OPUS-HSO

Repositorium der Hochschule Offenburg
https://opus.hs-offenburg.de

Elektromobilität: Prüfstände für die Optimierung des elektrischen Antriebsstrangs

Christian Klöffer, Patrick König, Jan Philipp Degel

Zitiervorschlag im APA Stil:

Klöffer, C., König, P., & Degel, J. P. (2021). Elektromobilität: Prüfstände für die Optimierung des elektrischen Antriebsstrangs. In *Forschung im Fokus* (Issue 24, pp. 72–74). Hochschule Offenburg. https://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:bsz:ofb1-opus4-48483

Abstract

Der vorliegende Beitrag beschreibt die Motivation hinter den Forschungsarbeiten im Electric Mobility Competence Center (EMC^2) rund um elektrische Antriebskomponenten für die Elektromobilität sowie die Notwendigkeit, diese Forschungsarbeiten an Prüfständen zu testen und zu validieren. Zunächst wird näher auf die Charakteristik von elektrischen Maschinen eingegangen, um anschließend die verwendete Prüfstandtechnik vorzustellen.

Nutzungsbedingungen

Dieses Dokument wird unter diesen Bedinungen zur Verfügung gestellt:
Urheberrechtlich geschützt
Für weitere Informationen siehe:
https://rightsstatements.org/page/InC/1.0/

Kontakt

Hochschule Offenburg | Bibliothek
Badstraße 24
77652 Offenburg
Telefon: (0781) 205-240
E-Mail: bibliothek@hs-offenburg.de
www.hs-offenburg.de/bibliothek

Elektromobilität:

Prüfstände für die Optimierung des elektrischen Antriebsstrangs

Prof. Dr.-Ing. Christian Klöffer, Prof. Dr.-Ing. Patrick König, Philipp Degel M.Sc.

Der vorliegende Beitrag beschreibt die Motivation hinter den Forschungsarbeiten im Electric Mobility Competence Center (EMC^2) rund um elektrische Antriebskomponenten für die Elektromobilität sowie die Notwendigkeit, diese Forschungsarbeiten an Prüfständen zu testen und zu validieren. Zunächst wird näher auf die Charakteristik von elektrischen Maschinen eingegangen, um anschließend die verwendete Prüfstandtechnik vorzustellen.

The present article describes the motivation behind the research work about electric drivetrain components for electromobility usage of the Electric Mobility Competence Center (EMC^2). Furthermore, the need for testbenches to test and validate this research work is explained. At first the characteristic of electrical machines is described, later on the used test bench technology is presented.

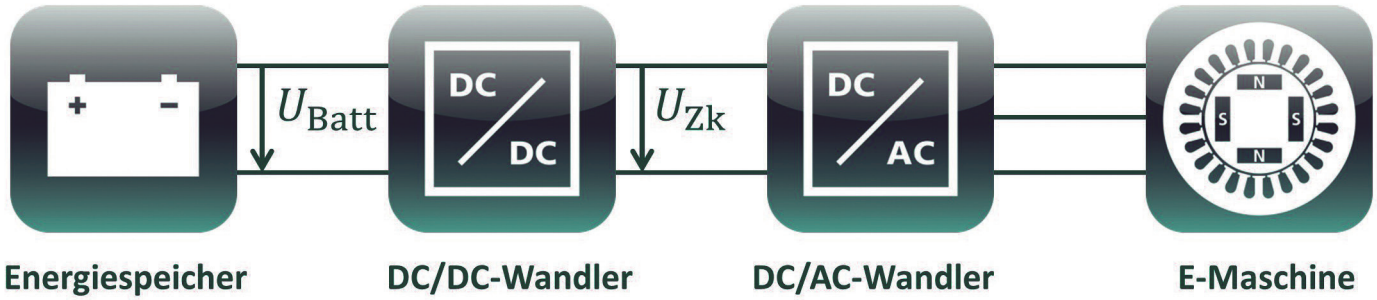

Abb. 1: Antriebskomponenten in Batterieelektrischen Fahrzeugen (BEVs) [1]

