

Inhaltsverzeichnis

Verzeichnis wichtiger Formelzeichen und Symbole	vii
1 Einleitung	1
2 Grundlagen	3
2.1 Einsatzgebiete für sensorlose Verfahren	3
2.2 Randbedingungen für den Einsatz geberloser Systeme im industriellen Umfeld	4
2.3 Modellierung der permanenterregten Synchronmaschine	5
2.4 Polradorientierte Regelung	7
2.5 Übersicht über bekannte Verfahren	9
2.6 Abhängigkeit der Statorinduktivität	11
2.6.1 Induktivitäten bei Berücksichtigung der magnetischen Sättigung . .	12
2.6.2 Drehmoment bei Berücksichtigung der magnetischen Sättigung . . .	16
2.6.3 Bestimmung der differentiellen Induktivität	16
2.7 Versuchsaufbau	21
3 Verfahren zur Lageschätzung	23
3.1 Flussschätzer	23
3.1.1 Prinzip des Flussschätzers	24
3.1.2 Fehlerkompensation	24
3.1.3 Anmerkungen zur Realisierung	27
3.2 Lageschätzung über die magnetische Asymmetrie	29
3.2.1 Aufschalten eines Testsignals	30
3.2.2 Bestimmung der Induktivitätsverteilung	31
3.2.3 Bestimmung der Rotorlage	33
3.2.4 Bewertung des Verfahrens	34
3.2.5 Messergebnisse	36
3.3 Gesteuerter Hochlauf	37
3.4 Vergleich der Verfahren	39
3.5 Verfahrenswechsel	40
3.5.1 Wechsel zwischen Induktivitätsmessung und Flussschätzung	41
3.5.2 Wechsel zwischen gesteuertem und geregelttem Betrieb	42
3.6 Initialisierung	46

4	Verfahren zur Drehzahlschätzung	51
4.1	Differenzierer	52
4.2	Nachlaufsynchrosation (PLL)	54
4.3	Beobachter	56
4.3.1	Beobachterstruktur	56
4.3.2	Entwurf eines modalen Beobachters	58
4.3.3	Beobachterentwurf nach Ackermann	60
4.3.4	Erweiterte Beobachterstruktur	62
4.3.5	Kombination von Differenzierer und Beobachter	64
4.4	Vergleich und Bewertung	66
5	Anwendung auf schnelle Synchronmaschinen	69
5.1	Beschreibung der Applikationen	70
5.2	Implementiertes Verfahren	71
5.2.1	Ausrichtphase	71
5.2.2	Gesteuerter Anlauf	73
5.2.3	Geregelter Betrieb	73
5.3	Einsatz von Filtern	74
5.4	Messergebnisse	76
6	Zusammenfassung	85
	Anhang	87
A	Berechnungen	87
A.1	Aufschaltung eines Gleichanteils bei der Initialisierung	87
B	Technische Daten des Prüfstands	91
B.1	Maschinenparameter Servomotor	91
B.2	Umrichter	92
B.3	Modifizierter Umrichter	92
B.4	Maschinenparameter Flüssigkeitspumpe	93
B.5	Maschinenparameter Labormaschine	93
B.6	Elektrische Daten der Drossel incl. 250m Kabel	93
B.7	Maschinenparameter Turbomolekularpumpe 1	94
B.8	Maschinenparameter Turbomolekularpumpe 2	94
B.9	DSP-Board	95
	Literaturverzeichnis	96

Verzeichniss wichtiger Formelzeichen und Symbole

mathematische Operatoren

*	Sollwert
\sim	Schätzwert
$\hat{}$	Schätzwert, Amplitude
$\underline{}$	Vektorielle Größe, Zeigergröße
$\Im\{ \}$	Imaginärteil
Δ	Differenz

Formelzeichen und Symbole

A	Systemmatrix
B	Eingangsmatrix
c_n	Amplitude des n. Fourierkoeffizienten (komplexe Darstellung)
C	Ausgangsmatrix, Kapazität
D	Durchgriffsmatrix
$f; f_{abt}; f_S$	Frequenz; Abtastfrequenz; Schaltfrequenz
$f(\dots)$	Funktion, abhängig von ...
$G(s)$	Übertragungsfunktion
$i; i_S; I_S$	Strom; Ständerstrom; Effektivwert des Ständerstroms
i_μ	Magnetisierungsstrom
J	Massenträgheitsmoment
$K_p; T_n$	Streckenverstärkung; Streckenzeitkonstante
$L; L_\delta$	Induktivität; differenzielle Induktivität
$m_L; m_M$	Lastmoment; von der Maschine aufgebrachtes Moment
n	Drehzahl, natürliche Zahl
p	Polpaarzahl
$Q; Q_B$	Transformationsmatrix (Rotationsmatrix); Beobachtbarkeitsmatrix
r	Korrektur- bzw. Rückführgröße
R	Widerstand, Rotationsmatrix
t	Zeit
$u; u_S; U_S; U_{ZK}$	Spannung, Eingangsgröße; Ständerspannung; Effektivwert der Ständerspannung; Zwischenkreisspannung
x	Zustandsgröße

y	Ausgangsgröße
Z	Impedanz
ε_{RS}	Winkel zwischen Rotor- und Statorfeld
$\eta; \eta_{IS}$	Wirkungsgrad; Richtung des Stromzeigers im gesteuerten Betrieb
κ	Verstärkungsfaktor der drehzahlabhängigen Lagekorrektur, Entwurfparameter für den Beobachterentwurf
μ	Permeabilität
ω	Kreisfrequenz
$\varphi; \varphi_n$	Phase; Phase des n. Fourierkoeffizienten (komplexe Darstellung)
$\psi; \Psi_P$	magnetischer Fluss; Polradfluss
ξ	Richtung in der Rotorebene

tiefgestellte Indizes

a, b, c	Komponenten in den Strangrichtungen
d, q	Komponenten in rotorfesten Koordinaten
diff	über einen Differenzierer bestimmte Größe
D	Drossel
F	Filter
$HP; I; TP$	Hochpass; Integrator; Tiefpass
IS	auf den gesteuerten Stromzeiger bezogen
k	Zählindex für Abtastperioden
kor	Korrektur
min; max	Minimalwert; Maximalwert
N	Bemessungswert
obs	über einen Beobachter bestimmte Größe
S	Statorgröße
$uU; oU$	untere Umschaltfrequenz; obere Umschaltfrequenz
test	Testsignal
trans	im Übergangsbereich zur Transformation verwendete Größe
x, y	Komponenten in am Statorstrom orientierten Koordinaten
α, β	Komponenten in statorfesten Koordinaten
Ψ	über den Flusschätzer bestimmte Größe

hochgestellte Indizes

R	Größe in rotorfesten Koordinaten
S	Größe in statorfesten Koordinaten

Abkürzungen

AP	Arbeitspunkt
G	(Lage- / Drehzahl-) Geber
PLL	Phase Locked Loop, Phasennachlaufsynchronisation
PSM	Permanenterregte Synchronmaschine