

<b>1</b>	<b>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	Elektrischer Stromkreis	9
1.1.1.3	Elektrischer Widerstand	11
1.1.1.4	Kirchhoffsche Regeln	18
1.1.2	Gleichstromkreise	24
1.1.2.1	Widerstandsschaltungen	24
1.1.2.2	Elektrische Spannungsquellen	30
1.1.2.3	Berechnung von Gleichstrom-Netzwerken	35
1.1.2.4	Messungen im elektrischen Stromkreis	41
1.2	Elektrisches Feld und magnetisches Feld	47
1.2.1	Elektrisches Feld	47
1.2.1.1	Größen des elektrischen Feldes, Kondensator	47
1.2.1.2	Influenz und Polarisierung	49
1.2.1.3	Schaltung von Kondensatoren	51
1.2.1.4	Ladung von Kondensatoren, Energie des elektrischen Feldes	52
1.2.2	Magnetisches Feld	58
1.2.2.1	Wirkungen im magnetischen Feld	58
1.2.2.2	Magnetische Feldstärke	60
1.2.2.3	Magnetische Flussdichte (Induktion)	63
1.2.2.4	Magnetischer Fluss, Durchflutungsgesetz	66
1.2.2.5	Magnetische Hysterese, Energie des Magnetfeldes	68
1.2.3	Kräfte und Spannungserzeugung im magnetischen Feld	73
1.2.3.1	Kräfte im Magnetfeld	73
1.2.3.2	Spannungserzeugung durch Selbstinduktion, Induktivität	78

1.2.3.3	Transformatorische und rotatorische Spannungserzeugung . . . . .	81
1.2.3.4	Wirbelströme . . . . .	84
1.3	Wechselstrom und Drehstrom . . . . .	87
1.3.1	Wechselgrößen und Grundgesetze . . . . .	87
1.3.1.1	Sinusförmige Wechselgrößen (Sinusgrößen) . . . . .	87
1.3.1.2	Belastungsarten im Wechselstromkreis . . . . .	89
1.3.1.3	Darstellung von Wechselgrößen im Zeigerbild . . . . .	94
1.3.1.4	Leistung, Leistungsfaktor, Arbeit . . . . .	97
1.3.2	Wechselstromkreise . . . . .	101
1.3.2.1	Kirchhoffsche Regeln bei Wechselstrom . . . . .	101
1.3.2.2	Wechselstromschaltungen mit $R$ , $L$ und $C$ . . . . .	103
1.3.2.3	Schwingkreise . . . . .	108
1.3.2.4	Komplexe Berechnung von Wechselstromschaltungen . . . . .	114
1.3.2.5	Messungen bei Wechselstrom . . . . .	119
1.3.3	Drehstrom . . . . .	126
1.3.3.1	Drehstromsysteme . . . . .	126
1.3.3.2	Elektrische Größen bei Stern- und Dreieckschaltung . . . . .	129
1.3.3.3	Messungen im Drehstromnetz . . . . .	135
1.3.3.4	Schutzmaßnahmen in elektrischen Anlagen . . . . .	137
1.3.3.5	Schutzmaßnahmen gegen elektrischen Schlag . . . . .	139
	Literatur . . . . .	151
<b>2</b>	<b>Elektronik</b> . . . . .	153
2.1	Grundlagen und Bauelemente der Elektronik . . . . .	154
2.1.1	Allgemeine elektrische Bauelemente . . . . .	154
2.1.1.1	Widerstände . . . . .	154
2.1.1.2	Spulen . . . . .	156
2.1.1.3	Kondensatoren . . . . .	157
2.1.2	Grundbegriffe der Halbleitertechnik . . . . .	159
2.1.2.1	Trägerbewegung in Halbleitern . . . . .	160
2.1.2.2	Störstellenleitfähigkeit . . . . .	160
2.1.2.3	PN-Übergang . . . . .	162
2.1.2.4	Eigenschaften des PN-Übergangs . . . . .	162
2.1.3	Halbleiterbauelemente ohne Sperrschicht . . . . .	164
2.1.3.1	Thermistoren . . . . .	164
2.1.3.2	Varistoren . . . . .	166
2.1.3.3	Fotowiderstände . . . . .	167
2.1.3.4	Magnetfeldabhängige Bauelemente . . . . .	168
2.1.3.5	Flüssigkristallzellen . . . . .	170
2.1.4	Halbleiterbauelemente mit Sperrschichten . . . . .	171
2.1.4.1	Dioden . . . . .	171

