

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 Phasengrößendifferentialgleichungen	16
1.6 Drehtransformation von Raumzeigerdifferentialgleichungen.....	19
1.7 Wirkleistungsberechnung mithilfe von Raumzeigern.....	21
1.8 Darstellung von Raumzeigergleichungen durch komplexe Strukturbilder	22
2 Dynamisches Verhalten permanentmagneterregter Synchronmaschinen	25
2.1 Klassische Beschreibung des Synchronmaschinenverhaltens	25
2.1.1 Beschreibung im statorfesten α - β -Koordinatensystem bei symmetrischem Magnetkreis	25
2.1.2 Beschreibung im rotorfesten d-q-Koordinatensystem	33
2.2 Zeitkontinuierliches Zustandsraummodell der Synchronmaschine	39
2.3 Prinzipielle Regelungsstrategie für permanentmagneterregte Synchronmaschinen....	42
2.3.1 Gesteuerte und geregelte Drehmomenteinprägung	42
2.3.2 Vorgabe der Statorstromsollwertkomponenten	43
2.3.3 Transformation der Statorphasenströme in das rotorfeste d-q-Koordinatensystem	44
2.3.4 Rücktransformation der Stromreglerausgangsgrößen in Phasengrößen.....	45
2.3.5 Gesamtstruktur des Statorstromregelkreises.....	46
2.3.6 Feldschwächung	47
2.3.7 Drehzahl- und Lageregelung	52
2.4 Synchronmaschinenspezifische Besonderheiten	53
2.4.1 Bremsmomenterzeugung durch Kurzschluss der Statorklemmen.....	53
2.4.2 Rastmomente und Rastmomentkompensation	54
2.4.3 Identifikation der Polradlage	56
3 Dynamisches Verhalten von Asynchronmaschinen	63
3.1 Klassische Beschreibung des Asynchronmaschinenverhaltens	63
3.1.1 Beschreibung im statorfesten α - β -Koordinatensystem.....	63
3.1.2 Beschreibung im rotorflussfesten d-q-Koordinatensystem.....	79
3.2 Zeitkontinuierliches Zustandsraummodell der Asynchronmaschine	84

3.3 Prinzipielle Regelungsstrategie für Asynchronkäfigläufermaschinen	87
3.3.1 Parallelen zur Regelung von permanentmagnetenerregten Synchronmaschinen.....	87
3.3.2 Vorgabe der Statorstromsollwertkomponenten	89
3.3.3 Gesamtstruktur des Statorstromregelkreises.....	89
3.3.4 Maschinenmodelle.....	90
3.3.5 Feldschwächung	95
3.3.6 Magnetisierungsstromregelung.....	103
3.3.7 Drehzahl- und Lageregelung	105
3.4 Asynchronmaschinenspezifische Besonderheiten	106
3.4.1 Sättigung.....	106
3.4.2 Orientierungsfehler durch eine fehlerhaft angenommene Rotorzeit- konstante	112
4 Dynamisches Verhalten von Netzwechselrichtern und Netzfiltern.....	117
4.1 Klassische Beschreibung des Streckenverhaltens der Netzankopplung	117
4.1.1 Beschreibung bei einphasiger Netzeinspeisung.....	117
4.1.2 Netzphasenfeste Beschreibung bei dreiphasiger Netzeinspeisung.....	122
4.1.3 Netzschrone Beschreibung bei dreiphasiger Netzeinspeisung.....	128
4.2 Zeitkontinuierliches Zustandsraummodell der Netzankopplung	133
4.3 Raumzeigerbasierte Beschreibung bei einphasigen Netzwechselrichtern	137
4.3.1 Grundsätzliche Überlegungen	137
4.3.2 Virtuelle Komplementärphase und netzphasenfeste System- beschreibung mittels Raumzeigern	138
4.3.2 Netzschrone Beschreibung bei einphasiger Netzeinspeisung	143
4.4 Prinzipielle Regelungsstrategie für Netzwechselrichter	145
4.4.1 Grundsätzliche Überlegungen	145
4.4.2 Vorgabe der Ausgangsstromsollwertkomponenten	146
4.4.3 Transformation der Netzwechselrichterausgangsströme in das netzschrone d-q-Koordinatensystem.....	146
4.4.4 Rücktransformation der Stromreglerausgangsgrößen in Phasengrößen.....	147
4.4.5 Gesamtstruktur des Ausgangsstromregelkreises	148
4.4.6 Zwischenkreisspannungsregelung	150
4.4.7 Dämpfungsregler	151
5 Regelung der Ausgangsströme von Motor- und Netzwechselrichtern	153
5.1 Betrachtete leistungselektronische Stellglieder und Steuerstrategien.....	153
5.2 Zeitdiskrete Beschreibung von Stromregelstrecken	154
5.2.1 Grundsätzliche Betrachtungen anhand eines einführenden Beispiels	154
5.2.2 Einfluss des Stromerfassungszeitpunkts auf die Regelgüte	157
5.2.3 Einfluss des Stromerfassungszeitpunkts auf den Strommittelwert.....	160
5.2.4 Einfluss der Rechenzeit auf die Modellbildung	163
5.2.5 Verallgemeinerung auf ohmsch-induktive und dreiphasige Lasten	164
5.2.6 Die permanentmagneteregte, magnetisch unsymmetrische Synchronmaschine als Sonderfall.....	170
5.2.7 Zeitdiskrete Maschinenmodelle der Asynchronkäfigläufermaschine	175

