

# Inhaltsverzeichnis

<b>1 Aufgaben, Funktionsgruppen und Kenngrößen elektrischer Antriebssysteme</b> .....	1
1.1 Aufgaben eines elektrischen Antriebssystems.....	2
1.2 Struktur und Funktionsgruppen eines elektrischen Antriebssystems.....	4
1.3 Kenngrößen von Bewegungsvorgängen.....	8
1.4 Bewegungsgleichung, Drehzahlhochlauf und Arbeitspunkt .....	12
<b>2 Mechanische Baugruppen eines Antriebssystems</b> .....	23
2.1 Arbeitsmaschinen.....	23
2.2 Das mechanische Übertragungssystem .....	29
2.2.1 Drehmomentübertragung in elastisch verkoppelten Mehr-Massen-Systemen.....	29
2.2.2 Mechanische Übertragungssysteme mit Ketten, Riemern, Seilen und Bändern .....	35
2.2.3 Seiltriebe bei Hubwerksanrieben und Kranen .....	36
2.2.4 Vorschubantriebe mit Gewindespindeln .....	40
<b>3 Elektrische Antriebsmaschinen</b> .....	45
3.1 Übersicht .....	46
3.2 Gleichstrom-Nebenschlussmaschinen .....	47
3.2.1 Aufbau und Wirkungsweise.....	47
3.2.2 Grundgleichungen und Ersatzschaltbild .....	48
3.2.3 Drehzahl-Drehmomenten-Kennlinienfeld und Drehzahlstellmethoden.....	50
3.2.4 Dynamisches Verhalten und Signalflussplan .....	52
3.2.5 Spezielle Ausführungsformen der Gleichstrom-Nebenschlussmaschine.....	55

3.3	Asynchronmaschinen . . . . .	58
3.3.1	Aufbau und Wirkungsweise einer Asynchronmaschine mit Schleifringläufer . . . . .	59
3.3.2	Grundgleichungen, Zeigerdiagramm und Ersatzschaltbild . . . . .	60
3.3.3	Drehzahl-Drehmomenten-Kennlinienfeld und Drehzahlstellmethoden . . . . .	65
3.3.4	Dynamisches Verhalten und Signalflussplan . . . . .	71
3.3.5	Asynchronmaschine mit Kurzschlussläufer . . . . .	78
3.4	Synchronmaschinen . . . . .	83
3.4.1	Aufbau und Wirkungsweise . . . . .	83
3.4.2	Grundgleichungen und Zeigerdiagramm . . . . .	85
3.4.3	Drehmomenten-Kennlinie und Drehzahlstellmethoden . . . . .	86
3.4.4	Dynamisches Verhalten und Signalflussplan . . . . .	88
3.4.5	Sonderbauformen von Synchronmaschinen . . . . .	93
3.5	Auswahl, Dimensionierung und Schutz elektrischer Maschinen . . . . .	98
3.5.1	Einflussgrößen auf die Motorauswahl . . . . .	98
3.5.2	Verlustleistung im Motor . . . . .	100
3.5.3	Thermische Vorgänge in elektrischen Maschinen . . . . .	104
3.5.4	Bestimmung der Typenleistung und Betriebsarten elektrischer Maschinen . . . . .	109
3.5.5	Motorschutz . . . . .	118
<b>4</b>	<b>Binär gesteuerte elektrische Antriebssysteme . . . . .</b>	<b>121</b>
4.1	Aufgaben, Strukturen und Realisierungsarten von binären Antriebssteuerungen . . . . .	121
4.1.1	Aufgaben einer binären Antriebssteuerung . . . . .	121
4.1.2	Grundbegriffe und Struktur binärer Steuerungen für elektrische Antriebe . . . . .	123
4.1.3	Realisierungsarten binärer Antriebssteuerungen . . . . .	126
4.1.4	Programmierung von speicherprogrammierten Steuerungen . . . . .	127
4.1.5	Arten binärer Antriebssteuerung . . . . .	132
4.2	Steuerung von Asynchronmaschinen mit Kurzschlussläufer . . . . .	133
4.2.1	Ein- und Ausschaltung mit Drehrichtungswechsel . . . . .	133
4.2.2	Sanftanlauf von Asynchronmaschinen mit Kurzschlussläufer . . . . .	139
4.2.3	Bremsung von Asynchronmaschinen mit Kurzschlussläufer . . . . .	146
4.3	Steuerung von Asynchronmaschinen mit Schleifringläufer . . . . .	152
4.3.1	Sanftanlauf von Asynchronmaschinen mit Schleifringläufer über Läuferzusatzwiderstände . . . . .	153
4.3.2	Bremsung von Asynchronmaschinen mit Schleifringläufer . . . . .	158
4.3.3	Gleichlaufschaltungen von Asynchronmaschinen mit Schleifringläufer . . . . .	161

