

Umrichter in Hybridstruktur als Entwicklungswerkzeug und Prüfsystem für elektrische Antriebe

ANSGAR ACKVA, BERND DRESSEL und JULIAN ENDRES
Technologietransferzentrum für Elektromobilität
Hochschule für angewandte Wissenschaften Würzburg-Schweinfurt
Schweinfurt

Die Entwicklung, Applikation und der Test von Wechselrichtern, insbesondere für Traktionsantriebe, ist mit einem hohen Aufwand für die Bereitstellung einer passenden Testumgebung verbunden. Für gewöhnlich werden diese Tests in der Entwicklung als auch in der Fertigung mit Hilfe von Motor-Generator Prüfständen durchgeführt, die wiederum für unterschiedliche Leistungsklassen vorgehalten werden müssen. In diesem Beitrag wird eine neuartige hochdynamische Umrichtertopologie vorgestellt, die als universelles Entwicklungs-, Applikations- und Prüfsystem für Umrichter eingesetzt werden kann. Derzeit wird dieser Umrichter in Hybridstruktur im Rahmen eines Forschungsprojektes an der FHWS realisiert.

Kategorie und Themenbeschreibung: Electromobility and Energy Engineering

1 EINLEITUNG

Die Aufgabe leistungselektronischer Geräte besteht in der Regel darin, angeschlossene Lasten mit möglichst idealen Strömen und Spannungen zu speisen, die im Weiteren auch als Nutzsignale bezeichnet sind. In der industriellen und automobilspezifischen Praxis werden die dabei eingesetzten Leistungshalbleiter aus Verlustgründen nur als Schalter (Ein - Aus) und nicht im linearen Verstärkerbetrieb verwendet. Aufgrund dieser schaltenden Betriebsweise können keine rein idealen Nutzsignale erzeugt werden. Es entstehen zusätzlich Oberschwingungen, die durch geeignete Maßnahmen so weit wie für die Anwendung nötig (Normen, Verluste/Wirkungsgrad, Oberschwingungsspektrum, Geräusche, ...) reduziert werden müssen. In der Regel wird versucht, die gewünschten Nutzsignale mit einer technisch und wirtschaftlich günstigen Kombination aus verschiedenen Einzelmaßnahmen einzustellen. Dazu gehören z.B.

- der Einsatz jeweils geeigneter Halbleiter (z.B. IGBTs, MOSFETs, SiC Dioden),
- optimierte Treiberschaltungen (zur Beeinflussung der Spannungs- und Stromflanken),
- passive Bauteile (Induktivitäten, Kapazitäten, Aufbaugeometrie),
- geeignete Schaltungstopologien (z.B. Wechselrichter, Multilevel-Umrichter, PFC),
- günstige Schaltfrequenzen (möglichst hoch und dennoch thermisch akzeptabel),

Adressen der Autoren: A. Ackva, B. Dreßel, J. Endres
Fakultät Elektrotechnik, Hochschule für angewandte Wissenschaften Würzburg-Schweinfurt, 97421 Schweinfurt
Deutschland
www.fhws.de

Die Erlaubnis zur Kopie in digitaler Form oder Papierform eines Teils oder aller dieser Arbeit für persönlichen oder pädagogischen Gebrauch wird ohne Gebühr zur Verfügung gestellt. Voraussetzung ist, dass die Kopien nicht zum Profit oder kommerziellen Vorteil gemacht werden und diese Mitteilung auf der ersten Seite oder dem Einstiegsbild als vollständiges Zitat erscheint. Copyrights für Komponenten dieser Arbeit durch Andere als FHWS müssen beachtet werden. Die Wiederverwendung unter Namensnennung ist gestattet. Es andererseits zu kopieren, zu veröffentlichen, auf anderen Servern zu verteilen oder eine Komponente dieser Arbeit in anderen Werken zu verwenden, bedarf der vorherigen ausdrücklichen Erlaubnis.

- aktive und passive Filterschaltungen und Abschirmungen (Gehäuse, Motorleitungen).

Die genannten und notwendigen Zusatzaufwände lassen die Produktkosten steigen, vergrößern Bauvolumina und erhöhen das Gewicht der Baugruppe. Sie bestimmen somit maßgeblich die Marktfähigkeit eines Produkts über Bauraum, Kosten und Gewicht. Neben den aufgelisteten Hardwarekomponenten spielen bei der Entwicklung solcher Geräte auch die Regelung und Ansteuerverfahren für die Umrichter eine entscheidende Rolle, da hierüber die Oberschwingungsanteile im Strom stark beeinflusst werden können. Die Geschichte der Leistungselektronik ist geprägt von der Suche nach jeweils optimalen Lösungen für das geschilderte Problem. Daher kann man seit einigen Jahren einen verstärkten technologischen Trend und wirtschaftlichen Zwang beobachten, passive Bauteile, insbesondere Zwischenkreiskondensatoren und Glättungsinduktivitäten, zu verkleinern. Man versucht, durch schnellere Leistungshalbleiter oder durch eine höhere Anzahl von Halbleiterschaltern in aufwendigeren Topologien die Nutzsignale besser der Idealform anzunähern. In Folge dessen können passive Bauteile kleiner ausgeführt werden. Man kann von einem Trend „weg von passiven und hin zu aktiven Bauteilen“ sprechen. Ursache sind Forderungen nach kleinem Bauvolumen und niedrigem Gewicht sowie tendenziell stetig steigende Rohstoffkosten für passive Bauteile (z.B. für Kupfer). Auf der anderen Seite werden Leistungshalbleiter bei sinkenden Kosten kontinuierlich verbessert (Durchlass- und Schaltverhalten, Robustheit). Zudem sind selbst für komplexe Topologien (Multilevel-, Matrixumrichter) heute leistungsfähige Ansteuerbausteine z.B. auf FPGA Basis oder als ASIC zu niedrigen Kosten verfügbar.

