

Elektrotechnik für den Maschinenbauer

von Dipl.-Ing. Georg Flegel †,
Prof. Dr.-Ing. Karl Birnstiel
und Prof. Dr.-Ing. Wolfgang Nerreter

7., neubearbeitete Auflage
mit 465 Bildern und 42 Tabellen



Carl Hanser Verlag München Wien

Inhaltsverzeichnis

Vorwort	V
1 Einführung	1
2 Der elektrische Strom in festen Körpern	1
2.1 Die Elektrizitätsmenge	1
2.2 Strom und Stromstärke	3
2.3 Richtungssinn und Bezugssinn	4
3 Die elektrische Spannung	6
3.1 Ladungstrennung	6
3.2 Richtungssinn und Bezugssinn	7
4 Leistung und Energie	8
4.1 Erzeuger und Verbraucher	8
4.2 Der Begriff Zweipol	9
4.3 Der Wirkungsgrad	10
4.4 Die Kosten der Energie	11
4.5 Die Elektrowärme	12
5 Der elektrische Widerstand	14
5.1 Der Begriff Widerstand	14
5.2 Das OHMSche Gesetz	14
5.3 Der Widerstand eines linearen Leiters	15
5.4 Der spezifische Widerstand von Isolierstoffen	17
5.5 Das JOULESche Gesetz	17
5.6 Der Widerstand elektrischer Meßgeräte	18
5.7 Der nichtlineare Widerstand	19
5.8 Die Temperaturabhängigkeit des Widerstands	19
5.9 Supraleitung	22
6 Quellen	23
6.1 Leerlauf und Kurzschluß	23
6.2 Ideale Quellen	23
6.3 Lineare Quellen	24
7 Der einfache Stromkreis	26
7.1 Energie im Stromkreis	26
7.2 Bestimmung des Arbeitspunktes	27

8 Der Knotensatz	29
8.1 Der Begriff Knoten	29
8.2 Die Knotengleichung	30
8.3 Die Parallelschaltung von Widerständen	30
8.4 Das Stromverhältnis	32
8.5 Die Meßbereichserweiterung eines Strommessers	33
9 Der Maschensatz	34
9.1 Der Begriff Masche	34
9.2 Das Potential	37
9.3 Die Reihenschaltung von Widerständen	38
9.4 Das Spannungsverhältnis	39
9.5 Die Meßbereichserweiterung eines Spannungsmessers	40
10 Gleichstrom-Netze	42
10.1 Die Widerstandsbestimmung	42
10.2 Der belastete Spannungsteiler	43
10.3 Der Ersatzwiderstand	44
10.4 Die Ersatzquelle	45
10.5 Das Knotenpotentialverfahren	47
11 Der elektrische Strom in Flüssigkeiten	51
11.1 Die Dissoziation	51
11.2 Die FARADAYSchen Gesetze	52
11.3 Anwendungen der FARADAYSchen Gesetze	54
12 GALVANISCHE ELEMENTE	56
12.1 Die Elektrolyse des Wassers	56
12.2 Die Polarisation	57
12.3 Die Normalpotentiale	57
12.4 Primärelemente	58
12.5 Sekundärelemente	60
12.6 Verbrauchte GALVANISCHE Zellen	64
12.7 Die elektrolytische Korrosion	65
13 Das elektrostatische Feld	65
13.1 Der Kondensator	66
13.2 Die Größen des elektrostatischen Feldes	66
13.3 Nichtleiter im elektrostatischen Feld	68
13.4 Die Polarisationsverluste	69
13.5 Bauarten von Kondensatoren	70

13.6 Die Energie eines geladenen Kondensators	71
13.7 Laden und Entladen von Kondensatoren	72
14 Das magnetische Feld	75
14.1 Feldlinien von Magneten	75
14.2 Die magnetische Flußdichte	77
14.3 Das Durchflutungsgesetz	79
14.4 Spulen	80
14.5 Materie im Magnetfeld	81
14.6 Magnetische Werkstoffe	83
14.7 Magnetische Kreise	86
15 Die Induktion durch Bewegung	90
15.1 Das Induktionsgesetz	90
15.2 Die Induktion bei geradliniger Bewegung	92
15.3 Die Induktion bei Drehbewegung	94
16 Kennwerte periodischer Größen	95
16.1 Die Frequenz	95
16.2 Der arithmetische Mittelwert	97
16.3 Der Gleichrichtwert	99
16.4 Der Effektivwert	100
16.5 Scheitelfaktor und Formfaktor	101
17 Sinusgrößen	102
17.1 Der Nullphasenwinkel	102
17.2 Die Zeigerdarstellung	103
17.3 Die Addition von Sinusgrößen	104
18 Die Induktion der Ruhe	106
18.1 Die Fremdinduktion	106
18.2 Die Selbstinduktion	107
18.3 Die Selbstinduktivität	107
19 Die Energie des magnetischen Feldes	110
19.1 Die Energie einer Spule	110
19.2 Die Energie im homogenen Feld	111
19.3 Ein- und Ausschalten einer Spule	112
20 Die Verluste im magnetischen Feld	115
20.1 Die Wirbelstromverluste	115
20.2 Die Hystereseverluste	116
20.3 Die Eisenverluste	117

