

Anne-Katrin Marten

**Integration der Betriebsführung eines  
HGÜ-Overlay-Netzes in die  
Leitungs-Frequenz-Regelung eines  
Drehstrom-Verbundnetzes**



Universitätsverlag Ilmenau  
2012

# Impressum

## **Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek**

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Angaben sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

Diese Arbeit hat der Fakultät für Elektrotechnik und Informationstechnik der Technischen Universität Ilmenau als Masterarbeit vorgelegen.

Verantwortlicher Hochschullehrer und Betreuer: Univ.-Prof. Dr.-Ing. Dirk Westermann

Tag der Verteidigung: 24. November 2011

Technische Universität Ilmenau/Universitätsbibliothek

### **Universitätsverlag Ilmenau**

Postfach 10 05 65

98684 Ilmenau

[www.tu-ilmenau.de/universitaetsverlag](http://www.tu-ilmenau.de/universitaetsverlag)

### **Herstellung und Auslieferung**

Verlagshaus Monsenstein und Vannerdat OHG

Am Hawerkamp 31

48155 Münster

[www.mv-verlag.de](http://www.mv-verlag.de)

**ISSN** 2194-2838 (Druckausgabe)

**ISBN** 978-3-86360-038-9 (Druckausgabe)

**URN** urn:nbn:de:gbv:ilm1-2012100102

---

### Titelfotos:

@iStockphoto.com : JLGutierre ; timmy ; 3alexnd ; Elxeneize ; tap10

yuyang/Bigstock.com

M. Streck, FG EGA | F. Nothnagel, FG EGA | D. Westermann, FG EEV

## Inhaltsverzeichnis

Kurzfassung .....	V
Abstract.....	V
Danksagung .....	VI
Inhaltsverzeichnis .....	VII
1 Einleitung .....	1
2 Stand der Technik .....	4
2.1 Netzbetriebsführung .....	4
2.2 Leistungs-Frequenz-Regelung .....	6
2.2.1 Primärregelung.....	10
2.2.2 Sekundärregelung .....	12
2.3 Netzkennlinienverfahren.....	16
2.4 Netzseitige Anforderungen an die P-f-Regelung.....	18
2.5 Horizontaler Belastungsausgleich .....	20
2.6 Technologien für ein Overlay-Netz .....	21
2.7 Betriebsführung HGÜ-Overlay-Netz – Stand der Technik .....	23
2.7.1 DC-seitige HGÜ-Spannungsregelung .....	24
2.7.2 Integration einer HGÜ in die P-f-Regelung .....	26
2.7.3 Systemverantwortung für das Overlay-Netz.....	30
2.8 Fazit und Forschungsfrage .....	32
3 Betriebsführungsverfahren für ein vermaschtes HGÜ-Netzes .....	34
3.1 Anforderungen.....	34
3.2 Spannungsregelung im HGÜ-Overlay-Netz.....	34
3.3 Winkelgradientenverfahren.....	36
4 Numerische Fallstudien .....	42
4.1 Referenznetz .....	42
4.2 Szenarien .....	45
4.3 Systemmodellierung .....	47
4.4 Ergebnisse.....	48
4.4.1 Szenario 1: Kraftwerksausfall .....	48

4.4.2	Szenario 2: Partieller Umrichter ausfall.....	52
4.4.3	Szenario 3: Ausfall einer DC-Leitung.....	54
4.4.4	Szenario 4: Ausfall einer AC-Leitung.....	55
4.4.5	Szenario 5: Falsche Allokation von Regelleistung.....	59
4.4.5.1	Ohne Schräggleregler einsatz .....	59
4.4.5.2	Mit Schräggleregler einsatz.....	62
4.4.6	Szenario 6: Overlay- versorgt Inselnetz.....	64
4.4.7	Szenario 7: Langzeitverhalten.....	70
4.4.8	Betriebsverhalten mit und ohne HGÜ-Overlay-Netz.....	70
4.4.9	Kleinsignalstabilität .....	72
4.4.9.1	Ungestörtes System .....	74
4.4.9.2	Gestörtes System.....	77
4.5	Fazit.....	77
5	Zusammenfassung und Ausblick.....	80
6	Literaturverzeichnis .....	IX
A	Anhang .....	XIV
A.1	Isochroner Regler eines Generators und Primärregelung .....	XIV
A.2	Regionenverteilung .....	XV
A.3	Zulässige Primärregelleistungsreservenüberschüsse .....	XVI
A.4	Referenznetz – AC-Leitungsnummerierungen.....	XVII
A.5	Referenznetz – DC-Leitungsnummerierung.....	XVIII
A.6	Regelzonen des Referenznetzes .....	XIX
A.7	Beispiel für Bilanzierung der Leistungsflüsse an Umrichtern .....	XX
A.8	Eigenwerte des ungestörten Systems.....	XXI
A.8.1	Mit HGÜ-Overlay-Netz.....	XXI
A.8.2	Ohne HGÜ-Overlay-Netz .....	XXIII
	Begriffs- & Abkürzungsverzeichnis.....	XXV
	Formelverzeichnis.....	XXVIII
	Abbildungsverzeichnis.....	XXX
	Tabellenverzeichnis .....	XXXIII