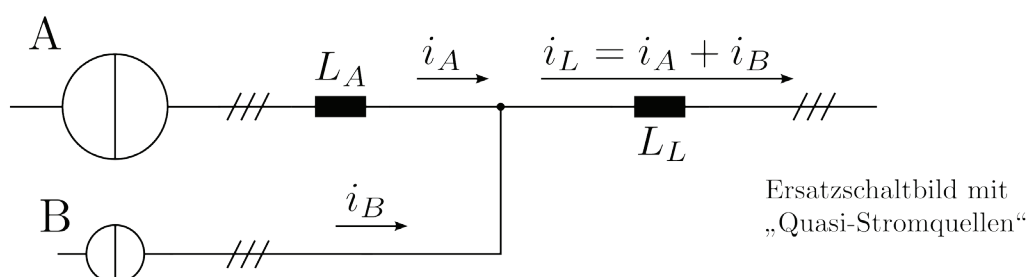
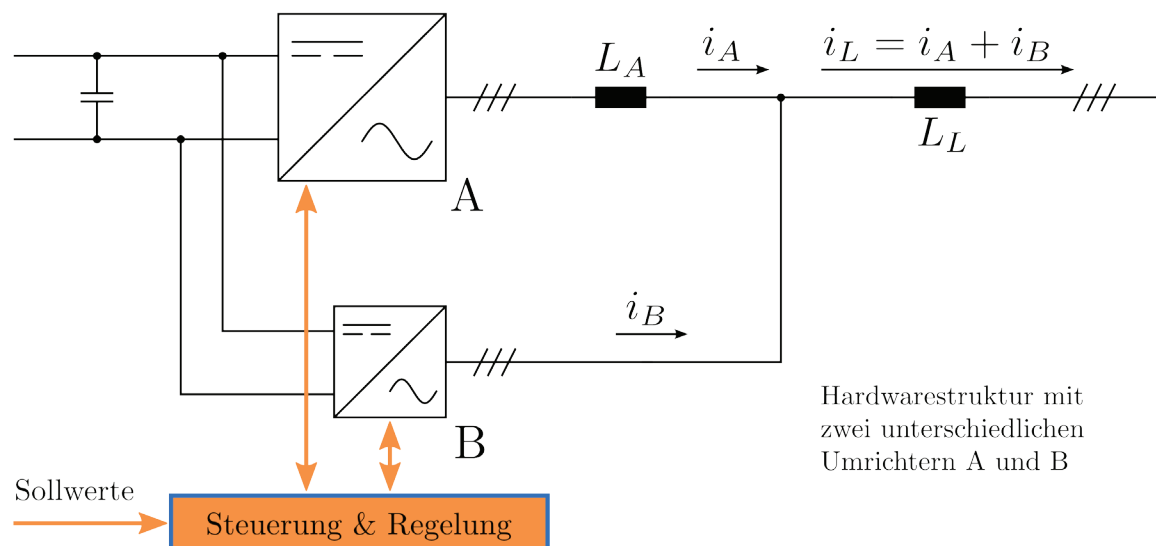


Abb. 1. Grundstruktur des Umrichters in Hybridstruktur (oben) und dessen Ersatzschaltbild (unten)

2 UMRICHTER IN HYBRIDSTRUKTUR

Ein Entwicklungsvorhaben an der FHWS greift die zuvor genannten Technologietrends auf und zielt auf die Entwicklung eines neuartigen Umrichters in Hybridstruktur gemäß Abbildung 1. Die Topologie des Hybridumrichters besteht im Wesentlichen aus zwei Umrichtern (A und B) in klassischer B6-Anordnung, die im Weiteren als „Quasi-Stromquellen“ bezeichnet werden. Sie können für ihre jeweilige Aufgabe individuell ausgelegt und optimiert werden. Aufgrund der Kirchhoffschen Knotenregel bilden die zwei „Quasi-Stromquellen“ i_A und i_B in Summe den Laststrom i_L .

