

Inhaltsverzeichnis

1	Raumzeiger und Raumzeigerdifferentialgleichungen	1
1.1	Begriff des Raumzeigers	1
1.2	Reelle Komponentenschreibweise	8
1.3	Transformationsbeziehungen zwischen Phasen- und Raumzeigergrößen ...	9
1.4	Raumzeigertransformation zwischen ortsfesten und rotierenden Bezugssystemen	12
1.5	Transformation von Phasengrößendifferenzialgleichungen	15
1.6	Transformation von Raumzeigerdifferentialgleichungen	26
1.7	Leistungsberechnung mithilfe von Raumzeigern	27
1.8	Darstellung von Raumzeigergleichungen durch komplexe Strukturbilder ...	30
2	Dynamisches Verhalten permanentmagneterregter Synchron- maschinen	33
2.1	Grundlegende Beschreibung des Synchronmaschinenverhaltens	34
2.1.1	Beschreibung im statorfesten α - β -Koordinatensystem bei symmetrischem Magnetkreis	34
2.1.2	Beschreibung im rotorfesten d-q-Koordinatensystem	43
2.1.3	Symmetrierung der Spannungsgleichungen im rotorfesten d-q-Koordinatensystem	49
2.2	Zeitkontinuierliches Zustandsraummodell der Synchronmaschine	51
2.3	Prinzipielle Regelungsstrategie für permanentmagneterregte Synchronmaschinen	55
2.3.1	Gesteuerte und geregelte Drehmomenteinprägung	55
2.3.2	Vorgabe der Statorstromsollwertkomponenten im Grunddrehzahlbereich	56
2.3.3	Transformation der Statorphasenströme in das rotorfeste d-q-Koordinatensystem	66
2.3.4	Rücktransformation der Stromreglerausgangsgrößen in Phasengrößen	66
2.3.5	Gesamtstruktur des Statorstromregelkreises	67
2.3.6	Feldschwächung	70
2.3.7	Querstromsollwertberechnung und -begrenzung	99
2.3.8	Drehzahl- und Lageregelung	104

2.4	Synchronmaschinenspezifische Besonderheiten	105
2.4.1	Bremsmomenterzeugung durch Kurzschluss der Stator клемmen	105
2.4.2	Rastmomente und Rastmomentkompensation	107
2.4.3	Identifikation der Polradlage	109
3	Dynamisches Verhalten von Asynchronmaschinen	117
3.1	Grundlegende Beschreibung des Asynchronmaschinenverhaltens	117
3.1.1	Beschreibung im statorfesten α - β -Koordinatensystem	117
3.1.2	Beschreibung im rotorflussfesten d-q-Koordinatensystem	136
3.2	Zeitkontinuierliches Zustandsraummodell der Asynchronmaschine	141
3.3	Prinzipielle Regelungsstrategie für Asynchronkäfigläufermaschinen	145
3.3.1	Parallelen zur Regelung von permanentmagneterregten Synchronmaschinen	145
3.3.2	Vorgabe der Statorstromsollwertkomponenten	146
3.3.3	Gesamtstruktur des Statorstromregelkreises	147
3.3.4	Maschinenmodelle	148
3.3.5	Feldschwächung	153
3.3.6	Magnetisierungsstromregelung	163
3.3.7	Querstromsollwertberechnung und -begrenzung	166
3.3.8	Drehzahl- und Lageregelung	169
3.4	Asynchronmaschinenspezifische Besonderheiten	171
3.4.1	Sättigung	171
3.4.2	Orientierungsfehler durch eine fehlerhaft angenommene Rotorzeitkonstante	177
4	Dynamisches Verhalten von Synchronreluktanzmaschinen	183
4.1	Grundlegende Beschreibung des Synchronreluktanzmaschinenverhaltens	184
4.2	Prinzipielle Regelungsstrategie für Synchronreluktanzmaschinen	188
4.2.1	Parallelen zur Regelung von permanentmagneterregten Synchronmaschinen	188
4.2.2	Vorgabe der Statorstromsollwertkomponenten im Grunddrehzahlbereich	189
4.2.3	Gesamtstruktur des Statorstromregelkreises	193
4.2.4	Feldschwächung	194
4.2.5	Querstromsollwertberechnung und -begrenzung	202
4.2.6	Drehzahl- und Lageregelung	203
4.3	Synchronreluktanzmaschinenspezifische Besonderheiten	204
5	Dynamisches Verhalten von Netzwechselrichtern und Netzfiltern.....	207
5.1	Grundlegende Beschreibung des Verhaltens der Netzan­kopplung	208
5.1.1	Beschreibung bei einphasiger Netzeinspeisung	208
5.1.2	Netzphasen­feste Beschreibung bei dreiphasiger Netzeinspeisung	212
5.1.3	Netzsynchrone Beschreibung bei dreiphasiger Netzeinspeisung	218
5.2	Zeitkontinuierliches Zustandsraummodell der Netzan­kopplung	224

