

Liebe ehemalige und jetzige LEAner/innen, liebe Förderer des Fachgebiets LEA!

Herzlich willkommen zur 12. Ausgabe unseres LEAiD-Newsletters. Einleitend möchte ich wieder über einige ausgewählte Neuigkeiten des letzten Jahres berichten mit Fokus auf LEA-Internes. Zwar schieden im letzten Berichtsjahr die langjährigen Mitarbeiter T. Grote, H. Figge, A. Specht, M. Lönneker, M. Hu, Z. Cao - also fast eine halbe Generation von LEA Mitarbeitern aus, aber im Zuge der Fortsetzung von Industriekoooperationen und der neuen *it's OWL* Projekte wurden auch die Herren O. Wallscheid, C. Henkenius, T. Vogt und L. Keuck neu eingestellt.

Immer noch stellt die Universität Paderborn die größte Baustelle im Stadtgebiet dar, so dass einige von euch Ehemaligen den Uni-Campus beim Besuch z.B. des IEEE chapter meetings vom 22-23.11.2012, welches dSPACE und LEA ausrichteten, kaum wiedererkannten: Für die vorgenannte Veranstaltung nutzten wir einen Vorlesungsraum des 4-stöckigen O-Gebäudes, das nun die IW-Halle aus Pohlwegside verbirgt und die Informatik am Campus und das Parallelrechenzentrum beherbergt. Eine Erweiterung der IW-Halle nach Westen ist nun Standort der Stiftungsprofessur Leichtbau, die von der Benteler AG finanziert wird. Vom Südring fällt das neue Chemiegebäude K und das J-Gebäude auf. Am Pohlweg entstanden noch weitere Studentenwohnheime, die aber für die Aufnahme der 2500 zusätzlichen Studenten an der UPB bedingt durch den Doppelabiturjahrgang sicher nicht ausreichen. Deshalb sind noch weitere im Bau, denn leider gibt es zwischen dem Studentenberg und der Belegung der Kasernen durch die Briten eine Überlappung von mehreren Jahren. Dem Internetauftritt der UPB ist entnehmbar, daß sich die Studierendenzahl von 13.414 im Jahr 2008/09 auf knapp 19.000 im Jahr 2012/13 bereits erhöht hat und sie wird in den kommenden Jahren auf prognostizierte 21.500 anwachsen um danach wieder abzufallen. Deshalb steht das Vorlesungsgebäude für 2 mal 400 Sitzplätze zwischen dem N-Gebäude und dem Südring plus Seminarräume für die vorhandene Überlast zwischen 2012/13 - 2018 bereit. Hierin fand auch am 06.03.2013 Die Schülerinformationsmesse (E-Day) des Instituts für Elektrotechnik statt. Bautätigkeiten finden noch an der Erweiterung der Mensa um 600 Plätze statt. Leider steht das im Bau befindliche große Ausgleichsgebäude Q, das auf dem Parkplatz und den Grünflächen, die dem Gebäude H im NO vorgelagert waren, nicht für die Renovierung der Gebäude P1-7 am Pohlweg zur Verfügung. Die Planung der Sanierung wird lt.

Kanzler frühestens 2015 angepackt. Auf der UPB-Webseite sind immer wieder aktualisierte Luftaufnahmen vom Campus zu finden (groups.uni-paderborn.de/fotoarchiv/fotosluftaufnahmen.html), die auch den umgebauten Praktiker Markt an der Warburger Straße als neuen Bau für den Sport der UPB ausweist.

Das Fachgebiet Schaltungstechnik wird seit März 2012 von Herrn Prof. Scheytt vertreten. Inzwischen ist auch die Nachfolge von Prof. Schuhmann in der Theoretischen Elektrotechnik geregelt, denn Dr. Jens Förstner ist ganz frisch ab Juni diesen Jahres im Amt. Herr Förstner hat in Marburg Physik studiert und an der TU Berlin promoviert. Zuletzt war er bislang Leiter einer Emmy-Noether-Nachwuchsgruppe an der Universität Paderborn. Mit der Besetzung der Professur „Regelungs- und Automatisierungstechnik“ wird ein weiterer Anlauf unternommen. In vorangegangenen Verfahren konnte leider kein geeigneter Kandidat gewonnen werden. Die Ausschreibung wird in Kürze erscheinen.

Die Studentenzahlen sind in den letzten Semester glücklicherweise auch in der Elektrotechnik angestiegen, so dass wir von der Vollausslastung nicht mehr weit entfernt sind. Bemerkenswerterweise machen aber die Studenten im englischsprachigen Masterstudiengang „Electrical Systems Engineering“ inzwischen einen wichtigen Anteil aus. Die Zahl der Bewerbungen für diesen Studiengang für das kommende Wintersemester ist nochmals gestiegen. Das hat dazu geführt, dass wir unsere Vorlesungen „Leistungselektronik“, „Mechatronik und Elektrische Antriebe“ sowie „Geregelte Drehstromantriebe“ nunmehr in Englisch anbieten. Skripte und Übungen stehen mittlerweile alle in Englisch zur Verfügung. Ab dem Wintersemester soll auch die Vorlesung „Elektronische Stromversorgungen“ in Englisch angeboten werden.

Trotz des kommenden doppelten Abiturjahrgangs wird der Zugang zu den Bachelor-Studiengängen Elektrotechnik und Wirtschaftsingenieurwesen/Elektrotechnik im Gegensatz zum Maschinenbau nicht zulassungsbeschränkt sein. Davon versprechen wir uns einen weiteren Zugang zur Elektrotechnik, wenn wir auch hoffen, dann nicht aus allen Nähten zu platzen.

Wirtschaft und Hochschulen der Region OWL haben als herausragendes Kompetenz- und Handlungsfeld für Wachstum und Beschäftigung das Motto „Intelligente Technische Systeme“ identifiziert und realisieren das Forschungs- und Entwicklungscluster „Zukunftsmeile Fürstenallee“ in Paderborn. Erster Teil dieser Zukunftskonzeption ist ein Fraunhofer Institut, das sich auf den Entwurf von mechatronischen Systemen und den dafür notwendigen Produktionssystemen

konzentriert. Das neu errichtete Gebäude wurde im September 2011 bezogen. Näheres dazu s. www.ipt.fraunhofer.de/mechatronik. Im Winter/Frühjahr 2011 schlossen sich die Hochschulen OWL in Bielefeld, Lemgo und Paderborn unter der Leitung von Prof. Gausemeier zu einem Spitzencluster-Antrag „Intelligente Technische Systeme (it's OWL)“ zusammen. Nach Überspringen auch der zweiten Hürde (Genehmigung der Vollanträge durch das BMFT) starteten wir mit unseren langjährigen OWL-Industriepartnern (Deltaes, AEG-PS, siehe auch im Internet unter www.its-owl.de und Hella bereits 3 interessante, zeitlich versetzte sog. Innovationsprojekte und ein Clusterquerschnittsprojekt zur Energieeffizienz, was eine bemerkenswerte Öffentlichkeit in Wirtschaft und Wissenschaft hervorruft. Ein weiteres Innovationsprojekt wird noch Mitte 2013 mit der Fa. Miele gestartet.

