

Rudolf Busch

Elektrotechnik und Elektronik

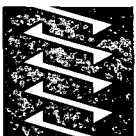
für Maschinenbauer und Verfahrenstechniker

6., erweiterte und überarbeitete Auflage

Mit 436 Abbildungen

und 136 Übungsaufgaben mit Lösungen

STUDIUM



VIEWEG+
TEUBNER

Inhaltsverzeichnis

Teil A: Grundlagen der Elektrotechnik	1
1 Das elektrische Feld	1
1.1 Feldbegriff. Darstellung von Feldern	1
1.2 Das stationäre elektrische Strömungsfeld	2
1.2.1 Ladung. Strom. Stromdichte	2
1.2.2 Potenzial. Spannung. Feldstärke	7
1.2.3 Elektrischer Widerstand. Ohmsches Gesetz	12
1.2.4 Der elektrische Stromkreis	14
1.2.5 Die Gesetze von Kirchhoff	16
1.3 Das elektrostatische Feld	18
1.3.1 Entwicklung aus dem Strömungsfeld	18
1.3.2 Kenngrößen des elektrostatischen Feldes	20
1.3.3 Kapazität. Kondensatoren	21
1.3.4 Kondensatorstrom	22
1.3.5 Energie und Kräfte im elektrostatischen Feld	24
1.4 Übungsaufgaben	25
2 Das magnetische Feld	27
2.1 Magnetische Erscheinungen	27
2.2 Magnetische Kenngrößen	29
2.2.1 Magnetischer Fluss und magnetische Flussdichte	29
2.2.2 Durchflutung. Magnetische Spannung. Magnetischer Widerstand	30
2.2.3 Die magnetische Feldstärke	32
2.3 Das Durchflutungsgesetz	33
2.4 Materie im Magnetfeld	36
2.4.1 Die Permeabilität. Einteilung der Stoffe	36
2.4.2 Hystereseschleife und Magnetisierungskurve	37
2.5 Das Induktionsgesetz	41
2.5.1 Grundlagen. Der Versuch von Faraday	41
2.5.2 Anwendungen des Induktionsgesetzes	47
2.6 Selbst- und Gegeninduktion	49
2.6.1 Selbstinduktion	49
2.6.2 Gegeninduktion	52
2.7 Energie und Kräfte im magnetischen Feld	54
2.7.1 Energieinhalt des Magnetfeldes	54
2.7.2 Kraftwirkungen im magnetischen Feld	54
2.7.2.1 Kräfte an Grenzflächen	54
2.7.2.2 Kräfte auf stromdurchflossene Leiter	55
2.8 Übungsaufgaben	57

3	Berechnung von Stromkreisen bei Gleichstrom	61
3.1	Der unverzweigte Gleichstromkreis	61
3.1.1	Der elektrische Widerstand	61
3.1.2	Lineare und nichtlineare Widerstände	62
3.1.3	Energie und Leistung im Gleichstromkreis	63
3.1.4	Der Grundstromkreis	64
3.1.5	Leistungsumsatz im Stromkreis	68
3.2	Der verzweigte Gleichstromkreis	70
3.2.1	Vereinfachung von Widerstandsnetzwerken	70
3.2.2	Teilerregeln	74
3.2.2.1	Die Stromteilerregel	74
3.2.2.2	Die Spannungsteilerregel	75
3.2.3	Berechnung verzweigter Stromkreise mittels der Gesetze von Kirchhoff	77
3.2.4	Spannungsquellen und Stromquellen. Zweipoltheorie	80
3.3	Übungsaufgaben	81
4	Berechnung von Stromkreisen bei Wechselstrom	84
4.1	Erzeugung von Wechselstrom. Bestimmungsgrößen	84
4.2	Kenngrößen	85
4.2.1	Zeitliche Mittelwerte	85
4.2.2	Zählpeile	88
4.3	Darstellung sinusförmiger elektrischer Größen im Zeigerdiagramm	89
4.4	Spannungs- und Stromzeiger bei den Grundschaltelementen	90
4.5	Zeigerdiagramme bei gemischten Wechselstromschaltungen	91
4.5.1	Reihenschaltung von Kondensator und Widerstand	91
4.5.2	Parallelschaltung von Spule und Widerstand	93
4.5.3	Gemischte Schaltung	93
4.6	Die komplexe Darstellung von Zeigern	94
4.7	Komplexe Zeiger der Grundschaltelemente	96
4.8	Komplexer Widerstand und komplexer Leitwert	99
4.8.1	Komplexer Widerstand	99
4.8.2	Komplexer Leitwert	103
4.9	Wirk- und Blindkomponenten von Spannung und Strom	104
4.10	Wechselstromleistung	105
4.11	Drehstrom (Dreiphasenwechselstrom)	110
4.11.1	Erzeugung von Drehstrom	110
4.11.2	Die Verkettung des Drehstromsystems	112
4.11.3	Spannungen und Ströme im symmetrischen Drehstromsystem	114
4.11.4	Drehstromleistung	117
4.12	Übungsaufgaben	118
5	Ausgleichsvorgänge in Stromkreisen	123
5.1	Die Schaltgesetze	123
5.2	Aufladung eines Kondensators	124
5.3	Kurzschluss einer stromdurchflossenen Spule	127
5.4	Schlussbemerkungen	129
5.6	Übungsaufgaben	129

