

# Inhaltsverzeichnis

<b>1 Grundlagen der Elektrotechnik .....</b>	<b>1</b>
1.1 Gleichstrom .....	1
1.1.1 Elektrische Größen und Grundgesetze .....	1
1.1.1.1 Physikalische Grundlagen .....	1
1.1.1.2 Stromkreis, Wirkungen des elektrischen Stroms .....	7
1.1.1.3 Elektrischer Widerstand .....	8
1.1.1.4 Kirchhoffsche Regeln .....	13
1.1.2 Gleichstromkreise .....	17
1.1.2.1 Widerstandsschaltungen .....	17
1.1.2.2 Elektrische Spannungsquellen .....	21
1.1.2.3 Berechnung von Gleichstrom-Netzwerken .....	25
1.1.2.4 Messungen im elektrischen Stromkreis .....	29
1.2 Elektrisches Feld und magnetisches Feld .....	34
1.2.1 Elektrisches Feld .....	34
1.2.1.1 Größen des elektrischen Feldes, Kondensator .....	34
1.2.1.2 Influenz und Polarisierung .....	36
1.2.1.3 Schaltung von Kondensatoren .....	37
1.2.1.4 Ladung von Kondensatoren, Energie des elektrischen Feldes ..	38
1.2.2 Magnetisches Feld .....	42
1.2.2.1 Wirkungen im magnetischen Feld .....	42
1.2.2.2 Magnetische Feldstärke .....	43
1.2.2.3 Magnetische Flussdichte (Induktion) .....	45
1.2.2.4 Magnetischer Fluss, Durchflutungsgesetz .....	47
1.2.2.5 Magnetische Hysterese, Energie des Magnetfeldes .....	49
1.2.3 Kräfte und Spannungserzeugung im magnetischen Feld .....	52
1.2.3.1 Kräfte im Magnetfeld .....	52
1.2.3.2 Lenzsche Regel, Induktionsgesetz .....	55
1.2.3.3 Spannungserzeugung durch Selbstinduktion, Induktivität .....	56
1.2.3.4 Transformatorische und rotatorische Spannungserzeugung .....	58
1.2.3.5 Wirbelströme .....	61
1.3 Wechselstrom und Drehstrom .....	63
1.3.1 Wechselgrößen und Grundgesetze .....	63
1.3.1.1 Sinusförmige Wechselgrößen (Sinusgrößen) .....	63
1.3.1.2 Belastungsarten im Wechselstromkreis .....	65
1.3.1.3 Darstellung von Wechselgrößen im Zeigerbild .....	69
1.3.1.4 Leistung, Leistungsfaktor, Arbeit .....	70
1.3.2 Wechselstromkreise .....	73
1.3.2.1 Kirchhoffsche Regeln bei Wechselstrom .....	73
1.3.2.2 Wechselstromschaltungen mit R, L und C .....	75
1.3.2.3 Schwingkreise .....	79
1.3.2.4 Komplexe Berechnung von Wechselstromschaltungen .....	83
1.3.2.5 Messungen bei Wechselstrom .....	87
1.3.3 Drehstrom .....	91
1.3.3.1 Drehstromsysteme .....	91

