

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung.....	1
1.1	Die Bedeutung von Kleinst- und Kleinwasserkraftwerken.....	1
1.2	Stand der Kleinst- und Kleinwasserkraftanlagen.....	1
1.3	Zielsetzung der Arbeit.....	4
2	Wasserturbine und Asynchronmaschine.....	6
2.1	Energiewandlung durch Turbinen.....	6
2.2	Abhängigkeit der Turbinenleistung von der Drehzahl.....	8
2.3	Modellbildung der Asynchronmaschinen.....	9
2.3.1	Systemgleichung der Asynchronmaschine im ständerfesten Koordinatensystem.....	9
2.3.2	Ständerflussmodell.....	11
2.3.3	Systemgleichung der Asynchronmaschine im ständerflussfesten Koordinatensystem.....	12
2.4	Leistungsbilanz und Wirkungsgrad des Asynchrongenerators.....	16
2.5	Anpassung von Wasserturbine und Asynchrongenerator.....	19
3	Konfiguration der Anlagen und ihre Signalverarbeitung.....	21
3.1	Übersicht der Anlagen.....	21
3.2	Dimensionierung der Bestandteile	22
3.2.1	IGBT-Module und entsprechende Treiber.....	22
3.2.2	Zwischenkreiskondensator.....	24
3.2.3	Netzseitiges LC-Filter für Netzbetrieb.....	25
3.2.4	Netzseitiges LC-Filter für Inselbetrieb.....	26
3.2.5	Maschinenseitiges LC-Filter.....	27
3.2.6	Batterie und Filterinduktivität für den Batterie-DC/DC-Steller.....	29
3.3	Signalverarbeitung der Gesamtanlage.....	29
3.3.1	Unterschwingungsverfahren.....	31
3.3.2	Messungen, Pegelanpassungen und Überwachungen.....	32
3.3.3	Struktur der Software.....	33
3.4	Verluste des Umrichters.....	35
4	Regelverfahren für Netzbetrieb.....	37
4.1	Zielsetzung.....	37
4.2	Regelungsstruktur des maschinenseitigen Stromrichters.....	37
4.3	Entwurf der Regler.....	38
4.3.1	Bestimmung der Reglerparameter des Ständerstromreglers.....	38
4.3.2	Bestimmung der Reglerparameter des Magnetisierungsstromreglers.....	39
4.3.3	MPP-Suchverfahren.....	40
4.4	Regelungsstruktur des netzseitigen Stromrichters.....	41
4.5	Entwurf der Regler.....	43
4.5.1	Bestimmung der Reglerparameter des Stromreglers.....	43
4.5.2	Bestimmung der Reglerparameter des Zwischenkreisspannungsreglers.....	45

5	Regelverfahren für Inselbetrieb.....	47
5.1	Zielsetzung.....	47
5.2	Regelungsstruktur des maschinenseitigen Stromrichters.....	47
5.3	Entwurf des Zwischenkreisspannungsreglers.....	48
5.4	Regelungsstruktur des netzseitigen Stromrichters.....	50
5.4.1	Dreiphasen-Dreileiter-Inselnetz (3-3-Inselnetz).....	50
5.4.2	Dreiphasen-Vierleiter-Inselnetz (3-4-Inselnetz).....	50
5.5	Entwurf der Regler.....	52
5.5.1	Stromamplitudenregler.....	52
5.5.2	Spannungsamplitudenregler.....	56
5.5.3	Δu -Regler.....	59
5.6	Regelverfahren des Batterie-DC/DC-Stellers.....	61
5.6.1	Regelungsstruktur des Batterie-DC/DC-Stellers.....	61
5.6.2	Entwurf der Regler.....	62
6	Simulationsuntersuchung.....	65
6.1	Simulationssystem DIGSIM 88.....	65
6.2	Simulationsmodell.....	65
6.2.1	Wasserturbine.....	65
6.2.2	Asynchrongenerator.....	66
6.2.3	Maschinenseitiges LC-Filter.....	67
6.2.4	Wechsel- oder Gleichrichter.....	68
6.2.5	Zwischenkreis.....	69
6.2.6	LC-Filter und starres Netz.....	69
6.2.7	LC-Filter und Inselnetz.....	70
6.3	Simulationsergebnisse für Netzbetrieb.....	71
6.4	Simulationsergebnisse für Inselbetrieb.....	73
6.4.1	Normallastfall (Last < Angebot).....	73
6.4.2	Überlastfall.....	74
6.4.3	Übergang zwischen normaler Belastung und Überbelastung.....	76
7	Experimentelle Ergebnisse.....	79
7.1	Versuchsaufbau und Inbetriebnahme der Gesamtanlage.....	79
7.2	Experimentelle Ergebnisse für Netzbetrieb und 3-phasigen symmetrischen Inselbetrieb am Stromrichterschrank 1.....	80
7.2.1	Experimentelle Ergebnisse für Netzbetrieb.....	80
7.2.2	Experimentelle Ergebnisse für 3-phasigen symmetrischen Inselbetrieb.....	81
7.3	Experimentelle Ergebnisse für 3-Phasen-4-Leiter-Inselbetrieb am Stromrichterschrank 2.....	83
7.3.1	Experimentelle Ergebnisse für direkte Einschaltung des Asynchronmotors.....	83
7.3.2	Experimentelle Ergebnisse für unsymmetrischen Inselbetrieb.....	86
8	Zusammenfassung.....	89
9	Literaturverzeichnis.....	91
10	Verzeichnis der verwendeten Abkürzungen und Formelzeichen.....	95
Anhang	98