

Diss. ETH Nr. 13753

Serriegeschaltete Gleichspannungszwischen- kreisumrichter in Traktionsanwendungen am Wechselspannungsfahrdraht

ABHANDLUNG
zur Erlangung des Titels
DOKTOR DER TECHNISCHEN WISSENSCHAFTEN
der
EIDGENÖSSISCHEN TECHNISCHEN HOCHSCHULE
ZÜRICH

vorgelegt von

MICHAEL STEINER

Dipl. Ing., Bergische Universität Wuppertal
geboren am 15. August 1963
in Hemer, Deutschland

Angenommen auf Antrag von
Prof. Dr. H. Stemmler, Referent
Prof. Dr. A. Rufer, Korreferent
Prof. Dr. W. Fichtner, Korreferent

2000

Zusammenfassung

Die vorliegende Arbeit behandelt neue Schaltungstopologien im Traktionsbereich am Wechselspannungsfahrdraht. Es werden zwei Lösungsmöglichkeiten, den schweren Netztransformator zu ersetzen, vorgeschlagen. In beiden Fällen wird die hohe Netzspannung durch wechselspannungsseitig in Serie geschaltete Gleichspannungswechselrichter beherrscht.

Bei der "MF-Trafo Topologie" wird die hohe Netzspannung mit Hilfe von Mittel-Frequenz-Transformatoren von der Motorseite isoliert.

Bei der traflosen Topologie gelangt die hohe Netzspannung bis in den Motor, der als Hochspannungs-Mehrstern-Motor ausgeführt wird.

Beide Systeme werden ausführlich beschrieben. Vorschläge zur Schaltungstechnik, Regelungstechnik, PWM-Verfahren und Systemtechnik werden gemacht, die detailliert untersucht werden. In beiden Fällen wird die Motorseite in dieser Arbeit nicht speziell berücksichtigt. Bei der MF-Trafo Topologie bleibt die Motorseite wie bei der konventionellen Topologie, und bei der traflosen Topologie kann auf Ergebnisse einer zeitlich parallelen Arbeit an demselben Institut zurückgegriffen werden [Dep11].

Die netzseitige Regelung wurde an einer Laboranlage mit reduziertem Leistungsniveau demonstriert. Insbesondere die vorgeschlagenen Konzepte zur hohen Spannungsausnutzung der Wechselrichter bei der traflosen Topologie konnten verifiziert werden.

Die Arbeit schliesst mit einem Systemvergleich der neuen Topologien und der konventionellen Topologie mit Netztransformator ab. Neben Kosten, Gewicht und Wirkungsgrad werden weitere Systemaspekte wie Mehrsystemfähigkeit und Leistungsmodularität berücksichtigt.

Beim Vergleich konnten wesentliche technische Vorteile der neuen Topologien gefunden werden. Insbesondere bei Berücksichtigung des Wirkungsgrades bei den Energiekosten schneiden die neuen Topologien auch kostenmässig sehr gut ab. In Zukunft, mit besseren Halbleitern, wird der Kostenvorteil immer stärker wachsen.

Wie in [Krat] dargestellt, ist mit dem zukünftigen ICE bereits eine Anwendung gefunden, bei der die MF-Trafo Topologie industriell umgesetzt werden soll.

Summary

This research contribution investigates new electrical circuit topologies for use in traction vehicles fed by AC main lines. Two new solutions are proposed to eliminate the - specially for 15 kV / 16.7 Hz main lines - bulky, heavy and expensive line transformer having furthermore a poor efficiency. In both new solutions the high main line voltage is handled by connecting several dc link converters on their ac-side in series.

The “MF-Trafo Topology“ uses Medium-Frequency-Transformers to insulate the motor side from the high main line voltage.

The “Trafoless Topology“ uses a special High-Voltage Multistar-Motor, therefore the high main line voltage is entering into the motor.

Both new systems will be described in detail. Circuit topologies, control methods, PWM methods and new solutions for system aspects will be proposed and discussed. In both topologies the motor side will only be roughly investigated. In case of the MF-Trafo Topology the motor side remains the same as in conventional systems and in case of the Trafoless Topology results from a parallel PHD work in our institute dealing with a High-Voltage Multistar Motor could be used [Depl1].

The line side control concept was verified and demonstrated using a test converter system with reduced power and performance in the laboratory. Specially the new control concepts for increased output voltage of the converters in the Trafoless Topology have been verified.

The paper ends in a system comparison of both new topologies in comparison to the conventional topology with a main line transformer. System aspects such as Multi-system applications and power modularity will be covered as well as the obvious aspects like costs, weight and efficiency.

The comparison shows up major technical advantages of the new topologies. By taking the efficiency into account, using saved energy costs, both new topologies show main benefits in total costs as well. In future with improved semiconductors the cost benefits will rise more and more.

As pointed out in the paper [Krat], the MF-Trafo Topology is proposed to be directly applied in an industrial application, the future ICE train.