ML-Ultra

Multi-Level Ultra Converter

Programm / Ausschreibung	Energieforschung (e!MISSION), Energieforschung, Energieforschung 7. Ausschreibung	**Status**	laufend
Projektstart	01.10.2021	**Projektende**	30.09.2024
Zeitraum	2021 - 2024	**Projektlaufzeit**	36 Monate
Keywords	Leistungselektronik, Wide-Band-Gap, Motordrives, Leistungshalbleiter		

Projektbeschreibung

In der heutigen, zunehmend industrialisierten und digitalisierten Umgebung gibt es eine erhöhte Nachfrage nach Energieumwandlungssystemen für verschiedene Applikationen, wie z. B. erneuerbare Energien (Solar, Wind), drehzahlvariable Wechselstromantriebe, Automobil- und Elektrofahrzeuge, Schweißen, Power Quality Conditioner etc. All diese Anwendungen haben die gemeinsame Anforderung, die Leistungsdichte (W/m³ bzw. W/kg) zu erhöhen bzw. die Größe, das Volumen und das Gewicht der Konverter zu reduzieren. Darüber hinaus besteht vor allem in Automobil- und Automatisierungsanwendungen ein Impuls zur Integration von Stromrichtern mit einem Aktor und/oder einem Motor.
Ein in der Wissenschaft und bis zu einem gewissen Grad in der Industrie diskutierter Ansatz zur Erhöhung der Leistungsdichte ist die Entwicklung von Leistungselektronik auf Basis von Wide-Bandgap-Halbleitern. In vielen Anwendungen ist diese Herangehensweise mit einigen Herausforderungen verbunden, von denen die wichtigsten die Kosten und der Mangel an längerfristigen Zuverlässigkeitsdaten sind. Darüber hinaus gibt es immer noch Probleme im Zusammenhang mit elektromagnetischen Störungen, dem Isolationswiderstand des Motors sowie der Verträglichkeit gegenüber hohen dv/dt, die durch das Schalten von WBG-Halbleitern verursacht werden. Wissenschaft und Industrie arbeiten an entsprechenden Lösungen und es ist zu erwarten, dass in absehbarer Zeit Leistungselektronik auf Basis von Wide-Bandgap-Halbleitern zunehmend Verbreitung finden wird.
Im vorliegenden Projektantrag verfolgen wir einen zusätzlichen Ansatz. Um das gleiche Ziel der hohen Leistungsdichte und des elektrischen Wirkungsgrads zu erreichen, werden zuverlässige Halbleiter auf Siliziumbasis und optional Wide-Band-Gap Devices an entsprechenden Zellpositionen in hybridem Aufbau, in einer neuartigen Multi-Level-Multi-Cell-Topologie verwendet.
Unsere Projektziele sind:
- die Realisierung eines elektrischen Spitzenwirkungsgrads von über 99,0 % und bis zu 99,5 %
- wartungsfreie passive Kühlung - keine beweglichen Teile (Lüfter) bzw. zusätzliche Kühlkörper
- Gewichtsreduktion um eine Größenordnung im Vergleich zu heutigen Standardlösungen - mehr Silizium durch mehrstufigen Multizellen-Ansatz, weniger Eisen/Kupfer/Aluminium - optimierte Kühlung, reduzierte Größe und Volumen von Induktivitäten bzw. Motorwicklungen.

Abstract

In today’s growing industrialized and digitalized environment there is increased demand for the power conversion systems for various applications such as renewable (solar, wind), variable speed ac drives, automotive and EV, welding, power quality conditioners and so on. In all these applications the common requirement is to increase volumetric and gravimetric power density or reduce size, volume, weight of the power conversion parts. Furthermore, particularly in automotive and automation applications persists a strong impetus to integrate power converter with an actuator and/or a motor.
Widely discussed approach in Academia and to certain degreed in Industry, for increase of the power density is to employ Wide-Bandgap semiconductors-based Power Electronics. However, in many applications a deployment of Wide-Bandgap semiconductors-based Power Electronics is still posed with many challenges among them the most important are cost and lack of longer-term reliability data. In addition, issues related to EMI and motor’s isolation resistance and hardness to high dv/dt caused by WBG semiconductors switching persist too. Academia and Industry are working on the mitigation of those issues and it’s to be expected that in a foreseen future that the Industry is going to shift toward Wide-Bandgap semiconductors-based Power Electronics.
Meanwhile in more eminent terms, in this proposal, we are taking an additional approach to the same objective of the high-power density and electrical efficiency by employing a novel multi-level multi-cell topology utilizing reliable all silicon-based semiconductors as well as WBG-semiconductors optionally at specific cell positions in hybrid configuration.
Our end objectives are
• to reach peak electrical conversion efficiency over 99.0% and up to 99.5%
• maintenance free passive heatsink-less cooling – eliminate forced or any movable parts cooling and additional heatsinking
• to cut weight by order of magnitude versus typical today’s solutions – more silicon by multi-level multi-cell approach, less iron/still/cooper/aluminum – no heatsink, reduced size and volume of magnetics or motor windings.