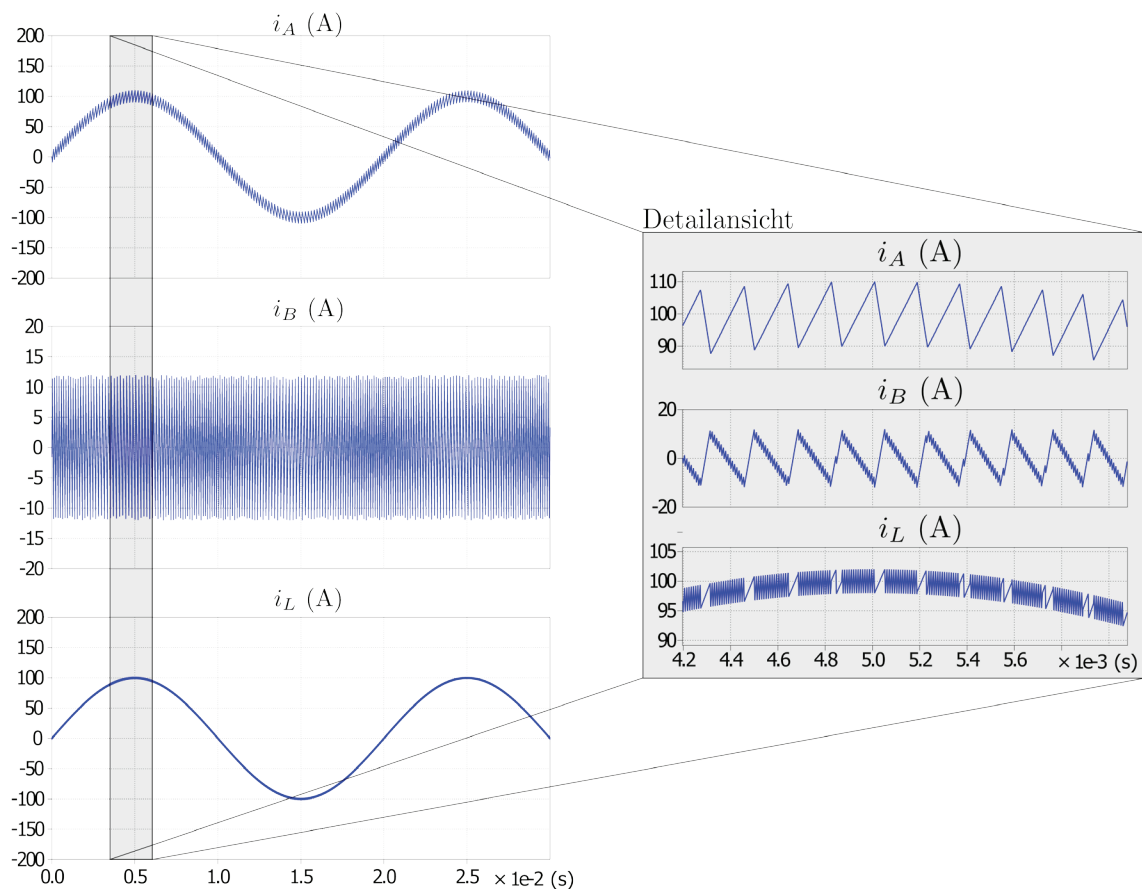


Abb. 2. Stromverläufe zu Abbildung 1 (einphasiges Modell)

Umrichter A stellt das (dem Stand der Technik entsprechende) nicht-ideale Nutzsignal i_A für die Last bereit und muss für deren maximale Leistung dimensioniert sein. Umrichter B liefert einen Strom i_B , der die Oberschwingungen im Strom i_A derart kompensiert, dass zur Last ein (fast) idealer Nutzstrom i_L fließen kann. Umrichter B muss folglich „nur“ für den Oberschwingungsstrom ausgelegt werden, der in der Regel deutlich kleiner ist als der maximale Nutzstrom $\hat{i}_{A,max}$.

Andererseits muss Umrichter B hardwaremäßig und regelungstechnisch in der Lage sein, die Oberschwingungen mit der erforderlichen Dynamik ausregeln zu können.

Die Grundidee dieser hybriden Struktur wirkt auf den ersten Blick trivial, überzeugt aber gerade durch ihre Einfachheit. Damit diese Idee jedoch ihre volle Funktionalität entfalten kann, werden unbedingt hochdynamische Stromquellen benötigt. Diese Quasi-Stromquellen müssen in der Lage sein, die Nutz- und Oberschwingungssignale voneinander zu trennen und mit der notwendigen Dynamik in einer gekoppelten Regelung einzustellen.

Neben den neuen gekoppelten Regelverfahren werden auch schnell schaltende Bauelemente für Umrichter B benötigt. Wird Umrichter A beispielsweise für 600V dc und max. 400A ac ausgelegt, mit IGBTs realisiert und mit z.B. 8kHz Schaltfrequenz betrieben (übliche Auslegung), so müssen die Halbleiter in Umrichter B z.B. mit 100kHz schalten. Dazu werden im Vorhaben neue Bauteile auf Silizium-Carbid (SiC) Basis eingesetzt. Sie sind inzwischen in ersten kommerziell verfügbaren Versionen sowie als Sondermuster am Markt erhältlich.

Abbildung 2 zeigt erste informative Simulationsergebnisse an einer einphasigen Anordnung nach Abbildung 1. Hierbei soll beispielsweise ein möglichst sinusförmiger Strom als idealer Nutzstrom erzeugt werden.

Man erkennt im oberen Teil des Bildes den nicht-idealen sinusförmigen Strom i_A ($\hat{i}_A = 110\text{A}$), darunter den kompensierenden Oberschwingungsstrom i_B und unten den Summenstrom i_L . Es ist deutlich zu sehen, dass der „Rippel“ des Oberschwingungsstroms um 80% von ca. $\pm 10\text{A}$ auf $\pm 2\text{A}$ reduziert wird. Umrichter B muss dazu – wie erläutert – nur für einen Strom von $\hat{i}_B = 12\text{A}$ ausgelegt sein. Allerdings ist auch ersichtlich, dass er etwa 15-mal schneller taktet als Umrichter A. Es ist anhand Abbildung 2 auch offensichtlich, dass eine derartige hybride Struktur nur dann zufriedenstellend arbeitet, wenn die Stromregelungen in Umrichter A und B so erfolgen, dass man von Quasi-Stromquellen sprechen kann. Andernfalls würden die einzelnen Ströme überschwingen, ggf. instabil werden und Umrichter B müsste einen erheblich größeren Strom führen.

3 PRÜFMETHODE FÜR ENTWICKLUNGSMESSUNGEN ODER SERIENPRÜFUNG („END OF LINE“ TESTS)

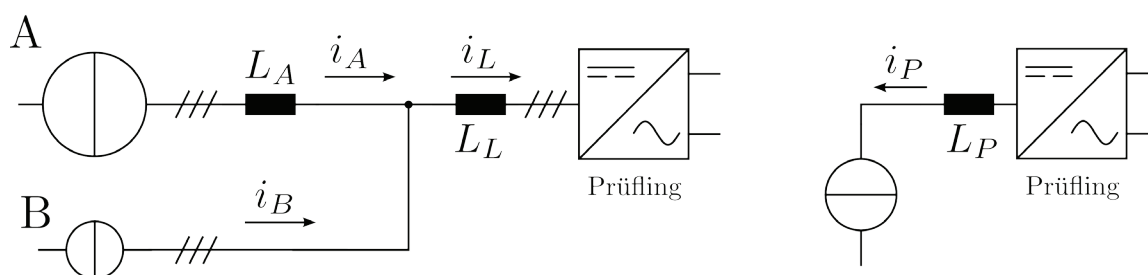


Abb. 3. Prüfung von Umrichtern am „virtuellen Motor“ mit möglichst idealen Strömen – und mit gezielt eingprägten Oberschwingungen. links: Schaltungstopologie, rechts: Ersatzschaltbild

Abbildung 3 zeigt eine im Vorhaben geplante Anwendung, in der Umrichter-Prüflinge beispielsweise am Ende der Produktionslinie geprüft und einem „Run-In Test“ zur Erkennung von

Frühausfällen unterzogen werden können. Prüfverfahren mit nur einem Lastumrichter A sind bekannt und bereits im Einsatz. Die Kombination mit Umrichter B zu einer Hybridstruktur mit quasi sinusförmigen oder frei einstellbaren, z.B. bewusst nicht-sinusförmigen Prüfströmen i_L sind hingegen neu. Durch Verwenden dieser Prüfmethode können neben der erheblich größeren Testabdeckung in der Fertigung Platz, Verlustleistung, Geräusche und Prüfzeiten verbessert werden.