1.3.3.2	Elektrische Größen bei Stern- und Dreieckschaltung .....	94
1.3.3.3	Messungen im Drehstromnetz .....	98
<b>2</b>	<b>Elektronik .....</b>	<b>105</b>
2.1	Grundlagen und Bauelemente der Elektronik .....	105
2.1.1	Allgemeine elektrische Bauelemente .....	105
2.1.1.1	Widerstände .....	105
2.1.1.2	Spulen .....	107
2.1.1.3	Kondensatoren .....	108
2.1.2	Grundbegriffe der Halbleitertechnik .....	109
2.1.2.1	Trägerbewegung in Halbleitern .....	110
2.1.2.2	Störstellenleitfähigkeit .....	110
2.1.2.3	PN-Übergang .....	111
2.1.2.4	Eigenschaften des PN-Übergangs .....	112
2.1.3	Halbleiterbauelemente ohne Sperrschicht .....	113
2.1.3.1	Thermistoren .....	113
2.1.3.2	Varistoren .....	114
2.1.3.3	Fotowiderstände .....	116
2.1.3.4	Magnetfeldabhängige Bauelemente .....	116
2.1.3.5	Flüssigkristallzellen .....	118
2.1.4	Halbleiterbauelemente mit Sperrschichten .....	118
2.1.4.1	Dioden .....	118
2.1.4.2	Bipolare Transistoren .....	122
2.1.4.3	Feldeffekttransistoren .....	126
2.1.4.4	Optoelektronische Bauelemente .....	128
2.1.4.5	Thyristoren .....	129
2.1.5	Elektronen- und Gasentladungsröhren .....	133
2.1.5.1	Elektronenröhren .....	133
2.1.5.2	Gasentladungsröhren .....	135
2.1.6	Kühlung und Schutzmaßnahmen bei Halbleiterbauelementen .....	137
2.1.6.1	Verluste und Erwärmung .....	137
2.1.6.2	Kühlkörper .....	138
2.1.6.3	Schutzmaßnahmen für Halbleiter .....	140
2.2	Baugruppen der Elektronik .....	141
2.2.1	Gleichrichterschaltungen .....	141
2.2.1.1	Wechselstromschaltungen .....	141
2.2.1.2	Drehstromschaltungen .....	143
2.2.1.3	Glättungs- und Siebglieder .....	143
2.2.1.4	Netzteile .....	147
2.2.2	Verstärker .....	150
2.2.2.1	Transistorgrundschaltungen .....	150
2.2.2.2	Emitterschaltung .....	150
2.2.2.3	Differenzverstärker .....	154
2.2.2.4	Steuerschaltungen mit Transistoren .....	154
2.2.3	Generator- und Kippschaltungen .....	156
2.2.3.1	Schalterbetrieb des Transistors .....	156
2.2.3.2	Kippschaltungen .....	157
2.2.3.3	Sinusgeneratoren .....	160

2.2.4	Integrierte Schaltungen .....	161
2.2.4.1	Aufbau elektronischer Schaltungen .....	161
2.2.4.2	Operationsverstärker .....	164
2.2.4.3	Beschaltung von Operationsverstärkern .....	165
2.2.4.4	Einsatz einer integrierten Schaltung .....	169
<b>3</b>	<b>Elektrische Messtechnik .....</b>	<b>171</b>
3.1	Grundlagen der elektrischen Messtechnik .....	171
3.1.1	Allgemeine Angaben .....	171
3.1.1.1	Messwerterfassung .....	171
3.1.1.2	Betriebsdaten von Messgeräten .....	171
3.1.1.3	Auswahl eines Messgerätes .....	173
3.1.2	Einsatz elektrischer Messgeräte .....	175
3.1.2.1	Strom- und spannungsrichtige Messung .....	175
3.1.2.2	Innenwiderstände von Messgeräten .....	175
3.1.2.3	Messbereichserweiterung .....	176
3.2	Elektrische Messgeräte .....	179
3.2.1	Elektromechanische Messwerke .....	179
3.2.1.1	Drehseismesswerke .....	179
3.2.1.2	Drehpulsmesswerke .....	179
3.2.1.3	Elektrodynamische Messwerke .....	182
3.2.1.4	Induktions-(Ferraris-)Messwerk .....	182
3.2.2	Messwandler .....	183
3.2.2.1	Zangenstrommesser .....	183
3.2.2.2	Strom- und Spannungswandler .....	184
3.2.3	Elektronische Messgeräte .....	185
3.2.3.1	Digitalmultimeter .....	185
3.2.3.2	Oszilloskope .....	186
3.3	Digital-Messtechnik .....	188
3.3.1	Baugruppen digitaler Messgeräte .....	188
3.3.1.1	Analog/Digital-Umsetzer .....	188
3.3.1.2	Codierung .....	190
3.3.1.3	Speicher und Zähschaltungen .....	190
3.3.2	Digitale Messgeräte .....	192
3.3.2.1	Zähler .....	192
3.3.2.2	Multimeter .....	193
3.3.2.3	Transientenspeicher .....	193
3.4	Elektrische Messung nichtelektrischer Größen .....	195
3.4.1	Messwertgeber für mechanische Beanspruchungen .....	195
3.4.1.1	Verfahren der Drehzahlmessung .....	195
3.4.1.2	Verfahren der Drehmomentbestimmung .....	197
3.4.1.3	Bestimmung von Kraft, Druck und Schwingungen .....	199
3.4.2	Messwertaufnehmer für nichtmechanische Größen .....	201
3.4.2.1	Bestimmung der Beleuchtungsstärke .....	201
3.4.2.2	Bestimmung von Temperaturen .....	201
3.4.2.3	Zeitmessung .....	202
3.4.2.4	Bestimmung von Geräuschen .....	203

