

Diss. ETH Nr. 18798

Multifunktionale Leistungselektronik für Hybridfahrzeuge

ABHANDLUNG
zur Erlangung des Titels

DOKTORIN DER WISSENSCHAFTEN

der

ETH ZÜRICH

vorgelegt von

HANNA PUTZI-PLESKO

Dipl.Ing. ETH Zürich
geboren am 27. Mai 1980
von Winterthur, Zürich

Angenommen auf Antrag von

Prof. Dr. J. W. Kolar, Referent
Prof. Dr. R. Kennel, Koreferent

2009

Zusammenfassung

Das Streben nach Unabhängigkeit von der Ölindustrie und ein steigendes Umweltbewusstsein treiben die Entwicklung von alternativen Antriebsmöglichkeiten in der Automobilindustrie voran. Dies zeigt sich auch in den Roadmaps der grossen Automobilhersteller, bei denen alternativ angetriebene Fahrzeuge heute einen wichtigen Platz einnehmen oder bereits als Produkte in den Markt gebracht wurden. Dabei sind Elektrofahrzeuge und Elektro-Hybridfahrzeuge, die von mindestens einem Elektromotor und einem weiteren Energiewandler angetrieben werden, die am häufigsten gewählten Alternativen. Dennoch werden Hybridfahrzeuge im Vergleich zu herkömmlichen Fahrzeugen selten verkauft. Der Hauptgrund hierfür liegt in den hohen Kosten, die heute noch für die Herstellung des elektrischen Antriebssystems gegeben sind.

Um die Verluste möglichst klein zu halten, erfolgt die Speisung der elektrischen Maschine über einen Pulswechselrichter aus einem 200 bis 400 V Hochspannungsbus. Daneben existiert eine Niederspannungsschiene, welche gestützt durch eine 12 V Batterie Hilfsfunktionen versorgt. Beide Spannungslevel sind durch einen bidirektionalen DC/DC Konverter mit Potentialtrennung verbunden.

Eine Möglichkeit zur Kostensenkung bietet die Verringerung der Anzahl benötigter Bauteile. Dies bietet zusätzlich den Vorteil, dass meistens auch das Gewicht und das Volumen reduziert werden können. In der vorliegenden Arbeit werden zwei neue Konzepte vorgestellt, bei denen durch die gemeinsame Nutzung von gewissen Systemteilen durch den Pulswechselrichter und den DC/DC Konverter dieses Ziel erreicht werden kann. Dabei entsteht aus den beiden Einzelsystemen Pulswechselrichter und DC/DC Konverter ein einziges multifunktionales Konvertersystem.

Nach einer kurzen Einleitung über das Einsatzgebiet der vorgestellten Konverter und einer Zusammenstellung der Grundlagen für konventionelle Hybridfahrzeuge wird in der vorliegenden Arbeit eine Übersicht über bereits bestehende Integrationskonzepte gegeben. Da die beiden vorgestellten Konzepte auf dem Prinzip der Dual Active Bridge beruhen, wird zunächst die Funktionalität dieses bereits bekannten DC/DC Konverters erklärt, bevor die beiden neuen Systeme behandelt werden. Dabei wird auch ein vereinfachtes analytisches Modell erstellt, das für alle besprochenen Konverter verwendet werden kann und lediglich eine Anpassung der Parameter an das gewählte System erfordert.

Um Voraussagen über die Effizienz der Systeme treffen zu können, müssen die einzelnen Verluste möglichst genau modelliert werden. Aufgrund des verhältnismässig grossen Nullwiderstandes der Maschine muss den Maschinenverlusten ein besonderes Augenmerk geschenkt werden. Daher wird in der vorliegenden Arbeit eine Finite Elemente Simulation zur Bestimmung dieser Verluste durchgeführt.

Für die Steuerung des Systems bietet sich das von der Dual Active Bridge bekannte Phase-Shift-Verfahren an, das für die beiden neuen Systeme mit geringen Anpassungen direkt übernommen werden kann. Jedoch kann der Wirkungsgrad in gewissen Betriebspunkten relativ geringe Werte aufweisen. Daher werden in der vorliegenden Arbeit drei weitere Schaltverfahren vorgestellt, durch welche die Effizienz des Systems gesteigert werden kann.

Ergänzend zu den theoretischen Überlegungen wird ein Vergleich der drei Systeme bezüglich Bauteil Aufwand und Wirkungsgrad für ein fiktives System durchgeführt. Dabei wird auf die Potentiale und Probleme der beiden neuen Konverter hingewiesen.

Die Arbeit wird vervollständigt durch Messungen an einem Prototyp kleinerer Leistung. Dabei zeigt sich, dass das entwickelte analytische Modell sehr gut mit der Realität übereinstimmt und durch die vorgestellten neuen Schaltverfahren der Wirkungsgrad gesteigert werden kann.

Abstract

The pursuit of independence from foreign oil and an increasing ecological awareness push the development of alternative propulsion systems in the automotive industry. This becomes also obvious by looking at the road maps of the leading automobile manufacturers, where vehicles with alternative propulsion systems play a decisive role or are already introduced into the market. Electrical vehicles and hybrid electric vehicles, where at least one electrical motor and another energy converter are used, are thereby the most important alternative. Nevertheless, hybrid vehicles are sold connotatively less than conventional vehicles. The main reasons for this difference are the relatively high production costs for the electric propulsion system.

To keep the losses as small as possible, the electrical machine is fed from an inverter which is connected to a 200 V to 400 V high voltage bus. An additional low voltage bus supported by a 12 V battery supplies auxiliary functions. The two voltage levels are connected through a bidirectional DC/DC converter with galvanic isolation.

A popular measure to decrease the production costs is to reduce the number of required components. Furthermore, this method might also diminish weight and volume of the system. In this thesis, two new concepts are presented in which the goal of component reduction is achieved by sharing some parts of the system with both the inverter and the DC/DC converter. In doing so, one multi-functional converter system emerges from the two separate systems inverter and DC/DC converter.

After a short introduction on the application area of the presented converters and a summary of the basics concerning conventional hybrid vehicles, an overview of the existing integration concepts is given. As the presented converters are based on the Dual Active Bridge, the functio-

nality of this converter is described first, followed by the presentation of the two new systems. A simplified analytic model is developed too. This model can be used for all converters by adjustment of the parameters depending on the chosen system.

To forecast the systems' efficiency, it is necessary to model all the losses as accurate as possible. Due to the comparative large zero-sequence resistance, the machine's losses are of particular importance. Hence, a Finite Element Simulation is performed to determine these losses.

To control the new systems, the well known phaseshift modulation developed for the Dual Active Bridge can be used with only a few modifications. However, a very low efficiency might result at some operating points. In this thesis, three new switching strategies are presented to improve the systems' efficiency.

In addition to the theoretical considerations, a comparison of the two new systems and the Dual Active Bridge regarding the number of components and the efficiency is carried out for a virtual system. The potentials and problems associated with the new converters are pointed out too.

The thesis is completed by measurements taken from a prototype system designed for smaller power ratings. It is shown that the analytic model and the reality correspond very well and that the efficiency can be significantly improved by the new proposed switching strategies.