
Inhaltsverzeichnis

1 Elektrische Antriebe im Überblick	12
1.1 Historischer Abriss der Antriebstechnik	12
1.2 Aufbau moderner elektrischer Antriebe	16
1.3 Systematik elektrischer Antriebe	18
1.3.1 Drehzahlverstellbarkeit	19
1.3.2 Motortyp und Art des Stellgeräts	21
1.3.3 Technische Daten	23
2 Mechanische Grundlagen	26
3 Elektrotechnische Grundlagen	28
3.1 Felder in der Elektrotechnik	28
3.2 Entstehung des Drehmoments	30
3.2.1 Lorentzkraft	30
3.2.2 Leiterschleife im Magnetfeld	32
3.2.3 Spannungsinduktion	33
3.2.4 Größen und Gleichungen der Elektrotechnik	33
3.2.5 Bauelemente der Elektrotechnik	34
4 Konstantrantriebe und drehzahlveränderliche Antriebe mit Gleichstrommotor	36
4.1 Gleichstromantriebe	36
4.2 Der Gleichstrommotor	37
4.2.1 Funktionsprinzip	37
4.2.2 Konstruktiver Aufbau und elektrische Anschlüsse	42
4.2.3 Wartung des Gleichstrommotors	44
4.2.4 Mathematische Beschreibung	45
4.2.5 Regelbarkeit	46
4.3 Konstantrantriebe mit Gleichstrommotor	48
4.3.1 Aufbau und Anwendungsbereich	48
4.3.2 Nebenschlussverhalten	48
4.3.3 Reihenschlussverhalten	51
4.4 Drehzahlveränderliche Antriebe mit Gleichstrommotor	52
4.4.1 Aufbau und Anwendungsbereich	52
4.4.2 Stromrichter	53
4.4.3 Drehzahlgeber für Gleichstromantriebe	60
4.4.4 Regelungsstruktur	62

5 Konstantantriebe und drehzahlveränderliche Antriebe mit Asynchronmotor	65
5.1 Antriebe mit Asynchronmotor	65
5.2 Der Asynchronmotor	66
5.2.1 Funktionsprinzip	66
5.2.2 Konstruktiver Aufbau und elektrische Anschlüsse	69
5.2.3 Mathematische Beschreibung	72
5.2.4 Regelbarkeit	77
5.3 Konstantantriebe mit Asynchronmotor	79
5.3.1 Aufbau und Anwendungsbereich	79
5.3.2 Anlauf des Asynchronmotors	81
5.3.3 Bremsen des Asynchronmotors	86
5.4 Drehzahlveränderliche Antriebe mit Asynchronmotor	87
5.4.1 Aufbau und Anwendungsbereich	87
5.4.2 Drehzahländerung mit Schützen	88
5.4.3 Drehzahländerung mit Frequenzumrichtern	91
5.4.4 Betrieb mit U/f-Steuerung	98
5.4.5 Betrieb mit Vektorregelung	101
5.4.6 Drehzahlgeber	105
5.5 Funktionen moderner Frequenzumrichter	109
5.5.1 Allgemeines	109
5.5.2 Leistungsoptionen	109
5.5.3 Elektronikoptionen	111
5.5.4 Prozessschnittstelle	113
5.5.5 Anwenderschnittstelle	115
5.5.6 Regelungs- und Steuerungsfunktionen	116
 6 Servoantriebe	126
6.1 Aufbau und Anwendungsbereich	126
6.2 Systematik der Servoantriebe	128
6.2.1 Regelfunktionen	128
6.2.2 Motortyp, Art des Stellgeräts	129
6.2.3 Technische Daten	131
6.3 Drehzahl- und Lagegeber für Servoantriebe	132
6.3.1 Systematik und Kenndaten	132
6.3.2 Kommutierungsgeber	136
6.3.3 Resolver	137
6.3.4 Sin-Cos-Geber	140
6.3.5 Absolutwertgeber	142
6.4 Servoantriebe mit Gleichstrommotor	144
6.4.1 Aufbau und Anwendungsbereich	144
6.4.2 Gleichstrommotoren für Servoantriebe	144
6.4.3 Pulssteller für Servoantriebe mit Gleichstrommotor	145
6.4.4 Regelungsstruktur	148
6.5 Servoantriebe mit bürstenlosem Gleichstrommotor (Blockkommutierung)	149
6.5.1 Aufbau und Anwendungsbereich	149
6.5.2 Der bürstenlose Gleichstrommotor	150