<b>4 Elektrische Maschinen und Leistungselektronik</b>	<b>205</b>
4.1 Gleichstrommaschinen	205
4.1.1 Aufbau und Wirkungsweise	205
4.1.1.1 Aufbau	205
4.1.1.2 Motor- und Generatorbetrieb	209
4.1.1.3 Leistungsbilanz	210
4.1.1.4 Anschlussbezeichnungen und Schaltungen	211
4.1.2 Betriebsverhalten und Drehzahlsteuerung	212
4.1.2.1 Leerlauf und Selbsterregung	212
4.1.2.2 Gleichstrommotoren mit Fremderregung	213
4.1.2.3 Verfahren der Drehzahlsteuerung	216
4.1.2.4 Gleichstrom-Reihenschlussmotoren	220
4.2 Transformatoren	224
4.2.1 Wechselstromtransformatoren	224
4.2.1.1 Aufbau	224
4.2.1.2 Kenngrößen und Ersatzschaltbild	224
4.2.1.3 Betriebsverhalten	227
4.2.1.4 Sondertransformatoren	231
4.2.2 Drehstromtransformatoren	233
4.2.2.1 Bauart und Schaltung	233
4.2.2.2 Kenngrößen und Betriebsverhalten	236
4.3 Drehstrom-Asynchronmaschinen	239
4.3.1 Aufbau und Wirkungsweise	239
4.3.1.1 Ständer und Drehstromwicklung	239
4.3.1.2 Läufer	241
4.3.1.3 Asynchrones Drehmoment	243
4.3.1.4 Linearmotoren	244
4.3.2 Betriebsverhalten und Drehzahlsteuerung	245
4.3.2.1 Kennlinien und Kenngrößen	245
4.3.2.2 Anlassen	251
4.3.2.3 Drehzahlsteuerung	255
4.4 Drehstrom-Synchronmaschinen	260
4.4.1 Aufbau und Wirkungsweise	260
4.4.1.1 Ständer und Läufer	260
4.4.1.2 Kennlinien und Ersatzschaltung	262
4.4.2 Betriebsverhalten im Netzbetrieb	264
4.4.2.1 Synchronisation	264
4.4.2.2 Wirk- und Blindlaststeuerung	265
4.4.2.3 Drehzahlsteuerung	266
4.4.2.4 Positionierantriebe	267
4.5 Wechselstrommotoren	268
4.5.1 Universalmotoren	268
4.5.1.1 Schaltung und Einsatz	268
4.5.1.2 Betriebsverhalten	269
4.5.2 Wechselstrommotoren mit Hilfswicklung	269
4.5.2.1 Spaltpolmotoren	270
4.5.2.2 Kondensatormotoren	270
4.5.3 Schrittmotoren	272

