

Die Meisterprüfung

# Mathematische und elektrotechnische Grundlagen

Dipl.-Ing. Peter Böttle

Dipl.-Ing. Horst Friedrichs

9., überarbeitete Auflage

Vogel Buchverlag

# Inhaltsverzeichnis

<b>1 Allgemeines Rechnen</b>	17
1.1 Rechnen mit Zahlen und Buchstaben	17
1.1.1 Begriffe, Zahlenarten	17
1.1.2 Zahlen mit Vorzeichen	17
1.1.3 Rechenstufen	18
1.1.4 Mehrfachklammern	19
1.2 Grundrechenarten	20
1.2.1 Addieren (Zusammenzählen) und Subtrahieren (Abziehen)	20
1.2.2 Multiplizieren (Malnehmen)	21
1.2.3 Dividieren (Teilen)	22
1.2.4 Bruchrechnen	22
1.2.4.1 Addieren und Subtrahieren von Brüchen	23
1.2.4.2 Multiplizieren von Brüchen	24
1.2.4.3 Dividieren von Brüchen	24
1.2.5 Dezimalbrüche und gemeine Brüche	25
1.2.6 Auf- und Abrunden von Ergebnissen	25
1.3 Dreisatzrechnung – Prozentrechnung	26
1.3.1 Dreisatzrechnung (Schlußrechnung)	26
1.3.1.1 Proportionaler Dreisatz	26
1.3.1.2 Umgekehrt proportionaler Dreisatz	27
1.3.1.3 Doppelter Dreisatz	27
1.3.2 Prozentrechnung	28
1.4 Rechnen mit Klammern	30
1.4.1 Klammern ausmultiplizieren (Klammern auflösen)	30
1.4.2 Ausklammern (Klammer setzen)	32
1.5 Potenzen – Wurzeln	33
1.5.1 Potenzen	33
1.5.1.1 Sonderfälle der Potenzrechnung	33
1.5.1.2 Potenzieren von Potenzen	35
1.5.1.3 Zehnerpotenzen	36
1.5.2 Wurzeln	37
1.5.2.1 Sonderfälle beim Rechnen mit Wurzeln	38
1.6 Anwendung aller Rechenstufen in Formeln aus der Elektrotechnik	39
1.7 Gleichungen	43
1.7.1 Gleichungen, die nur eine Rechenstufe enthalten	43
1.7.2 Gleichungen, die mehrere Rechenstufen enthalten	44
1.7.3 Gleichungen, die die unbekannte Größe mehr als einmal enthalten	48
1.7.4 Gleichungen mit mehreren Unbekannten	49
1.8 Rechtwinkliges Dreieck	52
1.8.1 Satz des Pythagoras	52
1.8.2 Winkelfunktionen (trigonometrische Funktionen)	54
1.8.2.1 Darstellung der Sinusfunktion in einem Liniendiagramm	57
<b>2 Darstellungen im Koordinatensystem</b>	59
2.1 Koordinatensysteme	59
2.1.1 Rechtwinkliges Koordinatensystem	59
2.1.2 Polarkoordinatensystem	61