Motivation

Die Elektromobilität stellt gerade im Bereich der Individualmobilität neue Ansprüche an die eingesetzten Antriebskomponenten. Insbesondere im Bereich von Elektrofahrzeugen (BEV, Battery Electric Vehicles) bzw. Hybridfahrzeugen (HEV, Hybrid Electric Vehicles), wo unter dem Überbegriff Antriebskomponenten meist die Batterie, der Frequenzumrichter sowie die elektrische Maschine verstanden wird (siehe Abbildung 1), liegen diese Ansprüche in den Bereichen hoher Wirkungsgrad, hohe Leistung, geringes Gewicht, geringes Volumen und lange Lebensdauer. Da die Erfüllung dieser Punkte gegenüber dem ebenfalls für Serienanwendungen essenziell wichtigen Aspekt der Kosten häufig einen klassischen Zielkonflikt darstellt, ist die Entwicklung und Optimierung dieser Komponenten eine herausfordernde Aufgabe. Der im vorliegenden Artikel erläuterte Forschungsschwerpunkt fokussiert sich hierbei auf den optimierten Betrieb der unter Berücksichtigung der zuvor angesprochenen Zielkriterien elektromagnetisch und mechanisch ausgelegten, elektrischen Maschine (E-Maschinen).

Grundlagen

Aus der Vielzahl unterschiedlicher Typen elektrischer Maschinen werden derzeit in Elektro- bzw. Hybridfahrzeugen überwiegend permanentmagneterregte Synchronmaschinen (PMSM) favorisiert [2]. Grundsätzlich bestehen E-Maschinen aus einem feststehenden Teil, dem Stator und einem beweglichen Teil, dem Rotor. In den Stator wird bei PMSMs ein dreiphasiger Wechselstrom eingeprägt, der ein rotierendes Magnetfeld erzeugt. Der Rotor wiederum ist mit Permanentmagneten versehen. Das stromerzeugte Magnetfeld des Stators und das magneterzeugte Feld des Rotors wechselwirken im motorischen Betrieb so miteinander, dass das Rotormagnetfeld dem Statormagnetfeld folgt und sich somit der Rotor mechanisch dreht. Mit dieser erzeugten Rotordrehung lässt sich dann die gewünschte Antriebswirkung im Fahrzeug erzielen.

In nahezu allen elektrischen Maschinen wird weichmagnetisches Material mit hoher Permeabilität (magnetische Leitfähigkeit), meist spezielle Eisenlegierungen, eingesetzt. Dies hat einerseits den Zweck, die Magnetfelder in ihrer räumlichen Ausbreitung zu führen sowie auch die magnetische Flussdichte und damit die Kraftwirkung auf den Rotor deutlich zu steigern. Aufgrund der eingangs geschilderten Forderung nach geringem Gewicht und Volumen bei gleichzeitig hoher Leistung wird versucht, mit möglichst starken magnetischen Feldern zu arbeiten, um so die Kraftwirkung zwischen Stator- und Rotormagnetfeld zu maximieren.

Im Gegensatz zu E-Maschinen, die für stationäre Industrieanwendungen konzipiert sind, befindet sich das weichmagnetische Material von E-Maschinen für die Elektrotraktion meist im Bereich der magnetischen Sättigung. Unter magnetischer Sättigung wird die Limitierung der linearen Zunahme der magnetischen Flussdichte trotz Steigerung des für die Magnetfeldentstehung verantwortlichen Stroms verstanden (siehe Abbildung 2). Dies führt bei größeren Strömen zu einer starken Nichtlinearität des Maschinenverhaltens und erhöht somit den Grad der Komplexität der mathematischen Modellbildung sowie der Regelung der Maschine.

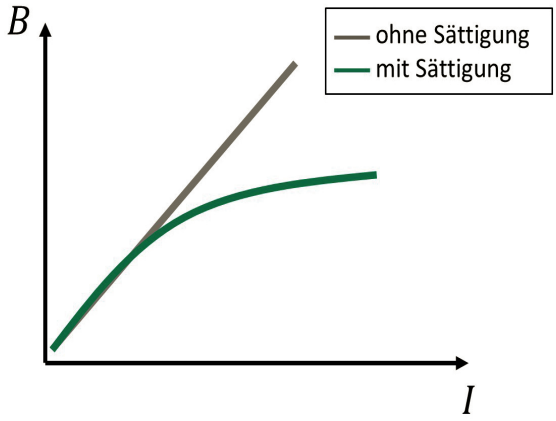

Abb. 2:
Verlauf der magnetischen Flussdichte

Gängige Steuer- und Regelungsverfahren sowie Ansätze zur wirkungsgradoptimalen Erzeugung eines gewünschten Drehmomentes für die beschriebenen elektrischen Maschinen basieren vorwiegend auf theoretischen Grundlagen, teils noch aus den 1920er-Jahren. Diese betrachten die Tatsache der magnetischen Sättigung meist aufgrund der nicht vorhandenen Notwendigkeit gar nicht oder nur unzureichend [3]. Im Wesentlichen ist diese Thematik erst mit Aufkommen der Elektromobilität Gegenstand zahlreicher Forschungen [4]. Nicht zuletzt auch deshalb, da das Potenzial der digitalen Signalverarbeitung Möglichkeiten zur Maschinenregelung bietet, die noch vor wenigen Jahren undenkbar gewesen wären [5].

