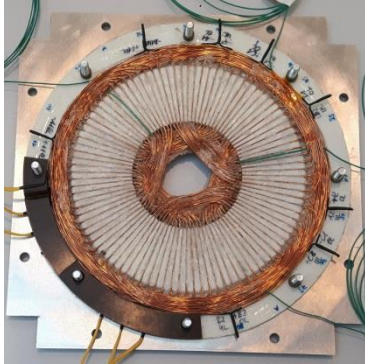


Fig. 1: Funktionsmuster des Wicklungsträgers. Winding carrier sample

Das DFG-Projekt beschäftigt sich mit Entwurf und Betriebsverhalten einer solchen AFM und untersucht deren Ausnutzung für $40\,000\text{ min}^{-1}$ Bemessungsdrehzahl. Der Wicklungsträger besteht aus zwei tellerförmigen, genuteten Scheiben, die um eine halbe Nutteilung versetzt gegenüberliegen. Sie verschließen damit, thermisch und mechanisch günstig, gegenseitig ihre Nuten. Der Versatz bewirkt zudem eine Verdopplung der effektiven Nutzahl. So gelingt es, eine hohe Nutzahl zur Reduzierung von Durchflutungsoberwellen mit einer für hohe Drehzahlen günstigen, kleinen Windungszahl zu vereinen. Die technologische Herausforderung der Verbindung beider Lagen der Zweischichtwicklung in begrenztem Bauraum löst eine Halblochwicklung [1]. Optimiert man die Grundabmessungen für diese Wicklungsvariante unter Berücksichtigung eines Verlustmodells [2], liegt das Verhältnis von Aussen- zu Innendurchmesser D_a/D_i in der Nähe des theoretischen Optimums $\sqrt{3}$. Es zeigt sich, dass große Durchmesser in Verbindung mit hohen Strömen auch ohne Ausnutzung der Spannungsgrenze ein hohes Drehmoment ($\approx 2\text{ Nm}$) erreichen lassen. Ein thermisches Modell verrät, dass der Wicklungsträger ca. 90 % der Verluste abführt.

Die Untersuchung der zu erwartenden Stromverdrängung [3] ergibt einen dominanten Einfluss von Wirbelströmen durch Oberwellen im Polradfluss gegenüber der Stromverdrängung durch Oberschwingungen im Leiterstrom. Sinusförmige Brotlaibmagnete oder entsprechende Polkappen stehen einem materialintensi-

ven Halbach-Array bei der oberwellenarmen Gestaltung des Polradflusses gegenüber [4].

Design optimization of an ironless axial-flux machine

The application of an ironless axial-flux machine (AFM) in the drive of flywheel energy storages does, on the one hand shorten the drive shaft; on the other hand minimize the no-load losses. The machine is built with a ceramic winding carrier (Fig. 1) between two permanent magnetic rotor discs.

The DFG-founded project investigates design and operation behavior of such an AFM and analyzes its utilization for a rated speed of 40 000 rpm. The winding carrier consists of two slotted plates facing each other shifted by half a slot pitch. Thereby, they close each other's slots with mechanical and thermal benefit. The shifting also doubles the effective slot number. This way, the winding combines a high slot number for reduced magneto-motive force harmonics with a low number of turns that suit the high rotational speed. The technological challenge of combining both layers of the two-layer winding is solved by a fractional slot winding [1]. Optimizing the main dimensions for this winding arrangement whilst considering loss models [2] results in a ratio of outer to inner diameter D_o/D_i close to the theoretical optimum $\sqrt{3}$. Furthermore, large diameters and high currents lead to a high torque (≈ 2 Nm) even without utilizing the voltage limit. A thermal model reveals the winding carrier conducting 90 % of the losses.

An investigation of the expected current displacement [3] shows a dominant impact of eddy currents caused by pole flux harmonics compared to the displacement by current harmonics. Sinusoidal bread-loaf magnets or similar pole tip oppose a material costly Halbach-array to reduce the pole flux harmonic distortion [4].