21 Kräfte im Magnetfeld	118
21.1 Die Zugkraft eines Magneten	118
21.2 Elektromagnete	118
21.3 Die Kraftwirkung zwischen zwei stromführenden Leitern	120
22 Der kapazitive Leitwert	122
22.1 Der Kondensator an Sinusspannung	122
22.2 Der Scheinleitwert	124
23 Der induktive Widerstand	125
23.1 Die ideale Spule an Sinusstrom	125
23.2 Der Scheinwiderstand	125
24 Der einfache Wechselstromkreis	126
24.1 Wirkwiderstand und Blindwiderstand	126
24.2 Die Reihenschaltungen	128
24.3 Die Reihenresonanz	130
24.4 Die Parallelschaltungen	132
24.5 Die Parallelresonanz	134
25 Die Leistung des Wechselstromes	136
25.1 Wirkleistung und Blindleistung	136
25.2 Die Scheinleistung	138
25.3 Der Leistungsfaktor	139
25.4 Wirkarbeit und Blindarbeit	140
25.5 Das Zusammensetzen der Leistungen	140
26 Wechselstrom-Netze	142
26.1 Die Anwendung von Knoten- und Maschensatz	142
26.2 Der Ersatzwiderstand	143
26.3 Die Schaltungsumwandlung	145
26.4 Die Ortskurve	147
26.5 Die komplexe Rechnung	148
27 Der Drehstrom	152
27.1 Ströme und Spannungen	152
27.2 Symmetrische Belastung	154
27.3 Unsymmetrische Belastung	158

28 Die Verbesserung des Leistungsfaktors	159
29 Leitungen	164
29.1 Die Anforderungen an eine Leitung	164
29.2 Bezogene Größen	165
29.3 Die Einphasen-Leitung	166
29.4 Die Drehstromleitung	168
30 Schutzmaßnahmen	171
30.1 Allgemeines	171
30.2 Schutzkleinspannung	171
30.3 Körperschluß	172
30.4 Erder und Erdung	172
30.5 Fehlerstrom-Schutzeinrichtung	175
30.6 Überstrom-Schutzorgane	176
30.7 Schutzmaßnahmen in Netzen	177
30.8 Schutzisolierung	179
30.9 Schutztrennung	179
31 Der Transformator	180
31.1 Der idealisierte Transformator	180
31.2 Der reale Transformator	182
31.3 Leerlauf und Kurzschluß	183
31.4 Die Spannungsänderung	186
31.5 Der Wirkungsgrad	187
31.6 Drehstrom-Transformatoren	188
31.7 Der Parallelbetrieb	190
31.8 Der mechanische Aufbau	191
31.9 Sonderbauarten	194
32 Rotierende elektrische Maschinen	198
32.1 Aufbau und Erregung	198
32.2 Die Drehfelddrehzahl	199
32.3 Leistung und Drehmoment	201
32.4 Drehmoment und Drehzahl	202
33 Die Gleichstrommaschine	203
33.1 Aufbau und prinzipielle Funktionsweise	203
33.2 Energiefluß und Leistungsbilanz	206
33.3 Die Ankerrückwirkung	209
33.4 Die Verbesserung der Kommutierung	210

33.5 Die Kompensationswicklung	210
33.6 Die Wicklungsarten	211
34 Gleichstrommotoren	212
34.1 Der Nebenschlußmotor	212
34.2 Der fremderregte Motor	213
34.3 Der Reihenschlußmotor	214
34.4 Der Doppelschlußmotor	215
34.5 Einschalten und Anlassen	216
34.6 Der Drehrichtungswechsel	217
34.7 Der Bremsbetrieb	217
35 Die Steuerung der Gleichstrommotoren	218
35.1 Die Steuerung des fremderregten Motors	218
35.2 Die Steuerung des Reihenschlußmotors	219
36 Gleichstromgeneratoren	220
36.1 Der fremderregte Generator	220
36.2 Der selbsterregte Generator	221
37 Die Asynchronmaschine	222
37.1 Die prinzipielle Funktionsweise	222
37.2 Die Ersatzschaltung	223
37.3 Energiefluß und Leistungsbilanz	225
37.4 Das Drehmoment	226
37.5 Die Stromortskurven	227
37.6 Die Kennlinien	229
37.7 Leerlauf- und Kurzschlußversuch	231
38 Der Käfigläufer-Motor	235
38.1 Aufbau	235
38.2 Anlauf	235
38.3 Der Stromverdrängungs-Läufer	239
38.4 Die Umschaltung der Polzahl	241
39 Der Schleifringläufer-Motor	242
39.1 Aufbau	242
39.2 Drehzahlstellung	242
39.3 Anlauf	244
40 Weitere Betriebsarten der Asynchronmaschine	245
40.1 Der Drehtransformator	245
40.2 Der Frequenzwandler	246