Die Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG) setzt die Förderung des Sonderforschungsbereichs Selbstoptimierende Systeme des Maschinenbaus (SFB 614) bis 6/2013 fort und fördert ein Transferprojekt mit unserem langjährigen Industriepartner LTi, was das bisher erarbeitete Instrumentarium der Selbstoptimierung nutzt. Im Transferprojekt wird eine selbstoptimierende Antriebsregelung auf Basis rekonfigurierbarer FPGA von Hr. M. Sun entwickelt. Der angestrebte Nutzen liegt in der einfacheren Adaptierbarkeit eines Standardgeräts an verschiedene Konfigurationen und Betriebsbedingungen. Transferprojekte dienen laut DFG-Richtlinien dazu, Erkenntnisse der Grundlagenforschung eines Sonderforschungsbereichs unter Praxisbedingungen zu prüfen oder in eine prototypische Anwendung umzusetzen.

Im DFG-Projekt „Reconfigurable System for Improved Control Performance and Fault Tolerance of Variable Speed AC Drives“ startete Hr. Buchholz die Vorteile rekonfigurierbarer Regelungskonzepte für elektrische Antriebe herauszuarbeiten (PCIM 2012).

Die Forschungszusammenarbeit auf dem Gebiet hocheffizienter Solarwechselrichter hoher Leistung setzten wir mit unserem langjährigen Partner LTi DRIVES in Unna fort, was zu weiteren Publikationen im Berichtszeitraum von Herr Preckwinkel bei LTi und Herr Krishna bei uns führte (PCIM 2013).

Ein EU finanziertes Projekt, in dem es um die Entwicklung von Resonanzkonverter gespeisten Hochspannungsprüfgeräten und von hochdynamischen DC-Quellen ging, sollte dieses Jahr durch zwei Dissertationen von M. Hu und Z. Cao abgeschlossen werden, was eine Vielzahl von Publikationen hervorbrachte (u.a. auf der IECON 2012, APEC 2013).

Das Projekt „Entwicklung der Ansteuerung für die frequenzvariable Umformung sehr großer Leistungen (>100MW) mit Thyristorstromrichtern zur Effizienzsteigerung von Turbo-Generator-Sätzen“ wurde formal abgeschlossen. Hierbei soll bei mittelgroßen Kraftwerken die starre Frequenzkopplung zwischen dem elektrischen Netz und dem Generator zwecks Effizienzsteigerung durch einen Umrichter aufgehoben werden. Der Generator kann gegenüber dem elektrischen Netz eine andere Phasenlage, Frequenz und Amplitude aufweisen. Die Leistung wird durch einen Direktumrichter in das elektrische Netz übertragen und er kommt ohne einen Gleichspannungszwischenkreis aus. LEA beschäftigt sich mit einem neuen Steuerverfahren, dass an einem herunterskalierten Direktumrichter-Prüfstand für 50 kW von Herr Lönneker erprobt wird. Letzter hat offene Fragestellungen noch in einem Antrag an die DFG gebündelt, der noch zur Entscheidung ansteht. (EPE/ECCE 2013)

Das vom Land NRW eingeworbene Projekt „Entwurfsumgebung E-Mobil“ wurde im Nov. 2010 begonnen, was auf der Seite von LEA durch die Herren Peter und Leuer bearbeitet wird. Zur Reduktion der kosten- und zeitintensiven Untersuchungen an Prüfständen und Prototypen bei der Entwicklung hat es sich das Konsortium aus Industrieunternehmen aus NRW (dSPACE, DMecS) und der Universität Paderborn mit dem Fachgebiet LEA und dem C-LAB zur Aufgabe gemacht, eine Entwurfs- und Testumgebung zu entwickeln, mit deren Hilfe ein frühzeitiger simulationsgestützter Test virtueller Steuergeräte und deren Zusammenspiel in verschiedenen Fahrzeugstrukturen ermöglicht werden soll. Mehr zur Entwurfsmethodik, Simulation mittels virtueller Prototypen sowie dem Entwurf neuartiger Regelungs- und Optimierungsalgorithmen für Elektromotor und Energiemanagement von E-Fahrzeugen wurde im Kontext des IEEE German Chapter Meetings 11/2012, Elektromobilität in NRW - 1. Kompetenztreffen, 11/2012 in Essen, Kölner Mechatronik Forum, 10/2012, Köln und der IEMDC 5/2013 in Chicago vorgestellt. Dieses Projekt läuft im Herbst 2013 aus.

Zum Schluss noch zu zwei aus der Industrie finanzierten Projekten: Die AEG-PS fördert Untersuchungen zu Industriestromrichtern mit hohem Wirkungsgrad und Leistungsfaktor für Industrieanwendungen. Ergebnisse hierzu wurden von Herr Solanki 2012 auf der ECCE und PCIM 2013 vorgestellt. Die Herren Cao und Sun stellten zum Projekt „Development of Simulation Platform for Electric Drive System of an AC Electric Locomotive“ mit der Fa. CSR Zhuzhou Electric Locomotives Resultate auf der PCIM 2012 vor, führten eine Reihe von Techno-

logietransfer workshops durch und CSR meldeten einige Lösungen zu Patenten an.

Ein weiteres neues Forschungsprojekt „Verfahrens-optimierung zur Steigerung der Energieeffizienz von Elektroantrieben“ (VerfaS) findet in Kooperation mit VW-Kassel und der Uni Kassel statt. Es geht über 3 Jahre, wird bei LEA von M. Paradkar bearbeitet und wird vom BMWi gefördert. Das Gesamtziel des Projekts ist die Analyse, die Identifikation sowie die Modellierung aller wichtigen Größen, die einen Einfluss auf die Effizienz des elektrischen Antriebsstrangs haben, um anschließend mit dem so erzielten Kenntnisgewinn eine verbesserte Regelstrategie zu entwickeln, mit der Motor mit einer höheren Effizienz betrieben werden kann. Unsere Aufgaben liegen dabei in der Entwicklung von Regelungsverfahren auf Basis detaillierter Verlustmodelle.