Literature

- [1] Micklitz, T. und Hofmann, W. „Wicklungsgestaltung einer eisenlosen Hochdrehzahl-Axialflussmaschine für Schwungradspeicher“ ETG-Fachbericht 154: Antriebssysteme 2017 [PDF]. 22.-23. Nov. 2017, Karlsruhe. Berlin: VDE Verlag. ISBN 978-3-8007-4467-1
- [2] Wehling, L. „Entwurfsoptimierung einer eisenlosen Axialflussmaschine unter Berücksichtigung der Überlastbarkeit“. Diplomarbeit. TU Dresden, Professur für Elektrische Maschinen und Antriebe (EMA). 2018
- [3] Jaster, M. „Untersuchung erhöhter Stromwärmeverluste in Luftspaltwicklungen“. Studienarbeit. TU Dresden, EMA. 2017
- [4] Bailleu, S. „Oberwellenarme Gestaltung des Magnetkreises eisenloser Axialflussmaschinen“. Diplomarbeit. TU Dresden, EMA. 2017

Untersuchung der schwingungsfähigen Mechanik eines E-Maschinen-Prüfstandes

Bei der Firma M&P Motion Control and Power Electronics GmbH gibt es einen E-Maschinen-Prüfstand mit zwei Servomotoren (je ca. 10 kW Nennleistung). Der Prüfstand dient zur Erprobung und Weiterentwicklung verschiedener Regelverfahren von permanentmagneterregten Synchronmaschinen (PMSM) und Asynchron-Käfigläufermaschinen (ASM). Die beiden Maschinen sind über Kupplungen und eine Drehmomentmesswelle verbunden, wie in Fig. 1 zu sehen ist. Ziel der aktuellen Untersuchungen ist es, herauszufinden wie dynamisch der Prüfstand belastet werden kann. Dazu wird er hinsichtlich seines Drehmoment-Übertragungsverhaltens (von Maschine zu Drehmomentmesswelle) und damit seinen Torsionsschwingungen untersucht. Alle Untersuchungen und Messungen wurden für die PMSM und die ASM durchgeführt.

In einem ersten Schritt wurden für alle 5 Komponenten (siehe Fig. 1) Trägheitsmomente und Torsionsfedersteifigkeiten bestimmt. Mit diesen Daten wurde analytisch und numerisch die Übertragungsfunktion des Fünf-Massensystems bestimmt. Dieses wurde auf ein Zwei-Massensystem reduziert. Es konnte gezeigt werden, dass sich die Systeme für den wichtigen Bereich von 0 - ca. 500 Hz nahezu identisch verhalten. Abschließend wurde das Übertragungsverhalten durch Sprungantwort und Frequenzgangmessungen experimentell bestimmt. Der Prüfstand hat bei ca. 190 Hz (s. Fig. 2) seine erste Resonanzstelle. Damit lässt er sich effektiv nur bis ca. 150 Hz betreiben.

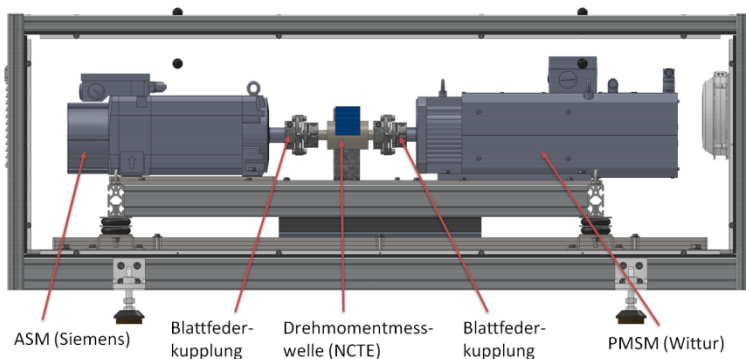


Fig.1: Prüfstand für die Untersuchung von Regelverfahren für E-Maschinen.
Test stand for study of control strategies for electric machines

Study of the vibratory mechanics of an electric machine test stand

The company M&P Motion Control and Power Electronics GmbH has an electric machine test stand with two servomotors (approx. nominal power 10 kW). This test stand is used for test and development of different control methods for permanent magnet synchronous machines (PMSM) and cage rotor induction machine (ASM). The machines are connected by clutches and a torque measuring shaft (see Fig. 1). The goal of the current analyses is it to check the dynamic performance of the test stand. The torque transmission behaviour (from machine to measurement shaft) and by this the torsional vibrations are analysed. Measurements and analyses are done for both machines (PMSM and ASM).

The first step was to get the moment of inertia and torsional stiffness of the 5 test stand components. Using this information the analytic and numeric transfer functions of the five mass system were determined. This system was reduced to a two mass system. It could be shown that booth systems have in the range of 0 – 500 Hz nearly the same behaviour. Finally the transfer function was experimentally determined by step response and frequency response measurements. The test stand has its first resonance point at 190 Hz (see Fig. 2). So it can only be used up to approximately 150 Hz.

