

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	IX
Tabellenverzeichnis	XV
Abkürzungs- und Symbolverzeichnis	XVII
1 Motivation	1
1.1 Problemstellung und Lösungsansatz	3
1.2 Aufbau der Arbeit	5
2 Netzbildende Umrichter	7
2.1 Ansatz der virtuellen Synchronmaschine	8
2.1.1 Genereller Aufbau eines VISMA-Systems	9
2.1.2 Überblick der verschiedenen VISMA-Modelle	11
2.1.3 Betriebsverhalten der VISMA	20
2.2 Ansatz eines spannungsgeregelten Wechselrichters	23
2.2.1 Genereller Aufbau eines spannungsgeregelten Wechselrichters	24
2.2.2 Frequenzregler eines VCI	26
2.2.3 Spannungsregler eines VCI	29
2.3 Gemeinsamkeiten und Unterschiede von VISMA und VCI	31
3 Systemverhalten in verschiedenen Netzzuständen	33
3.1 Beschreibung des Simulationsmodells	33
3.1.1 VISMA	39
3.1.2 VCI	43
3.1.3 Außernetz und Leitungsnachbildung	45
3.1.4 Lasten	46
3.1.5 Weitere Teile	46
3.2 Verhalten im Netzparallelbetrieb	47
3.2.1 Frequenzhaltung	48
3.2.2 Spannungshaltung	57
3.3 Verhalten im Inselnetzbetrieb	61
3.3.1 Schwarzstart	62
3.3.2 Verschiedene Lastfälle	68

3.3.3	Parallelschaltung mehrerer Netzbildner	78
3.4	Verhalten bei Netzausfall	93
3.4.1	Unterbrechungsfreier Übergang ins Inselnetz	93
3.4.2	Wiederzuschalten auf Netz	101
3.5	Verhalten bei Kurzunterbrechungen	102
3.6	Verhalten bei Kurzschluss	116
3.6.1	Kurzschluss direkt am Netzanschlusspunkt	117
3.6.2	Kurzschluss im Netz mit Distanz zum Netzanschlusspunkt	124
3.7	Zwischenfazit	130
4	Validierung des VISMA-Verhaltens	133
4.1	Prüfstand	133
4.1.1	VISMA-Maschinenmodell und überlagerte Regelung	133
4.1.2	Stromregelung	135
4.1.3	Aufbau des Leistungsteils	137
4.2	Laborversuche	138
4.2.1	Messung 1 – Wirkung der überlagerten Regelung im Netzparallelbetrieb	141
4.2.2	Messung 2 – Leistungsvorgaben im Netzparallelbetrieb	144
4.2.3	Messung 3 – Laständerungen im Inselnetz	146
4.2.4	Messung 4 – Weiterversorgung einer Last durch die VISMA bei Netzausfall	151
4.2.5	Vergleich von Simulation und Messung	155
5	Anwendung: VISMA als USV	157
5.1	Einsatz von USV-Anlagen	157
5.1.1	Betriebsarten	158
5.1.2	Spannungserzeugung	162
5.1.3	Weitere Merkmale	164
5.2	Konzept der USV-VISMA	165
5.3	Unterbrechungsfreie Weiterversorgung bei Netzausfall	167
5.4	Erweiterung um Kurzschlussregelung zum Schutz der Last vor netzseitigen Kurzschlüssen	169
5.4.1	Beheben des Fehlers (ohne Auftrennung)	172
5.4.2	Auftrennen des Netzes nach Kurzschluss	180
5.4.3	Laborversuch zum Kurzschluss im Inselnetz	187
6	Zusammenfassung und Ausblick	193
	Literatur	197