Dirk Hasenkopf (Autor)

Regelverfahren für einen Umrichter zur Symmetrierung einphasiger Lasten in Drehstromnetzen

https://cuvillier.de/de/shop/publications/2504

Copyright:
Cuvillier Verlag, Inhaberin Annette Jentzsch-Cuvillier, Nonnenstieg 8, 37075 Göttingen, Germany
Telefon: +49 (0)551 54724-0, E-Mail: info@cuvillier.de, Website: https://cuvillier.de

1 Einleitung

1.1 Motivation

An die elektrischen Energieversorgungsnetze sind heutzutage viele unterschiedliche Verbraucher angeschlossen. Auf der einen Seite stellen diese Verbraucher verschieden hohe Ansprüche an die Versorgungsqualtität des Netzes, andererseits beeinflussen sie selbst durch ihre Rückwirkungen auf das Netz diese Versorgungsqualität.

Zu den negativen Netzrückwirkungen gehört zum Beispiel die Erzeugung störender kurzzeitiger Spannungsschwankungen durch große Verbraucher mit stark fluktuierender Leistungsaufnahme, die sich als Flicker genannte Helligkeitsschwankungen von Glühlampen besonders störend bemerkbar machen. Andere Verbraucher wie Netzteile für Computer und Unterhaltungselektronik, phasenanschnittgesteuerte Dimmer oder netzgeführte Stromzwischenkreis-Umrichter weisen hohe Oberschwingungsanteile in ihren Netzströmen auf, die durch die Spannungsfälle an der Netzimpedanz wiederum andere Verbraucher beeinträchtigen können.

Und schließlich existieren Verbraucher, die das Drehstromnetz mit unsymmetrischen Strömen belasten. Bei dreiphasigen Lichtbogenöfen, in denen Schrott zur Stahlproduktion geschmolzen wird, kann während des Schmelzprozesses der Lichtbogen eines Leiters abreißen. Große unsymmetrische Belastungen entstehen vor allem auch dort, wo einphasige Bahnstromversorgungen direkt aus dem dreiphasigen Netz versorgt werden, indem das Unterwerk direkt an zwei der drei Netzleiter angeschlossen wird.

Diese direkte Bahnstromversorgung aus dem Landesnetz wird in Ländern angewandt, in denen die Bahn mit der gleichen Frequenz arbeitet wie das landesweite Drehstromnetz, also mit 50 oder 60 Hz. Zu diesen Ländern gehören beispielsweise Frankreich, England, Japan oder Rußland.

Die Auswirkungen solcher Netzrückwirkungen wurden bisher von den Energieversorgungsunternehmen meist durch den Ausbau der Netze auf ein vertretbares Maß reduziert. Solche Ausbaumaßnahmen sind allerdings mit sehr hohen Investitionen verbunden, zumal die Netzkomponenten dadurch in Bezug auf ihre eigentliche Aufgabe, „Nutzleistung“ – idealerweise nur Wirkleistung – zu übertragen, überdimensioniert sind.

Unter dem durch die Liberalisierung der Energiemärkte entstandenen Preisdruck sind solche Überdimensionierungen aber kaum mehr finanzierbar. Deshalb bieten sich hier moderne leistungselektronische Anlagen an, die spezielle Probleme flexibel und sozusagen „vor Ort“ beseitigen können.

Aus diesen Gründen sind deshalb in letzter Zeit verstärkt Forschungsaktivitäten zum Einsatz leistungselektronischer Systeme in der Energieübertragung und -verteilung begonnen worden. Sie werden oft unter dem Begriff *FACTS – flexible AC transmission systems* – zusammengefaßt. Die modernen FACTS-Anlagen bestehen meist aus selbstgeführten Spannungszwischenkreisumrichtern und werden zur Blindleistungskompensation, der Filterung von Oberschwingungen oder der Lastflußsteuerung eingesetzt.

