

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung.....</b>	<b>1</b>
1.1	Die Bedeutung von Kleinst- und Kleinwasserkraftwerken.....	1
1.2	Stand der Kleinst- und Kleinwasserkraftanlagen.....	1
1.3	Zielsetzung der Arbeit.....	4
<b>2</b>	<b>Wasserturbine und Asynchronmaschine.....</b>	<b>6</b>
2.1	Energiewandlung durch Turbinen.....	6
2.2	Abhangigkeit der Turbinenleistung von der Drehzahl.....	8
2.3	Modellbildung der Asynchronmaschinen.....	9
2.3.1	Systemgleichung der Asynchronmaschine im standerfesten Koordinatensystem.....	9
2.3.2	Standerflussmodell.....	11
2.3.3	Systemgleichung der Asynchronmaschine im standerflussfesten Koordinatensystem.....	12
2.4	Leistungsbilanz und Wirkungsgrad des Asynchrongenerators.....	16
2.5	Anpassung von Wasserturbine und Asynchrongenerator.....	19
<b>3</b>	<b>Konfiguration der Anlagen und ihre Signalverarbeitung.....</b>	<b>21</b>
3.1	Ubersicht 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 fur Netzbetrieb.....	25
3.2.4	Netzseitiges LC-Filter fur Inselbetrieb.....	26
3.2.5	Maschinenseitiges LC-Filter.....	27
3.2.6	Batterie und Filterinduktivitat fur den Batterie-DC/DC-Steller.....	29
3.3	Signalverarbeitung der Gesamtanlage.....	29
3.3.1	Unterschwingungsverfahren.....	31
3.3.2	Messungen, Pegelanpassungen und Uberwachungen.....	32
3.3.3	Struktur der Software.....	33
3.4	Verluste des Umrichters.....	35
<b>4</b>	<b>Regelverfahren fur Netzbetrieb.....</b>	<b>37</b>
4.1	Zielsetzung.....	37
4.2	Regelungsstruktur des maschinenseitigen Stromrichters.....	37
4.3	Entwurf der Regler.....	38
4.3.1	Bestimmung der Reglerparameter des Standerstromreglers.....	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

---

<b>5</b>	<b>Regelverfahren für Inselbetrieb.....</b>	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	$\Delta u$ -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
<b>6</b>	<b>Simulationsuntersuchung.....</b>	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
<b>7</b>	<b>Experimentelle Ergebnisse.....</b>	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
<b>8</b>	<b>Zusammenfassung.....</b>	89
<b>9</b>	<b>Literaturverzeichnis.....</b>	91
<b>10</b>	<b>Verzeichnis der verwendeten Abkürzungen und Formelzeichen.....</b>	95
	<b>Anhang.....</b>	98