

Entwicklung eines modularen AC/DC-Stromrichtersystems

Projekt: Entwicklung eines modularen AC/DC-Stromrichtersystems

Laufzeit: 01.09.2014 bis 31.12.2016

Gesamtprojektkosten: 175.000,00 €

Davon Förderung: 175.000,00 €

Projektleiter:

Prof. Dr.-Ing. Andreas Kremser

Institut ELSYS

Technische Hochschule Nürnberg

Georg Simon Ohm

Ob in Netzteilen für elektronische Geräte, Elektroantrieben für Kraftfahrzeuge, Elektronik in Smart Homes oder in digitalisierten Fertigungsprozessen in der Industrie – die Umwandlung von Wechselstrom (AC) in Gleichstrom (DC) ist in zahlreichen Anwendungen notwendig. Die dazu verwendeten Stromwandler oder Stromrichter müssen dabei elektrischen, mechanischen und thermischen Belastungen standhalten und darüber hinaus über Jahre ausfallfrei funktionieren. Gerade in kommerziellen beziehungsweise industriellen Anwendungen, wie zum Beispiel der Erzeugung regenerativer Energie, sind dies Voraussetzungen, die erfüllt werden müssen.

Das Forschungsprojekt hat dazu ein AC/DC-Stromrichtersystem entwickelt, welches verschiedene Anwendungsmöglichkeiten hat, besonders energieeffizient ist und eine hohe Lebensdauer aufweist.

Ziele

Das Projekt zielte darauf ab, ein modulares, energieeffizientes und intelligentes AC/DC-Stromrichtersystem zu entwickeln, welches unterschiedliche dezentrale Stromerzeuger, -verbraucher und -speicher über entsprechende Stromrichter mit einem DC-Netz verbindet. Das entwickelte System ist für den Einsatz in kleinen und mittelständischen Unternehmen sowie Privathaushalten geplant. Dabei sollte es selbstoptimierend wie auch energieeffizient arbeiten und über eine Lebensdauer von mindestens 20 Jahren verfügen. Vor dem Hintergrund, dass bereits zahlreiche dezentrale Stromerzeugeranlagen existieren, sollte das Stromrichtersystem voll integrierbar in bestehende Anlagen sein. Durch das zusätzliche DC-Netz sollte eine Einsparung zahlreicher Stromrichterstufen erreicht werden.

Projektverlauf

Zu Beginn des Projekts wurde die Galliumnitrid-Technologie (GaN) als Schaltungstopologie ausgewählt. Diese Technologie hat unter anderem den Vorteil, dass der Filteraufwand deutlich reduziert werden konnte, auch wenn dies die doppelte Anzahl an Leistungshalbleitern bedeutete. Ein weiterer Vorteil der GaN-Technologie ist, dass Schaltvorgänge bis zu fünf Mal schneller ablaufen, als zum Beispiel bei den herkömmlichen MOSFET-Bauelementen. Dank der GaN-Schaltungstopologie können eine höhere Taktfrequenz realisiert und passive

Bauelemente verkleinert werden. Das Stromrichtersystem ist dadurch kompakter, spart Materialkosten und auch die Leistungsdichte wird erhöht, was vor allem in der Elektromobilität notwendig ist. Die Leistungsklassen der Einzelmodule wurden auf 1,5 kW und 5 kW definiert, die bei Parallelschaltung Zwischenstufen und höhere Leistungen erbringen können. Anschließend wurde die Stromrichterplattform dimensioniert, die benötigten Bauelemente ausgewählt sowie die zu erwartenden Verlustleistungen berechnet. Die Musterbaugruppen wurden dabei vom Projektpartner aus der Industrie, Elektron GmbH, gefertigt (siehe Abbildung 1). Zur Simulation wurde ein dreiphasiges Multilevel-Konzept erstellt.

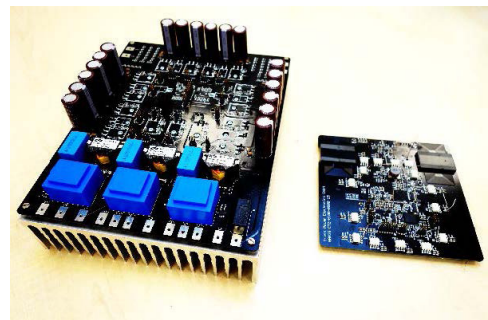


Abb.1: Stromrichterbaugruppe und Steuerbaugruppe Digitaler Signalprozessor

Für das Framework der Software wurden neue Leistungsklassen für den Multilevel-Betrieb und die Kommunikation zum Systemcontroller konzipiert und als Prototypen implementiert. Kommt es zu einem Servicefall und einzelne Baugruppen müssen ausgetauscht werden, erlaubt die entwickelte Framework-Architektur eine Erkennung der Seriennummer und eine automatische Konfiguration. Für die Nachrüstbarkeit künftig notwendiger Funktionalitäten wurde das Software Framework so gestaltet, dass Updates ganz einfach über eine Internetverbindung durchgeführt werden können. Um die Sicherheit des Systems gewährleisten zu können, ist nur ein Update des gesamten Systems möglich. Ein entsprechendes Startprogramm stellt sicher, dass ausschließlich geeignete und zulässige Updates durchgeführt werden können. Diese können über eine Ethernet-Verbindung verschlüsselt und sicher eingespielt werden. Darüber hinaus können so auch Daten ausgetauscht und Wartungsarbeiten beziehungsweise Optimierungen durchgeführt werden.