Wird der Laststrom i_L derart geregelt, dass sich die Umrichter A und B wie ein virtueller Motor verhalten, dann stellen sie zudem ein ideales Werkzeug für die Entwicklung von Umrichtern dar. Dessen Algorithmen und Software lassen sich an diesem virtuellen Motor genauso entwickeln wie auch dessen Hardware (Dauerversuche, Lastversuche, dynamische und thermische Untersuchungen etc.). Entwicklungszeiten und Entwicklungskosten lassen sich auf diese Weise reduzieren bei Verbesserung der Entwicklungsbreite und -tiefe. Die Anordnung nach Abbildung 4 arbeitet nahezu verlustlos, weil nur Verluste in Umrichter A und B anfallen.

Eine konsequente Weiterentwicklung der skizzierten Prüfmethode ist der "virtuelle Motor" oder das "virtuelle Netz" nach Abbildung 4. Der Prüfling (rechts) soll statt mit einem realen nun mit einem virtuellen Motor belastet werden. Wenn dies gelingt, können an ihm sämtliche Funktionen des Umrichters (Hardware, Software, Sensorik, insb. auch die Motor- und übergeordnete Regelung) entwickelt, geprüft und validiert werden. Zudem können diese Untersuchungen sowie „Run-In Abläufe“, Dauerläufe etc. nahezu verlustfrei durchgeführt werden. Dazu können z.B. die Zwischenkreise gekoppelt werden. So lassen sich z.B. Megawatt-Umrichter bereits mit kleinen Netzeinspeiseleistungen prüfen, weil nur die Verluste im System aus dem Netz bereitgestellt werden müssen. Virtuelle Motoren sind für die Entwicklung und Prüfung von Umrichtern von großer Bedeutung, weil sie Versuche ermöglichen, die andernfalls nur mit einem erheblichen materiellen, finanziellen, energetischen und zeitlichen Aufwand durchführbar sind.

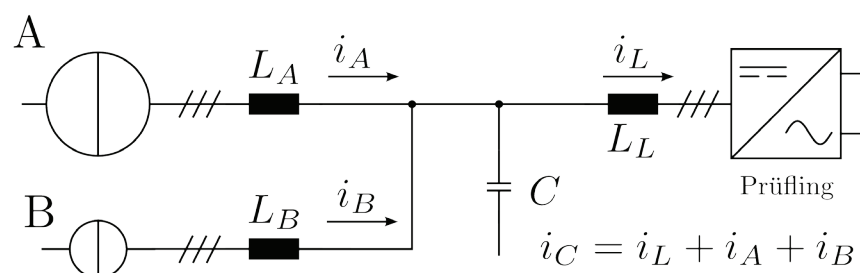


Abb. 4. Prüfung von Umrichtern am „virtuellen Motor“ mit möglichst idealen Strömen. Die Spannung am Kondensator entspricht der EMK des Motors.

Der virtuelle Motor besteht aus einer Induktivität und einer z.B. sinusförmigen Gegenspannung (EMK). Die EMK wird direkt durch den Strom i_L als Führungsgröße festgelegt, der sich nach der Knotenregel aus der Störgröße i_C und den zwei Stromquellen A und B ergibt. Auch dieses Anwendungsbeispiel verdeutlicht die Notwendigkeit, hochdynamische, geregelte Stromquellen (A und B) zu verwenden, die deutlich schneller sind, als der Prüfling selbst. Auch überschwingungsbehaftete EMK-Formen sind mit der Anordnung darstellbar.

Durch eine eigens entwickelte "Motornachbildung" in einem Motormodell werden für den virtuellen Motor die Sollströme i_A und i_B derart vorgegeben, dass der Prüfling nicht merkt, dass nur ein

virtueller Motor angeschlossen ist. Es können neben dem stationären Betrieb auch beliebige Beschleunigungs-, Reversier- und Abbremsversuche nachgefahren werden.

4 STAND DER WISSENSCHAFT UND TECHNIK

Zur Reduzierung der Oberschwingungen am Ausgang eines Umrichters und zur Erhöhung der Dynamik des Umrichters werden bereits unterschiedliche Topologien und Halbleiterschalter eingesetzt. Im Folgenden werden diese vorgestellt:

4.1 Multilevel-Umrichter

Mit Hilfe von Multilevel-Umrichtern können mehr als zwei Spannungsniveaus (bezogen auf den Mittelpunkt der Gleichspannungsseite) am Ausgang des Umrichters erzeugt werden. Je höher dabei die Anzahl der Spannungsstufen ist, desto besser kann die gewünschte Spannungsform nachgebildet werden. Ein Nachteil dieser Topologie ist der deutlich erhöhte Schaltungsaufwand. Es wird nicht nur eine größere Anzahl an Halbleiterschaltern benötigt, sondern auch vermehrt Kapazitäten bzw. Dioden. Dies wiederum verursacht zusätzliche Schalt- und Durchlassverluste, denn bei einem "m-Level Umrichter" sind bei jedem Schaltvorgang mindestens $(m-1)$ Schaltelemente beteiligt. Ein weiteres Defizit des Multilevel-Umrichters ist die unsymmetrische Quellenbelastung. Diese muss durch ein geeignetes Ansteuerungsverfahren der Halbleiterschalter kompensiert (active balancing) oder mit Hilfe von unabhängigen Gleichspannungsquellen behoben werden. Aus geschilderten Gründen sind hochstufige Multilevel-Umrichter bisher nur im Höchstspannungsbereich bei HGÜ-Anlagen sowie bei Großantrieben im Einsatz.