Im abgeschlossenen Berichtsjahr konnten wir bereits 3 Promotionen (D. Pohlenz, C. Henke und C. Romaus) feiern, aber es wird ohnehin ein Rekordpromotionsjahr werden, weil der Lastabwurf bei einer halben Fußballmannschaft von Doktoranden noch ansteht. Die Teilnahme an Tagungen war im Berichtszeitraum anges. der vielen Doktoranden nur mittelmäßig, was nur ungenügend mit dem Generationswechsel an Doktoranden erklärt werden kann.

Ich hoffe auf ein Wiedersehen bei der einen oder anderen Promotionsfeier, aber zuvor bei unserem LEAiD Treffen am 21.06.2013 bei LTi-Drives in Waldgirmes bei Lahnau/Wetzlar. Bitte laßt euch durch das bisschen Fahrerei nicht von dem Besuch bei LTi abbringen, denn ihr seid auch zu einem Firmenbesuch ab 11:00 willkommen. Zeigt mir diesen Besuchswunsch aber bitte vorher an, damit sich LTi darauf einstellen kann. Wünsche euch allen Kreativität, Schaffenskraft, Ausdauer und einen guten η.

Mit freundlichen Grüßen
Für den Vorstand

Norbert Fröhleke

LEAiD 12. Symposium

Das diesjährige LEAiD-Symposium findet am *21.06.2013 ab 13:45 Uhr* bei LTi DRIVES GmbH in Lahnau statt. Neben den sicher interessanten Vorträgen wird auch die jährliche Mitgliederversammlung unseres Vereins durchgeführt. Vorher bietet sich die Möglichkeit an einer Firmenführung teilzunehmen. Im Anschluss an den offiziellen Teil wollen wir selbstverständlich wieder die Möglichkeit des geselligen Beisammenseins nutzen.

Für die Anreise nach Lahnau wurde ein Reisebus mit 50 Sitzplätzen angemietet. Es besteht die Möglichkeit mit dem Reisebus mitzufahren, sofern freie Plätze verfügbar sind. Wir bitten um rechtzeitige Anmeldung für die Busfahrt sowie die Firmenführung unter peters@lea.upb.de oder schulte@lea.upb.de.

Tagesordnung

07:45 Treffen an der Uni Paderborn (IW-Halle)

08:00-11:00 Hinfahrt mit Reisebus

11:15-12:45 Begrüßung, Firmenführung

12:45-13:45 Mittagsimbiss

13:45-14:00 Eröffnung LEAiD-Symposium

14:00-14:30 Mitgliederversammlung

1. Begrüßung und Eröffnung
2. Feststellen der Beschlussfähigkeit
3. Wahl der Versammlungsleitung
4. Wahl der Protokollführung
5. Bericht des Vorstandes
6. Bericht der Kassenprüfer
7. Entlastung des Vorstandes
8. Wahlen
9. Verschiedenes

14:30-14:45 Kaffeepause

14:45-15:45 Vortragsblock 1

- Fachvortrag 1: LTi DRIVES GmbH
- Fachvortrag 2: LTi DRIVES GmbH

15:45-16:15 Kaffeepause

16:15-17:15 Vortragsblock 2

- Fachvortrag 3: Stefan Uebener
- Bekanntgabe des LEAiD-Award Gewinners
- Fachvortrag 4: (Gewinner des LEAiD-Awards)

17:15-20:00 Gemütliches Beisammensein

20:00-23:00 Rückfahrt mit Reisebus

Neue Mitarbeiter



Herr **M.Sc. Oliver Wallscheid** ist seit dem 2. November 2012 im Fachgebiet LEA als wissenschaftlicher Mitarbeiter tätig. Er beschäftigt sich hierbei mit der Modellierung und Regelung von Permanentmagnet-Synchronmotoren für den Einsatz in automobilen Anwendungen. Sein

Studium des Wirtschaftsingenieurwesens mit Schwerpunkt Elektrotechnik hat Herr Wallscheid an der Universität Paderborn mit Auszeichnung absolviert und im Oktober 2012 mit einer Masterarbeit zum verlustoptimalen Betrieb von Asynchronmotoren abgeschlossen. Zudem wurden seine Bachelorarbeit mit dem DRIVE-E Award 2011 (BMBF/Fraunhofer-Gesellschaft) und seine Studienarbeit mit dem LEAiD Award 2012 prämiert.



Herr **M. Sc. Carsten Henkenius** ist seit dem 23. Oktober 2012 im Fachgebiet LEA als wissenschaftlicher Mitarbeiter tätig. Er beschäftigt sich hierbei mit der Verlust- und Wirkungsgradoptimierung von elektronischen Stromversorgungen. Sein Studium der Elektrotechnik hat Herr Henkenius an der

Fachhochschule Südwestfalen Campus Soest absolviert und im Oktober 2012 mit einer Masterarbeit über die digitale Regelung eines LLC Gleichstromstellers abgeschlossen.



Herr **M. Sc. Thorsten Vogt** ist seit dem 12. November 2012 im Fachgebiet LEA als wissenschaftlicher Mitarbeiter tätig. Er beschäftigt sich mit industriellen Microgrids, insbesondere mit dessen Betriebsführungsalgorithmen und leistungselektronischen Komponenten. Sein Bachelorstudium

der Elektrotechnik hat Herr Vogt an der Fach-

hochschule Südwestfalen (Soest) im Februar 2011 absolviert. Das darauf folgende duale Masterstudium an der University of Bolton und der Fachhochschule Südwestfalen (Soest) absolvierte er im Oktober 2012. In seiner Masterarbeit hat Herr Vogt die Regelung eines 3-Level Wechselrichters entwickelt, welcher als Netzsimulator das Emulieren verschiedene Szenarien an einem Netzanschlusspunkt ermöglicht.



Herr **M. Sc. Lukas Keuck** ist seit dem 15. Januar 2013 im Fachgebiet LEA als wissenschaftlicher Mitarbeiter tätig. Er beschäftigt sich hierbei mit optimierten Stromversorgungen für elektrisch angetriebene Fahrzeuge. Sein Bachelorstudium der Elektrotechnik hat Herr Keuck an der Fachhochschule Südwestfalen,

Standort Soest absolviert. Das darauf aufbauende Masterstudium wurde in Kooperation mit der University of Bolton (UK) im November 2012 abgeschlossen. Herr Keuck beschäftigte sich in seiner Masterarbeit mit einem Regelungsentwurf für Einspeisenumrichter, der durch gezielte Injektion von Harmonischen eine Reduzierung der Oberschwingungen im Versorgungsnetz zum Ziel hatte.