Endberichtkurzfassung

Das Projekt ML-Ultra, das von den Partnern B&R Industrial Automation GmbH, Infineon Technologies Austria GmbH, Universtität Innsbruck Institut für Mechatronik/Leistungselektronik und AIT Austrian Institute of Technology GmbH als Konsortialführer durchgeführt wurde, erörterte die Frage inwiefern eine neue Konvertertopologie mit fünf Spannungsebenen (sog. 5-Level E-Type Topology) geeignet ist durch höhere Effizienz einen weiteren Beitrag zur Elektrifizierung des Energiesystems zu leisten.

Im Rahmen des Projekts wurde diese neue Topologie von den wissenschaftlichen Partnern zuerst theoretisch untersucht und in Zusammenarbeit mit den Industriepartnern ein Szenario im Felder der Industrial Drives ausgearbeitet, in dem einerseits der Konverter als Demonstrationshardware aufgebaut werden konnte, aber auch gleichzeitig mit Kenndaten versehen war, die passend zu gleichwertigen Produkten mit klassischen 2-Level Topologien bestehend aus 2 Spannungsebenen sind. Dadurch konnten Testpläne definiert werden, die in einem echten Benchmarking der neuen Lösung zu im Markt etablierten Konvertern münden konnten.

Beim Benchmarking auf einem eigens entwickelten Teststand konnten die Potenziale der Performanceverbesserungen bestätigt werden. Die 5 Spannungsebenen benötigen jedoch auch 4 jeweils gleich große Teilspannungen, die, da die Belastung nicht auf alle Zweige gleich verteilt ist, mittels Balancingkreises geregelt werden müssen. Dadurch ergibt sich eine weitere Erhöhung der Komplexität des Systems, die in Kosten und Volumen in Relation zu den Verbesserung abgewogen werden müssen.

Für Teilabschnitte des Konverters wurde im Projekt auch ein abgestimmtes Powermodule entwickelt, das die Integration weiter erleichtern soll und zusätzliche Verbesserung vor allem im Bereich der parasitären Effekte bringen soll. Die zugehörigen Studien werden nach dem Projekt fortgesetzt.

In einem weiteren Schritt wurden über die angestrebte Applikation der Industrieantriebe hinaus noch weitere Industrialisierungspotenziale diskutiert und analysiert. Dabei konnte die Vielseitigkeit der Lösung in einem weiten Feld von unterbrechungsfreien Stromversorgungen, Photovoltaikwechselrichter, Batteriespeichersysteme bis hin zu DC Active Front Ends im Rahmen von AC-Netzgebundenen Applikationen im Rahmen von Effizienzmessungen über alle 4 Quadranten aus Wirk- und Blindleistung gezeigt werden.

Das neue Konverterkonzept stieß sowohl auf Industriemessen wie z.B. der Leitmesse PCIM (Power Conversion and Intelligent Motion) in Nürnberg als auch auf Fachtagungen und -konferenzen wie u.a. IPEMC (IEEE International Power Electronics and Motion Control Conference, China) auf großes Interesse. Weitere IEEE Publikationen trugen ebenfalls dazu bei, dass die Projektergebnisse einer breiten Öffentlichkeit präsentiert werden konnten.

Referenzen:

Zoran Miletic, Vladan Durkovic and Petar J. Grbovic, “Volume and weight comparison of 2-Level and 5-Level E-Type 3-Phase 4-Wire STATCOM Converte,” to be presented at the 9th IEEE Southern Power Electronics Conference, December 2nd ? 5th, Brisbane, Australia, 2024
Petar J. Grbovic, Thierry Menyard and Zoran Miletic, “Multi-Level & Multi-Cell Power Converters: from Theory to Practice,” Tutorial presented @ the 10th IEEE International Power Electronics and Motion Control Conference, (IPEMC 2024), Chengdu, May 17th ? 22nd 2024, Chengdu, China.
Zoran Miletic, Petar J. Grbovic and Thierry Menyard, "Analysis and Design of SiC Three-phase Four-wire 5 Level E-Type STATCOM Inverter," in the IEEE Access, Vol. 12, pp. 102521 – 102535, DOI: 10.1109/ACCESS.2024.3432196
Zoran Miletic and Petar J. Grbovic, "Analysis and Design of a Single-Phase Half-Bridge Rectifier with an Active DC bus," in the IEEE Access, Vol. 12, pp. 100591-100601, DOI: 10.1109/ACCESS.2024.3430841

Projektkoordinator

- AIT Austrian Institute of Technology GmbH

Projektpartner

- B&R Industrial Automation GmbH
- Infineon Technologies Austria AG
- Universität Innsbruck