5.3 Stromreglerentwurf	177
5.3.1 Grundsätzliche Überlegungen	177
5.3.2 Symmetrischer Stromreglerentwurf ohne Berücksichtigung einer Rechentotzeit.....	178
5.3.3 Symmetrischer Stromreglerentwurf bei Berücksichtigung einer Rechentotzeit von einem Abtastintervall	187
5.3.4 Stellgrößenbegrenzung und Stromsollwertkorrektur	196
5.3.5 Verriegelungstotzeit und deren Kompensation.....	207
5.3.6 Achsenunsymmetrischer Stromreglerentwurf.....	211
5.3.7 Stromreglerentwurf für den Sonderfall einer permanent-magneterregten, magnetisch unsymmetrischen Synchronmaschine.....	217
5.3.8 Verbesserung des Führungsverhaltens durch Sollwertfilterung.....	223
5.3.9 Anpassung des Stromreglerentwurfs an Systeme mit Überabtastung	230
5.3.10 Stromreglerparameterumschaltung	237
6 Entwurf überlagerter Regler	239
6.1 Allgemeine Betrachtungen.....	239
6.2 Drehzahlreglerentwurf	240
6.2.1 Klassischer Drehzahlregler	240
6.2.2 Drehzahlregler mit Referenzmodell.....	247
6.2.3 Dynamische Vorsteuerung des Querstromsollwerts	251
6.2.4 Drehzahlzustandsregler.....	256
6.2.5 Stellgrößenbegrenzung und Drehzahlsollwertkorrektur	271
6.2.6 Drehzahlsollwertfilter	276
6.2.7 Lastmomentaufschaltung	285
6.3 Lagereglerentwurf	287
6.4 Zwischenkreisspannungsreglerentwurf	296
6.4.1 Modell der Zwischenkreisspannungsregelstrecke	296
6.4.2 Klassischer Zwischenkreisspannungs-P-Regler mit Wirkleistungsvorsteuerung	298
6.4.3 Klassischer Zwischenkreisspannungs-PI-Regler ohne Wirkleistungsvorsteuerung	301
6.4.4 Zwischenkreisspannungszustandsregler	304
7 Beobachterentwurf	305
7.1 Drehzahl- und Lastmomentbeobachter.....	305
7.1.1 Drehzahl- und Lastmomentbeobachter dritter Ordnung	306
7.1.2 Drehzahl- und Lastmomentbeobachter zweiter Ordnung	323
7.1.3 Drehzahlbeobachter erster Ordnung	333
7.2 Zwischenkreisspannungs- und Wirkleistungsbeobachter	334
7.2.1 Zwischenkreisspannungs- und Wirkleistungsbeobachter dritter Ordnung....	335
7.2.2 Zwischenkreisspannungs- und Wirkleistungsbeobachter zweiter Ordnung..	339

Anhang	343
A.1 Zeitkontinuierliche Zustandsgleichungen	343
A.2 Modaltransformation der zeitkontinuierlichen Zustandsgleichungen	349
A.3 Lösung der Zustandsdifferentialgleichungen und Stabilität.....	353
A.4 Diskretisierung der Zustandsgleichungen.....	356
A.5 Modaltransformation und Stabilität eines zeitdiskreten Systems	358
A.6 Transformation der Zustandsgleichungen auf Regelungnormalform	361
A.7 Zustandsreglerentwurf durch Vorgabe der Regelungseigenwerte	366
A.8 Transformation der Zustandsgleichungen auf Beobachtungnormalform	371
A.9 Beobachterentwurf durch Vorgabe der Beobachteneigenwerte	374
Literaturverzeichnis	381
Stichwortverzeichnis	389