



**Hochschule
Bonn-Rhein-Sieg**
University of Applied Sciences



Fachbereich Ingenieurwissenschaften
und Kommunikation (IWK)
Studiengang Elektrotechnik M. Eng.
Vertiefungsrichtung Elektronische Systementwicklung

Master-Thesis

Netzdienliche Wasserstoff-Elektrolysegleichrichter: Eine Analyse von IAF und 1/3 PWM PFC Rectifier in der Leistungsklasse 400 kVA

Vorgelegt von:

Jonas Heinemann

Cecilienstraße 28

53840 Troisdorf

Tel. 015783841858

Jonas.Heinemann@h-brs.de

Matr.-Nr. 9031399

Erstprüfer: Prof. Dr.-Ing. Marco Jung

Zweitprüfer: Prof. Dr. Heinrich Richard Salbert

Troisdorf, den 20.01.2024

Erklärung zur Master-Thesis

„Ich versichere hiermit, die von mir vorgelegte Arbeit selbstständig verfasst zu haben. Alle Stellen, die wörtlich oder sinngemäß aus veröffentlichten oder nicht veröffentlichten Arbeiten anderer entnommen sind, habe ich als entnommen kenntlich gemacht. Sämtliche Quellen und Hilfsmittel, die ich für die Arbeit benutzt habe, sind angegeben. Die Arbeit hat mit gleichem Inhalt bzw. in wesentlichen Teilen noch keiner anderen Prüfungsbehörde vorgelegen.

Mir ist bewusst, dass sich die Hochschule vorbehält, meine Arbeit auf plagiierte Inhalte hin zu überprüfen und dass das Auffinden von plagiierten Inhalten zur Nichtigkeit der Arbeit, zur Aberkennung des Abschlusses und zur Exmatrikulation führen können.“

Ort, Datum

Unterschrift

Abstract

Um das Ziel rein erneuerbare Energien im Stromnetz zu erreichen, wird ein Wandel in den Anforderungen an größere Lasten notwendig. Dies bezieht sich auf Systemdienstleistungen, die bisher hauptsächlich von den zentralen Großkraftwerken bereitgestellt werden. Wasserstoff-Elektrolyse-anlagen in der Leistungsklasse von mehreren Megawatt Leistung sollen in Zukunft in Deutschland aufgebaut werden, dies bietet viele Möglichkeiten durch Dynamik und Regelungen das Stromnetz zu unterstützen. Daher werden in dieser Arbeit Stromrichter für die Anwendung der Wasserstoffelektrolyse untersucht, die innovative Ansätze und eine optimierte Betriebsführung ermöglichen.

Inhaltsverzeichnis

Abstract	I
Abbildungsverzeichnis	IV
Tabellenverzeichnis	V
Abkürzungsverzeichnis	VI
1 Einleitung	1
1.1 H2Giga	1
1.2 Stand der Technik	1
1.3 Ziel der Arbeit	1
2 Grundlagen	2
2.1 Wasserstoff-Elektrolyse	2
2.2 Gleichrichter	2
2.2.1 ungesteuerte Topologien	2
2.2.2 Netzgesteuerte Topologien	2
2.2.3 PFC Topologien	2
2.3 IAF Rectifier	2
2.4 1/3 PWM PFC Rectifier	2
2.5 Bewertungskriterien	3
2.6 Leistungshalbleiter	3
2.7 Simulationssoftware	3
2.7.1 PLECS	3
3 Anforderungen	4
3.1 Stromnetz	4
3.1.1 Systemanforderungen	4
3.1.2 Überspannungsschutz	4
3.2 Elektrolyse	4

4 Simulation	5
4.1 Randbedingungen	5
5 Auswertung	6
5.1 Simulationsergebnisse	6
5.2 Auswertung	6
6 Zusammenfassung & Ausblick	7
Literatur	8
Inhalt der CD	9
Anhang	10

Abbildungsverzeichnis

A1	Altium Schaltplan Übersichtsseite	11
----	---	----

Tabellenverzeichnis

Abkürzungsverzeichnis

IAF Integrated Active Filter

VDE Verband der Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik

1 Einleitung

1.1 H2Giga

1.2 Stand der Technik

Aktuelle Ansätze werden in [5] dargestellt, diese sind wie beschrieben jedoch auf einzelne Szenarien beschränkt. Die Entwicklung der Elektrolyse läuft sehr rasant und es werden in den kommenden Jahren Änderungen erwartet, die auch die Stromversorgung betreffen. Insbesondere der Trend zu höheren Spannungsklassen ermöglicht eine deutliche Verringerung der Kosten auf Seiten der Leistungselektronik.

