

Inhaltsverzeichnis

Formelzeichenverzeichnis	13
1. Einführung	16
1.1. Bedeutung der Antriebstechnik und Zielstellungen bezüglich ihrer weiteren Entwicklung	16
1.2. Eigenschaften und Einsatzformen automatisierter Antriebssysteme	18
1.3. Ingenieuraufgaben in der Antriebstechnik	22
2. Grundlagen des Entwurfs automatisierter Antriebssysteme	23
2.1. Grundzüge einer systematischen Entwurfsstrategie	23
2.1.1. Charakterisierung des Entwurfsprozesses	23
2.1.2. Strukturmodell des Entwurfsprozesses	26
2.1.3. Bewerten und Vergleichen von Entwurfsergebnissen	29
2.1.4. Ablauf einer Erzeugniserwicklung	32
2.2. Problemanalyse und Präzisierung der Aufgabenstellung	33
2.2.1. Analyse der Schnittstelle zur Arbeitsmaschine	34
2.2.1.1. Zustandsgrößen der Bewegung	34
2.2.1.2. Widerstandsmoment und dynamisches Moment	36
2.2.1.3. Elastisches mechanisches Übertragungssystem	39
2.2.1.4. Mechanische Kopplung mehrerer Antriebe	41
2.2.1.5. Technologische Kopplung mehrerer Antriebe	42
2.2.1.6. Simulation des Antriebssystems	46
2.2.2. Analyse der Schnittstelle zum Netz	47
2.2.2.1. Zustandsanalyse	47
2.2.2.2. Elektroenergiequalität und Störfestigkeit	48
2.2.2.3. Hilfsmittel zur Beschreibung	50
2.2.2.4. Versorgungszuverlässigkeit	51
2.2.3. Analyse der Schnittstelle zum Bedienbereich	52
2.2.4. Analyse der Umgebungsbedingungen und Nebenwirkungen	57
2.3. Auswahl von Prinziplösungen	63
2.3.1. Konzeption des Leistungsteils	63
2.3.2. Schutz- und Überwachungskonzeption	71
2.3.3. Steuerungs- und Regelungskonzeption	73
2.3.3.1. Strukturen der Steuerung und Regelung	73
2.3.3.2. Digitale oder analoge Signalverarbeitung	76
2.3.3.3. Gerätekonzeption	77
2.4. Dimensionierung des Antriebssystems	77
2.4.1. Auswahl und Anpassung der Motoren	77
2.4.1.1. Anpassung der Hauptparameter	77
2.4.1.2. Kennlinienanpassung	78
2.4.1.3. Anpassung an periodisch wechselnde Belastung	82
2.4.1.4. Dynamische Anpassung	86
2.4.2. Auswahl und Anpassung der Stellglieder	89
2.4.3. Auswahl und Anpassung der Schutzeinrichtungen	94
2.4.4. Auswahl und Anpassung der Steuer- und Regeleinrichtungen	98
2.4.4.1. Vorgabe der Führungsgrößen und Messung der Regelgrößen	98
2.4.4.2. Differenzsignalbildung und Filterung	107
2.4.4.3. Stromversorgung der Steuer- und Regeleinrichtungen	112

2.5. Erarbeitung der Systemunterlagen für Fertigung, Prüfung und Betrieb	114
2.5.1. Schaltpläne	114
2.5.2. Funktionsdarstellungen	116
2.5.3. Prüfvorschriften	118
2.5.4. Bedienungsanweisungen	125
3. Drehzahlsteuerbare Gleichstromantriebe	127
3.1. Zustandsanalyse und Simulation des Gleichstromantriebs	127
3.1.1. Zustandsgraph und Zustandsgleichungen	127
3.1.2. Vereinfachte Zustandsgleichungen des symmetrischen Antriebs am symmetrischen Netz	131
3.1.3. Zusammengefaßte Beschreibung des Stromrichters als Ersatzspannungsquelle	133
3.2. Betrieb bei kontinuierlicher Stromführung	134
3.2.1. Zustandsgleichungen und stationäre Betriebskennlinien	134
3.2.2. Dimensionierung der Induktivität des Ankerkreises	137
