

- **Prädiktive Pulskompensation zur aktiven Gleichtaktentstörung von leistungselektronischen Wandlern im CISPR 25 Komponententest**

M. Sc. Denis Müller

Hauptberichter:

Prof. Dr.-Ing. S. Tenbohlen

Mitberichter:

Prof. Dr.-Ing. Jörg Roth-Stielow

Universität Stuttgart

Tag der mündlichen Prüfung:

7.12.2022

Die zunehmende Elektrifizierung des Antriebsstrangs, und damit der Einzug großer, leistungselektronischer Konverter, stellt die elektromagnetische Verträglichkeit in Fahrzeugen vor neue Herausforderungen. Aktive EMV-Filter sollen die Miniaturisierung der Entstörelemente in der Leistungselektronik voranbringen. Die Realisierung aktiver EMV-Filter im Hochvoltbordnetz birgt wiederum eine ganze Reihe eigener Schwierigkeiten, die für einen flächendeckenden Einsatz adressiert werden müssen.

Die vorliegende Arbeit beschäftigt sich mit der Entwicklung einer Methode zur aktiven Störunterdrückung, die genau auf die Entstörung von leistungselektronischen Komponenten im Hochvoltbordnetz zugeschnitten ist. Anhand der aktiven EMV-Entstörung eines Pulswechselrichters wird der Stand der Forschung im Bereich aktiver EMV-Filter demonstriert. Basierend auf dem vorgestellten Prototyp werden die Schwächen der konventionellen Realisierung in analoger Schaltungstechnik identifiziert. Der aufgebaute Prototyp wird als Maßstab für die alternativ entwickelte Entstörmethode herangezogen.

Basierend auf der getakteten Funktionsweise von leistungselektronischen Wandlern wird eine neuartige Entstörmethode abgeleitet. Bei dieser Methode wird ein gepulstes Rechtecksignal den Störsignalen der Leistungselektronik destruktiv überlagert. Das Kompensationssignal wird über eine Hilfsspannungsquelle erzeugt und mittels zweier Kondensatoren auf die zu entstörenden Leitungen eingeprägt. Um eine möglichst hohe Dämpfungswirkung zu erzielen, muss das Kompensationssignal zeitlich exakt auf die Störanregung in Form der Schaltsignale der Leistungsmodule synchronisiert und deren Amplituden aufeinander abgestimmt werden. Die sogenannte Pulskompensation kommt mit einer Zwei-Punkt Topologie als aktivem Element aus. Durch das Zusammenspiel von Störanregung und Koppelpfad in leistungselektronischen Komponenten kann damit eine für die Anwendung passend zugeschnittene Entstörmethode entwickelt werden. Hierzu wird ein Modell entwickelt, mit dem die notwendige Pulsform, Pulsamplitude und Synchronisationsgenauigkeit bestimmt werden können. Ebenso lässt sich die erreichbare Filterdämpfung aus dem Modell ableiten.

Der theoretisch entwickelte Ansatz wird anhand eines Tiefsetzstellers für stationär getaktete, leistungselektronische Komponenten in den praktischen Einsatz überführt. Dabei wird sowohl die Effektivität der Pulskompensation zur Störunterdrückung demonstriert, als auch das vorgestellte, analytische Modell validiert. Anhand stationärer, aber auch dynamischer Veränderungen im Betriebspunkt des Tiefsetzsteller kann eine Methode zur automatischen Nachführung veränderter Betriebspunkte abgeleitet werden.

Die Nachführung erlaubt neben dem stationären Betrieb auch die Anwendung auf dynamisch getaktete Komponenten. Anhand eines Pulswechselrichters wird die Transformation der Methode von DC/DC Wandlern hin zu DC/AC Wandlern abgeleitet. Dabei liegt der Fokus auf den notwendigen Anpassungen in Hardware und Software der Pulskompensation.

Abschließend erfolgt ein Vergleich der vorgestellten Methode mit einer konventionellen aktiven Filtermethode. Der eingangs aufgebaute, aktive Filter in Analogtechnik wird hierfür als Maßstab zur Bewertung herangezogen. Dabei zeigt sich, dass die neue Methode höhere Dämpfungswerte und eine größere Bandbreite erzielt. Auch Bauraum und Kosten können mit der Pulskompensation gegenüber konventionellen aktiven Filtern nochmals deutlich reduziert werden.

- **Predictive Pulsed Compensation for Active Common Mode Suppression of Power Electronic Converters in a CISPR 25 Test Setup**

M. Sc. Denis Müller

The increasing electrification of the powertrain and, thus, the use of large power electronic converters causes new challenges for electromagnetic compatibility in vehicles. Active EMI filters are intended to improve the miniaturization of interference control elements in power electronics. The realization of active EMI filters in the high voltage cable harness of vehicles, in turn, involves a lot of issues of its own, which must be addressed for a widespread use.

This work investigates the development of a new method for active interference suppression that is precisely tailored to the disturbance patterns of power electronic components in the high voltage cable harness. Using the active EMI control of an inverter as an example, the state of research with respect to active EMI filters is introduced. Based on a presented prototype, the drawbacks of the conventional realization in analog circuit technology are identified. The built prototype is used as a benchmark for the alternatively developed EMI control method.

Based on the pulsed operation of power electronic converters, a novel EMI suppression method is derived. In this method, a pulsed square-wave signal is destructively superimposed on the disturbance signal of the power converter. The compensation signal is generated by an auxiliary voltage source and injected on the power lines by two capacitors. In order to achieve the highest possible attenuation, the compensation signal must be synchronized exactly in time to the disturbance source and their amplitudes must be matched. The so-called pulsed compensation can be built up with a two-level topology as the active circuit. The interaction of disturbance source and coupling path in power electronics can thus be used to develop a suppression method, tailored for this application. For this purpose, a model is developed which can be used to determine the necessary pulse shape, amplitude and synchronization accuracy. The achievable filter attenuation can also be calculated using the introduced model.

The theoretically developed approach is transferred to practical application using a buck converter as an example for a stationary clocked power converter. The effectiveness of pulsed compensation for disturbance suppression is demonstrated and the presented analytic model is validated. Based on stationary, but also dynamic changes in the operation point of the buck converter, an automatic synchronization method for tracking changed load situations is derived.

In addition to steady-state operation, the automatic synchronization also allows the application to dynamically clocked power converters. Using an inverter, the adaption of the method from DC/DC to DC/AC converters is introduced. Necessary adaptations in hardware and software of the pulsed compensation are scope of this section.

Finally, the pulsed compensation is compared to conventional active EMI filter methods. The analog active filter prototype, developed at the beginning of this work, is used as a benchmark for the evaluation of the new method. The results show that the pulsed compensation achieves a higher attenuation and a larger bandwidth. Compared to conventional active EMI filters, the pulsed compensation method can also significantly reduce installation space and costs of the EMI filter.