Nachteil: aufwändige Topologie und Steuerung, Dimensionierung aller Leistungshalbleiter für den Maximalstrom

[Jih-Sheng et al. 1996; Krah et al. 2011]

4.2 Hybride Topologien

Die Idee, zwei unterschiedliche Technologien von Halbleiterschaltern zu kombinieren, um die Vorteile beider zu nutzen, ist nicht neu. Bereits in [3] wird eine solche hybride Topologie erwähnt, in der ein Umrichter bestehend aus Thyristoren mit einem Umrichter bestehend aus IGBTs zu einem Multilevel Umrichter kombiniert werden. Auch in [4] werden ein IGBT-Umrichter und ein Umrichter, der sich aus GTO's zusammensetzt, miteinander über Transformatoren verknüpft. In beiden Veröffentlichungen wird die Idee aufgegriffen, dass der im Vergleich zu den Thyristoren bzw. GTO's schnell taktende IGBT-Umrichter nicht nur den restlichen Teil der benötigten Spannung erzeugt, sondern zusätzlich die Oberwellen des langsam taktenden Umrichters ausgleicht. Jedoch wird dabei stets ein PWM Verfahren mit einer indirekten Regelung zur Erzeugung der Schaltpulse eingesetzt. Dadurch verliert das System an Dynamik und die Oberschwingungen können bei höheren Frequenzen nicht ausreichend eliminiert werden. Zudem arbeiten die in [3] und [4] vorgestellten Umrichter ausschließlich als Einspeisumrichter bei einer fest eingestellten Frequenz von 50 bzw. 60 Hz.

Nachteil: Stromregelung zu langsam, dadurch fehlende Dynamik, Auslegung der Halbleiter für den Maximalstrom [Manjrekar et al. 1996; Fukuda et al. 2001].

4.3 Interleaved Inverter

Beim Interleaved Inverter werden mehrere (n) Umrichter parallel geschaltet und über Drosseln miteinander gekoppelt. Die Umrichter takten alle mit derselben Schaltfrequenz, jedoch werden sie zueinander phasenversetzt betrieben. Der Laststrom setzt sich aus der Summe der Einzelströme aus den parallel geschalteten Umrichtern zusammen. Diese Topologie hat den Vorteil, dass der n -fache Laststrom fließen kann, ohne dass die einzelnen parallel geschalteten Umrichter für einen höheren Strom ausgelegt werden müssen. Außerdem verringert sich der Stromripple auf der DC- und auf der AC-Seite, da diese Umrichteranordnung nach außen wie ein Leistungsteil mit n -facher Schaltfrequenz wirkt. Die passiven Filterelemente sind aufgrund des kleineren Ripples kleiner zu dimensionieren. Weiterhin steigt die Leistungsdichte, Dynamik und der Wirkungsgrad des Umrichters.

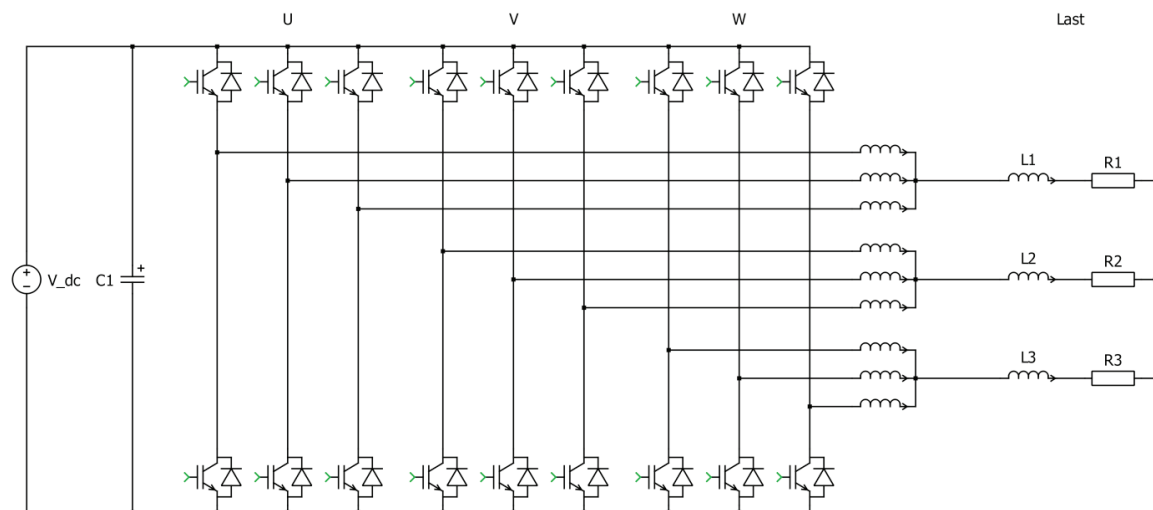


Abbildung 5: Interleaved Inverter mit $n=3$ parallel geschalteten Umrichtern

Nachteil: komplexer Aufbau, n -fache Anzahl an IGBT-Schaltern, Kosten, passive Filter weiterhin nötig [Di Zhang et al. 2011; Abusara et al. 2013; Uebener et al. 2012].

4.4 Silizium-Carbid als neuer Werkstoff für Halbleiterschalter

Bereits seit einigen Jahrzehnten wird Silizium-Carbid (SiC) als Werkstoff für die Halbleiterindustrie erforscht. SiC hat gegenüber Silizium einige Vorteile zu bieten wie z.B.

- eine ca. doppelt so große Bandlücke
- die kritische Feldstärke ist ungefähr zehnmal größer
- die thermische Leitfähigkeit ist annähernd zweimal so groß

- die Sättigungsdriftgeschwindigkeit ist ebenfalls nahezu doppelt so groß wie bei Silizium.