1.3 Ziel der Arbeit

Ziel ist es die beiden vorab ausgewählten Stromrichter Topologien anhand von detaillierten Simulationen unter gegebenen Randbedingungen zu vergleichen, um eine eindeutige Bewertung durchzuführen. Dazu werden zunächst die Randbedingungen und Eigenschaften der Schnittstellen, Elektrolyseur und Stromnetz, definiert um diese in einer Simulation mittels Matlab und der Erweiterung PLECS abzubilden.

2 Grundlagen

2.1 Wasserstoff-Elektrolyse

2.2 Gleichrichter

2.2.1 ungesteuerte Topologien

2.2.2 Netzgesteuerte Topologien

2.2.3 PFC Topologien

2.3 IAF Rectifier

Der Integrated Active Filter (IAF) Gleichrichter wurde maßgeblich von J.W. Kolar und seinen Kollegen an der ETH Zürich entwickelt [3]

2.4 1/3 PWM PFC Rectifier

Bei dieser Topologie handelt es sich um eine gängige Schaltung, welche durch ein neuartiges Modulationsverfahren unter Verwendung von Induktivitäten auf der Netzseite eine Reduzierung der Schaltverluste bewirkt und Blindleistung ermöglicht. Das Verfahren wurde ausführlich von Menzi, Bortis und Kolar beschrieben [2].

2.5 Bewertungskriterien

2.6 Leistungshalbleiter

2.7 Simulationssoftware

Zur Bewertung und Betrachtung der Umsetzbarkeit, der Topologien ist es nötig diese in einer Umfassenden Simulation zu betrachten. Dies ermöglicht es die Funktionalität und den Einfluss der Parameter im direkten Zusammenspiel zu untersuchen. Insbesondere das Verhalten für Systemdienstleistungen, wie Phasenverschiebung und die dadurch beeinflusste Verteilung der Verlustleistungen.

2.7.1 PLECS

3 Anforderungen

3.1 Stromnetz

In Deutschland sind die Vorgaben für den Anschluss von Anlagen an das Stromnetz durch den Verband der Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik (VDE) definiert. Je nach Anschlussleistung wird eine unterschiedliche Netzspannungsklasse gewählt, welche geringfügig abweichende Anschlussrichtlinien besitzt. Aufgrund der Skalierbarkeit zu höheren Leistungsklassen und der erwartbar steigenden Anforderungen, wird sich für die Bestimmungen für Hochspannung entschieden. Diese hat die Bezeichnung VDE-AR-N 4120 "Technische Regeln für den Anschluss von Kundenanlagen an das Hochspannungsnetz und deren Betrieb (TAR Hochspannung)" [4] .

3.1.1 Systemanforderungen

3.1.2 Überspannungsschutz

3.2 Elektrolyse

4 Simulation

4.1 Randbedingungen

Die Regelung benötigt eine Erkennung des aktuellen Phasenwinkelabschnitts, diese ist implementiert nach [1].

5 Auswertung

5.1 Simulationsergebnisse

5.2 Auswertung

6 Zusammenfassung & Ausblick

Literatur

- [1] Callaway J. Cass, Rolando Burgos, Fred Wang and Dushan Boroyevich. *Three-Phase Ac Buck Rectifier using Normally-On SiC JFETs at 150 kHz Switching Frequency: PESC 07* ; Orlando, Florida, 17 - 21 June 2007. Piscataway, NJ: IEEE Service Center, 2007. ISBN: 1424406544.
- [2] David Menzi, Dominik Bortis and Johann W. Kolar. *Three-Phase Two-Phase-Clamped Boost-Buck Unity Power Factor Rectifier Employing Novel Variable DC Link Voltage Input Current Control*. Zurich: IEEE, 2018.
- [3] T. Soeiro, T. Friedli und J. W. Kolar. „Three-phase high power factor mains interface concepts for Electric Vehicle battery charging systems“. In: (), S. 2603–2610. DOI: 10.1109/APEC.2012.6166190.
- [4] VDE Verband der Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik e. V. *VDE-AR-N 4120:2018-11 Technische Regeln für den Anschluss von Kundenanlagen an das Hochspannungsnetz und deren Betrieb (TAR Hochspannung)*. Berlin: VDE VERLAG GMBH, 2018.
- [5] Zhiyu Cao and Peter Wallmeier. *High-Power Rectifier Technologies for Hydrogen Electrolysis*. Warstein: IEEE, 2023.

Inhalt der CD

- Master-Thesis
- Simulationsdaten
- Halbleitermodelle

Anhang

