



Angelika Neumann (Autor)

# **Digitale Ansätze zur Regelung des Magnetisierungsstroms für isolierte DC-DC Wandler**

Angelika Neumann

Digitale Ansätze zur Regelung  
des Magnetisierungsstroms  
für isolierte DC-DC Wandler



Cuvillier Verlag Göttingen  
Internationaler wissenschaftlicher Fachverlag

<https://cuvillier.de/de/shop/publications/9002>

Copyright:

Cuvillier Verlag, Inhaberin Annette Jentsch-Cuvillier, Nonnenstieg 8, 37075 Göttingen,  
Germany

Telefon: +49 (0)551 54724-0, E-Mail: [info@cuvillier.de](mailto:info@cuvillier.de), Website: <https://cuvillier.de>

# Inhaltsverzeichnis

<b>Abbildungsverzeichnis</b> .....	<b>VI</b>
<b>Tabellenverzeichnis</b> .....	<b>IX</b>
<b>1 Einleitung</b> .....	<b>1</b>
1.1 Anforderungen an DC-DC-Wandler .....	2
1.2 Methodik und Aufbau der Arbeit .....	3
<b>2 Grundlagen getaktete Energiewandler</b> .....	<b>5</b>
2.1 DC-DC-Wandler-Topologien .....	5
2.1.1 Sperrwandler .....	7
2.1.2 Resonanzwandler .....	8
2.1.3 Durchflusswandler .....	10
2.1.4 Vergleich .....	12
2.2 Halbleitertechnologien .....	13
2.2.1 Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor .....	14
2.2.2 Insulated Gate Bipolar Transistor .....	17
2.2.3 Vergleich und Anwendung .....	21
2.2.4 Ansteuerung und Schutzbeschaltung .....	22
<b>3 Gegentakt-Durchflusswandler mit ZVS-Steuerung</b> .....	<b>27</b>
3.1 Topologie .....	27
3.1.1 Aufbau .....	28
3.1.2 Charakteristische Kurven PSFB .....	30
3.2 Ansteuerverfahren .....	33
3.2.1 Konventionelle Pulsweitenmodulation .....	33
3.2.2 Phase-Shift Pulsweitenmodulation .....	35
3.3 Optimierung der PS-Ansteuerung .....	39
3.3.1 ZVS-Range .....	40
3.3.2 ZVS-Steuerung .....	42
<b>4 Analytische Betrachtung der diskreten Komponenten</b> .....	<b>44</b>
4.1 Leistungsverlustanalyse .....	45
4.1.1 Leistungsschalter - IGBT .....	45
4.1.2 Transformator .....	51
4.1.3 Speicherdrossel .....	59
4.1.4 Kondensatoren .....	60
4.1.5 Periphere Verluste .....	63

4.1.6	Gesamtverlust	63
4.2	Dimensionierungsvorschriften	64
4.2.1	Auslegung der Betriebsparameter	64
4.2.2	Dimensionierung der Komponenten	67
4.3	Ergebnisse	76
4.4	Zusammenfassung	83
<b>5</b>	<b>Aufbau des Simulationsmodells</b>	<b>85</b>
5.1	Streckenmodell	87
5.1.1	Transformator	88
5.1.2	H-Brückenmodell	88
5.2	Messglied	91
5.2.1	Übertragungsfunktion - Spannungsmessung	91
5.2.2	Übertragungsfunktion - Strommessung	92
5.3	Regelungsschema	92
5.3.1	Ausgangsstromregler - $ctr_{IL}$	93
5.3.2	Magnetisierungsstromregler - $ctr_{Ih}$	95
5.3.3	zero-voltage switching Regler - $ctr_{ZVS}$	95
5.3.4	Phase-Shift Calculator - PSC	97
5.3.5	Smith Prädiktor	100
5.3.6	Gleitender Mittelwert - FIR-Filter	103
5.4	Zusammenfassung	103
<b>6</b>	<b>Experimentelle Umsetzung der Wandler-Topologie</b>	<b>104</b>
6.1	Funktioneller Prototyp	104
6.1.1	Leistungseinheit	104
6.1.2	Messplatine	108
6.1.3	externe Bauteile	109
6.2	Ansteuerung und Regelung der MCU	110
6.2.1	Steuersignale der MCU	110
6.2.2	Steuer- und Regelungsprogramm der MCU	111
<b>7</b>	<b>Regelung des Magnetisierungsstroms</b>	<b>114</b>
7.1	Transformator DC-Offset	115
7.2	Konventionelle Methoden	117
7.2.1	Blocking Kondensator	118
7.2.2	Current-Mode Control	118
7.3	Regelungsschema des $ctr_{Ih}$	120
7.4	Übertragungsfunktion des $ctr_{Ih}$	122
7.5	Indirekte Strommessung - Messprinzip $M_{Lm}$	124
7.5.1	Messprinzip	124
7.5.2	Ergebnisse Prinzip $M_{Lm}$	127
7.6	Luenberger-Beobachter - Messprinzip $M_{obs}$	135
7.6.1	Zustandsraumdarstellung des Transformators	136
7.6.2	Modellanalyse und Diskretisierung	138
7.6.3	Beobachtbarkeit	140

---

7.6.4	Auslegung des Luenberger-Beobachters	141
7.6.5	Messprinzip	142
7.6.6	Ergebnisse Beobachter $M_{\text{obs}}$	144
7.7	Vergleich der Messprinzipien	149
7.7.1	Primärströme am Prototyp	151
7.7.2	Verluste und Wirkungsgrad	152
7.7.3	Vor- und Nachteile	156
7.8	Zusammenfassung	157
<b>8</b>	<b>Zusammenfassung</b>	<b>159</b>
	<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>162</b>