

Fortschritt-Berichte VDI

Reihe 8

Mess-, Steuerungs-
und Regelungstechnik

M.Sc. Mario Aldag,
Amelinghausen

Nr. 1265

Regelung rotativer
Direktantriebe bei
Servoanwendungen

VDI verlag

INHALTSVERZEICHNIS

Nomenklatur	VIII
Symbole	IX
Kurzfassung	XVI
1 Einleitung	1
1.1 Zielsetzung und Aufbau der Arbeit	4
2 Stand der Technik	7
2.1 Regelung permanentmagneterregter Synchronmaschinen	7
2.1.1 Koordinatensysteme / Raumzeigerdarstellung	7
2.1.2 Modellierung des dynamischen Verhaltens von Drehfeldmaschinen	11
2.1.3 Flussverkettungen	12
2.1.4 Permanentmagneterregte Synchronmaschine	13
2.1.5 Regelung von PMSM	16
2.2 Modellierung der mechanischen Regelstrecke	20
2.3 Regelung des Gesamtsystems	23
2.4 Identifikationsverfahren von Regelstrecken	27
2.5 Messverfahren zur Spektrumsschätzung	30
2.5.1 DFT	32
2.5.2 Goertzel-Algorithmus	33
2.5.3 Yang-Methode	35
2.5.4 Welch-Methode	36
3 Entwicklung eines Simulationsmodells	39
3.1 Modellbildung	39
3.2 Parametrierung des Modells	45
4 Gütemaß zur Beurteilung des Regelverhaltens	49
4.1 Einführung eines quantitativen Gütemaßes	51
4.2 Einfluss von sich ändernden Streckeneigenschaften	51
4.3 Simulationen	52
5 Identifikation von Regelstrecken bei rotativen Direktantrieben	56
5.1 Relay-Feedback-Experiment	56
5.2 Identifikation der Parameter des ZMS	59

5.3	Identifikation eines parametrischen Modells	60
6	Entwicklung adaptiver Notch-Filter zur Resonanzunterdrückung	62
6.1	Verfahren zur Schätzung des Leistungsdichtespektrums	62
6.1.1	Methode von Yang	63
6.1.2	Scanning-Verfahren	66
6.1.3	Berechnungsmethodik Notch-Filter	67
6.2	Detektion mehrerer Maxima in einer Messung	69
6.2.1	Berechnung des relativen Maximums	70
6.2.2	Nachverarbeitung der Messdaten	71
6.3	Identifikation der Notch-Filtertiefe sowie -breite	72
6.4	Simulation	74
6.5	Validierung am Teststand	77
7	Validierung des Gesamtsystems an Maschinen	79
7.1	Messsystem / Maschine	79
7.2	Messkonzept	81
7.2.1	PRBS-Anregung zur Frequenzgangmessung	83
7.2.2	Relay-Feedback-Experiment	84
7.2.3	Identifikation adaptiver Notch-Filter	85
7.2.4	Zeitbereichsmessungen	86
7.3	Messungen an Maschine 1	86
7.3.1	Verwendete Testwerkstücke	86
7.3.2	Messung der Regelstrecke	87
7.3.3	Frequenzgang des Drehzahlregelkreises	88
7.3.4	Relay-Feedback-Experiment	89
7.3.5	Messung der Lageabweichung im Zeitbereich	91
7.4	Messungen an Maschine 2	92
7.4.1	Verwendete Testwerkstücke	93
7.4.2	Messung und Identifikation der Regelstrecke	94
7.4.3	Messung des Frequenzgangs des geschlossenen Drehzahlregelkreises	94
7.4.4	Relay-Feedback-Experiment	97
7.4.5	Automatische Identifikation von Resonanzfrequenzen für adaptive Notch-Filter	99
7.4.6	Identifikation der Notch-Filtertiefen und -breiten	101
7.4.7	Validierung der Regelgüte bei Anwendung adaptiver Notch-Filter	102
7.5	Zusammenfassung der Messungen	108
8	Zusammenfassung und Ausblick	110
	Anhang	112
A	Stabilitätsbetrachtung der kaskadierten Regelung	113
A.1	Systembeschreibung	114
A.1.1	PID-Regler	115
A.1.2	Notch-Filter	117

A.2	Stabilitätsbetrachtung	117
A.2.1	PID-Regler ohne Notch-Filter	117
A.2.2	PID-Regler mit Notch-Filter	119
A.2.3	Charakteristische Gleichung	125
A.3	Geschlossener Lageregelkreis	126
B	Resonanzfrequenzverschiebung	128
C	Auswirkung von Reglerparametern auf Regelgüte	133
D	Herleitung Gleichungen ZMS	136
E	Erprobung an einem Teststand	139
E.1	Konstruktion	139
E.2	Inbetriebnahme des Teststands	143
	Literaturverzeichnis	144