

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
1.1	Motivation	3
1.2	Forschungsfragen	9
1.3	Abgrenzung zu anderen Forschungsarbeiten	12
1.4	Aufbau der Arbeit und Systemübersicht	15
2	Verteilnetztopologien und Umrichteraufbau	19
2.1	Niederspannungsnetze	19
2.2	Das Konzept des Microgrid	25
2.3	Schaltungstopologien für Drehstrom-Umrichter	33
3	Laborumgebung zur Untersuchung umrichterdominierter Verteilnetze	39
3.1	Netzemulator	41
3.2	Umrichter mit Phasenstromregler	42
3.3	Einspeisewechselrichter mit PV-Emulator	44
3.4	Lasten	45
3.5	Netzersatzelemente und Messsystem	46
3.6	Labor „Aktive Verteilnetze“	52
4	Regelsystem der virtuellen Synchronmaschine im Microgrid	57
4.1	Die virtuelle Synchronmaschine	58
4.1.1	Maschinenmodell	60
4.1.2	Leistungsquadranten der VISMA	66

4.1.3	Austrudelversuch der VISMA	69
4.2	Regelungskonzept der VISMA in Microgrids	73
4.3	Kaskadierte Leistungsregler für den Betrieb im Microgrid	76
4.3.1	Leistungsregler	79
4.3.2	Frequenz-Wirkleistungs-Regler	98
4.3.3	Spannungs-Blindleistungs-Regler	104
4.3.4	Erweiterte simulative Parameterspezifikation	111
4.3.5	Netzausfall und Lastsprünge mit aktiver Regelung	120
4.3.6	Zwischenfazit	139
4.4	Schwarzstart-Regler	139
4.5	Resynchronisierungsregler	161
5	Laborversuche der virtuellen Synchronmaschine im Microgrid	189
5.1	Netzausfall und Zuschaltung einer weiteren VISMA	193
5.2	Laständerungen im Inselnetzbetrieb	199
5.3	Zuschaltung PV-Einspeisewechselrichter	204
5.4	Änderung der Netztopologie im Inselnetzbetrieb	208
5.5	Kollektive Resynchronisierung mit dem vorgelagerten Netz	211
6	Zusammenfassung	217
A	Regelsystem der virtuellen Synchronmaschine	225
B	Parametersätze der unter- und überlagerten Regler	235
C	Parameter der Leitungselemente in den Versuchsreihen	239
	Abbildungsverzeichnis	243
	Tabellenverzeichnis	251

Abkürzungsverzeichnis	253
Literaturverzeichnis	255