4.5.3.1	Aufbau und Wirkungsweise .....	272
4.5.3.2	Betriebsdaten .....	273
4.6	Leistungselektronik .....	274
4.6.1	Stromrichterschaltungen für Gleichstromantriebe .....	275
4.6.1.1	Netzgeführte Stromrichter .....	275
4.6.1.2	Gleichstromsteller .....	279
4.6.2	Stromrichterschaltungen für Wechsel- und Drehstromantriebe .....	282
4.6.2.1	Wechsel- und Drehstromsteller .....	282
4.6.2.2	Untersynchrone Stromrichtererkaskade .....	284
4.6.2.3	Frequenzumrichter .....	285
4.6.3	Netzurückwirkungen von Stromrichteranlagen .....	286
4.6.3.1	Steuerblindleistung .....	286
4.6.3.2	Oberschwingungen .....	287
4.6.3.3	Störspannungen und EMV .....	289
<b>5</b>	<b>Elektrische Antriebe und Steuerungen .....</b>	<b>293</b>
5.1	Standardisierung und Normvorschriften .....	293
5.1.1	Äußere Gestaltung .....	293
5.1.1.1	Baugrößen .....	293
5.1.1.2	Bauformen .....	294
5.1.1.3	Schutzarten .....	294
5.1.2	Betriebsbedingungen .....	295
5.1.2.1	Betriebsarten .....	295
5.1.2.2	Leistungsschild .....	296
5.1.2.3	Prüfung elektrischer Maschinen .....	297
5.2	Planung und Berechnung von Antrieben .....	298
5.2.1	Stationärer Betrieb .....	298
5.2.1.1	Momentengleichung des elektrischen Antriebs .....	298
5.2.1.2	Betriebskennlinien von Elektromotoren .....	301
5.2.1.3	Betriebskennlinien von Arbeitsmaschinen .....	302
5.2.1.4	Schwungmassen von Motor und Arbeitsmaschine .....	305
5.2.2	Dynamik des Antriebs .....	308
5.2.2.1	Anlauf .....	308
5.2.2.2	Bremsen .....	310
5.2.3	Bemessung des Motors .....	313
5.2.3.1	Zulässiges Motormoment .....	313
5.2.3.2	Berechnung der Erwärmung .....	314
5.3	Steuerungstechnik .....	320
5.3.1	Schaltgeräte und Kontaktsteuerungen .....	320
5.3.1.1	Schalter, Schütze und Sicherungen .....	320
5.3.1.2	Schaltpläne .....	323
5.3.1.3	Festverdrahtete Steuerungen .....	326
5.3.2	Grundlagen elektronischer Steuerungen .....	327
5.3.2.1	Logische Grundverknüpfungen .....	328
5.3.2.2	Kombinationen der Grundverknüpfungen .....	329
5.3.2.3	Speicherschaltungen .....	330
5.3.2.4	Schaltungstechnik .....	332
5.3.3	Grundlagen speicherprogrammierbarer Steuerungen .....	333

5.3.3.1	Aufbau einer SPS .....	333
5.3.3.2	Einführung in die Programmiertechnik .....	335
5.3.3.3	Drehrichtungsumkehr eines Motors mit SPS .....	339
5.3.3.4	Feldbussysteme .....	341
<b>6</b>	<b>Elektrische Energieversorgung .....</b>	<b>343</b>
6.1	Erzeugung elektrischer Energie .....	343
6.1.1	Energiewirtschaft .....	343
6.1.1.1	Energiewandlung .....	343
6.1.1.2	Erzeugung und Verbrauch elektrischer Energie .....	343
6.1.2	Kraftwerke .....	346
6.1.2.1	Thermische Kraftwerke .....	346
6.1.2.2	Wasserkraftwerke .....	350
6.1.2.3	Regenerative Energieerzeugung .....	351
6.2	Energieübertragung .....	354
6.2.1	Elektrische Netze .....	354
6.2.1.1	Stromversorgungsanlagen .....	354
6.2.1.2	Verbundbetrieb .....	355
6.2.2	Schutzmaßnahmen in elektrischen Anlagen .....	356
6.2.2.1	Allgemeine Grundsätze .....	356
6.2.2.2	Schutzmaßnahmen gegen elektrischen Schlag .....	357
	<b>Berechnung der Aufgaben .....</b>	<b>361</b>
	<b>Gesetzliche Einheiten und Formeln .....</b>	<b>367</b>
	<b>Literatur .....</b>	<b>370</b>
	<b>Sachwortverzeichnis .....</b>	<b>371</b>