3.2.3. Das dynamische Übertragungsverhalten	141
3.3. Betrieb bei diskontinuierlicher Stromführung	146
3.3.1. Die stationären Betriebskennlinien im Lückbereich	146
3.3.2. Betriebsverhalten eines Antriebs mit Freilaufzweig	148
3.3.3. Das dynamische Übertragungsverhalten im Lückbereich	149
3.4. Reversierbetrieb	152
3.4.1. Das stationäre Betriebsverhalten des Umkehrantriebs	152
3.4.2. Berechnung des Kreisstroms	154
3.4.3. Projektierung der Kreisstrom- und Glättungsrosseln	156
3.4.4. Ventilbeanspruchung und Schaltungsauswahl	157
3.4.5. Das dynamische Betriebsverhalten des Umkehrantriebs	158
3.5. Betrieb von Gleichstromantrieben am Netz	160
3.5.1. Netzseitige Ersatzschaltung des Stromrichters	160
3.5.2. Parallelbetrieb mit Drehfeldmaschinen	163
3.5.3. Parallelbetrieb mit Kompensationseinrichtungen	164
3.5.4. Parallelbetrieb von Stromrichtern	166
3.5.5. Projektierung von Anschlußstrukturen	167
3.5.6. Netzurückwirkungsarme Antriebe	170
3.6. Schalt- und Havarievorgänge, Schutz	172
3.6.1. Kurzschlußvorgänge	172
3.6.2. Kurzschlußschutz und Überlastschutz	175
3.6.3. Ausschaltvorgänge	176
3.7. Gleichstromantriebe mit selbstkommutierten Stromrichtern	178
3.7.1. Lösungsmöglichkeiten und allgemeines Betriebsverhalten	179
3.7.2. Gleichstromstellantriebe	183
3.7.3. Gleichstromtraktionsantriebe	183
4. Drehzahlsteuerbare Drehstromantriebe	186
4.1. Betriebsverhalten der Drehfeldmaschine in feldorientierter Darstellung	186
4.1.1. Die Zustandsgleichungen der Drehfeldmaschine im dynamischen Betrieb	186
4.1.2. Vereinfachte Zustandsgleichungen der Drehfeldmaschine im stationären Betrieb	191
4.1.3. Oberschwingungersatzschaltbild der Drehfeldmaschine	192
4.1.4. Die Asynchronmaschine mit Ständerspannungssteuerung und konstanter Statorflußverkettung	193
4.1.5. Die Asynchronmaschine mit Ständerstromsteuerung und konstanter bzw. steuerbarer Rotorflußverkettung	194
4.1.6. Die Synchronmaschine mit konstanter Rotordurchflutung	196
4.1.7. Simulation von Stromrichter-Maschinen-Systemen	197
4.2. Ständerfrequenzsteuerung über Pulswechselrichter mit stromeinprägender Regelung	202
4.2.1. Lösungsmöglichkeiten und allgemeines Betriebsverhalten	202

4.2.2.	Dimensionierung des Systems Motor–Wechselrichter–Netz	204
4.2.3.	Drehstromstellantriebe	205
4.3.	Ständerfrequenzsteuerung über Direktumrichter	208
4.3.1.	Lösungsmöglichkeiten und allgemeines Betriebsverhalten	208
4.3.2.	Dimensionierung des Systems Stromrichter–Motor	209
4.3.3.	Netzbelastung und Netzurückwirkungen	211
4.3.4.	Stromrichtermotor mit Direktumrichter	212
4.3.5.	Selbstkommutierte Direktumrichter	213
4.4.	Ständerfrequenzsteuerung über stromeinprägende Wechselrichter	214
4.4.1.	Lösungsmöglichkeiten und allgemeines Betriebsverhalten	214
4.4.2.	Dimensionierung des Systems Stromrichter–Motor	217
4.4.3.	Netzbelastung und Netzurückwirkungen	220
4.4.4.	Der Stromrichtermotor	222
4.5.	Ständerfrequenzsteuerung über spannungseinprägende Wechselrichter	226