Der Bau solcher Systeme wurde durch die Verfügbarkeit von Leistungshalbleitern mit immer höherer Strom- und Spannungsbelastbarkeit und größeren Schaltfrequenzen ermöglicht. Hier sind in den letzten Jahren bemerkenswerte Fortschritte erzielt worden. Mittlerweile sind IGBTs mit Sperrspannungen von bis zu 6,5 kV erhältlich [1, 2].

Aus dieser Situation heraus entstand die Motivation für die vorliegende Arbeit, den Einsatz eines Spannungszwischenkreis-Umrichters zur Symmetrierung stark unsymmetrischer Verbraucher, wie z.B. einphasiger Bahnstromversorgungen, zu untersuchen. Erste Vorschläge und Untersuchungen dazu finden sich in [3]. Im Gegensatz zur Blindleistungskompensation oder aktiven Filterung sind zu dieser Art der Anwendung in der aktuellen Literatur bisher auch nur sehr wenige Arbeiten veröffentlicht worden [4], [5]. Ein Schwerpunkt innerhalb dieser Arbeit lag dabei auf dem Entwurf und der Untersuchung geeigneter Regelungsverfahren für einen solchen Symmetrierungs-Umrichter.

1.2 Zielsetzung und Gliederung der Arbeit

In dieser Arbeit werden Regelungsverfahren entworfen und untersucht, um mittels eines Spannungszwischenkreisumrichters große einphasige Lasten, wie sie insbesondere in der Bahnstromversorgung auftreten, zu „symmetrieren “, um sie so problemlos von einem dreiphasigen Netz aus mit Leistung versorgen zu können. Hier ist mit „symmetrieren“ gemeint, daß die unsymmetrische Struktur des einphasigen Verbrauchers durch den Umrichter kompensiert wird, sodaß er auf das Versorgungsnetz wie eine symmetrische dreiphasige Last wirkt.

Die entworfenen Regelungsverfahren und das eng damit zusammenhängende Modulationsverfahren für die verwendete Umrichterschaltung wurden zunächst anhand von numerischen Simulationen untersucht.

Ein weiterer wichtiger Bestandteil dieser Arbeit war der Aufbau einer Laboranlage

bestehend aus Spannungszwischenkreisumrichter, Ansteuer- und Meßelektronik, Modulator-Hardware und Regelungsrechner. Auf diesem Prüfstand wurden die entwickelten Modulations- und Regelungsverfahren implementiert und im praktischen Einsatz untersucht.

Der vorliegende Text gliedert sich in neun Hauptkapitel. Kapitel 2 geht zunächst auf einige Aspekte der Bahnstrom-Versorgung als großer einphasiger Verbraucher ein, um die Motivation zu dieser Arbeit zu erläutern und den bisherigen Stand der Technik bei Hochleistungsumrichtern und ihren Anwendungen vorzustellen.

Kapitel 3 gibt einen ersten groben Überblick über die Laboranlage, an der die entwickelten Verfahren erprobt wurden und das Zusammenwirken ihrer wichtigsten Komponenten wie Umrichter-Leistungsteil, Ansteuerelektronik, Modulator-FPGA-Karte und Rechnersystem.

Kapitel 4 widmet sich der Analyse und mathematischen Beschreibung der Umrichterschaltung als der wichtigsten Anlagenkomponente. Darauf aufbauend beschreibt Kapitel 5 das für diese Umrichtertopologie entwickelte Modulationsverfahren und seine Implementierung.

In Kapitel 6 wird die zur Netzsynchronisation verwendete dreiphasige *Phase-Locked-Loop* (PLL) dargestellt.

Ein Schwerpunkt dieser Arbeit lag auf der Entwicklung eines Regelungsverfahrens einschließlich geeigneter Beobachterstrukturen zur Regelung des Symmetrierungsumrichters. Diese Regelungsverfahren werden in Kapitel 7 vorgestellt. Eine erste Validierung dieser Verfahren und Programmstrukturen erfolgte durch Computersimulationen, welche in Kapitel 8 präsentiert werden. Abschließend werden in Kapitel 9 die Messungen vorgestellt, mit denen die Funktionsfähigkeit der entwickelten Regelungsverfahren an der aufgebauten Laboranlage dokumentiert werden konnte.