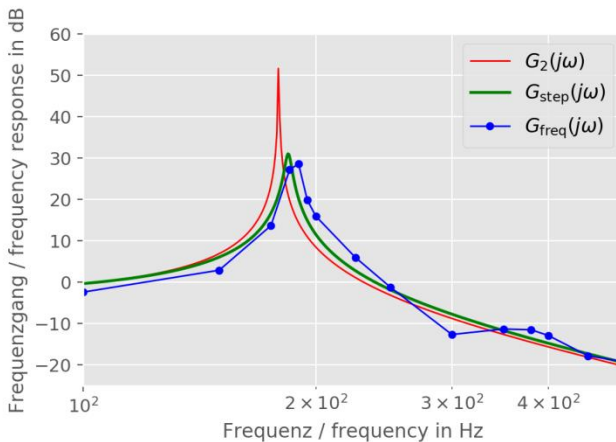


Fig. 2: Frequenzgang: berechnet $G_2(j\omega)$, aus Sprungantwort bestimmt $G_{step}(j\omega)$ und aus diskreten Messpunkten zusammengesetzt $G_{freq}(j\omega)$.

Frequency response: calculated $G_2(j\omega)$, by step response determined $G_{step}(j\omega)$ and out of discret measuring points composed $G_{freq}(j\omega)$

Optimale Auslegung von Asynchronantrieben für hochdynamische Anwendungen

Ein Optimierungsprogramm wurde für die Asynchronmaschine mit Käfigläufer unter hochdynamischen Lastbedingungen entwickelt, vgl. Fig. 1. Eine Besonderheit in der Vorgehensweise ergibt sich aus der Tatsache, dass die stromrichterbetriebene Asynchronmaschine mit Hochstäben im hochdynamischen Betrieb transiente Stromverdrängung und eine dadurch bedingte Verlustzunahme aufweist, die bei der Auslegung und Optimierung des Antriebsmotors unbedingt berücksichtigt werden müssen. Außerdem erfordern hochdynamische Antriebe Motoren mit einem möglichst kleinen Trägheitsmoment.

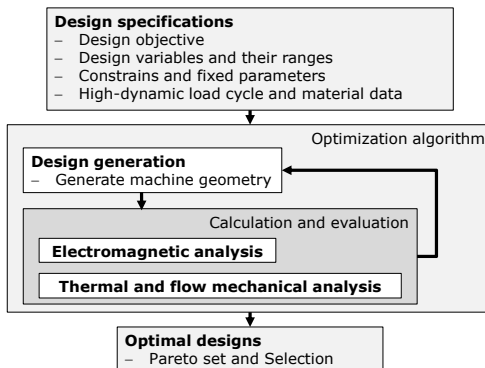


Fig.1: Ablaufplan des Optimierungsprogramms.
Flow chart of the design optimization program

Der Optimierungsalgorithmus steuert den Entwurf bei der gleichzeitigen Erfüllung der Einschränkungen, um die dynamischen Stromverdrängungsverluste und das Trägheitsmoment des Antriebsmotors gleichzeitig zu reduzieren. Der Rechenprozess für die Asynchronmaschine basiert auf der gekoppelten Berechnung von elektromagnetischen und thermischen Modellen, um deren gegenseitige Einflüsse und Abhängigkeiten zu berücksichtigen. Zur Lösung des hochdimensionalen, gemischt ganzzahligen und hoch nichtlinearen Optimierungsproblems der Asynchronmaschine wird ein moderner populationsbasierter metaheuristischer Harmonie-Suche-Algorithmus angewendet, der auf dem Arbeitsprinzip der Musiker bei der Improvisation der Harmonie in einem philharmonischen Orchester basiert. Die optimale Lösung (perfekte Harmonie) wird durch eine iterative Verbesserung von Kombinationen der Designvariablen (Tonstufen von Musikinstrumenten) gesucht. Der Optimierungsprozess läuft so lange ab, bis eine maximale Anzahl von Generationen erreicht ist oder ein Konvergenzkriterium erfüllt ist. Am

Ende erhält man eine Pareto-Front als Ergebnis, vgl. Fig. 2. Im Vergleich zum alten Design R0 werden die dynamischen Stromverdrängungsverluste und das Trägheitsmoment durch Verwendung des neuen Designs D1 jeweils um etwa 56 % bzw. 23 % reduziert.