---

2.1.4.2	Bipolare Transistoren . . . . .	176
2.1.4.3	Feldeffekttransistoren . . . . .	180
2.1.4.4	Optoelektronische Bauelemente . . . . .	183
2.1.4.5	Thyristoren . . . . .	184
2.1.5	Elektronen- und Gasentladungsröhren . . . . .	188
2.1.5.1	Elektronenröhren . . . . .	188
2.1.5.2	Gasentladungsröhren . . . . .	192
2.1.6	Kühlung und Schutzmaßnahmen bei Halbleiterbauelementen . . . . .	194
2.1.6.1	Verluste und Erwärmung . . . . .	194
2.1.6.2	Kühlkörper . . . . .	195
2.1.6.3	Schutzmaßnahmen für Halbleiter . . . . .	197
2.2	Baugruppen der Elektronik . . . . .	198
2.2.1	Gleichrichterschaltungen . . . . .	198
2.2.1.1	Wechselstromschaltungen . . . . .	199
2.2.1.2	Drehstromschaltungen . . . . .	201
2.2.1.3	Glättungs- und Siebglieder . . . . .	202
2.2.1.4	Netzteile . . . . .	207
2.2.2	Verstärker . . . . .	209
2.2.2.1	Transistorgrundschaltungen . . . . .	209
2.2.2.2	Emitterschaltung . . . . .	210
2.2.2.3	Differenzverstärker . . . . .	214
2.2.2.4	Steuerschaltungen mit Transistoren . . . . .	215
2.2.3	Generator- und Kippschaltungen . . . . .	217
2.2.3.1	Schalterbetrieb des Transistors . . . . .	217
2.2.3.2	Kippschaltungen . . . . .	219
2.2.3.3	Sinusgeneratoren . . . . .	221
2.2.4	Integrierte Schaltungen . . . . .	223
2.2.4.1	Aufbau elektronischer Schaltungen . . . . .	223
2.2.4.2	Operationsverstärker . . . . .	226
2.2.4.3	Beschaltung von Operationsverstärkern . . . . .	228
2.2.4.4	Einsatz einer integrierten Schaltung . . . . .	232
	Literatur . . . . .	234
<b>3</b>	<b>Elektrische Messtechnik . . . . .</b>	<b>235</b>
3.1	Grundlagen der elektrischen Messtechnik . . . . .	235
3.1.1	Allgemeine Angaben . . . . .	235
3.1.1.1	Messwerterfassung . . . . .	235
3.1.1.2	Betriebsdaten von Messgeräten . . . . .	236
3.1.1.3	Auswahl eines Messgerätes . . . . .	239
3.1.2	Einsatz elektrischer Messgeräte . . . . .	240
3.1.2.1	Strom- und spannungsrichtige Messung . . . . .	240