40.3 Die synchronisierte Asynchronmaschine	246
40.4 Der Generatorbetrieb	246
40.5 Der Bremsbetrieb	246
40.6 Linearmotoren	247
41 Der Einphasen-Asynchronmotor	248
41.1 Die einsträngige Maschine	248
41.2 Die zweisträngige Maschine	249
42 Die Synchronmaschine	251
42.1 Aufbau und Anwendungsgebiete	251
42.2 Der Vollpolgenerator im Inselbetrieb	253
42.3 Die Vollpolmaschine im Netzbetrieb	256
42.4 Die Schenkelpolmaschine	260
42.5 Pendelungen der Synchronmaschine	261
42.6 Die Synchronisierung	262
43 Kleinmotoren	264
43.1 Der Universalmotor	264
43.2 Der Permanentmagnet-Motor	266
43.3 Der Elektronikmotor	268
43.4 Der Spaltpolmotor	268
43.5 Wechselstrom-Synchronmotoren	269
43.6 Der Schrittmotor	270
44 Die Auswahl des Motors	272
44.1 Die Bauform	272
44.2 Die Schutzart	272
44.3 Der Explosionsschutz	273
44.4 Erwärmung und Kühlung	274
44.5 Die Betriebsart	276
44.6 Das Leistungsschild	280
45 Der Motorschutz	281
46 Elektrische Antriebe	283
46.1 Der stationäre Betrieb	283
46.2 Das Trägheitsmoment	286
46.3 Der dynamische Betrieb	287
46.4 Der Anlauf	288
46.5 Die Stabilität eines Antriebs	290
47 Der elektrische Strom im Vakuum	291

48 Der elektrische Strom in Gasen	293
49 Beleuchtungstechnik	295
49.1 Elektromagnetische Strahlung	295
49.2 Die Einheiten der Lichttechnik	296
49.3 Die Lichtquellen	301
49.4 Die Berechnung von Beleuchtungsanlagen	304
50 Halbleiter	308
50.1 Das Halbleiter-Grundmaterial Silizium	308
50.2 Halbleiter-Materialien	310
50.3 Halbleiter-Einschichtbauelemente	311
51 Halbleiter-Dioden	313
51.1 Die Herstellung des PN-Überganges	313
51.2 Die Funktionsweise des PN-Überganges	313
51.3 Die Eigenschaften der Halbleiterdiode	314
51.4 Anwendungen von Halbleiterdioden	315
51.5 Z-Dioden	315
52 Der Transistor	316
52.1 Der bipolare Transistor	317
52.2 Anwendungen des bipolaren Transistors	320
52.3 Feldeffekttransistoren	324
52.4 Kennzeichnung von Halbleiterbauelementen	327
53 Grundlagen elektronischer Schaltungen	327
53.1 Analoge und digitale Schaltungen	327
53.2 Binäre Schaltungen	328
53.3 Zahlensysteme	330
53.4 Logische Verknüpfungen	333
53.5 Das Entwickeln logischer Schaltungen	338
53.6 Integrierte Schaltungen	343
53.7 Bestückte Leiterplatten	348
54 Digitale integrierte Schaltungen	349
54.1 Logische Schaltkreise	350
54.2 Schaltnetze und Schaltwerke	354
54.3 Bistabile Kippglieder	354
54.4 Anwendungen bistabiler Kippglieder	365
54.5 Zähler	369
54.6 Register und Schieberegister	371
54.7 Die Anwendungen monostabiler Kippglieder	376

54.8	Astable Kippglieder	379
54.9	Logikfamilien	380
54.10	Halbkundenspezifische Schaltungen	383
55	Mikrocomputer	385
55.1	Der Aufbau des Mikrocomputers	387
55.2	Das Programm des Mikrocomputers	394
55.3	Der Mikrocomputer und die Peripherie	397
55.4	Massenspeicher	400
55.5	Sensoren und Aktoren	402
55.6	Die Weiterentwicklung des Mikrocomputers	403
55.7	Anwendungen des Mikrocomputers	404
56	Die Verarbeitung analoger Signale	405
56.1	Der unbeschaltete Operationsverstärker	405
56.2	Lineare Grundsaltungen des Operationsverstärkers	407
56.3	Die Operationsverstärker-Schaltungstechnik	409
57	Leistungselektronik	410
57.1	Bauelemente der Leistungselektronik	410
57.2	Ungesteuerte Gleichrichterschaltungen	414
57.3	Gesteuerte Gleichrichterschaltungen	418
57.4	Wechselstromsteller	422
57.5	Wechselrichter	424
57.6	Umrichter	427
57.7	Gleichstromsteller	427
58	AD-Wandler und DA-Wandler	429
58.1	Digital-Analog-Wandler	429
58.2	Analog-Digital-Wandler	432
59	Elektrische Meßtechnik	434
59.1	Messung von Spannung und Strom	435
59.2	Widerstands- und Impedanzmessung	437
59.3	Zeit- und Frequenzmessungen	440
59.4	Leistungs- und Arbeitsmessung	441
59.5	Aufzeichnende Meßgeräte	444
60	Die Thermoelektrizität	446
60.1	Der SEEBECK-Effekt	446
60.2	Der PELTIER-Effekt	447
	Stichwortverzeichnis	448