Die Forschungstätigkeiten im Electric Mobility Competence Center (EMC^2) knüpfen hier an. Es werden zunächst umfangreiche, detaillierte Motormodelle entworfen, die computergestützt das reale Verhalten der elektrischen Maschinen möglichst gut abbilden. Auf Basis dieser Modelle können dann Algorithmen zur verbesserten Steuerung und Regelung der elektrischen Maschinen entwickelt werden. Das Ziel hierbei ist sowohl der wirkungsgradoptimale als auch der robuste und fehlerfreie Betrieb der elektrischen Maschine. Diese Algorithmen werden dann in der Steuereinheit des Frequenzumrichters eingesetzt, um die notwendigen Spannungen für die Erzeugung der Magnetfelder zu generieren und dem Motor zur Verfügung zu stellen.

Zur Validierung und Optimierung dieser Modelle sowie der damit abgeleiteten Steuer- und Regelungsalgorithmen sind Vermessungen der realen Antriebskomponenten an Prüfständen, wie sie nachfolgend beschrieben werden, unerlässlicher Bestandteil seriöser Forschungsarbeiten.

Prüfstände für Antriebskomponenten im RIZ

Um die Betriebsbereiche der Antriebskomponenten vollständig zu durchfahren, sind Prüfstände, wie in Abbildung 3 gezeigt, üblich. Die blau hinterlegten Komponenten sind hierbei der zu prüfende Frequenzumrichter bzw. die zu prüfende elektrische Maschine. Die grün hinterlegten Komponenten bilden die Bremseinheit (elektrische Lastmaschine), um die Prüflingsmaschine auf einer bestimmten Drehzahl zu halten. Gelb hinterlegt ist die Spannungsversorgung, die mit dem elektrischen Netz verbunden ist. Häufig wird aus Kosten- und Sicherheitsgründen auf eine reale Antriebsbatterie verzichtet und stattdessen auf eine Batterie-Nachbildung mittels eines ansteuerbaren Batterieemulators (rot) zurückgegriffen.

Referenzen/References:
[1] Klöffer, C. (2015): „Reichweitenverlängerung von Elektrofahrzeugen durch Optimierung des elektrischen Antriebsstranges". 978-3844039610. Aachen: Shaker
[2] Kampker, A. (2013): „Elektromobilität – Grundlagen einer Zukunftstechnologie". 978-3-642-31986-0. Berlin: Springer
[3] R. H. Park, „Two-reaction theory of synchronous machines generalized method of analysis-part I," in Transactions of the American Institute of Electrical Engineers, vol. 48, no. 3, pp. 716-727, July 1929, doi: 10.1109/T-AIEE.1929.5055275
[4] Gemaßmer, T., Klöffer, C., Veigel, M. et al. Charakterisierung und Regelung hoch ausgenutzter permanentmagneterregter Synchronmaschinen für den Einsatz in Traktionsantrieben. Elektrotech. Inftech. 133, 136–141 (2016). https://doi.org/10.1007/s00502-016-0398-6
[5] M. W. Naouar, A. A. Naassani, E. Monmasson and I. Slama-Belkhodja, „FPGA-Based Predictive Current Controllerfor Synchronous Machine Speed Drive," in IEEE Transactions on Power Electronics, vol. 23, no. 4, pp. 2115-2126, July 2008, doi: 10.1109/TPEL.2008.924849