	3.1.2.2 Innenwiderstände von Messgeräten . . . . .	241
	3.1.2.3 Messbereichserweiterung . . . . .	242
3.2	Elektrische Messgeräte . . . . .	244
	3.2.1 Elektromechanische Messgeräte . . . . .	244
	3.2.1.1 Klassische Strom- und Spannungsmesser . . . . .	244
	3.2.1.2 Bestimmung von Arbeit (Energie) . . . . .	246
	3.2.2 Messwandler . . . . .	248
	3.2.2.1 Zangenstrommesser . . . . .	248
	3.2.2.2 Strom- und Spannungswandler . . . . .	249
	3.2.3 Elektronische Messgeräte . . . . .	250
	3.2.3.1 Digitalmultimeter . . . . .	250
	3.2.3.2 Oszilloskope . . . . .	250
3.3	Digital-Messtechnik . . . . .	253
	3.3.1 Baugruppen digitaler Messgeräte . . . . .	254
	3.3.1.1 Analog/Digital-Umsetzer . . . . .	254
	3.3.1.2 Codierung . . . . .	256
	3.3.1.3 Speicher und Zählschaltungen . . . . .	256
	3.3.2 Digitale Messgeräte . . . . .	258
	3.3.2.1 Zähler . . . . .	258
	3.3.2.2 Multimeter . . . . .	259
	3.3.2.3 Transientenspeicher . . . . .	260
3.4	Elektrische Messung nichtelektrischer Größen . . . . .	261
	3.4.1 Messwertgeber für mechanische Beanspruchungen . . . . .	262
	3.4.1.1 Verfahren der Drehzahlmessung . . . . .	262
	3.4.1.2 Verfahren der Drehmomentbestimmung . . . . .	264
	3.4.1.3 Bestimmung von Kraft, Druck und Schwingungen . . . . .	266
	3.4.2 Messwertaufnehmer für nichtmechanische Größen . . . . .	269
	3.4.2.1 Bestimmung der Beleuchtungsstärke . . . . .	269
	3.4.2.2 Bestimmung von Temperaturen . . . . .	269
	3.4.2.3 Zeitmessung . . . . .	271
	3.4.2.4 Bestimmung von Geräuschen . . . . .	272
	Literatur . . . . .	274
<b>4</b>	<b>Elektrische Maschinen . . . . .</b>	<b>275</b>
	4.1 Gleichstrommaschinen . . . . .	275
	4.1.1 Aufbau und Wirkungsweise . . . . .	275
	4.1.1.1 Aufbau . . . . .	275
	4.1.1.2 Motor- und Generatorbetrieb . . . . .	280
	4.1.1.3 Leistungsbilanz . . . . .	281
	4.1.1.4 Anschlussbezeichnungen und Schaltungen . . . . .	283
	4.1.2 Betriebsverhalten und Drehzahlsteuerung . . . . .	284
	4.1.2.1 Leerlauf und Selbsterregung . . . . .	284
	4.1.2.2 Gleichstrommotoren mit Fremderregung . . . . .	285

---

4.1.2.3	Verfahren der Drehzahlsteuerung . . . . .	289
4.1.2.4	Gleichstrom-Reihenschlussmotoren . . . . .	294
4.2	Transformatoren . . . . .	298
4.2.1	Wechselstromtransformatoren . . . . .	298
4.2.1.1	Aufbau . . . . .	298
4.2.1.2	Kenngrößen und Ersatzschaltbild . . . . .	299
4.2.1.3	Betriebsverhalten . . . . .	302
4.2.1.4	Sondertransformatoren . . . . .	306
4.2.2	Drehstromtransformatoren . . . . .	310
4.2.2.1	Bauart und Schaltung . . . . .	310
4.2.2.2	Kenngrößen und Betriebsverhalten . . . . .	313
4.3	Drehstrom-Asynchronmaschinen . . . . .	318
4.3.1	Aufbau und Wirkungsweise . . . . .	318
4.3.1.1	Ständer und Drehstromwicklung . . . . .	318
4.3.1.2	Läufer . . . . .	321
4.3.1.3	Asynchrones Drehmoment . . . . .	322
4.3.1.4	Linearmotoren . . . . .	324
4.3.2	Betriebsverhalten und Drehzahlsteuerung . . . . .	326
4.3.2.1	Kennlinien und Kenngrößen . . . . .	326
4.3.2.2	Anlassen . . . . .	333
4.3.2.3	Drehzahlsteuerung . . . . .	337
4.4	Drehstrom-Synchronmaschinen . . . . .	343
4.4.1	Aufbau und Wirkungsweise . . . . .	344
4.4.1.1	Ständer und Läufer . . . . .	344
4.4.1.2	Kennlinien und Ersatzschaltung . . . . .	346
4.4.2	Betriebsverhalten im Netzbetrieb . . . . .	348
4.4.2.1	Synchronisation . . . . .	348
4.4.2.2	Wirk- und Blindlaststeuerung . . . . .	350
4.4.2.3	Synchronmaschinen als Industrieantrieb . . . . .	351
4.4.2.4	Positionierantriebe . . . . .	354
4.5	Wechselstrommotoren . . . . .	355
4.5.1	Universalmotoren . . . . .	355
4.5.1.1	Schaltung und Einsatz . . . . .	355
4.5.1.2	Betriebsverhalten . . . . .	356
4.5.2	Wechselstrommotoren mit Hilfswicklung . . . . .	356
4.5.2.1	Spaltpolmotoren . . . . .	357
4.5.2.2	Kondensatormotoren . . . . .	357
4.5.3	Schrittmotoren . . . . .	359
4.5.3.1	Aufbau und Wirkungsweise . . . . .	359
4.5.3.2	Betriebsdaten . . . . .	360
4.6	Leistungselektronik . . . . .	361
4.6.1	Stromrichterschaltungen für Gleichstromantriebe . . . . .	362