Während SiC Leistungsdioden schon seit einiger Zeit am Markt erhältlich sind gibt es zum jetzigen Zeitpunkt lediglich eine Handvoll Hersteller, die Halbleiterschalter (MOSFET, JFET) auf SiC Basis anbieten. Dennoch wird sich diese Technologie in naher Zukunft durchsetzen, da sich aufgrund der genannten Vorteile interessante Eigenschaften für einen Leistungs-Halbleiterschalter ergeben:

- wesentlich geringere Gatekapazität sowie Gateladung → geringere Schaltverluste
- geringe Abhängigkeit des sehr niedrigen Einschaltwiderstandes von der Temperatur → geringe Verluste im leitenden Zustand
- hohe Drain-Source-Spannung → Einsatz bei industrieüblichen Zwischenkreisspannungen >1kV ohne Serienschaltung mehrerer Schalter möglich
- höhere Betriebstemperatur → geringere Abmessungen der Kühlelemente

In der Literatur sind zahlreiche Publikationen zu Umrichtern mit SiC-Leistungshalbleitern zu finden, welche den großen Nutzen dieser neuen Technologie bestätigen. Die aufgezeigten Eigenschaften machen sie für den geplanten Einsatz als schnelle Schalter im Oberschwingungsumrichter hochinteressant.

Nachteil: Bauteile bisher nur begrenzt verfügbar, hohe Schaltfrequenz fordert sehr schnelle Signalverarbeitung, hohes dU/dt schafft neue Probleme [Schröder 2006; Wintrich et al. 2010; Miaosen et al. 2011; Rocneanu et al. 2013].

5 SDHC STROMREGELVERFAHREN

Im Rahmen eines vorangegangenen Forschungsprojektes wurde ein neues hochdynamisches direktes Stromregelverfahren für Zweilevel-Umrichter entwickelt. Es arbeitet auf der Basis eines Hysteresestromreglers, kann universell eingesetzt werden und bildet somit die Basis für den Umrichter in Hybridstruktur. Das Verfahren mit dem Namen „Switched Diamond Hysteresis Control“ kurz SDHC verbindet die hohe Dynamik und Robustheit einer direkten Stromregelung mit dem hervorragenden stationären Verhalten eines raumzeigermodulierten Umrichters. Folgende Ziele des Forschungsprojektes wurden mit diesem Regler erreicht und umgesetzt:

- Hohe Dynamik, ohne Instabilität und Überschwingen
- Einfache Parametrierung mit nur wenigen Systemparametern
- Gleiche, mittlere Schaltfrequenzen in allen Brückenzeigen
- Betrieb auch an nichtlinearen oder unsymmetrischen Lasten ohne Modifikationen möglich
- Mit PWM-Verfahren vergleichbare Verzerrungsanteile im stationären praktischen Einsatz
- Universell für verschiedene Anwendungen einsetzbar
- Implementierung auf einer kostengünstigen FPGA-Plattform

Abbildung 6 zeigt den prinzipiellen Aufbau des SDHC-Reglers. Zur Berücksichtigung der Abhängigkeiten der einzelnen Phasen im Drehstromsystem, verwendet der Regler drei um jeweils 120° gedrehte Koordinatensysteme.

Die hohe Dynamik dieses neuen Regelverfahrens ist in Abbildung 7 dargestellt. Nach einem Führungssprung wird die Regeldifferenz der Ströme in den drei Phasen schnellstmöglich

kompensiert, während ein herkömmliches Raumzeigermodulations-Verfahren noch lange nach dem Sprung eine deutliche Abweichung aufweist.