6.5.3 Frequenzumrichter für Servoantriebe mit bürstenlosem Gleichstrommotor	153
6.5.4 Regelungsstruktur	155
6.6 Servoantriebe mit Synchronmotor (Sinuskommutierung)	156
6.6.1 Aufbau und Anwendungsbereich	156
6.6.2 Der Synchronmotor	157
6.6.3 Frequenzumrichter für Servoantriebe mit Synchronmotor	159
6.6.4 Regelungsstruktur	159
6.7 Servoantriebe mit Asynchronmotor	161
6.8 Direktantriebe	162
6.8.1 Aufbau und Anwendungsbereich	162
6.8.2 Linearmotor	164
6.8.3 Torquemotor	166
6.9 Regelung und Optimierung von Servoantrieben	167
6.9.1 Allgemeine Gütekriterien zur Beurteilung von Regelkreisen	167
6.9.2 Regelkreise bei Servoantrieben	172
6.9.3 Optimierung des Stromregelkreises	173
6.9.4 Optimierung des Drehzahlregelkreises	176
6.9.5 Optimierung des Lageregelkreises	180
6.10 Funktionen moderner Servosteller	182
6.10.1 Allgemeines	182
6.10.2 Leistungsoptionen	182
6.10.3 Elektronikoptionen	183
6.10.4 Prozessschnittstelle	183
6.10.5 Anwenderschnittstelle	183
6.10.6 Regelungs- und Steuerungsfunktionen	184
 7 Schrittantriebe	 187
7.1 Aufbau und Anwendungsbereich	187
7.2 Systematik der Schrittantriebe nach Motortyp	188
7.3 Technische Daten	189
7.4 Der Schrittmotor	190
7.4.1 Allgemeines	190
7.4.2 Permanentmagnetschrittmotor	191
7.4.3 Hybridschrittmotor	192
7.5 Ansteuergeräte	194
7.6 Regelverhalten	197
 8 Elektrische Antriebssysteme im Überblick	 200
8.1 Vom Antrieb zum Antriebssystem	200
8.2 Systematik elektrischer Antriebssysteme	202
8.2.1 Komponenten in Antriebssystemen	202
8.2.2 Funktionalität von Antriebssystemen	204
8.2.3 Informationsfluss in Antriebssystemen	207
8.2.4 Energiefluss zwischen Antrieben	209
8.2.5 Elektromagnetische Beeinflussungen	209
8.3 Auslegung von elektrischen Antrieben als Systemaufgabe	210

9 Feldbusse für elektrische Antriebe	211
9.1 Veranlassung und Funktionsprinzip	211
9.2 Übersicht gebräuchlicher Feldbusse	216
9.3 AS-Interface	216
9.3.1 Übersicht	216
9.3.2 Topologie, Verkabelung, Physik	217
9.3.3 Zugriffsverfahren	220
9.4 CAN	221
9.4.1 Übersicht	221
9.4.2 Topologie, Verkabelung, Physik	222
9.4.3 Zugriffsverfahren	224
9.4.4 Projektierung	225
9.5 PROFIBUS DP	226
9.5.1 Übersicht	226
9.5.2 Topologie, Verkabelung, Physik	227
9.5.3 Zugriffsverfahren	229
9.5.4 PROFIBUS DP-V2	231
9.5.5 Projektierung	233
9.6 PROFINET I/O	236
9.6.1 Übersicht	236
9.6.2 Topologie, Verkabelung, Physik	238
9.6.3 Zugriffsverfahren	240
9.6.4 Gerätebeschreibungen zur Projektierung	245
10 Prozessregelung mit elektrischen Antrieben	246
10.1 Begriffsdefinition	246
10.2 Prozessregelung mit Einzelantriebssystemen	246
10.2.1 Komponenten	246
10.2.2 Beispiel: Füllstandsregelung mit Konstantantrieb	248
10.2.3 Beispiel: Druckregelung	249
10.2.4 Beispiel: Aufzugantrieb	251
10.3 Prozessregelung mit Mehrantriebssystemen	253
10.3.1 Komponenten	253
10.3.2 Beispiel: Fahrwerksantrieb mit mechanisch gekoppelten Antrieben	256
10.3.3 Beispiel: Beschichtungsanlage mit Zug- und Wickelantrieben	260
10.4 Antriebe mit integrierten Technologiefunktionen	270
11 Motion Control mit elektrischen Antrieben	273
11.1 Begriffsdefinition und Funktionen	273
11.2 Darstellung und Verarbeitung von Lageinformationen	276
11.3 Positionieren	279
11.3.1 Anwendungen und Grundlagen	279
11.3.2 Positioniersteuerung	280
11.3.3 Maschinendaten	285
11.3.4 Lage erfassung, Lageaufbereitung und Referenzieren	286

