

**Universität
Rostock**



Traditio et Innovatio

**Koordinierte Ansteuerung
parallelgeschalteter Zweipunktumrichter mit
gemeinsamen Zwischenkreis**

Dissertation

zur

Erlangung des akademischen Grades

Doktor-Ingenieur (Dr.-Ing.)

der Fakultät für Informatik und Elektrotechnik

der Universität Rostock

vorgelegt von:

Dipl.-Ing. Yves Hein

Rostock, 08.09.2022

Kurzfassung

Im Rahmen dieser Arbeit wird ein neues Regelungsverfahren konzipiert und analysiert. Das neue Konzept wird als koordinierte Ansteuerung bezeichnet und dient zur Stromregelung von mehreren parallelgeschalteten Zweipunktumrichtern. Die Zielstellung bei der Entwicklung des neuartigen Verfahrens ist die Optimierung des Systemverhaltens auf der Netzseite des Umrichterverbands. Dabei stellen etablierte Verfahren die Referenz dar.

Dazu gehört die Regelung der Netzströme im rotierenden Koordinatensystem mit Pulsweitenmodulation (PWM) und versetzten Trägersignalen. Des Weiteren besteht die Möglichkeit eine Hysterese-Stromregelung anzuwenden. Hierbei verfügt jeder Umrichter über drei Zweipunktregler. Die Umrichter arbeiten unabhängig voneinander, wobei die Umrichterströme individuell geregelt werden. Diese konventionellen Regelungsverfahren weisen jeweils konzeptbedingte Vor- und Nachteile auf. So resultiert für das PWM basierte Verfahren in der Regel ein geringer Oberschwingungsgehalt im Netzstrom. Die Bandbreite der Regelung ist jedoch durch die feste Schaltfrequenz begrenzt. Im Gegensatz dazu werden die Ströme mit einer Hystereseregulung hochdynamisch eingepreßt. Die unkoordinierte Arbeitsweise der einzelnen Umrichter wirkt sich allerdings nachteilig auf den Oberschwingungsgehalt des Netzstroms aus. Die koordinierte Ansteuerung kombiniert die beschriebenen Vorteile der beiden konventionellen Verfahren. Das heißt, die Parallelschaltung wird wie ein Mehrpunktumrichter betrieben. Das gezielte Schalten der erforderlichen Spannungslevel reduziert den Anteil der Harmonischen im Netzstrom. Darüber hinaus ergibt sich durch den neuartigen Modulator eine hervorragende Regelungsdynamik.

Nach einer kurzen Analyse von Parallelschaltungen und der konventionellen Regelungsverfahren wird das Konzept der koordinierten Ansteuerung ausführlich erläutert. Anschließend erfolgt die Charakterisierung des Verfahrens mit Hilfe von Simulationen. Die experimentelle Validierung der koordinierten Ansteuerung komplettiert den Entwicklungsprozess. Darüber hinaus macht ein Vergleich zu den Simulationsergebnissen auf in der Praxis auftretende Besonderheiten aufmerksam. Die koordinierte Ansteuerung erweitert das Portfolio der für eine Parallelschaltung von Zweipunktumrichtern anwendbaren Regelungsverfahren. Der stabile Betrieb des Verfahrens konnte erfolgreich belegt werden. Das resultierende Systemverhalten verifiziert die ambitionierten Ziele bei der Entwicklung der koordinierten Ansteuerung.

Abstract

In this thesis, a novel control concept is developed and analyzed. The concept is called coordinated control and used for the current control of multiple paralleled two-level converters. The Purpose of the development process is the optimization of the system behavior on the grid-side of the structure. The conventional control concepts are the reference for the novel concept.

One of these established concepts is the control of the grid currents in the rotating frame with pulse-width modulation (PWM) and interleaved carrier signals. Furthermore, the hysteresis control is used for the control of paralleled converters. In contrast to the PWM-based concept, the individual converter currents are controlled with several hysteresis controllers. The control with PWM is characterized by a low harmonic content in the grid currents. However, the bandwidth of the control is limited and related to the constant switching frequency. In comparison, the dynamic behavior of the hysteresis control is excellent. However, the uncoordinated operation of the converters is affecting the grid current harmonics negatively. The coordinated control is designed to combine the described advantages of the two conventional concepts. Therefore, the paralleled converters are controlled in a coordinated manner and operated like one multilevel converter. Thus, the grid current harmonics are significantly reduced in comparison to the conventional hysteresis control. Due to the novel modulator, the dynamic behavior is beneficial in comparison to the control in the rotating frame.

After a short analysis of the paralleled converter circuits and the conventional control concepts, the coordinated control is explained in detail. Subsequently, the novel method is characterized with the help of simulations. The experimental validation of the coordinated control completes the development process. Furthermore, a comparison to the simulation results shows what has to be considered additionally in practice. Thus, the coordinated control expands the portfolio of control concepts which can be used for parallel connected two-level converters. The stable operation of the novel concept is successfully shown. The resulting system behavior system verifies the ambitious motivation for the development of the coordinated control.