

Praxis der feldorientierten Drehstromantriebsregelungen

Privatdozent Dr.-Ing. habil. Nguyen Phung Quang
Dr.-Ing. habil. Jörg-Andreas Dittrich

2., neubearbeitete Auflage

Mit 134 Bildern und 149 Literaturstellen

III Bibliothek



expertlitzl verlag

Inhaltsverzeichnis

Vorwort

1	Einführung: Prinzip der Feldorientierung und Struktur eines feldorientiert geregelten Drehstromantriebssystems	1
1.1	Bildung der Raumzeiger und deren feldorientierte Betrachtungsweise	1
1.2	Grundstrukturen der feldorientiert geregelten Antriebssysteme	5
1.3	Literatur zu Kapitel 1	9
2	Wechselrichteransteuerung mittels Raumzeigermodulation	11
2.1	Prinzip der Modulation	13
2.2	Berechnung und Ausgabe der Schaltzeiten	17
2.3	Einschränkungen des Verfahrens	20
2.3.1	Real nutzbare Zeigerebene	20
2.3.2	Synchronisation zwischen Modulation und Signalverarbeitung	22
2.3.3	Auswirkung der Schutzzeit und deren Kompensation	23
2.4	Realisierungsbeispiele	25
2.4.1	Modulation mit Mikrocontroller SAB 80C166	27
2.4.2	Modulation mit Signalprozessor TMS 320C20/C25	30
2.4.3	Modulation mit einer Doppelprozessor-Konfiguration	36
2.5	Spezielle Modulationsarten	40
2.5.1	Modulation mit zwei Zweigen	40
2.5.2	Synchrone Modulation	42
2.6	Literatur zu Kapitel 2	44
3	Maschinenmodelle als Voraussetzung zum Entwurf der Regelungen und Beobachter	45
3.1	Allgemeines zur Zustandsraumdarstellung	45
3.1.1	Kontinuierliche Zustandsraumdarstellung	45
3.1.2	Diskontinuierliche Zustandsraumdarstellung	47
3.2	Asynchronmaschine mit Kurzschlußläufer (ASM)	52
3.2.1	Kontinuierliche Zustandsmodelle der ASM im ständerfesten und feldsynchrone Koordinatensystem	53
3.2.2	Diskrete Zustandsmodelle der ASM	61
3.3	Pennanentmagneterregte Synchronvollpolmaschine (SM)	67

3.3.1	Kontinuierliches Zustandsmodell der SM im feldsynchrone Koordinatensystem	68
3.3.2	Diskretes Zustandsmodell der SM	71
3.4	Gemeinsamkeit beider Maschinenarten als Stromregelstrecke	72
3.5	Literatur zu Kapitel 3	74
4	Probleme der Istwerterfassung und der Feldorientierung	75
4.1	Stromistwerterfassung	76
4.2	Drehzahlerfassung	78
4.3	Möglichkeiten zur geberlosen Drehzahlerfassung	84
4.3.1	Beispiel zur geberlosen Regelung eines Asynchronantriebs	86
4.3.2	Beispiel zur geberlosen Regelung eines Synchronantriebs	92
4.4	Feldorientierung und deren Probleme	94
4.4.1	Prinzip und Rotorflußberechnung bei Asynchronantrieben	94
4.4.2	Stromsollwertberechnung	100
4.4.3	Probleme der abtastenden Arbeitsweise der Regelung	101
4.5	Literatur zu Kapitel 4	105
5	Dynamische Stromregelung zur schnellen Drehmomenteinprägung	109
5.1	Übersicht über die vorhandenen Stromregelverfahren	110
5.2	Systemrandbedingungen, Sollübertragungsfunktion und Regleransatz	121
5.3	Entwurf eines Stromvektorreglers mit Dead-Beat- oder EEZ-Verhalten	124
5.3.1	Entwurf eines Stromvektorreglers mit Dead-Beat-Verhalten bei Augenblickswertmessung des Stromistwertes	125
5.3.2	Entwurf eines Stromvektorreglers mit Dead-Beat-Verhalten bei integrierender Messung des Stromistwertes	129
5.3.3	Entwurf eines Stromvektorreglers mit EEZ-Verhalten	130
5.4	Entwurf eines Stromzustandsreglers mit Dead-Beat-Verhalten	132
5.4.1	Rückführmatrix R	133
5.4.2	Vorfiltermatrix V	134
5.5	Behandlung der Stellgrößen- bzw. der Spannungsbegrenzung	137
5.5.1	Verrechnungsstrategie bei Spannungsbegrenzung	139
5.5.2	Rückrechnungsstrategie bei erfolgter Spannungsbegrenzung	145
5.6	Literatur zu Kapitel 5	146
6	Ersatzschaltbilder und Verfahren zur Ermittlung der Systemparameter	149
6.1	Ersatzschaltbilder mit konstanten Parametern	150
6.1.1	Ersatzschaltbilder der Asynchronmaschine	150