Highlights 2012/13



Übergabe des LEAiD-Awards 2012 an Oliver Wallscheid



Hutübergabe nach der Dokortaufe bei der Promotion von Daniel Pohlenz



LEA testet das Elektro-Hybridfahrzeug Opel Ampera



Übergabe der Doktorurkunde nach bestandener LEA-Prüfung an Daniel Pohlenz



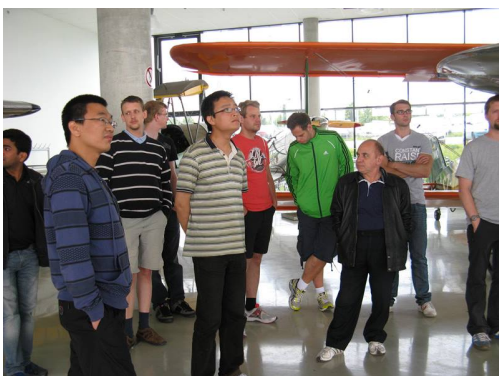
Teilnehmer des IEEE Chapter Meetings vom 22-23.11.2012 in Paderborn bei dSPACE und LEA



Startformation Sommerausflug 2012 - Erste Disziplin ist auch dieses Jahr das Radfahren



Traditionelle „Ich bin doch nicht blöd“ Proklamation vor dem Media-Markt im Südring



Besichtigung des Quax-Hangars am Flughafen Paderborn Lippstadt beim Sommerausflug 2012



Übergabe der Doktorurkunde nach bestandener LEA-Prüfung an Christian Henke



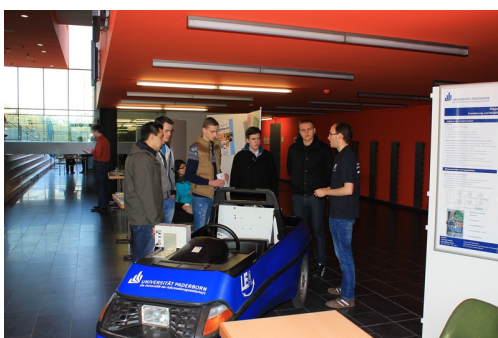
Hutübergabe nach bestandener mündlicher Prüfung an Christoph Romaus



Außerplanmäßiger Halt vor dem Toys'R'us im Südring zur Sonderproklamation



Übergabe der Doktorurkunde nach bestandener LEA-Prüfung an Christoph Romaus



Das Fachgebiet stellt sich im Rahmen des E-Days 2013 vor

Comparison of High-Power, High-Current Rectifiers

JITENDRA SOLANKI

Introduction

High current rectifiers are required in many industrial processes, especially in metal and chemical industry [1]. Chemical electrolysis is used in metal refining (from impure stock) /winning (from ore). Hydrogen, chlorine, sodium hydroxide, sodium chlorate, oxygen and adiponitrile production also utilise the electrolysis process. Typical voltage requirement is of the order of few hundred volts at several kA current. Fig.1 shows a typical load curve of a 1 MW electrolyser. Production rate is proportional to the electric current and voltage depends on the cell open circuit voltage and internal resistance. Internal resistance varies with physical parameters such as temperature and age of the cell. 12-pulse thyristor rectifier is the most popular choice for high-power high-current rectification. However, due to variable output voltage requirement, high reactive component in rectifier input current leads to very poor power factor at higher firing angles. This variable reactive current component needs to be compensated and for this a hybrid compensator is proposed in [2]. System configuration is shown in Fig.2. This configuration uses 11th harmonic filter for harmonic compensation and average reactive power compensation and DSTACOM is used for variable reactive power compensation. System provides advantages in terms of DSTACOM rating reduction and inverter loss minimisation. Instead of thyristor rectifier, 12-pulse diode rectifier followed by dc chopper is proposed in literature [1]. Fig.3 shows the system configuration. The chopper based system provides distinct advantages over the thyristor based system in terms of constant high power factor (>0.93), low current harmonics, better control over load current and voltage, lower output filter requirement and simpler control etc. [1]. To improve the THD and power factor further a 11th harmonic filter with appropriate reactive power compensation can be added at input.

This paper compares the above stated options, 12-pulse thyristor rectifier with hybrid filter (TRHF) and a 12-pulse diode rectifier with passive filter followed by a multi-phase chopper (CRPF). The performance of these rectifier systems is evaluated for supplying power to a high-power high-current industrial load with certain input and output power quality specifications. Systems are designed to meet a set of performance criterion (input power factor>0.98

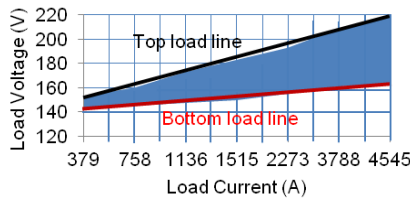


Fig. 1: Load curve

and current THD<5%) and then compared in terms of efficiency, size and cost.

Comparison

Comparison of the two systems is carried out for supplying power to the load specified in Fig.1. Fig.4 and 5 show the variation of power factor (PF) of the two topologies along the top and bottom load lines. It can be observed that with the help of appropriate reactive power compensation both systems are able to meet the requirement i.e. PF 0.98. Variation of input current THD is depicted in Fig.6 and 7. It can be seen that due to bigger passive filter TRHF provides better harmonic cancellation characteristics. Also, with CRPF at light load, current THD becomes marginally higher than 5% limit.

Fig.8 and 9 show the comparison of estimated system level efficiencies which includes effect of losses from semiconductors and magnetic components. For low-voltage high-current applications CRPF appears to be the clear winner. However, at top load line under full load condition, efficiencies of two systems are fairly close.

Fig.10 shows the comparison of the estimated volumes of the two considered rectifier systems. Volumes of the selected components are calculated with the help of dimensions provided in datasheets. The transformer and filter inductors are the main contributors to the size of the system. The sizes of the transformers are nearly similar for both topologies. However, sizes of AC and DC inductors are bigger for CRPF. DC inductor size can be reduced by increasing the no of phases or switching frequency of chopper section, however, increase in switching frequency will lead to higher switching losses. AC inductor size comes out to be bigger for CRPF because of lower capacitive reactive rating of passive filter. But this difference in inductor sizes is offset by AC capacitor used for passive filter of TRHF. This leads to overall bigger size of TRHF as compared to CRPF.