Die Leistungsschaltungen der entwickelten AC/DC-Stromrichter wurden nach Kriterien der elektromagnetischen Ver-

träglichkeit (EMV) ausgelegt. Als EMV wird die ungewollte gegenseitige Beeinflussung technischer Geräte durch elektrische oder elektromagnetische Effekte bezeichnet. Mit der Einhaltung von EMV-Kriterien wurde somit ein reibungsloser und sicherer Betriebsablauf gewährleistet. Auch die Kommutierungskreise wurden EMV-optimiert ausgelegt. Durch die hohen Schaltgeschwindigkeiten ergaben sich zwar kritische Common-Mode-Störspannungen, diese konnten aber durch umfangreiche Modellbildung, Simulationsrechnungen und anschließender experimenteller Verifikation auf ein tolerierbares Maß reduziert werden. Auch die in die Elektronikbaugruppe integrierten Übertrager zur Ansteuerung der Leistungshalbleiter verschärften diese Störungen, da ein kapazitiver Strompfad für hohe Frequenzen vom Leistungsteil zur geerdeten Steuerung entstand. Eine passende Beschaltung mit Drosseln und eine optimierte Leistungsführung konnten diese Common-Mode-Ströme jedoch unterdrücken. Als normenrelevante EMV-Eigenschaften wurden vor allem die Blindleistungssteuerung und die Beeinflussung von Oberschwingungen festgelegt. Um vor Lichtbögen zu schützen, wurden entsprechende Spannungsmessungen dimensioniert. Diese erlauben eine sichere Erkennung. Zur Kopplung mehrerer DC-Racks wurden entsprechende DC-Stromrichter vorgesehen. Eine spezielle Regelungssoftware gewährleistet eine zuverlässige Strombegrenzung, wodurch Lichtbögen innerhalb 100 µs sicher erkannt und abgeschaltet werden konnten.

Die Regelungstechnik des Stromrichtersystems wurde so konzipiert, dass verschiedene Betriebsarten möglich sind, wie zum Beispiel Netzeinspeisung, Betrieb an rotierenden Generatoren und interleaved synchroner Parallelbetrieb zur Skalierung der Leistung. Die Regelgröße für den netzgekoppelten Betrieb ist die Zwischenkreisspannung, die auf 700 V geregelt wurde.

Damit eine Anlage mit dem verbauten Stromrichtersystem im Falle eines Netzausfalls zuverlässig weiter betrieben werden kann, wurde das AC/DC-System so konzipiert, dass es mit Strom aus dem Zwischenkreis, aus einem Batteriespeicher oder aus dem AC-Netz versorgt werden und selbstständig anlaufen kann.

Nachdem alle Funktionen und Eigenschaften festgelegt wurden, konnten die verschiedenen Betriebsmodi in Labortests erprobt werden. Hierfür wurden AC- und DC-Lasten eingesetzt, um die unterschiedlichen Betriebsarten der Stromrichter bei Spannungen bis 700 V zu testen. Mit weiteren Stromrichtern konnten für die Prüflinge unterschiedliche Belastungsfälle (beispielsweise Spannungsunsymmetrie oder Oberschwingungen) eingestellt werden. Besonders wichtig waren dabei auch die Bedingungen für EMV-Messungen, da für die 3-Level-Topologie eine experimentelle Verifikation notwendig war. Der abschließende Pilotbetrieb wurde aufgrund nicht geeigneter und verfügbarer Anlagen an steuerbaren Leistungsquellen vorgenommen. Diese konnten auch Leistungskennlinien von Photovoltaik-Anlagen bei realen Spannungen und Leistungen nachbilden, so dass durchaus realistische Testszenarien durchgeführt werden konnten.

Projektleiter
Prof. Dr.-Ing. Andreas Kremser
Telefon: 0911/ 5880-1409
E-Mail: andreas.kremser@th-nuernberg.de

Institut ELSYS
Technische Hochschule Nürnberg
Georg Simon Ohm

www.th-nuernberg.de

Ergebnisse

Die umfangreichen Labortests wurden mit drei 1,5 und 5 kW Modulen durchgeführt. Dabei wurden folgende Eigenschaften getestet, optimiert und verifiziert:

- Schaltverhalten mit verschiedenen Last-Parametern (10%, 50%, 100%)
- Erwärmungstest
- Spannungsqualität, Stromform
- Signalqualität der Spannungs- und Stromerfassung
- Funktion der Steuerelektronik über längere Zeiträume
- AC- und interleaved DC-Betrieb
- Netzsynchronisation

Die entwickelten Stromrichtermodule in 3-Level-Topologie erfüllen alle notwendigen Anforderungen und sind über Software als 3-AC oder 3-fach Interleaved DC-Steller konfigurierbar. Im Systemverbund können die Module verwaltet und konfiguriert werden. Die Langzeitverfügbarkeit wurde durch Identifikation der Moduleigenschaften sichergestellt. Das innovative Stromrichtersystem kann somit den Systemwirkungsgrad erhöhen, die Verteilernetze entlasten und durch Materialeinsparung zum einen Ressourcen schonen und zum anderen die Kosten für das gesamte System reduzieren.

Fördergeber

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Projektpartner aus der Wissenschaft



Projektpartner aus der Industrie

Elektron Systeme und Komponenten GmbH & Co.KG
Grass Power Electronics GmbH