11.4 Gleichlauf (Synchronisieren)	290
11.4.1 Anwendungen und Grundlagen	290
11.4.2 Gleichlaufsteuerung	291
11.4.3 Maschinendaten	304
11.5 Motion Control mit PLControl	304
11.6 Sicherheitsfunktionen in elektrischen Antrieben	307
11.6.1 Anwendungen und Grundlagen	307
11.6.2 Sichere Stopfunktionen	310
11.6.3 Sichere Bewegungsfunktionen	312
11.6.4 Sichere Feldbusse	314
 12 EMV in der elektrischen Antriebstechnik	315
12.1 Grundlagen	315
12.1.1 Veranlassung und Begriffsdefinition	315
12.1.2 EMV-Beeinflussungsmodell	316
12.1.3 Koppelmechanismen	317
12.1.4 Mathematische Beschreibung	323
12.2 Elektrische Antriebe als Störquelle	327
12.2.1 Galvanische Störungen bei Gleichstromantrieben mit Stromrichter, Gegenmaßnahmen	327
12.2.2 Galvanische Störungen bei Stellgeräten mit Gleichspannungszwischenkreis, Gegenmaßnahmen	329
12.2.3 Galvanische Störungen durch Wechselrichter, Gegenmaßnahmen	332
12.2.4 Feldgebundene Störungen durch den Wechselrichter	338
12.2.5 Feldgebundene Störungen durch digitale Antriebe, Gegenmaßnahmen	340
12.3 Elektrische Antriebe als Störsenke	341
12.3.1 Allgemeines	341
12.3.2 Galvanische Störungen, Gegenmaßnahmen	342
12.3.3 Kapazitive Störungen, Gegenmaßnahmen	343
12.3.4 Induktive Störungen, Gegenmaßnahmen	344
12.4 EMV-Regeln	346
 13 Auslegung elektrischer Antriebe	348
13.1 Vorgehensweise	348
13.2 Auswahl der Antriebsart	349
13.3 Motorauslegung	352
13.3.1 Vorgehensweise	352
13.3.2 Berücksichtigung des Getriebes	352
13.3.3 Auslegung des Motors nach mechanischen Kenngrößen	359
13.3.4 Thermische Auslegung des Motors	365
13.3.5 Konstruktive Auslegung des Motors	371
13.3.6 Auswahl des Gebers	375
13.4 Auslegung des Stellgeräts bei drehzahlveränderlichen Antrieben und Servoantrieben	378

13.4.1 Elektrische Auslegung des Stellgeräts	378
13.4.2 Thermische Auslegung des Stellgeräts	378
13.4.3 Thermische Auslegung der Netzeinspeisung	384
13.4.4 Auslegung der Netzeinspeisung bezüglich der Zwischenkreiskapazität	388
13.4.5 Auslegung des Bremschoppers und des Bremswiderstandes	389
13.4.6 Auswahl der Leistungsoptionen	392
13.4.7 Elektronikoptionen, Zubehör, Verbindungstechnik	392
13.5 Auslegungsbeispiel	393
13.5.1 Anwendungsdaten	393
13.5.2 Auslegung	394
14 Fehlerbehebung bei elektrischen Antrieben	398
14.1 Fehlervermeidung und Fehlerbehebung	398
14.2 Fehlermöglichkeiten bei elektrischen Antrieben	399
14.2.1 Motorfehler	400
14.2.2 Geberfehler	401
14.2.3 Fehler im Stellgerät	402
14.2.4 Netzfehler	403
14.2.5 Kommunikationsfehler	404
14.2.6 EMV-Probleme	405
14.2.7 Projektierungsfehler	406
14.2.8 Parametrierfehler	407
14.3 Fehlermeldungen elektrischer Antriebe	408
Sachwortverzeichnis	410