6.1.1.1	T-Ersatzschaltbild	150
6.1.1.2	Invers-r-Ersatzschaltbild	152
6.1.1.3	r-Ersatzschaltbild	153
6.1.2	Permanentmagneterregte Vollpol-Synchronmaschine	154
6.2	Modellierung der Nichtlinearitäten von ASM	154
6.2.1	Eisenverluste	155
6.2.2	Strom- und Feldverdrängung	157
6.2.3	Magnetische Sättigung	161
6.2.4	Transiente Parameter	167
6.3	Parameterbestimmung aus Typenschilddaten	167
6.3.1	Berechnung mit Leistungsfaktor $\cos\phi_p$ bei ASM	168
6.3.2	Berechnung ohne Leistungsfaktor $\cos\phi_p$ bei ASM	171
6.3.3	Berechnung aus Typenschild der SM	172
6.4	Automatische Parameterbestimmung bei ASM im Stillstand	173
6.4.1	Vorüberlegungen	173
6.4.2	Strom-Spannungs-Charakteristik des Wechselrichters, Ständerwiderstand und transiente Streuinduktivität	176
6.4.3	Identifikation von Induktivitäten und Rotorwiderstand mit Frequenzgangmethoden	178
6.4.3.1	Verfahrensgrundlagen und Anwendung zur Identifikation von Rotorwiderstand und Streuinduktivität	178
6.4.3.2	Optimierung der Anregungsfrequenzen mit Empfindlichkeitsfunktionen	180
6.4.3.3	Besonderheiten bei der Schätzung von Hauptinduktivität und Magnetisierungskennlinie	182
6.4.4	Identifikation der Ständerinduktivität mit Gleichstromverfahren	184
6.5	Literatur zu Kapitel 6	186
7	Online-Adaption der Rotorzeitkonstante bei ASM	187
7.1	Motivation	188
7.2	Einordnung von Adaptionverfahren	193
7.3	Adaption des Rotorwiderstandes mit Modellverfahren	196
7.3.1	Beobachteransatz und Systemdynamik	197
7.3.2	Fehlermodelle	200
7.3.2.1	Statorspannungsmodelle	201
7.3.2.2	Leistungsbilanzmodelle	203
7.3.3	Parameterempfindlichkeit	205
7.3.4	Einfluß der Eisenverluste	209
7.3.5	Adaption im stationären und dynamischen Betrieb	211
7.4	Literatur zu Kapitel 7	215
8	Optimale Zustandsgrößen- und Sollwertsteuerung bei Asynchronantrieben	219
8.1	Zielstellung	219

8.2	Wirkungsgradoptimale Steuerung	220
8.3	Stationär momentoptimale Sollwertführung	223
8.3.1	Grunddrehzahlbereich	223
8.3.2	Oberer Feldschwächbereich	227
8.3.3	Unterer Feldschwächbereich	231
8.3.4	Gemeinsame quasistationäre Steuerstrategie	233
8.3.5	Momentdynamik bei SpannungsvoUaussteuerung	237
8.4	Vergleich der Optimierungsstrategien	240
8.5	Rotorflußregelung	243
8.6	Literatur zu Kapitel 8	246
9	Anhänge	247
9.1	Normierung - der wichtige Schritt zur Vorbereitung der Programmierung	247
9.2	Beispiel zur Modelldiskretisierung im Kapitel 3.1.2	250
9.3	Zur Anwendung der Methode der kleinsten Fehlerquadrate	252
9.4	Literatur zu Kapitel 9	255
	Formelzeichen und Abkürzungen	257
	Sachregister	261