5.3	Raumzeigerbasierte Beschreibung bei einphasigen Netzwechselrichtern	227
5.3.1	Grundsätzliche Überlegungen	227
5.3.2	Virtuelle Komplementärphase und netzphasenfeste Systembeschreibung mittels Raumzeigern	228
5.3.3	Netzsynchrone Beschreibung bei einphasiger Netzeinspeisung	233
5.4	Prinzipielle Regelungsstrategie für Netzwechselrichter	235
5.4.1	Grundsätzliche Überlegungen	235
5.4.2	Vorgabe der Ausgangsstromsollwertkomponenten	236
5.4.3	Transformation der Netzwechselrichterausgangsströme in das netzsynchrone d-q-Koordinatensystem	236
5.4.4	Rücktransformation der Stromreglerausgangsgrößen in Phasengrößen	237
5.4.5	Gesamtstruktur des Ausgangsstromregelkreises	238
5.4.6	Zwischenkreisspannungsregelung	240
5.4.7	Dämpfungsregler	241
6	Regelung der Ausgangsströme von Motor- und Netzwechselrichtern	245
6.1	Betrachtete leistungselektronische Stellglieder und Steuerstrategien	245
6.2	Zeitdiskrete Beschreibung von Stromregelstrecken	246
6.2.1	Grundsätzliche Betrachtungen anhand eines einführenden Beispiels	246
6.2.2	Einfluss des Stromerfassungszeitpunkts auf die Regelgüte	250
6.2.3	Bestimmung der Leistungstransistorein- und -ausschaltzeitpunkte durch Pulsweitenmodulation	252
6.2.4	Einfluss des Stromerfassungszeitpunkts auf den Strommittelwert	258
6.2.5	Einfluss der Rechenzeit auf die Modellbildung	260
6.2.6	Verallgemeinerung auf ohmsch-induktive und dreiphasige Lasten	261
6.2.7	Zeitdiskrete Maschinenmodelle der Asynchronkäfigläufermaschine	267
6.3	Stromreglerentwurf	269
6.3.1	Grundsätzliche Überlegungen	269
6.3.2	Stromreglerentwurf ohne Berücksichtigung einer Rechentotzeit	271
6.3.3	Stromreglerentwurf bei Berücksichtigung einer Rechentotzeit von einem Abtastintervall	279
6.3.4	Stellgrößenbegrenzung und Stromsollwertkorrektur	287
6.3.5	Verriegelungstotzeit und deren Kompensation	306
6.3.6	Verbesserung des Führungsverhaltens durch Sollwertfilterung	313
6.3.7	Anpassung des Stromreglerentwurfs an Systeme mit Überabtastung	320
6.3.8	Berücksichtigung von Sättigungseffekten beim Stromreglerentwurf für die permanentmagneterregte Synchronmaschine und die Synchronreluktanzmaschine	332

7	Entwurf überlagerter Regler	345
7.1	Allgemeine Betrachtungen	345
7.2	Drehzahlreglerentwurf	346
7.2.1	Klassischer Drehzahlregler	346
7.2.2	Drehzahlregler mit Referenzmodell	352
7.2.3	Vorsteuerung des Drehmomentsollwerts	356
7.2.4	Drehzahlzustandsregler für Antriebe mit starrer Mechanik	362
7.2.5	Drehzahlzustandsregler für Zweimassenschwinger	378
7.2.6	Stellgrößenbegrenzung und Drehzahlsollwertkorrektur	387
7.2.7	Drehzahlsollwertfilter	398
7.2.8	Lastmomentaufschaltung	407
7.3	Lagereglerentwurf	409
7.4	Spannungsreglerentwurf	419
7.4.1	Spannungsreglerentwurf bei der permanentmagneterregten Synchronmaschine und der Synchronreluktanzmaschine	420
7.4.2	Spannungsreglerentwurf bei der Asynchronkäfigläufermaschine	422
7.5	Zwischenkreisspannungsreglerentwurf	423
7.5.1	Modell der Zwischenkreisspannungsregelstrecke	423
7.5.2	Klassischer Zwischenkreisspannungs-P-Regler mit Leistungsvorsteuerung	425
7.5.3	Klassischer Zwischenkreisspannungs-PI-Regler ohne Leistungsvorsteuerung	428
7.5.4	Zwischenkreisspannungszustandsregler	431
8	Beobachterentwurf.....	433
8.1	Drehzahl- und Lastmomentbeobachter	433
8.1.1	Drehzahl- und Lastmomentbeobachter dritter Ordnung für Antriebe mit starrer Mechanik	434
8.1.2	Drehzahl- und Lastmomentbeobachter zweiter Ordnung für Antriebe mit starrer Mechanik	448
8.1.3	Drehzahl- und Lastmomentbeobachter erster Ordnung für Antriebe mit starrer Mechanik	456
8.1.4	Drehzahl- und Lastmomentbeobachter für einen Zweimassenschwinger	457
8.2	Gegenspannungsbeobachter	462
8.3	Zwischenkreisspannungs- und Leistungsbeobachter	468
8.3.1	Zwischenkreisspannungs- und Leistungsbeobachter dritter Ordnung	468
8.3.2	Zwischenkreisspannungs- und Leistungsbeobachter zweiter Ordnung	472