4.6.1.1	Netzgeführte Stromrichter	363
4.6.1.2	Gleichstromsteller	367
4.6.2	Stromrichterschaltungen für Wechsel- und Drehstromantriebe	371
4.6.2.1	Wechsel- und Drehstromsteller	371
4.6.2.2	Untersynchrone Stromrichteraskade	373
4.6.2.3	Frequenzumrichter	374
4.6.3	Netzurückwirkungen von Stromrichteranlagen	376
4.6.3.1	Steuerblindleistung	376
4.6.3.2	Oberschwingungen	377
4.6.3.3	Störspannungen und EMV	379
Literatur		383
<b>5</b>	<b>Elektrische Antriebe und Steuerungen</b>	<b>385</b>
5.1	Standardisierung und Normvorschriften	385
5.1.1	Äußere Gestaltung	386
5.1.1.1	Baugrößen	386
5.1.1.2	Bauformen	386
5.1.1.3	Schutzarten	387
5.1.2	Betriebsbedingungen	388
5.1.2.1	Betriebsarten	388
5.1.2.2	Leistungsschild	389
5.1.2.3	Prüfung elektrischer Maschinen	390
5.2	Planung und Berechnung von Antrieben	392
5.2.1	Stationärer Betrieb	392
5.2.1.1	Momentengleichung des elektrischen Antriebs	392
5.2.1.2	Betriebskennlinien von Elektromotoren	394
5.2.1.3	Betriebskennlinien von Arbeitsmaschinen	396
5.2.1.4	Schwungmassen von Motor und Arbeitsmaschine	400
5.2.2	Dynamik des Antriebs	403
5.2.2.1	Anlauf	404
5.2.2.2	Bremsen	406
5.2.3	Bemessung des Motors	409
5.2.3.1	Zulässiges Motormoment	409
5.2.3.2	Berechnung der Erwärmung	410
5.3	Steuerungstechnik	418
5.3.1	Schaltgeräte und Kontaktsteuerungen	418
5.3.1.1	Schalter, Schütze und Sicherungen	418
5.3.1.2	Schaltpläne	422
5.3.1.3	Festverdrahtete Steuerungen	426
5.3.2	Grundlagen elektronischer Steuerungen	428
5.3.2.1	Logische Grundverknüpfungen	428
5.3.2.2	Kombinationen der Grundverknüpfungen	430

---

5.3.2.3 Speicherschaltungen . . . . .	431
5.3.2.4 Schaltungstechnik . . . . .	433
5.3.3 Grundlagen speicherprogrammierbarer Steuerungen . . . . .	435
5.3.3.1 Aufbau einer SPS . . . . .	435
5.3.3.2 Einführung in die Programmiertechnik . . . . .	437
5.3.3.3 Drehrichtungsumkehr eines Motors mit SPS . . . . .	441
5.3.3.4 Feldbussysteme . . . . .	442
Literatur . . . . .	445
<b>Berechnung der Aufgaben . . . . .</b>	<b>447</b>
<b>Gesetzliche Einheiten und Formelzeichen . . . . .</b>	<b>453</b>
<b>Stichwortverzeichnis . . . . .</b>	<b>455</b>