

Inhaltsverzeichnis

Abkürzungen	12
Formelzeichen	14
Kurzfassung	18
Abstract	20
1 Einleitung	22
1.1 Power Hardware-in-the-Loop Maschinenemulation	22
1.2 Stand der Technik	25
1.2.1 Leistungselektronische Stellglieder und deren Ansteuerung zur Nachbildung elektrischer Maschinen	26
1.2.2 Modellierung des Maschinenverhaltens einer permanenterregten Synchronmaschine	35
2 Grundlagen zur Drehfeldmaschine und zum Antriebswechselrichter	43
2.1 Drehfeldmaschinen	43
2.2 Grundschwingungsbetrachtung der PMSM	45
2.3 Nichtlinearitäten und Oberschwingungen	49
2.3.1 Maschinenkonstruktion und Material	49
2.3.2 Fertigungstoleranzen	53
2.4 Eigenschaften der Pilotmaschine	55
2.5 Eigenschaften und Regelung des Antriebswechselrichters	57
3 Funktionsweise und Ansteuerung des Maschinenemulators	61
3.1 Funktionsweise des Maschinenemulators	61
3.2 Berechnung der Gegenspannung	63
3.3 Anforderung an das leistungselektronische Stellglied	68
3.4 Realisierung der Emulator Ansteuerung	72
3.5 Auslegung der Koppeldrossel	75

4 Topologien leistungselektronischer Stellglieder	82
4.1 Vorüberlegungen zu den Messungen	83
4.2 Mehrzweigiger Wechselrichter	84
4.2.1 Konzept des LESG	86
4.2.2 Ansteuerung des mehrzweigigen Wechselrichters	88
4.2.3 Realisierung des mehrzweigigen Wechselrichters	90
4.2.4 Messergebnisse	93
4.2.5 Ansatz zur Verringerung der zusätzlich eingebrachten Stromschwankung	97
4.3 Dreiphasiger Linearverstärker	100
4.3.1 Konzept des LESG	100
4.3.2 Ansteuerung des dreiphasigen Linearverstärkers	103
4.3.3 Realisierung des dreiphasigen Linearverstärkers	104
4.3.4 Messergebnisse	106
4.4 Wechselrichter mit Ausgangsfilter	108
4.4.1 Konzept des LESG	108
4.4.2 Ansteuerung des Wechselrichters mit Ausgangsfilter	109
4.4.3 Auslegung der Filterkomponenten	111
4.4.4 Realisierung des Wechselrichters mit Ausgangsfilter	114
4.4.5 Messergebnisse	115
4.5 Vierpunkt-Wechselrichter mit variabel einstellbaren Potenzialen	118
4.5.1 Konzept des LESG	118
4.5.2 Ansteuerung des Vierpunkt-Wechselrichters	119
4.5.3 Auslegung der Filterkomponenten	123
4.5.4 Realisierung des Vierpunkt-Wechselrichters	125
4.5.5 Messergebnisse	125
4.6 Vergleich der vorgestellten Topologien	128
4.6.1 Qualität der nachgebildeten Ströme	128
4.6.2 Hardwareaufwand	129
4.6.3 Ansteueraufwand	130
4.6.4 Schaltstörungen	131
4.6.5 Effizienz	131
4.6.6 Skalierbarkeit auf mehrere Phasen	132
4.6.7 Skalierbarkeit auf höhere Spannungen	133
4.6.8 Zusammenfassung	133

5 Echtzeitfähiges Maschinenmodell	134
5.1 Aufbau des Flussmodells	134
5.2 Verfahren zur Parametrierung des Flussmodells	136
5.3 Ausblick: Nachbildung der Prüfungsmaschine	138
6 Zusammenfassung und Ausblick	142
A Herleitungen verschiedener Rechnungen	145
A.1 Einstellparameter des DUT Stromreglers	145
A.2 Spannungsschwankungsbreite des Wechselrichters mit Ausgangsfilter	149
A.3 Minimale Zeitkonstante des Spannungsreglers beim Wechselrichter mit Ausgangsfilter	155
A.4 Einstellparameter des zeitdiskreten Spannungsreglers beim Wechselrichter mit Ausgangsfilter	158
A.5 Einstellparameter des überlagerten Spannungsreglers beim Vierpunkt-Wechselrichter	164
B Realisierung der Koppeldrossel	167
C Verwendete Bauelemente in den Hardwareaufbauten	169
C.1 DUT Maschinenwechselrichter	169
C.2 Mehrzweigiger Wechselrichter	170
C.3 Dreiphasiger Linearverstarker	171
C.4 Wechselrichter mit Ausgangsfilter	172
C.5 Vierpunkt-Wechselrichter mit variablen Ausgangspotenzialen	173
Eigene Veröffentlichungen und studentische Arbeiten	174
Literatur	178
Lebenslauf	193