



Doctoral Thesis

Mittelfrequente resonante DC/DC-Wandler für Traktionsanwendungen

Author(s):

Zuber, Daniel

Publication Date:

2001

Permanent Link:

<https://doi.org/10.3929/ethz-a-004129281> →

Rights / License:

[In Copyright - Non-Commercial Use Permitted](#) →

This page was generated automatically upon download from the [ETH Zurich Research Collection](#). For more information please consult the [Terms of use](#).

Diss. ETH Nr. 14121

Mittelfrequente resonante DC/DC-Wandler für Traktionsanwendungen

ABHANDLUNG
Zur Erlangung des Titels
DOKTOR DER TECHNISCHEN WISSENSCHAFTEN

der
EIDGENÖSSISCHEN TECHNISCHEN HOCHSCHULE
ZÜRICH

vorgelegt von
DANIEL ZUBER
Dipl. El.-Ing ETH
geboren am 20. Mai 1970
von Mollis, GL

Angenommen auf Antrag von:
Prof. em. Dr. H. Stemmler, Referent
Prof. Dr. A. Ch. Rufer, Koreferent
Prof. Dr. J. W. Kolar, Koreferent

Zusammenfassung

Heutige Umrichterlokomotiven, die am Wechselspannungsnetz betrieben werden, besitzen im Antriebsstrang einen grossen, schweren und verlustbehafteten Netztransformator. Das Transformatorgewicht wird wesentlich durch die tiefe Bahnnetzfrequenz von $16\frac{2}{3}Hz$ bestimmt, seine Verluste werden durch die platzoptimierte Bauweise noch vergrössert. Mit der AC-seitigen Serieschaltung von Gleichspannungswechselrichtern, welche über eine Entkopplungsdrossel direkt an den Fahrdrabt angeschlossen werden, wird der Netztransformator eliminiert.

Die vorliegende Arbeit beschreibt resonante, potentialtrennende bidirektionale DC/DC-Wandler mit einer Taktfrequenz von $8kHz$. Diese führen die durch die netzseitige Serieschaltung der Wechselrichter entstehenden – auf verschiedenen Potentialen liegenden – DC-Zwischenkreise auf einen gemeinsamen Zwischenkreis zusammen, aus welchem die Antriebswechselrichter gespeist werden. Zur Minimierung der Verluste erscheinen resonante Topologien für diese Anwendung vorteilhaft. Aus einer Vielzahl möglicher Topologien wird die einfachste Variante des ungeredelten, fix taktenden, resonanten DC/DC-Wandlers ausgewählt. Diese Topologie wird sowohl in Halb-, wie auch in Vollbrückenschaltung untersucht. Aus der mathematischen Analyse dieser DC/DC-Wandler wird ein einfaches Modell abgeleitet, welches die Dynamik der Spitzenwerte des resonanten Stroms beschreibt. Diese wird im Takt der Schaltvorgängen der netzseitigen Wechselrichter angeregt. Das Modell zeigt, dass für ein gut gedämpftes Überschwingen eine sehr kleine Streuinduktivität des potentialtrennenden Transformators gefordert ist.

Aus verschiedenen Transformator Konzepten wird deshalb der Trafoaufbau mit Koaxialkabel ausgewählt, weil damit auf einfachste Weise eine sehr kleine Streuinduktivität erreichbar ist. Als Kernmaterial wird ein nanokristalliner Werkstoff mit niedrigen Verlusten vorgeschlagen. Die Optimierung des Transformators erfolgt nach dem Gewicht - unter Berücksichtigung der Stromverdrängung im Koaxialkabel - und zeigt, dass damit der Gewichtsanteil der magnetischen Bauteile am Antriebsstrang praktisch halbiert werden kann.

Als Leistungshalbleiter werden IGBT verwendet, deren Ein- und Ausschaltverhalten unter Nullstrom- und Nullspannungsbedingungen genauer analysiert wird. Diese Betrachtungen zeigen, dass durch die optimale Wahl der Ansteuersignale die Schaltverluste noch einmal reduziert werden können. Dieser Effekt wird am $5kW$ -Labormodell durch Messungen untermauert.

Abstract

Today's traction vehicles for AC-mains contain a line-transformer in the propulsion chain, which is, especially for the $16^{2/3}Hz$ main lines, bulky and has high losses due to the confined space. In series connecting voltage source inverters (VSI) on their ac-side, which are directly connected via a line choke to the overhead line, this transformer can be eliminated.

This thesis describes resonant, bi-directional DC/DC-converters with a switching frequency of $8kHz$. These DC/DC-converters satisfy the need for the potential separation of the dc-links, which by using the series connection of VSI on the line side lie on different potentials, and feed the power in one common dc-link from which the drive-side is fed. To minimize switching losses, resonant topologies seem to be best suited for this application. Out of a vast variety of possible topologies, an uncontrolled resonant DC/DC-converter with fixed switching frequency has been chosen. This topology is being investigated in half- and full-bridge configuration. The in-depth mathematical analysis of this type of DC/DC-converter leads to an easy model, which describes the envelope of the dynamics of the resonant current. This model shows that the stray-inductance of the potential separating transformer has to be as low as possible to prevent massive overshoots in the resonant-current dynamics which occur in step with the switching of the VSI on the line side.

For simple realisation of a low stray-inductance, the transformer was built up with a coaxial cable. Nanocrystalline magnetic core materials, as used here, yield a minimum of core losses at the given switching frequency. The weight-optimization of the transformer, taking the skin-effect in the coaxial cable into consideration, shows the virtually bisected weight of magnetic components in comparison to today's propulsion chain.

The switching processes of the IGBT - which is used as the power switch in this application - under zero current or zero voltage switching conditions are analysed thoroughly. It is shown that the switching losses can be even further reduced by using an advanced gating scheme. This effect can be measured in the $5kW$ lab model.