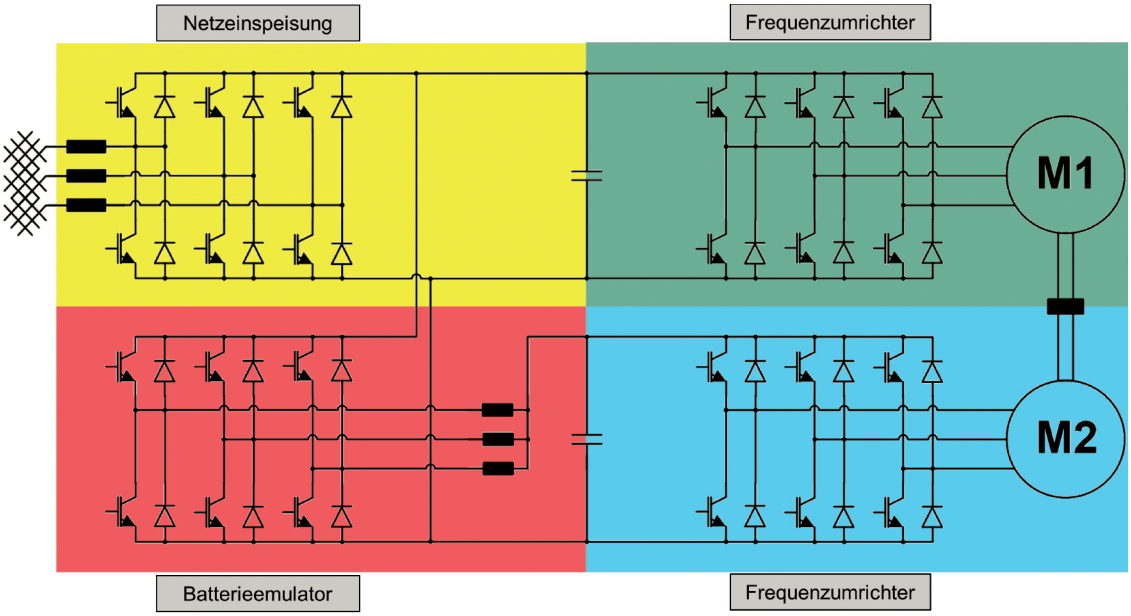

Abb. 3:
Prüfstandkonzept

Um die Antriebskomponenten der Elektromobilität in ihrer Vielfältigkeit und Leistungsklasse vom eScooter über Hybrid- und Elektrofahrzeuge bis hin zu Straßenbahnen abzudecken, sind aktuell zwei Prüfstände im Aufbau bzw. in der Beschaffung. Die Anwendungsbereiche und Leistungsdaten sind in Tabelle 1 dargestellt. Mit der Fertigstellung des Prüfstandes des mittlerer Leistung wird in Kürze gerechnet. Beim Prüfstand für höchste Antriebsleistung wird von einer Inbetriebnahme Ende 2021 ausgegangen.

Zusätzlich zu den beschriebenen Prüfständen zum Betrieb realer elektrischer Maschinen ist ein sogenannter E-Maschinen-Emulator im Einsatz. Ein E-Maschinen-Emulator ist in der Lage, elektrische Maschinen mit (in Grenzen) beliebigen Parametern nachzubilden. Er ersetzt somit den Prüfling in Abbildung 3 durch eine leistungselektronische Komponente, die sich klemmenseitig wie die reale elektrische Maschine verhält. Somit kann beispielsweise die Funktionsfähigkeit der entwickelten Steuer- und Regelungsalgorithmen ohne das Vorhandensein weiterer realer Maschinen in seiner Universalität validiert werden. Mit minimalem Aufwand lassen sich hiermit Fehlerfälle in elektrischen Maschinen nachbilden und die Reaktion der Steuer- und Regelungsalgorithmen daraufhin bewerten.

	Prüfstand mittlerer Antriebsleistung	Prüfstand höchster Antriebsleistung
Geplante Fertigstellung	Mitte 2021	Anfang 2022
Anwendungsbereich	Pedelec bis Mild-Hybrid	Full-Hybrid, BEV, LKW, Straßenbahn, Bus
max. Leistung	50 kW	450 kW
max. Motordrehzahl	12.000 1/min	20.000 1/min
max. Motordrehmoment	100 Nm	500 Nm
max. Motorstrangströme	500 Arms	1000 Arms
max. Motorstrangspannungen	365 Vrms	365 Vrms
Batteriespannung	12 - 900 V	12 - 900 V

Tab. 1: Prüfstandübersicht

AUTOREN

Prof. Dr.-Ing. Christian Klöffer
Leiter Electric Mobility Competence Center (EMC^2), INES, Elektromobilität
christian.kloeffer@hs-offenburg.de

Prof. Dr.-Ing. Patrick König
Leiter Electric Mobility Competence Center (EMC^2), INES, Elektromobilität
patrick.koenig@hs-offenburg.de

Philipp Degel M.Sc.
Doktorand Electric Mobility Competence Center (EMC^2), INES, Elektromobilität
philipp.degel@hs-offenburg.de