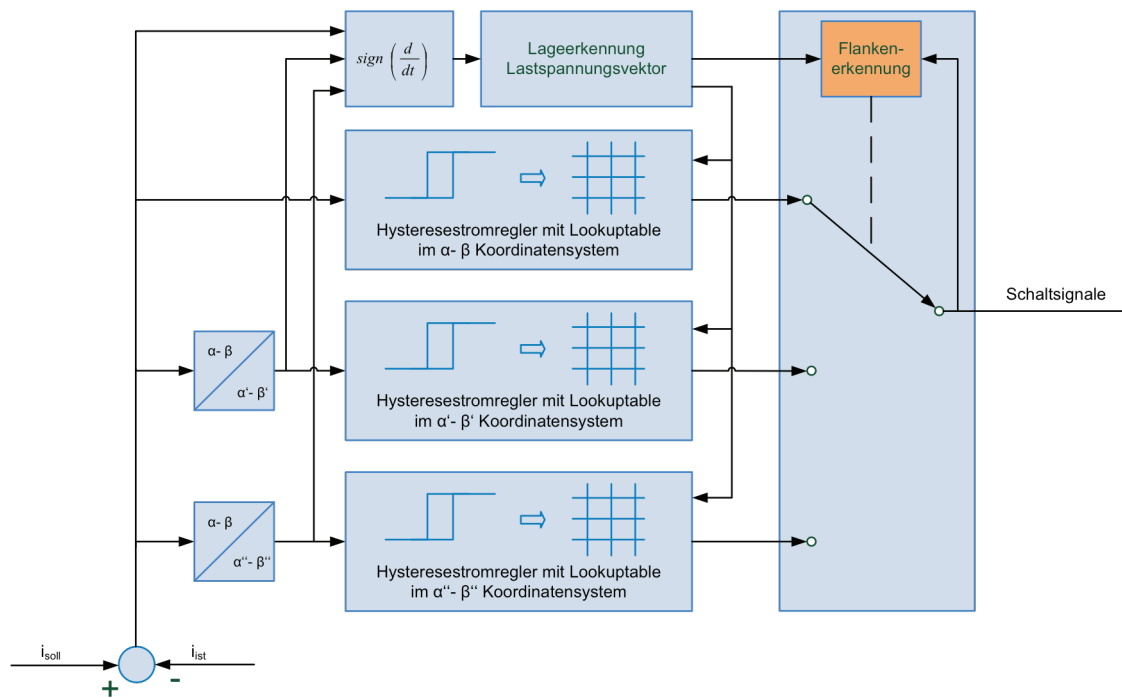


Abb. 6. Blockschaltbild des SDHC-Stromreglers

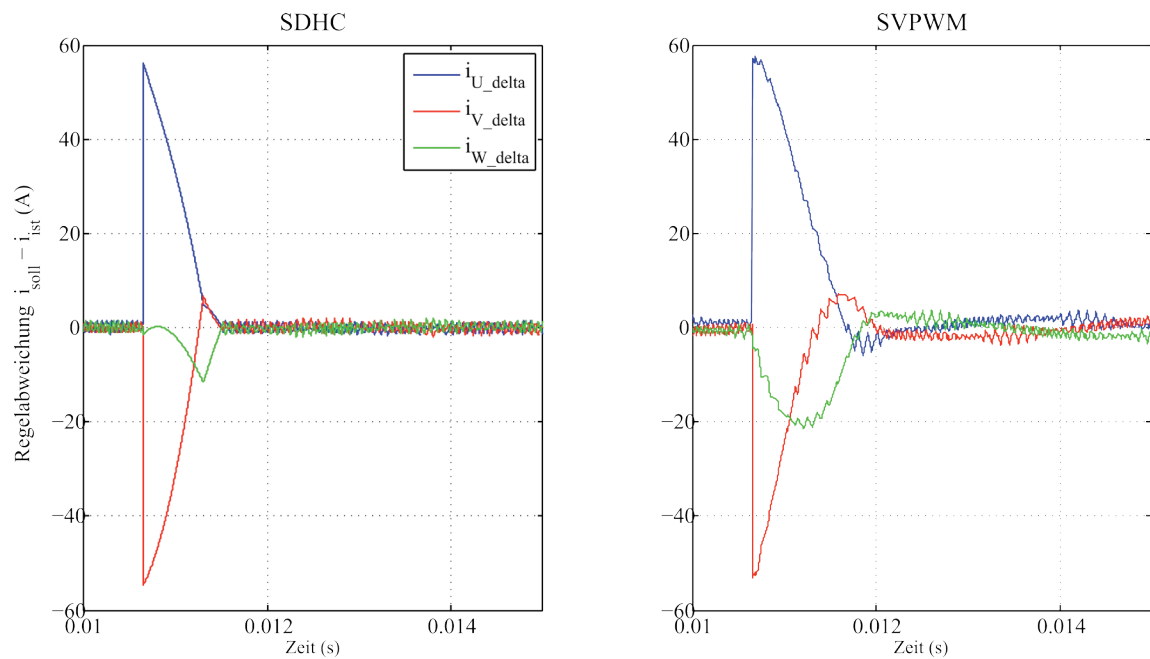


Abb. 7. Vergleich der Dynamik des SDHC- und des Raumzeigermodulations-Verfahrens

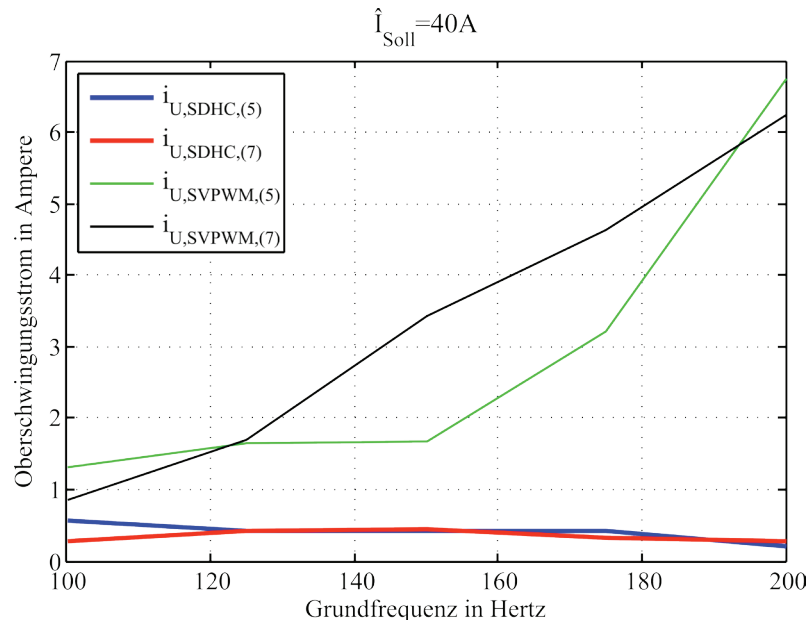


Abb. 8. Vergleich der Motordynamik mit einer überschwingungsbehafteten EMK: die 5te und 7te Oberschwingung im Strom wird vom SDHC Regler gut kompensiert, bei PWM nicht mehr.

Das SDHC-Verfahren ist stets bestrebt, den Stromwert innerhalb des vorgegebenen Hysteresebandes zu halten. Wird nun z.B. ein nicht-idealer Motor an den Umrichter angeschlossen, der aufgrund einer nicht-sinusförmigen EMK Oberschwingungen im Strom erzeugt, werden diese vom SDHC-Regler bestmöglich gedämpft (ausgeregelt). Ein klassisches PWM Verfahren ist aufgrund der Trägheit seiner Stromregelschleife dagegen nicht in der Lage, dieses Defizit auszugleichen. In Abbildung 8 ist in diesem Zusammenhang deutlich zu erkennen, dass das SDHC-Verfahren einen ungefähr 20-fach geringeren Anteil an Oberschwingungen der 5. und 7. Ordnung erreicht.

Die Implementierung dieses neuen Stromregelverfahrens erfolgte auf einer ebenfalls im Rahmen dieses Forschungsprojektes entwickelten Steuerung mit Hilfe eines Echtzeitsystems (dSPACE) mit geeigneter FPGA-Board-Erweiterung. Sie enthält alle wichtigen Komponenten zum Betrieb eines Umrichters und kann aufgrund ihrer Flexibilität universell eingesetzt werden. Die zur Realisierung der Regelalgorithmen zur Verfügung stehenden Entwicklungsumgebungen runden dieses System zu einem perfekten Rapid-Prototyping-System im Bereich der Leistungselektronik ab.

In Zusammenarbeit mit einem beteiligten Industriepartner ist es uns bereits gelungen, mit Hilfe dieser Steuerungs-Plattform ein erstes hocheffizientes Testsystem für Umrichtersysteme zu entwickeln [Baumeister et al. 2010; Wießmann et al. 2010; Ackva et al. 2010; Wießmann et al. 2011; Ackva et al. 2013].