6	Mechanismen der Stromleitung	130
6.1	Stromleitung im Vakuum	130
6.2	Stromleitung in Gasen	132
6.3	Stromleitung in Flüssigkeiten	134
6.4	Stromleitung in Festkörpern	139
6.4.1	Allgemeines	139
6.4.2	Stromleitung in Metallen	141
6.4.3	Stromleitung in Halbleitern und Isolatoren	142
6.4.3.1	Eigenleitung	142
6.4.3.2	Störstellenleitung	144
6.4.3.3	Bändermodell	146
6.4.3.4	Der <i>pn</i> -Übergang	148
6.5	Übungsaufgaben	150
Teil B: Anwendungen der Elektrotechnik		152
7	Elektronik	152
7.1	Einleitende Bemerkungen	152
7.2	Elektronische Bauelemente	153
7.2.1	Halbleiterwiderstände	153
7.2.2	Halbleiterdioden	155
7.2.2.1	Aufbau. Kennlinien. Typen	155
7.2.2.2	Diode als Gleichrichter	158
7.2.3	Transistoren	160
7.2.3.1	Bipolartransistoren	160
7.2.3.2	Feldeffekttransistoren	165
7.2.3.3	Insulated Gate Bipolar Transistors (IGBTs)	168
7.2.3.4	Betriebsarten von Transistoren	169
7.2.3.5	Transistoren als Verstärker	170
7.2.3.6	Transistoren als Schalter	173
7.2.4	Thyristoren	175
7.2.4.1	Aufbau und Wirkungsweise. Typen	175
7.2.4.2	Thyristoren als gesteuerte Gleichrichter	177
7.2.5	Optoelektronische Bauelemente	181
7.2.5.1	Lichtempfangende Bauelemente	181
7.2.5.2	Lichtaussendende Bauelemente	182
7.2.5.3	Andere optoelektronische Bauelemente	184
7.3	Leistungselektronik	185
7.3.1	Einführung. Arten und Wirkungsweise von Stromrichtern	185
7.3.2	Gleichrichter	188
7.3.2.1	Gleichrichter mit Dioden (Ungesteuerte Gleichrichter)	188
7.3.2.2	Gleichrichter mit Thyristoren (Gesteuerte Gleichrichter)	190
7.3.3	Wechselrichter	197
7.3.4	Gleichstromumrichter	199
7.3.5	Wechselstromumrichter. Frequenzumrichter	200
7.4	Informationselektronik	202
7.4.1	Einführung	202

7.4.2	Analoge und digitale Größen und Signale	203
7.4.3	Analogschaltungen	206
7.4.3.1	Wechselspannungsverstärker	206
7.4.3.2	Operationsverstärker	207
7.4.3.3	Schwingungserzeuger	210
7.4.4	Digitalschaltungen	210
7.4.4.1	Kombinatorische Schaltungen	211
7.4.4.2	Sequenzielle Schaltungen	214
7.5	Mikroelektronik	219
7.5.1	Schaltungsintegration	219
7.5.2	Schaltkreisfamilien	221
7.5.3	Mikroprozessoren und Mikrorechner	223
7.5.3.1	Komponenten des Mikrorechnersystems	223
7.5.3.2	Mikrorechner als Prozessrechner	231
7.5.3.3	Weitere Ergebnisse der Mikrorechentechnik	236
7.6	Übungsaufgaben	237
8	Elektrische Maschinen und Antriebe	241
8.1	Einleitung	241
8.2	Die Gleichstrommaschine	242
8.2.1	Aufbau und Funktionsprinzip	242
8.2.2	Erregung der Gleichstrommaschine	244
8.2.3	Der Gleichstromnebenschlussmotor	245
8.2.3.1	Ersatzschaltbild und Kennlinien	245
8.2.3.2	Drehzahlstellung	248
8.2.3.3	Anlassen und Bremsen	249
8.2.4	Der Gleichstromreihenschlussmotor	252
8.2.5	Spezielle Typen	253
8.3	Der Transformator	253
8.3.1	Grundsätzlicher Aufbau und Funktionsprinzip	253
8.3.2	Der ideale Transformator	254
8.3.2.1	Definition und Ersatzschaltbild	254
8.3.2.2	Induzierte Spannung und Klemmenspannung	255
8.3.2.3	Zeigerdiagramme und Wirkungsweise	256
8.3.2.4	Widerstandstransformation	259
8.3.3	Der technische Transformator	260
8.3.3.1	Ersatzschaltbild	260
8.3.3.2	Spezielle Betriebsfälle	262
8.3.3.3	Betriebsverhalten	265
8.3.4	Drehstromtransformatoren	268
8.3.5	Spezielle Transformatortypen	270
8.4	Rotierende Drehstrommaschinen	271
8.4.1	Das Drehfeld	271
8.4.2	Arten von Drehfeldmaschinen	273
8.4.3	Der Drehstromasynchronmotor	275
8.4.3.1	Aufbau	275
8.4.3.2	Ersatzschaltbild	277