Design optimization of induction motor drives for highly dynamic applications

A design optimization program shown in Fig. 1 was developed for an induction machine with squirrel cage under highly dynamic load conditions. A special feature in the procedure is resulted from the fact that the converter-driven induction motors with high rotor bars has significant transient skin effect due to high-dynamic torque reversals during high-dynamic load cycles. Therefore, the additional eddy current losses must be taken into account in the design and optimization procedure. Additionally, high-dynamic drives require motors with a moment of inertia as small as possible. Aiming at reducing the additional eddy current losses and the moment of inertia of drive motor simultaneously, the underlying optimization algorithm controls the design generation whilst fulfilling the constraints. The operating behaviors of new generated motor designs are derived by a coupled calculation taking into account the relationships between electromagnetic, thermal and flow mechanical modeling planes. For solving the high-dimensional, mix-integer and highly non-linear optimization problem of induction machines, modern population-based metaheuristic harmony search algorithm is chosen to solve the optimization problem and is based on the working principles of harmony improvisation with different musical instruments. The global minima of the objective (perfect harmony) are searched by an iterative improvement of the combinations of design variables (tone stages of musical instruments). The optimization process iterates until a maximum number of generations is reached or a convergence criterion is met. In the end, we obtain a Pareto-front as result in Figure 2.

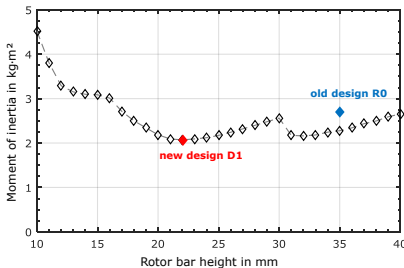


Fig. 2: Paretofront zwischen Stabhöhe und Trägheitsmoment.
Pareto front between bar height and moment of inertia

In comparison to old design R0, the eddy current losses and the moment of inertia are reduced by about 56 % and 23 % respectively by using the design D1.

Neues Pulsverfahren für den 4x3 Matrixumrichter (MC)

Die Ansteuerung elektrischer Maschinen durch Umrichter mit pulsformiger Ausgangsspannung ist ein Standardverfahren in der heutigen Fertigungstechnik. Jedoch können die steilen Spannungsanstiege, wie in [1] gezeigt, und die am Umrichterausgang entstehende Gleichtaktspannung, wie in [2] beschrieben, zu verfrühten Ausfällen führen. Neben passiven Filterschaltungen stellen vor allem Multi-Level-Umrichter eine attraktive Alternative hinsichtlich der immer schneller schaltenden Halbleiter dar.

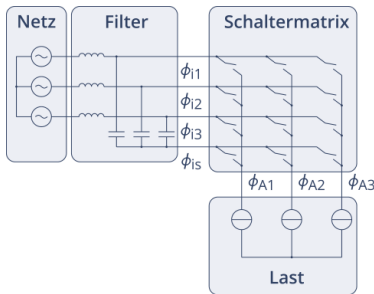


Fig.1: Aufbau einer 4x3 MC-Installation. Setup of a 4x3 MC installation

Ein Vertreter dieser Umrichter ist der 4x3 MC in Fig. 1. Er ist eine Erweiterung des bekannten direkten Matrixumrichters oder 3x3 MC. Er erweitert die Schaltermatrix um drei weitere bidirektional spannungssperrende und stromleitende Schalter, die das Anlegen des Filtersternpunktspotenzials ϕ_{is} an den Lastklemmen ermöglichen. Basierend auf den Herleitungen bzgl. des 3x3 MC in [3], wird in [4] ein neues Pulsmuster für den 4x3 MC hergeleitet. Es verwendet ausschließlich Schalterkombinationen die ϕ_{is} enthalten und reduziert damit die mögliche Ausgangsspannungsamplitude auf 0,433 der Netzamplitude. Fig. 2 zeigt jedoch, dass im Vergleich zum 3x3 MC in diesem Arbeitsbereich sowohl die Belastung der Maschine durch Spannungsanstiege als auch Gleichtaktspannung um mehr als ein Drittel reduziert wird. Zusätzlich reduziert sich in Zusammenhang mit der Kommutierung die Ausgangsstromverzerrung durch die notwendigen längeren Einschaltzeiten der Leistungshalbleiter. In weiteren Arbeiten sollen diese Vorteile noch bis zur Grenze der Spannungsaussteuerung von 0,866 realisiert werden, wie vom 3x3 MC bekannt.

New pulse pattern for the 4x3 Matrixconverter (MC)

The control of electrical machines through converters with pulsed output voltages is a standard procedure in today's manufacturing technology. However, the steep voltage rise, as shown in [1], and the common mode voltage at the converter output terminals, as described in [2], can lead to premature failure of the drive.