Major part of the cost of the system comes from magnetic components especially the transformer. Since the TRHF transformer is slightly bigger than CRPF transformer, cost of the former will be marginally higher. To compare the cost of the filter in-

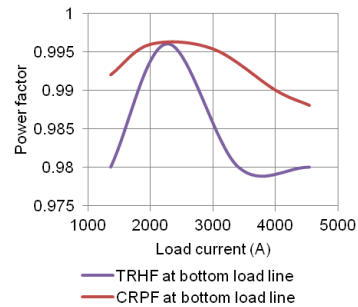


Fig. 4: Variation of input power factor of TRHF and CRPF at top load line

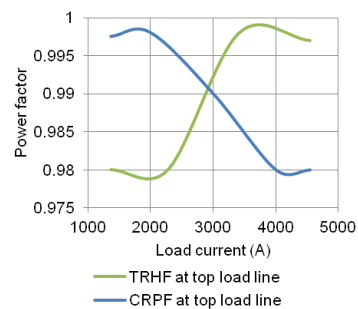


Fig. 5: Variation of input power factor of TRHF and CRPF at bottom load line

ductors, peak energy rating can be compared (at the same operating frequency). Line frequency inductor peak energy ratings are 173.6 J and 126.8 J for TRHF and CRPF respectively, whereas DC side inductors ratings for TRHF and CRPF are 140.5 J and 399.9 J respectively. Therefore the material cost of inductors will be almost double in case of CRPF as compared to TRHF. For comparison of semiconductor costs one need to estimate VA ratings of the components. However actual market price of semiconductor switches depend on many factors apart from VA rating, such as, production volume, demand and availability etc. Since both AC and DC capacitor ratings are higher in case of TRHF, cost of the same will also be higher.

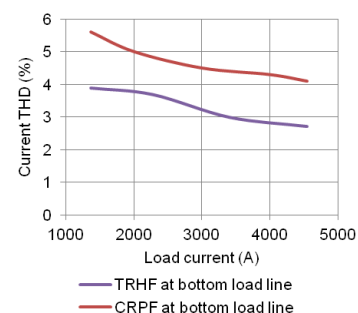


Fig. 6: Variation of current THD of TRHF and CRPF at top load line

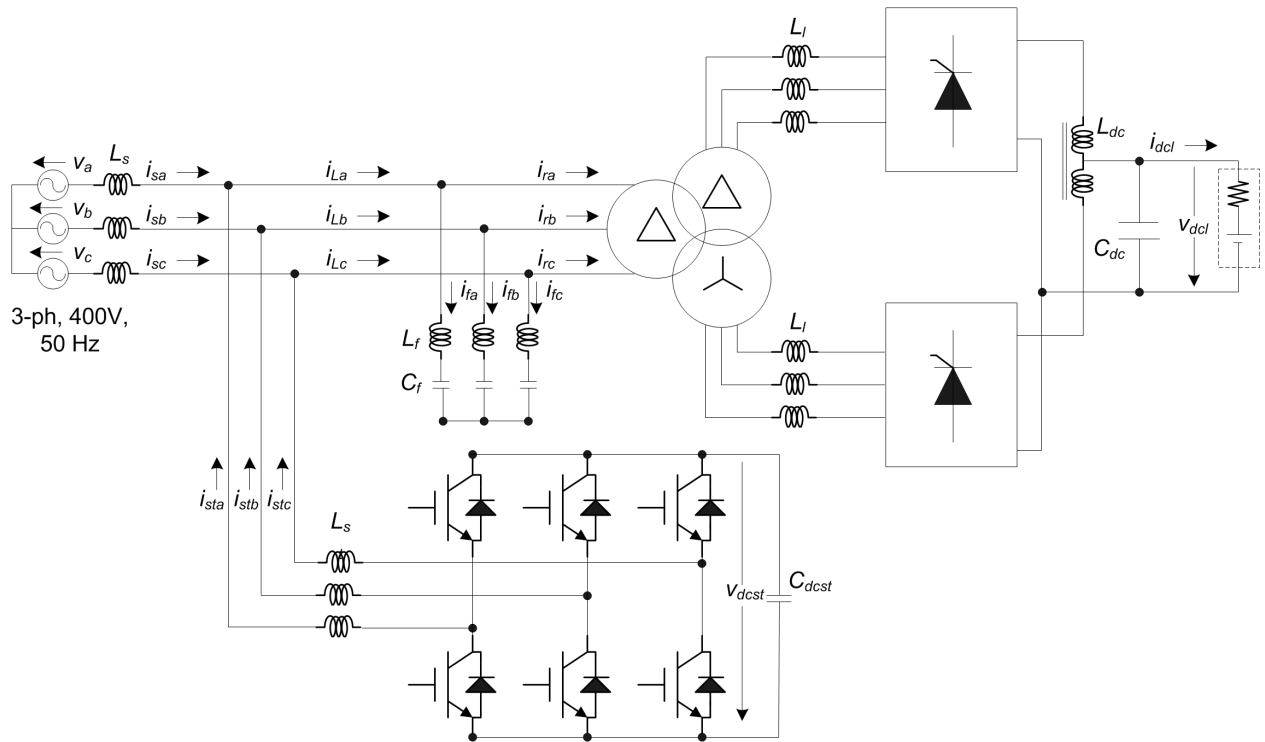


Fig. 2: Basic block diagram of 12-pulse rectifier, passive filter and DSTATCOM (TRHF)

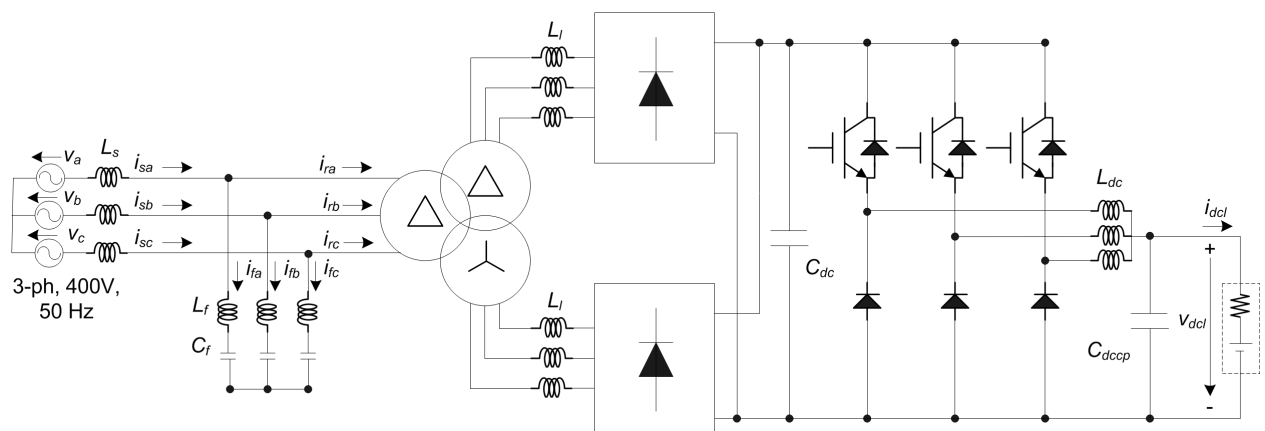


Fig. 3: Basic block diagram of 12-pulse diode rectifier with three-phase chopper and 11th harmonic input passive filter (CRPF)