8.4.3.3	Drehzahl-Drehmomenten-Kennlinie	278
8.4.3.4	Drehzahlstellung	280
8.4.3.5	Anlassen von Asynchronmotoren	282
8.4.3.6	Spezielle Typen von Asynchronmotoren	283
8.4.4	Die Synchronmaschine	284
8.4.4.1	Ersatzschaltbild	284
8.4.4.2	Betrieb am starren Drehstromnetz	285
8.4.4.3	Inselbetrieb des Synchrongenerators	290
8.4.4.4	Spezielle Typen von Synchronmotoren	291
8.5	Elektrische Antriebstechnik	292
8.5.1	Mechanische Struktur elektrischer Antriebe	292
8.5.2	Grundgesetze elektrischer Antriebe	293
8.5.2.1	Die Bewegungsgleichung	293
8.5.2.2	Stabilität stationärer Arbeitspunkte	296
8.5.2.3	Wellenlast bei Übertragungsgliedern	296
8.5.3	Betriebsarten elektrischer Maschinen	298
8.5.3.1	Motorwicklungserwärmung	298
8.5.3.2	Nennbetriebsarten	299
8.5.3.3	Motorauswahl	300
8.5.4	Ein- und Mehrquadrantenantriebe	302
8.5.5	Regelung elektrischer Antriebe	304
8.5.6	Ergänzende Bemerkungen	306
8.6	Übungsaufgaben	307
9	Elektrische Energieversorgung	310
9.1	Einleitung	310
9.2	Überblick zu Kraftwerken	311
9.2.1	Konventionelle Kraftwerke	311
9.2.2	Kraftwerke mit erneuerbaren Energien	314
9.2.3	Einsatzstrategien von Kraftwerken	320
9.3	Elektrotechnische Komponenten eines Kraftwerkes	321
9.4	Übertragungssysteme für elektrische Energie	325
9.5	Drehstromnetze	326
9.5.1	Spannungsebenen	326
9.5.2	Drehstromleitungen	327
9.5.2.1	Die Leitungsgleichungen	327
9.5.2.2	Übertragung auf Hoch- und Höchstspannungsleitungen (Fernübertragung)	329
9.5.2.3	Übertragung auf Mittel- und Niederspannungsleitungen	332
9.5.2.4	Praktische Ausführung von Drehstromleitungen	336
9.5.3	Netzgestaltung	340
9.5.3.1	Sternpunktbehandlung in Drehstromnetzen	340
9.5.3.2	Netzstrukturen	342
9.6	Schaltanlagen	343
9.6.1	Arten von Schaltanlagen	343
9.6.2	Schaltgeräte der elektrischen Energietechnik	344
9.6.2.1	Schalten von Wechselstrom	344

9.6.2.2	Niederspannungsschaltgeräte	346
9.6.2.3	Schaltgeräte für Spannungen > 1000 V	348
9.6.2.4	Hochleistungssicherungen	348
9.6.3	Praktische Ausführung von Schaltanlagen	349
9.7	Personenschutz in Niederspannungsnetzen	351
9.7.1	Gefährdung des Menschen	351
9.7.2	Schutzmaßnahmen	352
9.8	Übungsaufgaben	355
10	Elektrische Messtechnik	357
10.1	Einleitung	357
10.2	Grundlegende Begriffe der elektrischen Messtechnik	357
10.3	Elektrische Messwerke	360
10.3.1	Drehspulmesswerk	360
10.3.2	Dreheisenmesswerk	361
10.3.3	Elektrodynamisches Messwerk	362
10.3.4	Induktionsmesswerk	362
10.4	Messgeräte	363
10.4.1	Vielfachmesser	363
10.4.2	Oszilloskope	365
10.4.3	Registriergeräte	368
10.4.4	Zählmessgeräte	371
10.5	Messverfahren für elektrische Größen	372
10.5.1	Messung von Strom und Spannung	372
10.5.2	Messung von Widerständen und Impedanzen	373
10.5.3	Messung der elektrischen Leistung	375
10.5.4	Zeit- und Frequenzmessung	376
10.6	Elektrische Messung nichtelektrischer Größen	377
10.6.1	Allgemeines	377
10.6.2	Messung von Wegen und Winkeln	378
10.6.3	Messung von Kräften und Momenten	379
10.6.4	Drehzahlmessung	381
10.6.5	Temperaturmessung	382
10.7	Messtechnik mit dem PC	383
10.7.1	Einleitende Bemerkungen	383
10.7.2	Geräte mit integrierter digitaler Schnittstelle	384
10.7.3	Messkarten	387
10.8	Störbeeinflussung von Messkreisen	392
10.9	Elektromagnetische Verträglichkeit	393
10.10	Übungsaufgaben	395
	Lösungen der Übungsaufgaben	397
	Zusammenstellung der Formelzeichen	414
	Literatur	416
	Sachwortverzeichnis	418