Besides passive filter, multi-level converters represent an attractive alternative regarding the accelerating switching speeds of modern power electronics. One solution could be the 4x3 MC in fig. 1. it is an extension of the well-known direct matrix converter or 3x3 MC. Three additional bidirectional voltage blocking and current conducting switches extend the switch matrix to the 4x3 MC. As a result, the filter capacitor neutral point potential ϕ_{is} can be applied to the load terminals. Based on the derivation in [3], in [4] a new pulse pattern for the 4x3 MC is presented. It uses the switch combinations including ϕ_{is} only. As a result, the output to input voltage ratio is reduced to 0,433. However, Fig. 2 shows that a reduction of output voltage rise and common mode voltage by more than a third is possible at the machine terminals. Additionally, the output current distortion is reduced by the longer switch-on durations of the power semiconductors with respect to the commutation process. Future works are supposed to extend those features to the voltage ratio boundaries of 0,866, as well known for the 3x3 MC.

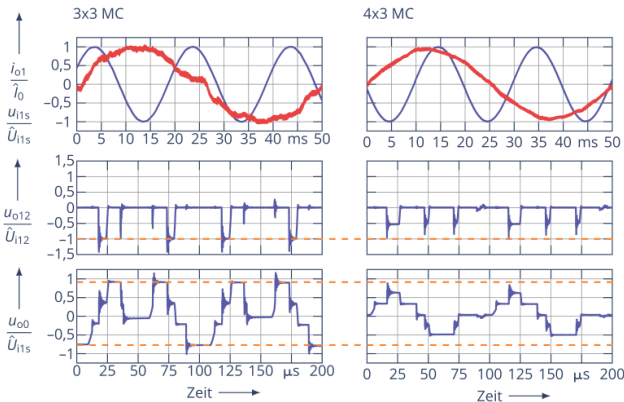


Fig. 2: Experimentelle Ergebnisse für eine Eingangsspannung von $U_{115} = 230 \text{ V}$.
Experimental results at input voltage $U_{115} = 230 \text{ V}$

Literature

- [1] Berth, M.: Elektrische Belastung der Wicklungsisolierung pulsumrichter gespeister Niederspannungsmotoren, Fortschritt-Berichte VDI, Reihe 21: Elektrotechnik, Nr. 247, Diss., TU Dresden, 1996
- [2] Hausberg, V. ; Seinsch, H. O.: Kapazitive Lagerspannungen und -ströme bei umrichter gespeisten Induktionsmaschinen. Electrical Engineering 82, 2000
- [3] Huber, László ; Borojević, Dušan: Space Vector Modulated Three-Phase to Three-Phase Matrix Converter with Input Power Factor Correction. In: IEEE Transactions on Industry Applications Vol. 31, 1995
- [4] M. Leubner, N. Remus, J. Haase, W. Hofmann: Collector-Emitter voltage based one-step commutation for direct three-level matrix converter, European Power Electronics Conference, EPE 2018, pp. 10, 2018.

Berechnung von Mittel- und Effektivwerten für Z-Source-Inverter

Mittel- und Effektivwerte sind nötig, um den Wirkungsgrad des Z-Source-Inverter (ZSI) zu bestimmen. ZSI können die Zwischenkreisspannung hochsetzen, siehe Fig. 1. Die Spannung U_{DC} der Quelle ist konstant und die Spannung u_z des Kondensators kann größere Werte als U_{DC} annehmen. Das hängt vom Tastverhältnis D des Kurzschlusses ab. Durch das Schalten aller sechs IGBT entsteht der Kurzschlusszustand (ST) und die Diode D_z schaltet aus. In der Raumzeigermodulation des ZSI sind alle herkömmlichen Zustände Nichtkurzschlusszustände (NST). Die Fig. 2a zeigt eine Schaltperiode. Das Modulationsverfahren definiert alle Zeitintervalle, siehe Fig. 2b.