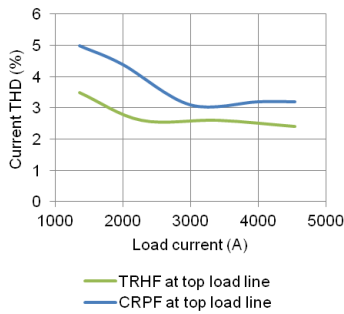


Fig. 7: Variation of current THD of TRHF and CRPF at bottom load line

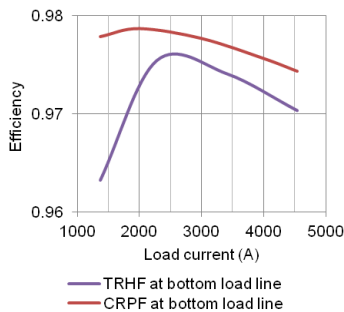


Fig. 8: Variation of estimated efficiencies of TRHF and CRPF at top load line

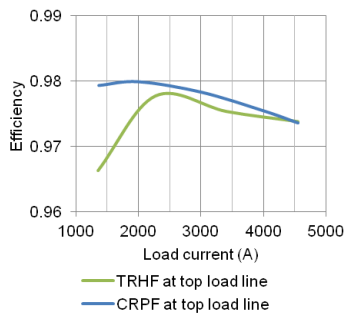


Fig. 9: Variation of estimated efficiencies of TRHF and CRPF at bottom load line

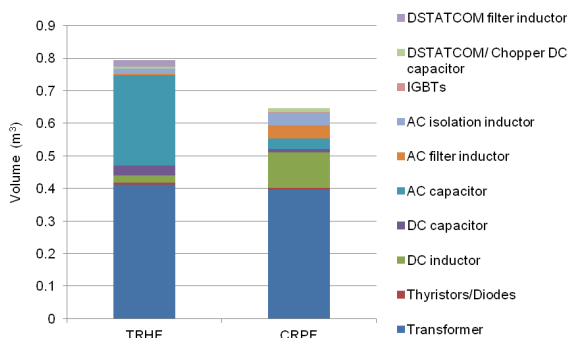


Fig. 10: Estimated size of different components used for TRHF and CRPF

Conclusions

Two topologies of high-current rectifiers, thyristor rectifiers with hybrid filter and chopper-rectifier with passive filter have been compared for feeding a high-power (1 MW) high-current (4.5 kA) load with a set of specifications. The two systems have been designed to meet certain power factor, input current THD and output voltage and current ripple requirements. The analysis shows that CRPF provides better efficiency as compared to TRHF. However, this depends on the type of load. For loads with relatively lower-current at higher operating voltages and lighter filter requirements, TRHF can provide better efficiency. Moreover hybrid filter can be a good power quality improvement option for retrofit applications. The size of the TRHF is higher than the CRPF due to the bigger input passive filter.

References

- [1] J. Solanki, N. Fröhleke, J. Böcker and P. Wallmeier, "Comparison of Thyristor-Rectifier with Hybrid Filter and Chopper-Rectifier for High-Power, High-Current Application," in conf. proc. of PCIM 2013.
- [2] J. Solanki, N. Fröhleke, J. Böcker and P. Wallmeier, "Analysis, Design and Control of 1MW, High Power Factor and High Current Rectifier System," in conf. proc. of IEEE ECCE, 2012.

Design of a High Performance Ferrite Magnet-Assisted Synchronous Reluctance Motor for an Electric Vehicle

MILIND PARADKAR

Introduction

In the last decade environmental impact of the petroleum based-transportation along with rising crude prices have led to renewed interest in electric transportation infrastructure. Today, most electric vehicles use permanent magnet synchronous motors that contain rare-earth permanent magnets - NdFeB or SmCo. Such motors are invariably associated with high power density, torque density and efficiency. However, in the last two years there has been a continuous increase in the cost of rare earth magnets. It is observed from the motor designed with a rare earth magnet that the magnet accounts for considerable cost share. This has forced the machine designers to think of suitable alternatives without a major compromise in terms of performance. A properly designed synchronous reluctance motor assisted with ferrite magnets can be thought of as an alternative solution. The cost of

ferrite magnets is nearly an order of magnitude less compared with NdFeB magnets. However there is also a risk of irreversible permanent demagnetization due to their rather low coercive field strength. Hence the rotor design should ensure that the ferrite magnets do not suffer from irreversible permanent demagnetization under all operating conditions.

This article deals with the design of a ferrite assisted synchronous reluctance motor which delivers a peak power of 55 kW and a continuous power of 30 kW at an operating speed of 2800 min⁻¹, while operating with a nominal battery voltage of 325 V. The maximum current drawn from the battery should be limited to 400 A RMS. The maximum operating speed is 14000 min⁻¹.

Performance of ferrite magnet assisted synchronous reluctance motor

Fig.11 shows the structure of the designed 6 pole ferrite magnet assisted synchronous reluctance motor. The stator has a 3 phase distributed single layer winding with 54 slots with 3 slots-per-pole-per-phase (SPP). The rotor has 4 layers of flux barriers. The chosen grade of ferrite magnet is FB14H. The machine is analyzed at different operating speeds to meet the continuous power demand of 30 kW along with 55 kW at 2800 min⁻¹. At all the operating speeds the design has to ensure that the ferrite magnets do not undergo irreversible permanent demagnetization.

Fig.12 shows the variation of developed torque over the speed range under full load condition. It also indicates the estimated values of reaction torque and reluctance torque. It may be roughly stated that the reaction torque accounts for 10 percent of the developed torque in the motor. Fig.13 shows also the input RMS current under full load over the entire speed range and also the variation of the corresponding phase voltage. Fig.14 shows the estimate of variation of power factor and efficiency with speed under full load condition. The power factor at full load is 0.74 at 2800 min⁻¹.