6 ZUSAMMENFASSUNG

Der Weg weg von passiven Bauteilen hin zu kleinen aktiven Halbleitern ist ein Schlüssel für zukünftige Umrichtergenerationen. Derzeit werden verschiedene Konzepte dafür entwickelt und im Markt getestet (Multilevel- und Matrixumrichter, Schaltentlastung von IGBTs durch parallele SiC-Halbleiter). Das vorliegende Konzept besticht im Gegensatz zu existierenden Lösungen durch seine Einfachheit, Kompaktheit, Schnelligkeit, Robustheit und seine potenziellen Kostenvorteile, weil Umrichter B nur für den Oberschwingungsstrom ausgelegt werden muss, aber höchstdynamisch regeln kann.

Das Gesamtsystem kann als Emulator für elektrische Maschinen eingesetzt werden, mit dem ein Großteil der anfallenden Tests an Traktionswechselrichtern abgedeckt werden kann.

GEFÖRDERT VOM



Bundesministerium
für Bildung
und Forschung

REFERENZEN

- ABUSARA, M.A.; SHARKH, S.M.: DESIGN AND CONTROL OF A GRID-CONNECTED INTER-LEAVED INVERTER, IEEE TRANSACTIONS ON POWER ELECTRONICS, VOL. 28, 2013, PP. 748 – 764
- ACKVA, A.; ENDRES, J.; HOFMANN, M.: NOVEL LINE-SIDE INVERTER WITH ACTIVE FILTER OPTION, 4TH IEEE INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON POWER ELECTRONICS FOR DISTRIBUTED GENERATION SYSTEMS (PEDG), 2013
- ACKVA, A.; WIEßMANN, H.: SWITCHED DIAMOND HYSTERESIS CONTROL – EINE NEUE GENERATION VON STROMREGELVERFAHREN FÜR KFZ-ANTRIEBE MIT HOHER MATERIAL-AUSNUTZUNG UND EINGEBAUTEN SICHERHEITSFUNKTIONEN FÜR KOSTENGÜNSTIGE ANTRIEBE VON MORGEN, VDE TAGUNG / EMA ASCHAFFENBURG, OKTOBER 2010
- BAUMEISTER, J.; ACKVA, A.; WIEßMANN, H.: HIGH SPEED DIGITAL DIRECT CURRENT CONTROLLERS, PCIM EUROPE, MAI 2010
- DI ZHANG; WANG, F.; BURGOS, R.; RIXIN LAI; BOROYEVICH, D.: DC-LINK RIPPLE CURRENT REDUCTION FOR PARALLELED THREE-PHASE VOLTAGE-SOURCE CONVERTERS WITH INTERLEAVING, IEEE TRANSACTIONS ON POWER ELECTRONICS, VOL. 26, 2011, PP. 1741 – 1753
- FUKUDA, S.; KITANO, M.: CONTROL STRATEGY FOR A THREE PHASE SERIES-CONNECTED HYBRID INVERTER SYSTEM, IEEE 32ND ANNUAL POWER ELECTRONICS SPECIALISTS CONFERENCE, VOL. 2, 2001, PP. 968 – 973
- JIH-SHENG LAI; FANG ZHENGPENG: MULTILEVEL CONVERTERS - A NEW BREED OF POWER CONVERTERS, IEEE TRANSACTIONS ON INDUSTRY APPLICATIONS, VOL. 32, No. 3, 1996, PP. 509 – 517
- KRAH, J.; HÖLTGEN, M.; RATH, A.; RICHTER, R.: FPGA-BASED CONTROL OF 3-LEVEL INVERTERS, PCIM POWER CONVERSION INTELLIGENT MOTION, NÜRNBERG, MAY 2011, PP. 394 – 400
- MANJREKAR, M.D.; STEIMER, P.; LIPO, T.A.: HYBRID MULTILEVEL POWER CONVERSION SYSTEM: A COMPETITIVE SOLUTION FOR HIGH POWER APPLICATIONS, IEEE INDUSTRY APPLICATIONS CONFERENCE, VOL. 3, 1999, PP. 1520 – 1527
- MIAOSEN, S.; KRISHNAMURTHY, S.; MUDHOLKAR, M.: DESIGN AND PERFORMANCE OF A HIGH FREQUENCY SILICON CARBIDE INVERTER, ENERGY CONVERSION CONGRESS AND EXPOSITION (ECCE), 2011 IEEE, PP. 2044 – 2049
- ROCNEANU, C.: ARE SiC SOLUTIONS REALLY STILL MORE EXPENSIVE THAN Si SOLUTIONS TODAY?, BODOS POWER SYSTEMS, VOL. 9, 2013, PP. 38 – 40
- SCHRÖDER, D.: LEISTUNGSELEKTRONISCHE BAUELEMENTE, SPRINGER-VERLAG, BERLIN HEIDELBERG, 2006
- UEBENER, S.; BÖCKER, J.: APPLICATION OF AN E-MACHINE EMULATOR FOR POWER CONVERTER TESTS IN THE DEVELOPMENT OF ELECTRIC DRIVES, EUROPEAN ELECTRIC VEHICLE CONGRESS (EEVC), BRUSSELS, BELGIUM, 2012
- WINTRICH, A.; NICOLAI, U.; TURSKY, W.; REIMANN, T.: APPLIKATIONSHANDBUCH LEISTUNGSHALBLEITER, SEMIKRON INTERNATIONAL GMBH, ISLE VERLAG, 2010
- WIEßMANN, H.; ACKVA, A.; BAUMEISTER, J.: SWITCHED DIAMOND HYSTERESIS CONTROL, PCIM EUROPE, MAI 2010
- WIEßMANN, H.; ACKVA, A.: DIRECT DIGITAL CURRENT CONTROL, AN ALTERNATIVE TO PWM-CONTROL, ECPE WORKSHOP ELECTRONICS AROUND THE POWER SWITCH: GATE DRIVERS, SENSORS AND CONTROL, 29 – 30 JUNI 2011