Die Berechnungsmethode hat zwei Schritte. Der erste Schritt ist die Bestimmung des Referenzvektors \mathbf{x}_0 . Deswegen wird die Zustandsraumdarstellung des Systems in Gl. (1) und (2) definiert:

$$\dot{\mathbf{x}}(t) = \mathbf{A}_{ST,NST}\mathbf{x}(t) + \mathbf{B}_{ST,NST}\mathbf{u}(t) \quad (1)$$

$$\mathbf{y}(t) = \mathbf{C}_{ST,NST}\mathbf{x}(t) + \mathbf{D}_{ST,NST}\mathbf{u}(t) \quad (2)$$

wobei $\mathbf{x}(t) = [i_z \quad u_z]^T$, $\mathbf{y}(t) = [i_{DC} \quad i_{CZ}]^T$ und $\mathbf{u}(t) = [i_{INV} \quad U_{DC}]^T$. Zu beachten ist, dass unterschiedliche Matrizen für ST- und NST-Zuständen vorgesehen werden. Für die Lösungen der Differentialgleichungen berücksichtigt man, dass der letzte Wert eines Intervalls der Anfangswert des nächsten Intervalls ist. Beim stationären Zustand kann man $\mathbf{x}_0 = \mathbf{x}(t_0) \cong \mathbf{x}(t_{12}) \cong \mathbf{x}(t_{24}) \cong \dots$ annähern, wonach der Referenzvektor \mathbf{x}_0 in Gl. (3) berechnet wird:

$$\mathbf{x}_0(t, T) = \left(\mathbf{I} - \left(e^{\mathbf{A}_{ST} \frac{DT}{4}} e^{\mathbf{A}_{NST} \frac{(1-D)T}{2}} e^{\mathbf{A}_{ST} \frac{DT}{4}} \right)^2 \right)^{-1} \left(\mathbf{\Gamma}_{12} + \sum_{j=1}^{12} \left(\prod_{k=1}^j e^{\mathbf{A}_{ST,NST}(t_{13-k} - t_{12-k})} \right) \mathbf{\Gamma}_{12-j} \right) \quad (3)$$

wobei $\mathbf{\Gamma}_j(t) = (e^{\mathbf{A}_{ST,NST}(t_j - t_{j-1})} - \mathbf{I}) \mathbf{A}_{ST,NST}^{-1} \mathbf{B}_{ST,NST} \mathbf{u}(t)$. Die Gl. (3) wird mit der Taylorreihe in der Umgebung von $T = 0$ als $\tilde{\mathbf{x}}_0$ approximiert, siehe Gl. (4).

Letztendlich wird der Mittelwert des Zustandsvektors in Gl. (5) berechnet. Die Taylorreihe der Lösung stimmt mit dem Referenzvektor $\tilde{\mathbf{x}}_0$ überein. Der Effektivwert des Ausgangsvektors \mathbf{y} wird in Gl. (6) berechnet. Es wurde eine Methode entwickelt, um eine geschlossene Lösungsformel für Mittel- und Effektivwerte im ZSI zu ermitteln.

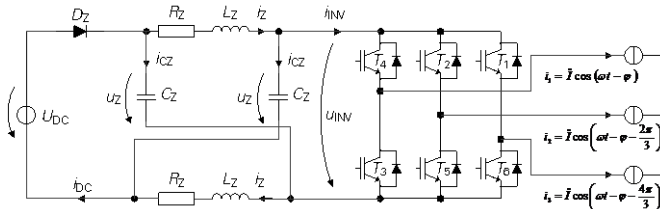


Fig.1: Wechselrichter. Z-Source inverter.

Average and RMS values calculation in Z-source inverters

Average and rms values are needed to determine the efficiency of Z-source inverters (ZSI). ZSIs have the ability to boost the dc-link voltage, see Fig. 1. The voltage source U_{DC} is fixed and the capacitor voltage u_z takes values greater than U_{DC} depending on the duty cycle, D , of the shoot-through. Shoot-through (ST) states turn on all six IGBTs and turn off the diode D_z . In the space vector modulation for ZSI, non-shoot-through (NST) states are all states of the traditional modulation scheme. Fig. 2a shows a switching period. The modulation defines all the interval durations, Fig. 2b. (Definitions: $\Delta t_{R,L} \propto |\underline{u}_{R,L}(t)|$, $\Delta t_R + \Delta t_L + \Delta t_Z = (1-D)T$, $M = 2|\underline{u}|/U_{DC}$). The method to calculate average and RMS values has two steps. Firstly, the reference vector \mathbf{x}_0 is determined. Therefore, the state space representation of the system is defined in eqs. (1) and (2). Notice that different matrices are defined for ST and NST states. The solution of the differential equation is calculated considering that the final condition of an interval is the initial condition of the next interval. In steady state we have that $\mathbf{x}_0 = \mathbf{x}(t_0) \cong \mathbf{x}(t_{12}) \cong \mathbf{x}(t_{24}) \cong \dots$, thus the reference vector \mathbf{x}_0 can be calculated, see eq. (3). Approximating eq. (3) by Taylor series at the point $T = 0$, $\tilde{\mathbf{x}}_0$ is obtained