Demagnetization analysis for overload

A major disadvantage associated with a ferrite magnet is its increased susceptibility to irreversible demagnetization due to a rather weak remanent flux density. Hence, the rotor design has to ensure that the ferrite magnets do not suffer from irreversible demagnetization. The motor design started with a 4-pole configuration. Due to higher armature reaction with a 4-pole design, the first layer of ferrite

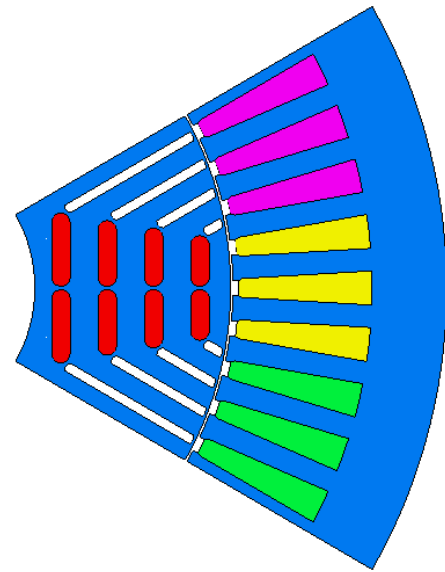


Fig. 11: Cross-section of a pole of the designed motor

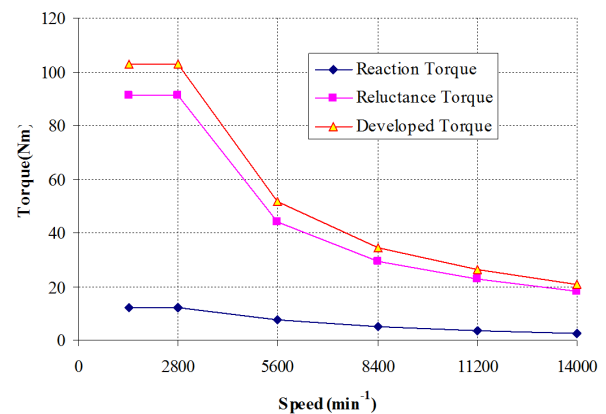


Fig. 12: Cross-section of a pole of the designed motor

magnets was demagnetized at peak power condition (55 kW), although it was safe under continuous load operation. Consequently, a 6-pole design was then chosen with increased bore diameter. Also the flux barrier width at the sides was deliberately reduced. This offered the d-axis armature reaction flux

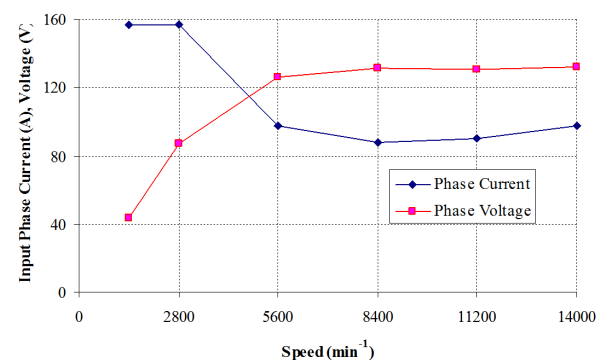


Fig. 13: Input Voltage and Current vs Speed

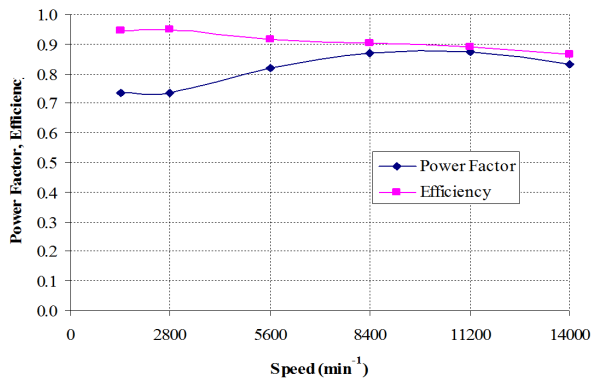


Fig. 14: Efficiency and Power factor vs Speed

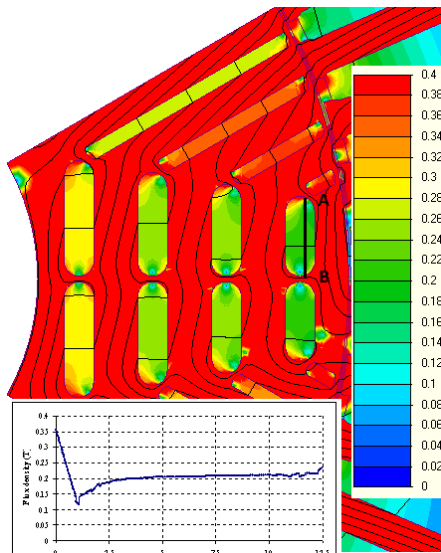


Fig. 15: Flux density in the magnets at overload condition

a lower reluctance path compared to the higher reluctance offered by magnets. The motor develops a torque of 188 Nm at 2800 min⁻¹ which delivering a peak power of 55 kW. The RMS phase current required during this condition is 295 A. The d and q components of the current are respectively -255.5 A and 147.5 A. This is the worst possible condition for the magnets which can occur intermittently. Fig.15 shows the flux density in the magnet at this operating condition. Fig.15) shows the plot of flux density along the width of the top magnet (indicated by line AB in Fig.15). The flux density in the top magnets is around 0.2 T except at the edges where it falls to 0.11 T. For the chosen ferrite magnet it is evident that the knee of the B-H curve does not appear in the second quadrant for temperatures higher than -20°C. Hence it can be concluded that the design has ensured the magnets to be free from irreversible demagnetization under all conditions.

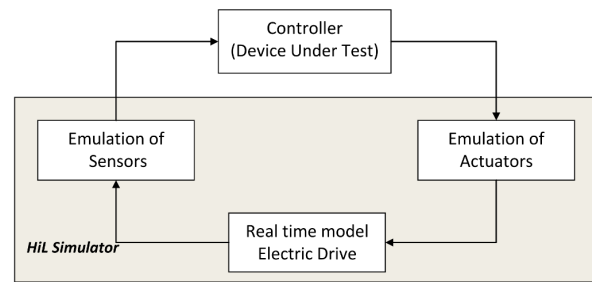


Fig. 16: HiL Principle

Low Latency Hybrid Hardware-in-the-Loop Simulator for Railway Traction System

M. SUN

Introduction

With the ever-growing intelligence and complexity of power electronic and drive system controllers, the real-time Hardware-in-the-Loop (HiL) simulation has gradually established itself as an indispensable development and validation method in the past decade. In many high power applications like electric traction, the HiL simulation is becoming an indispensable facility in high coverage and reproducible tests of controller functions, like stress test and regression test of the traction control unit (TCU) of high power AC railway traction system.

In a HiL simulation, the developed controller is the device under test and connected to a virtual plant in the identical way as it is connected to the real plant, such as inverter and electric machine. The virtual plant or the HiL simulator is composed of a real time computation machine (mostly a processor) calculating the mathematical model of the plant and specific I/O hardware emulating the sensor and actuator. As can be seen from Fig.16.

Since the HiL simulator works in real time and emulates exactly the electrical behavior of the actual sensor and actuator, the controller development could be directly carried out on the HiL simulator without waiting for the availability of the drive component prototypes or the risk of damaging them.