4.5.1.	Lösungsmöglichkeiten und allgemeines Betriebsverhalten	226
4.5.2.	Dimensionierung des Systems Stromrichter–Motor	232
4.5.3.	Netzbelastung und Netzurückwirkungen	235
4.5.4.	Havarieverhalten und Schutz	237
4.6.	Antriebe mit Ständerspannungssteuerung	239
4.6.1.	Betriebsverhalten bei symmetrischer und unsymmetrischer Spannungssteuerung	239
4.6.2.	Dimensionierung des Systems Stellglied–Motor	241
4.6.3.	Netzurückwirkungen des Antriebs	246
4.6.4.	Havarieverhalten und Schutz	247
4.7.	Antriebe mit Läuferspannungssteuerung	249
4.7.1.	Betriebsverhalten der doppeltgespeisten Asynchronmaschine	249
4.7.2.	Die untersynchrone Stromrichtererkaskade	253
4.7.3.	Oberschwingungsprobleme des Zusammenwirkens Stromrichter–Motor	256
4.7.4.	Wirk- und Blindleistungsbilanz sowie Netzurückwirkungen der untersynchronen Stromrichtererkaskade	259
4.7.5.	Havarieverhalten und Schutz	264
5.	Regelung elektrischer Antriebssysteme	265
5.1.	Stromregelung in Gleichstrom- und Drehstromantrieben	265
5.1.1.	Stromregelung netzkommutierter Stromrichter	265
5.1.2.	Regelung von Gleichstromreversierantrieben	269
5.1.3.	Stromregelung von Pulsstellern	272
5.1.4.	Ständerstromeinprägung in Drehfeldmaschinen	274
5.2.	Feldorientierte Steuerung und Regelung von Drehfeldmaschinen	277
5.2.1.	Spannungs-Frequenz-Steuerung von Drehfeldmaschinen	277
5.2.2.	Feldorientierte Steuerung des Synchronmotors	278
5.2.3.	Feldorientierte Steuerung des Asynchronmotors mit Ständerstromeinprägung	280
5.2.4.	Feldorientierte Steuerung des Asynchronmotors mit Ständerspannungseinprägung	285
5.3.	Drehzahl- und Lageregelungen	290
5.3.1.	Drehzahlregelung von Gleichstromantrieben	290
5.3.2.	Drehzahlregelung von Drehstromantrieben	293
5.3.3.	Drehzahl- und Lageregelung von Stellantrieben	295
5.3.4.	Adaptive und selbsteinstellende Regelungen	299
5.4.	Steuerung von Bewegungsabläufen	302
5.4.1.	Regelung des Bewegungsablaufs elastischer mechanischer Übertragungssysteme	303
5.4.2.	Optimale Steuerung von Bewegungsabläufen	306
5.4.3.	Gleichlaufsteuerung mehrdimensionaler Bewegungen	310
5.4.4.	Steuerung und Regelung der Zustandsgrößen kontinuierlicher technologischer Prozesse	314
5.5.	Optimierung des Reglers	317
5.5.1.	Grundstrukturen	317

5.5.2.	Optimierung kontinuierlicher Regelungen für determinierte Eingangssignale	319
5.5.3.	Optimierung kontinuierlicher Regler für stochastische Eingangssignale	325
5.5.4.	Optimierung diskontinuierlicher Regler nach dem Betragsoptimum	329
5.5.5.	Optimierung diskontinuierlicher Regler auf endliche Einstellzeit	333
5.5.6.	Reglerentwurf unter Berücksichtigung einer Stellgrößenbegrenzung	335
5.6.	Entwurf der Regeleinrichtung	337
5.6.1.	Funktionsumfang der Regeleinrichtung	337
5.6.2.	Hardwareentwurf	340
5.6.3.	Softwareentwurf	343
5.6.4.	Rechnergestützte Entwurfsverfahren	344
6.	Beschreibung, Projektierung und Realisierung der Steuereinrichtungen	348
6.1.	Steuerungstechnische Begriffe, Aufgaben und Grundstrukturen	348
