

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 Konstantantriebe 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 Konstantantriebe 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 Lageerfassung, 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 PLCopen | 304 |
| 11.6 Sicherheitsfunktionen in elektrischen Antrieben | 307 |
| 11.6.1 Anwendungen und Grundlagen | 307 |
| 11.6.2 Funktion „Sichere Impulssperre“ | 310 |
| 11.6.3 Sichere Bewegungsfunktionen | 311 |
| 11.6.4 Sichere Feldbusse | 313 |
| 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 Gleichspannungs- zwischenkreis, 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 |