$$\tilde{\mathbf{x}}_0 = \begin{bmatrix} \tilde{i}_{z0} \\ \tilde{u}_{z0} \end{bmatrix} = \left\{ \begin{bmatrix} \frac{1}{1-2D} & 0 \\ -\frac{R_z}{(1-2D)^2} & \frac{1-D}{1-2D} \end{bmatrix} + \left[\frac{0 \left(\frac{1}{2}\right)}{D} & 0 \right] T \right\} \left[\frac{3}{4}(1-D)M \cos \varphi & 0 \\ 0 & \frac{1}{2} \right] \begin{bmatrix} \hat{i} \\ \hat{u} \\ U_{DC} \end{bmatrix} \quad (4)$$

The second step is the calculation of average or rms values. The average value of the state vector is calculated in eq. (5).

$$\tilde{\mathbf{x}}_{av} = \frac{3\omega}{\pi} \int_0^{\frac{\pi}{3\omega}} \left(\frac{1}{T} \sum_{q=1}^{12} \int_{t_{q-1}}^{t_q} \mathbf{x}(\tau) d\tau \right) dt = \tilde{\mathbf{x}}_0 \quad (5)$$

The Taylor series approximation yields the same result as the reference vector $\tilde{\mathbf{x}}_0$. The rms value of the output vector \mathbf{y} is calculated in eq. (6).

$$\tilde{\mathbf{y}}_{rms} = \sqrt{\frac{3\omega}{\pi} \int_0^{\frac{\pi}{3\omega}} \left(\frac{1}{T} \sum_{q=1}^{12} \int_{t_{q-1}}^{t_q} [\mathbf{y}(\tau)]^2 d\tau \right) dt} = \hat{i} \sqrt{\frac{\sqrt{3}(1-D)M}{2} \sqrt{\frac{1}{2\pi + \cos^2 \varphi} \left(\frac{2}{\pi} + \frac{9D(1-D)M}{2\sqrt{3}(1-2D)^2} \right)}} \quad (6)$$

A method was developed to calculate closed formulas of average and rms currents and/or voltages in ZSI.

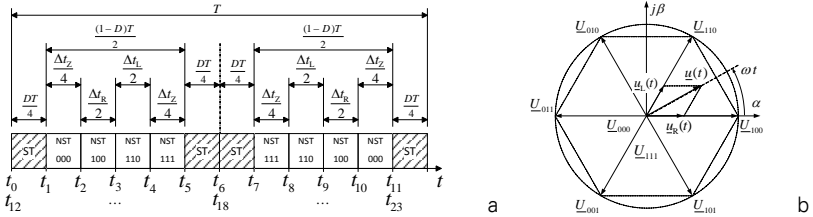


Fig.2: a. Schaltperiode im 1. Sektor, b. Raumzeigermodulation.
a. Switching period during the first sector, b. Space vector modulation.

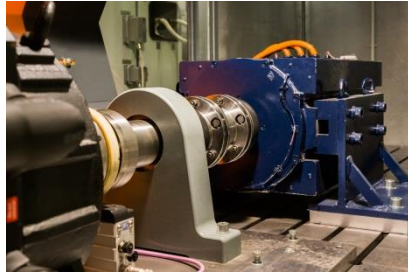
5. AUSSTATTUNG DES LEHRSTUHLS

Neben Arbeitsräumen für Diplomanden, Studienarbeiter, Gastwissenschaftler, IAESTE-Studenten, die mit modernster 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



Prüfstand Maschinen und Antriebe



Schaltschrankbatterie zum Prüfstand

5.1 Prüfstand Elektrische Maschinen und Antriebe

Der Prüfstand (Baujahr 2015, Förderung als Großgerät durch die DFG) im Lichthof des Görgesbaus ermöglicht die realitätsnahe Optimierung, Analyse und Validierung von Elektromotoren sowie der zugehörigen Leistungselektronik im Leistungsbereich bis 200 kW. Die Prüfanlage ist mit rückspeisefähigen Netzstromrichtern auf der Belastungs- und Prüflingsseite 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 Prüflingsmotoren verfügbar. Eine Besonderheit ist die Bereitstellung einer variablen Zwischenkreisspannung für die Maschinenstromrichter auf der Prüflingsseite (10...800 VDC, ± 600 ADC). Damit ist die Anpassung an verschiedene Gleichspannungsebenen für EV/HEV-Antriebe und stationäre Industrieantriebe ausführbar. Zur Untersuchung neuer stromrichter-naher Steuer- und Regelalgorithmen ist zusätzlich ein Experimentierstromrichter in Kombination mit einem universellen Mikrorechnersystem 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 Oberschwingungsbehafteten 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.