6.2.	Steuerobjekte	352
6.2.1.	Typische Steuerstrecken	352
6.2.1.1.	Maschinen	352
6.2.1.2.	Anlagen	352
6.2.2.	Prozeßtypen und Steuerungsziele	352
6.2.2.1.	Kontinuierliche Prozesse	352
6.2.2.2.	Diskontinuierliche Prozesse	353
6.2.3.	Mathematische Prozeßmodellierung	354
6.2.3.1.	Modellbegriff und Modelltypen	354
6.2.3.2.	Berechnungsmodelle	354
6.2.3.3.	Steuer- und Prozeßablaufmodelle	356
6.3.	Steuereinrichtungen	371
6.3.1.	Übersicht	371
6.3.1.1.	Unterscheidung und Benennung der Steuereinrichtungen	371
6.3.1.2.	Typische funktionelle Eigenschaften	373
6.3.1.3.	Typische technische Realisierungen	374
6.3.2.	Verbindungsprogrammierte Steuereinrichtungen	380
6.3.2.1.	Besonderheiten elektromechanischer und elektronischer Systeme	381
6.3.2.2.	VPS-Gerätetechnik	381
6.3.3.	Speicherprogrammierbare Steuereinrichtungen	381
6.3.3.1.	Grundstruktur und Arbeitsprinzip	383
6.3.3.2.	Grundzüge der Programmierung	386
6.3.3.3.	SPS-Gerätetechnik	387
6.4.	Projektierung und Realisierung von Steuerungssystemen	391
6.4.1.	Übersicht über den Gesamttablauf	391
6.4.2.	Projektierung verbindungsprogrammierter Systeme	394
6.4.2.1.	Relais- und Schützsteuerungen	395
6.4.2.2.	Elektronische Steuerungen	396
6.4.3.	Projektierung speicherprogrammierbarer Steuerungen	405
6.4.3.1.	Projektierung der SPS-Hardware	405
6.4.3.2.	Programmierung und Inbetriebnahme	407
6.4.3.3.	Programmieren mittels Anweisungsliste	409
6.4.3.4.	Programmieren mittels grafischer Eingabefachsprachen	414
6.4.4.	Besonderheiten der Projektierung von NC- und CNC-Systemen	422
6.4.5.	Besonderheiten der Projektierung von Prozeßrechnersystemen	424
6.5.	Beispiele für Steuerungssysteme in der Antriebstechnik	425
6.5.1.	Einzelantriebssteuerungen	427
6.5.2.	Maschinensteuerungen	428
6.5.2.1.	Besonderheiten	428
6.5.2.2.	Steuerungen für handgeführte Maschinen	428
6.5.2.3.	Binäre Programmsteuerungen	430
6.5.2.4.	Numerische Steuerungen	431
6.5.2.5.	Industrierobotersteuerungen	441
6.5.2.6.	Rechnerautomatisierte Maschinensysteme	446

6.5.3. Anlagensteuerungen	448
6.5.3.1. Besonderheiten	448
6.5.3.2. Rechnerautomatisierte Anlagen	450
7. Gewährleistung von Zuverlässigkeit, Sicherheit und Umgebungsverträglichkeit	456
7.1. Maßnahmen zur Gewährleistung hoher Verfügbarkeitswerte	456
7.1.1. Zuverlässigkeitskenngrößen	456
7.1.2. Maßnahmen zur Erhöhung des Ausfallabstands	457
7.1.3. Maßnahmen zur Verkürzung der Ausfalldauer	459
7.2. Maßnahmen zur Gewährleistung höchstmöglicher Sicherheit	465
7.2.1. Sicherheitskenngrößen	465
7.2.2. Maßnahmen zur Hebung des Sicherheitsniveaus	468
7.3. Maßnahmen zur Gewährleistung der Umgebungsverträglichkeit	471
7.3.1. Verträglichkeitskennzeichnung	471
7.3.2. Schutz gegen klimatische und mechanische Einsatzbeanspruchungen	472
7.3.3. Sicherung der elektromagnetischen Verträglichkeit	472
7.3.4. Schutz der Umgebung vor mechanischen Schwingungen und Lärm	480
7.3.5. Gesundheits- und Arbeitsschutz, Brandschutz	482
Literaturverzeichnis	483
Sachwörterverzeichnis	518