9	Ermittlung von Maschinenparametern	475
9.1	Einführung und Themenabgrenzung	475
9.2	Abschätzung der Maschinenparameter aus den Typenschilddaten.....	476
9.2.1	Ermittlung der Parameter der Asynchronkäfigläufermaschine aus den Typenschilddaten	476
9.2.2	Ermittlung der Parameter der permanentmagneterregten Synchronkäfigläufermaschine aus den Typenschilddaten	490
9.2.3	Ermittlung der Parameter der Synchronreluktanzmaschine aus den Typenschilddaten	496
9.3	Maschinenparameteridentifikation	498
9.3.1	Identifikation der totalen Streuinduktivität bzw. der Statorinduktivitäten	499
9.3.2	Identifikation des Statorwiderstands	504
9.3.3	Identifikation der Statorinduktivität der Asynchronkäfigläufer- maschine bei drehender Maschine	504
9.3.4	Identifikation des Trägheitsmoments	505
	Anhang	511
A.1	Zeitkontinuierliche Zustandsgleichungen	511
A.2	Modaltransformation der zeitkontinuierlichen Zustandsgleichungen	517
A.3	Lösung der Zustandsdifferenzialgleichungen und Stabilität	523
A.4	Diskretisierung der Zustandsgleichungen	527
A.5	Modaltransformation und Stabilität eines zeitdiskreten Systems.....	529
A.6	Transformation der Zustandsgleichungen auf Regelungsnormalform	532
A.7	Zustandsreglerentwurf durch Vorgabe der Regelungseigenwerte	537
A.7.1	Vorbetrachtungen	537
A.7.2	Bestimmung der Vorfiltermatrix	540
A.7.3	Reglerentwurf für Regelstrecken mit einer einzigen Stellgröße ...	542
A.7.4	Reglerentwurf für Regelstrecken mit ebenso vielen Stellgrößen wie Zustandsgrößen	544
A.7.5	PI-Zustandsreglerentwurf bei schon vorhandenem P-Zustandsregler	545
A.7.6	Zustandsreglerentwurf für eine Regelstrecke mit Rechentotzeit bei schon vorhandenem Zustandsregler für das System ohne Rechentotzeit	549
A.7.7	Störgrößenaufschaltung bei Regelstrecken mit ebenso vielen Stellgrößen wie Zustandsgrößen	553
A.8	Transformation der Zustandsgleichungen auf Beobachtungsnormalform..	554
A.9	Beobachterentwurf durch Vorgabe der Beobachtereigenwerte	558
A.9.1	Vorbetrachtungen	558
A.9.2	Berücksichtigung von Störgrößen	561
A.9.3	Beobachterentwurf für Regelstrecken mit einer einzigen Ausgangsgröße	562

A.10	Stabilitätsuntersuchung des Statorstromregelkreisverhaltens beim Auftreten von Stellgrößenbegrenzungen	564
A.10.1	Allgemeine Stabilitätsaussagen für zustandsgeregelte lineare Regelstrecken mit Stellgrößenbegrenzungen	564
A.10.2	Stabilitätsnachweise für die Statorstromzustandsregelung bei Stellgrößenbegrenzungen	574
A.10.3	Stabilitätsnachweis für das Statorstromsollwertfilter bei einer Sollwertfilterausgangsgrößenbegrenzung	577
A.10.4	Stabilitätsnachweis für die Drehzahlzustandsregelung bei Stellgrößenbegrenzungen	580
A.10.5	Stabilitätsnachweis für das Drehzahlsollwertfilter bei einer Sollwertfilterausgangsgrößenbegrenzung	585
Literaturverzeichnis		587
Stichwortverzeichnis		603