In unmittelbarer Nachbarschaft des Prüfstandes steht eine Druck-Volumenstrom-Messeinrichtung zur experimentellen Bestimmung thermischer und strömungstechnischer Eigenschaften elektrischer Maschinen. Die Kombination beider Anlagen kann Entwicklungsreserven bei der Erhöhung der Effektivität der Motorkühlung aufzeigen

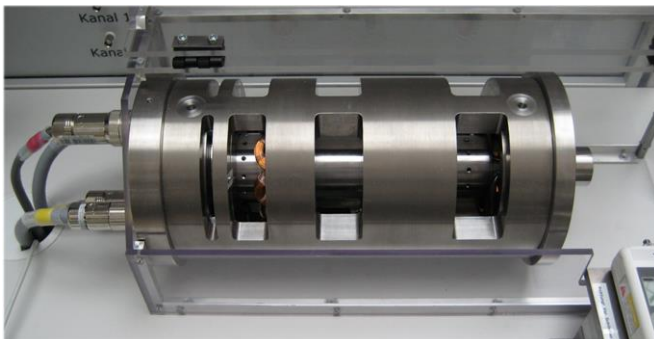
5.2 Weitere Versuchsstände für die Forschung

- Labor Energiesystemtechnik mit Netznachbildung, Filtertechnik und Modellanlage für Windenergie und zur Untersuchung von Netzzrückwirkungen
- Optimale Bewegungssteuerung mit Rotations- und Linearantrieben
- Matrixumrichter, Z-Source-Inverter
- Rechnergestützte Bewegungssteuerung; automatisierter Entwurf des Programmkodes für Steuergeräte
- Messeinrichtungen zur Feld- und Wirbelstromverteilung
- Aktive Magnetlager

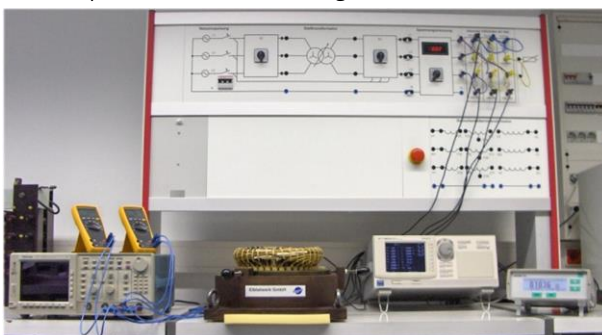
- Schleifringprüfstand



- 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



5.3 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, Echtzeitkodegenerierung, Profibus (3 Drehstromstellantriebe)
- Weitere Versuchsstände zur Vertiefungsausbildung elektrische Maschinen und Antriebe in den Studiengängen Elektroenergie-technik und Mechatronik

5.4 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. Henry Barth

Dipl.-Ing. Arne Brix

Dipl.-Ing. Chris Evers

Dipl.-Ing. Kyoungseok Woo

Dipl.-Ing. Robin Linus Liebfried

Dipl.-Ing. Martin Leubner

M. Sc. Tobias Micklitz

Dipl.-Ing. Nico Remus

Dipl.-Ing. Robert Seifert

Dipl.-Ing. Gunar Steinborn

M. Sc. Sumit Patil

M. Sc. Shaohui Yuan

Dipl.-Ing. Yuanpeng Zhang

Freie Mitarbeiter

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

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

Fachpersonal

Sylvia Schad

Dipl.-Ing. Axel Rusch

Doktoranden

Dipl.-Ing. Falk Bahr

M.Sc. Swen Bosch

Dipl.-Ing. Jan Döring

Dipl.-Ing. (FH) Martin Eckart

Dipl.-Ing. Stephan Günther
M.Sc Hrishikesh Joshi
M.Sc. Sören Miersch
Dipl.-Ing. (FH) Philipp Miska
M.Sc. Johann Pecho
Dipl.-Ing. Ludwig Schlegel
M.Eng. Stefan Staudt

Studentische Hilfskräfte:

Toka Paulin Awassi
Felix Eichler
Patrick Suwinski
Hujun Peng
Simon Schneider

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

9. LAGEPLAN

Lageplan des Campus (Südvorstadt)

Stand: 31. Juli 2011