---

<b>5 Leistungselektronische Stellglieder für elektrische Antriebe . . . . .</b>	171
5.1 Übersicht und Funktionsarten von Stromrichterstellgliedern . . . . .	171
5.2 Leistungselektronische Bauelemente. . . . .	174
5.2.1 Grundtypen leistungselektronischer Bauelemente. . . . .	174
5.2.2 Leistungsdioden . . . . .	175
5.2.3 Thyristoren . . . . .	179
5.2.4 Leistungstransistoren . . . . .	184
5.2.5 Thermisches Verhalten von leistungselektronischen Bauelementen. . . . .	189
5.2.6 Schutz von Halbleiterventilen . . . . .	191
5.3 Leistungselektronische Stellglieder für Gleichstromantriebe . . . . .	195
5.3.1 Netzgeführte Stromrichter . . . . .	195
5.3.2 Gleichstromsteller . . . . .	219
5.4 Leistungselektronische Stellglieder für Drehstromantriebe. . . . .	233
5.4.1 Drehstromsteller. . . . .	234
5.4.2 Direktumrichter . . . . .	236
5.4.3 Indirekte Umrüchter . . . . .	243
<b>6 Messwertgeber und Regelverfahren für elektrische Antriebssysteme . . . . .</b>	269
6.1 Aufgaben und Funktionsgruppen geregelter elektrischer Antriebssysteme. . . . .	269
6.2 Messwertgeber für geregelte elektrische Antriebssysteme . . . . .	273
6.2.1 Allgemeine Anforderungen . . . . .	273
6.2.2 Strommessung . . . . .	274
6.2.3 Drehzahlmessung. . . . .	277
6.2.4 Weg- bzw. Drehwinkelmessung. . . . .	282
6.3 Optimierung einschleifiger Regelkreise der Elektroantriebstechnik . . . . .	285
6.3.1 Beschreibungsmodelle und Kennwerte für das dynamische Verhalten elektrischer Antriebssysteme . . . . .	285
6.3.2 Einschleifige kontinuierliche Antriebsregelungen . . . . .	297
6.3.3 Einschleifige diskontinuierliche Antriebsregelungen. . . . .	314
6.4 Optimierung mehrschleifiger Regelkreise der Elektroantriebstechnik . . . . .	323
6.4.1 Kaskadenregelung . . . . .	323
6.4.2 Zustandsregelung . . . . .	325
<b>7 Ausgewählte Regelstrukturen elektrischer Antriebssysteme . . . . .</b>	333
7.1 Drehzahlgeregelte Gleichstromantriebe. . . . .	333
7.1.1 Stationäres und dynamisches Verhalten stromrichtertergespeister Gleichstromantriebe. . . . .	333
7.1.2 Kontinuierliche Drehzahl- und Ankerstromregelung im Ankerspannungsstellbereich . . . . .	336

7.1.3	Digitale Drehzahl- und Ankerstromregelung im Ankerspannungsstellbereich . . . . .	339
7.1.4	Drehzahlregelung im Ankerspannungs- und im Feldstellbereich . . . . .	343
7.1.5	Drehzahl- und Ankerstromregelung von Gleichstrom-Umkehrantrieben . . . . .	345
7.1.6	Drehzahl- und Ankerstromregelung von Gleichstrom-Antrieben mit Pulsstellern. . . . .	347
7.2	Drehzahlgeregelte Drehstromantriebe mit Umrichterstellschaltern . . . . .	352
7.2.1	Stationäres und dynamisches Verhalten umrichtergespeister Drehstromantriebe . . . . .	352
7.2.2	Strangstromregelung in Umrichterantrieben . . . . .	354
7.2.3	Drehmomenten-, Drehzahl- und Feldregelung in Umrichter-Antrieben . . . . .	364
<b>8</b>	<b>Intelligente Bewegungssteuerung mit elektrischen Antriebssystemen</b> . . . . .	383
8.1	Drehzahlregelung elastischer Antriebsstränge. . . . .	384
8.1.1	Übertragungsverhalten bei einem PI-Drehzahlregler. . . . .	384
8.1.2	Schwingungsdämpfung mit einem Differenz-Drehzahlregler . . . . .	386
8.1.3	Zustandsregelung einer elastischen Antriebsstrangs . . . . .	388
8.1.4	Anwendungsbeispiel: Drehzahlregelung der Arbeitswalzen einer Umkehrwalzmaschine in Twin-Drive-Ausführung. . . . .	397
8.2	Wegregelung von Stell- und Positionierantrieben . . . . .	400
8.2.1	Lineare Wegregelung von Stell- und Vorschubantrieben. . . . .	402
8.2.2	Lineare Wegregelung mit Sollwertvorsteuerung und Störgrößenkompensation . . . . .	406
8.3	Dynamisch optimale Bewegungssteuerungen . . . . .	410
8.3.1	Anforderungen an dynamisch optimale Bewegungsvorgänge. . . . .	410
8.3.2	Zeitoptimale Bewegungssteuerung . . . . .	416
8.3.3	Energieoptimale Bewegungssteuerung . . . . .	420
8.3.4	Zeit- und energieoptimale Bewegungssteuerung . . . . .	423
8.3.5	Regeleinrichtung für dynamisch optimale Bewegungsvorgänge . . . . .	429
8.3.6	Anwendungsbeispiel: zeitoptimale Positioniersteuerung für eine Werkzeugmaschine . . . . .	437
8.3.7	Anwendungsbeispiel: Rendezvoussteuerung einer rotierenden Schere in einem Feinstahlwalzwerk . . . . .	443
8.4	Gleichlauf-, Lastausgleichs- und Zugkraftregelung in Mehrmotorenantrieben. . . . .	448
8.4.1	Einsatzgebiet und Aufgabenstellung von Gleichlauf-Steuerungen . . . . .	448

8.4.2 Gleichlaufregelungen des Drehmoments . . . . .	451
8.4.3 Gleichlauf- und Zugkraftregelung von Anlagen mit durchlaufenden Bahnen . . . . .	457
8.4.4 Gleichlaufregelung bei weg- bzw. winkelgesteuerten Antriebssystemen . . . . .	475
<b>Literatur . . . . .</b>	<b>483</b>
<b>Stichwortverzeichnis . . . . .</b>	<b>487</b>