

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung	1
1.1. Einordnung dieser Arbeit	1
1.2. Inhaltsübersicht	3
2. Aktivfilterung von Stromoberschwingungen	5
2.1. Stromoberschwingungen	5
2.1.1. Ursachen	5
2.1.2. Wirkung	6
2.1.3. Gegenmassnahmen	6
2.2. Modellierung der untersuchten Regelstrecke	8
2.3. Strukturanalyse	10
2.3.1. Störgrößenregelung	11
2.3.2. Führungsgrößenregelung	11
2.4. Bekannte Kompensationsverfahren	12
2.4.1. Aktivfilterung anhand der Momentanleistung	13
2.4.2. Aktivfilterung in rotierenden Koordinatensystemen	13
2.4.3. Aktivfilterung mit Fourierkoeffizienten	14
2.4.4. Aktivfilterung mit einem Optimalregler	15
2.5. Zusammenfassung	16
3. Modellbasierte Prädiktivregelung	17
3.1. Funktionsprinzip	17
3.2. Regelstreckenmodelle	18
3.2.1. Impuls- und Sprungantwort	18
3.2.2. Übertragungsfunktion	20
3.2.3. Zustandsraumdarstellung	20
3.3. Kostenfunktion	21
3.3.1. Arten der Regelfehlergewichtung	22
3.3.2. Allgemeine quadratische Kostenfunktion	23
3.3.3. GPC-basierte quadratische Kostenfunktion	23
3.3.4. Dual-Mode-MPC	25
3.3.5. Stabilitätssicherung durch unendlich langen Prädiktionshorizont	25
3.4. Lösung der Optimierungsaufgabe	28
3.4.1. Berücksichtigung von Nebenbedingungen	29

3.4.2. Unbeschränkte Lösung	32
3.5. Sollwertfolge und stationäre Verläufe	34
3.6. Totzeiten	36
3.7. Kompensation nicht gemessener Störungen	37
3.7.1. Darstellungsarten	38
3.7.2. Einsatz von Beobachtern	39
3.8. Zusammenfassung	41
4. Erweiterung von MPC zur Aktivfilterregelung	43
4.1. Hintergrund	43
4.2. Sollwertfolge	44
4.2.1. Modellierung der Führungsgröße	44
4.2.2. Berechnung der stationären Trajektorien	45
4.2.3. Bezug der stationären Größen auf die Stellgrößenberechnung	49
4.2.4. Anpassung der Kostenfunktion	50
4.3. Testumgebung zur simulativen Untersuchung	51
4.4. Störkompensation	53
4.4.1. Erfassung der Laststromparameter	54
4.4.2. Alleinige Messung der Ströme	55
4.4.3. Vorsteuerung der Anschlussspannung	55
4.4.4. Ergebnisse der Störkompensationsverfahren	56
4.5. Auswahl des zu implementierenden Regelgesetzes	59
4.5.1. Testbedingungen	59
4.5.2. Untersuchte Warmstartmethoden	60
4.5.3. Ergebnisse der Methoden	61
4.5.4. Schlussfolgerungen	63
4.6. Analyse der Aktivfilterstruktur mit Zustandsregler	63
4.7. Reglerauslegung	66
4.8. Behandlung von Messtotzeiten	67
4.9. Stabilitätsbetrachtungen	70
4.9.1. Auswirkungen von Modellungenauigkeiten	72
4.9.2. Stabilität bei vorhandenen harten Begrenzungen	73
4.10. Zusammenfassung	74
5. Aufbau eines Aktivfilters	77
5.1. Mehrstufiger Umrichter als Stellglied zur Aktivfilterung	77
5.1.1. Einzelne H-Brücke	77
5.1.2. Reihenschaltung von H-Brücken	79
5.1.3. Pulsmustererzeugung	80
5.1.4. Vorladen der Speicherkondensatoren	81
5.1.5. Dimensionierung	82

5.2. Ansteuerung	85
5.2.1. Rechenhardware	86
5.2.2. Aufgabenverteilung	87
5.2.3. Datenaustausch	88
5.3. Umsetzung der Regelungen	90
5.3.1. Stabilisierung der Kondensatorspannungen	91
5.3.2. Oberschwingungskompensation	94
5.4. Zusammenfassung	97
6. Erprobung an einem Netzmodell	101
6.1. Netzmodell des Lehrstuhls für Regelungssysteme	101
6.1.1. Leitungsimpedanz	102
6.1.2. Koppelimpedanz des Aktivfilters	103
6.2. Untersuchte Oberschwingungsquellen	104
6.2.1. Sechspulsbrückengleichrichter	105
6.2.2. Steuerbare Stromquelle	106
6.3. Messungen mit nichtlinearen Lasten	107
6.3.1. Sechspulsbrückengleichrichter als Last	110
6.3.2. Leistungsverstärker als Last	116
6.4. Diskussion	123
6.5. Zusammenfassung	124
7. Zusammenfassung und Ausblick	125
A. Anzahl an Schaltkombinationen bei einem mehrstufigem Umrichter mit H-Brücken-Topologie	127
B. Messwerte	129
B.1. Sechspulsbrückengleichrichter	129
B.1.1. Ohmsch-induktive Gleichstromlast	129
B.1.2. Kapazitive Gleichstromlast	130
B.2. Gesteuerte Stromquelle	130
B.2.1. Eingeprägte 5., 15. und 40. Oberschwingung	130
B.2.2. Eingeprägte 5. Oberschwingung	131
B.2.3. Eingeprägte 15. Oberschwingung	131
B.2.4. Eingeprägte 40. Oberschwingung	132
Literaturverzeichnis	138