Low Latency Hybrid Hardware-in-the-Loop Simulator

The processor based HiL simulator runs to its limit when it comes to modern electric drive systems that usually contain high speed power electronic switches. Modern traction electric drive controllers modulate the actuating variables (AC voltage with variable frequency and amplitude) into high speed switching signals to turn on or off the power electronic devices such as IGBTs. Un-

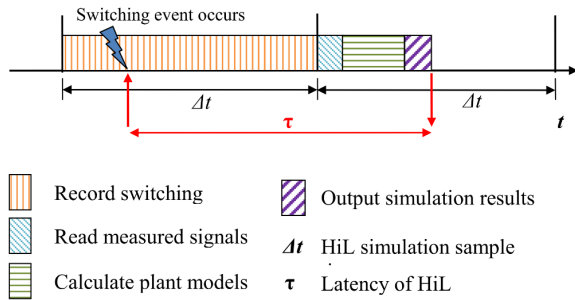


Fig. 17: Processor-based HiL Latency

like offline simulator, the HiL simulator works in real time and therefore employs deterministic fixed-step numerical algorithms. As a result, the HiL simulator runs asynchronously with the controller and makes the problem called inter-simulation time step switching (ITS) unavoidable. Due to system software (real time operating system) and hardware (processor-I/O communication) overhead, the processor-based HiL simulator only samples the controller switching signals at a fixed time grid with relatively large time distance compared to switching period of the gating signals. The missed controller switching signals can lead to erroneous calculation of the drive system state variables and in worst case cause instability. Furthermore, the inherent sequential execution mechanism and OS and firmware overhead introduce another severe problem called extra latency which is best illustrated in Fig.17. This latency by HiL is much larger than that of a real inverter-motor system even the power rating is large. This will cause the controller under test reacts differently as it does on the test bench.

The best solution to this problem would require extremely small simulation step size ($<10\mu s$), the processor based HiL simulator runs into its limit because of its inherent sequential instruction execution and real time operating system overhead. To meet this challenge, the application of FPGA technology has been given lots of impulses in the past 5 years and the simulation time step has been reduced to several ten nanoseconds. Despite of all the advantages gained, the FPGA based simulator suffers limited device resources (esp. when multiplier and divider are concerned) and longer compilation and synthesizing time of HDL design which compromises the flexibility of automatic controller tests usually exhibited by processor based HiL simulators.

To combine FPGA and processor in a hybrid HiL simulator in order to keep the advantages of both, the computation load must be optimally distributed. Due to the limitation of current FPGA device

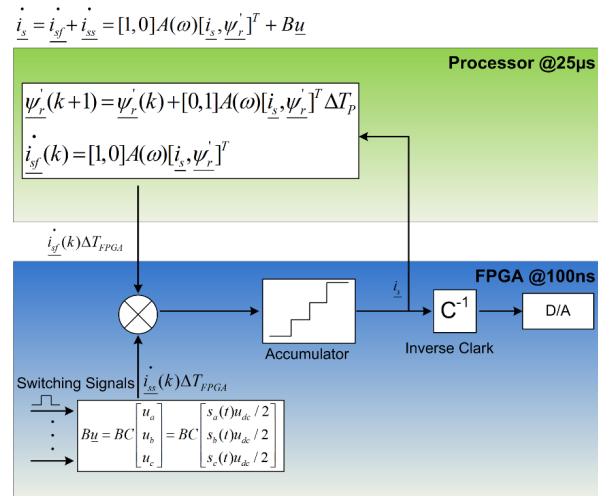


Fig. 18: Principle of low latency hybrid HiL

technology, multiplication and division operations should be minimized both to reduce FPGA resource consumption and to speed up synthesizing time. Since the rotor mesh equation is not directly effected with switching actions of power electronic converters therefore its dynamic depends only on its own time constant which is relatively large compared with simulation time step, it is reasonable to locate its simulation on the processor part of the HiL simulator. Similarly the derivatives of the stator currents \dot{i}_s in respect to time could be considered as the sum of a part associated with switching action (\dot{i}_{ss}) and a part not associated with the switching action \dot{i}_{sf} whose details are shown in Fig.18. The part of state derivative not associated with the switching actions can be considered as constant within a properly chosen processor time step and is calculated and multiplied with FPGA cycle time on the processor once per processor cycle to estimate the increment of the state variable in one FPGA cycle. This increment is then transmitted to FPGA via high speed parallel communication bus. The partial increment associated with switching actions is calculated on FPGA per FPGA cycle which is much faster than that of the processor (<100 ns). The switching function of the power electronic converters is stored on the FPGA RAM memory and can be initiated at start of the HiL simulation and can be reconfigured by the test user. The state variables are calculated by numerical accumulator using explicit Euler method on the FPGA with the increments of state variables. From Fig.18 it is clear that the PWM signals from high dynamic controller will be responded in one FPGA cycle thus the HiL dead time could be greatly reduced. The consumption of FPGA resource is minimized because multiplication and division operations are greatly reduced and

transferred to the processor. The test flexibility is still guaranteed, since most of the model parameters are configured and calculated on the processor.

Aktuelles LEA-Personal

Leitung

Prof. Dr.-Ing. Joachim Böcker
AOR Dr.-Ing. Norbert Fröhleke
AR Dipl.-Ing. Christoph Romaus

Emeritus

Prof. Dr.-Ing. Horst Grotstollen

Sekretariat

Gabriela Rittner

Wissenschaftliche Mitarbeiter

Dipl.-Ing. Sven Bolte
Dipl.-Ing. Oleg Buchholz
M.Sc. Krishna Dora V.
M.Sc. Carsten Henkenius
Dipl.-Ing. Tobias Huber
M.Sc. Lukas Keuck
Dipl.-Ing. Michael Leuer
M.Sc. Milind Paradkar
M.Sc. Klaus Peter
Dipl.-Ing. Alexander Peters
Dipl.-Ing. Wilhelm Peters
Dipl.-Ing. Christoph Schulte
M.Tech. Jitendra Solanki
Dipl.-Ing. Karl Stephan Stille
M.Sc. Meng Sun
M.Sc. Thorsten Vogt
M.Sc. Oliver Wallscheid

Doktoranden bei LEA

Dipl.-Ing. Christopher Masjosthusmann
Dipl.-Ing. Thorsten Pape
Dipl.-Ing. Heiko Preckwinkel
M. Sc. Hosam Sharabash
M. Sc. Junbing Tao
Dipl.-Ing. Stefan Uebener

Technische Mitarbeiter

Dipl.-Ing. Helmut Foth
Hans Josef Glunz
Norbert Sielemann

Information zu LEAiD

Weitere Informationen wie die Satzung unseres Vereins und Aufnahmeanträge sowie ältere LEAiD-Newsletter sind auf unserer Webseite: www.lea-id.de zu finden.

Der Vorstand von LEAiD e.V. ist unter der Emailadresse vorstand@lea-id.de erreichbar.