2.2	Lineares Verhalten . . . . .	61
2.3	Umgekehrtes (reziprokes) Verhalten . . . . .	64
2.4	Quadratisches Verhalten . . . . .	65
2.5	Logarithmische Darstellung . . . . .	66
2.5.1	Teilung einer logarithmischen Skala . . . . .	66
2.5.2	Logarithmische Koordinaten . . . . .	67
<b>3</b>	<b>Technisches Rechnen . . . . .</b>	<b>71</b>
3.1	Vorsätze von Einheiten . . . . .	71
3.1.1	Umrechnungen zwischen Einheiten mit verschiedenen Vorsätzen . . . . .	71
3.2	Flächen- und Körperberechnungen . . . . .	73
3.2.1	Flächenberechnungen . . . . .	73
3.2.2	Körperberechnungen (Rauminhalt – Volumen) . . . . .	75
3.3	Berechnung von Spulen . . . . .	76
3.3.1	Berechnung der Drahtlänge . . . . .	78
3.4	Geschwindigkeit und Beschleunigung . . . . .	79
3.4.1	Geschwindigkeit . . . . .	79
3.4.2	Beschleunigung . . . . .	80
3.4.3	Umfangsgeschwindigkeit . . . . .	81
3.4.4	Winkelangabe in Grad oder Bogenmaß . . . . .	82
3.4.5	Winkelgeschwindigkeit . . . . .	83
3.5	Riemen- und Zahnradübersetzungen . . . . .	85
3.5.1	Riementrieb . . . . .	85
3.5.2	Zahnradtrieb . . . . .	86
3.5.3	Schneckentrieb . . . . .	88
3.6	Masse, Gewichtskraft, Kraft . . . . .	88
3.6.1	Masse – Dichte; Gewichtskraft – Wichte . . . . .	90
3.7	Kraft, Kräfte diagramm . . . . .	92
3.8	Drehmoment; Hebelgesetz . . . . .	96
<b>4</b>	<b>Grundbegriffe der Physik und Chemie . . . . .</b>	<b>101</b>
4.1	Arbeitsmethoden der Physik – Maßsysteme . . . . .	101
4.2	Arbeitsmethoden der Chemie . . . . .	104
4.3	Aufbau der Materie . . . . .	105
4.3.1	Atom und Molekül . . . . .	105
4.3.2	Zustandsformen der Materie . . . . .	106
4.3.3	Kohäsion und Adhäsion . . . . .	107
4.3.4	Atommodell . . . . .	108
4.3.5	Periodisches System der chemischen Elemente . . . . .	110
4.3.6	Chemische Bindungsarten . . . . .	112
4.3.6.1	Ionenbindung . . . . .	112
4.3.6.2	Atombindung . . . . .	114
4.3.6.3	Metallbindung . . . . .	115
4.4	Grundlagen der Elektrizitätslehre . . . . .	116
4.4.1	Einige Daten aus der Geschichte der Elektrizitätslehre . . . . .	116
4.4.2	Elektrische Ladung . . . . .	117
4.4.3	Elektrische Spannung und Potential . . . . .	117
4.4.4	Elektrischer Strom und Ladung . . . . .	120
4.4.5	Stromrichtung im elektrischen Stromkreis . . . . .	121
4.4.6	Arten der Leitung des elektrischen Stroms . . . . .	122
4.4.7	Stromdichte . . . . .	123
4.4.8	Physikalische Wirkungen des elektrischen Stroms . . . . .	124
4.4.8.1	Wärmewirkung des elektrischen Stroms . . . . .	124

4.4.8.2	Lichtwirkung des elektrischen Stroms – Elektrolumineszenz . . . . .	124
4.4.8.3	Magnetische Wirkung des elektrischen Stroms . . . . .	125
4.4.9	Erzeugung elektrischer Spannungen . . . . .	125
4.4.9.1	Elektromagnetische Induktion . . . . .	125
4.4.9.2	Galvanische Spannungserzeugung . . . . .	125
4.4.9.3	Thermoelektrische Spannungserzeugung . . . . .	126
4.4.9.4	Piezoelektrizität . . . . .	128
4.4.9.5	Fotoelektrizität . . . . .	128
4.4.9.6	Berührungs- oder Reibungselektrizität . . . . .	130
<b>5</b>	<b>Elektrochemie . . . . .</b>	<b>131</b>
5.1	Grundlagen der Elektrolyse . . . . .	131
5.1.1	Elektrolyte . . . . .	131
5.1.2	Elektrolytische Dissoziation . . . . .	132
5.1.3	Elektrolyse . . . . .	134
5.1.4	Elektrochemisches Äquivalent . . . . .	135
5.2	Anwendung der Elektrolyse . . . . .	138
5.2.1	Galvanostegie . . . . .	138
5.2.2	Galvanoplastik . . . . .	139
5.2.3	Metallreinigung durch Elektrolyse . . . . .	140
5.2.4	Metallgewinnung durch Schmelzflußelektrolyse . . . . .	141
5.2.5	Eloxieren . . . . .	142
5.3	Grundlagen der galvanischen Spannungserzeugung . . . . .	142
5.3.1	Chemischer Lösungsdruck . . . . .	142
5.3.2	Elektrochemische Spannungsreihe . . . . .	143
5.3.3	Volta-Element . . . . .	143
5.4	Bauformen und Eigenschaften galvanischer Elemente . . . . .	145
5.4.1	Abmessungen von Primärelementen . . . . .	145
5.4.2	Kapazität und Lebensdauer von Primärelementen . . . . .	146
5.4.3	Braunsteinelement (Leclanché-Element) . . . . .	146
5.4.4	Alkali-Mangan-Zelle . . . . .	147
5.4.5	Quecksilberoxidzelle . . . . .	148
5.4.6	Silberoxidzelle . . . . .	148
5.4.7	Lithiumzelle . . . . .	149
5.4.8	Zink-Luft-Zelle . . . . .	150
5.4.9	Füllelement . . . . .	150
5.5	Brennstoffzellen . . . . .	150
5.6	Akkumulatoren . . . . .	152
5.6.1	Kapazität und Wirkungsgrad eines Akkumulators . . . . .	152
5.6.2	Bleiakkumulatoren . . . . .	153
5.6.2.1	Vorgänge bei der Entladung . . . . .	154
5.6.2.2	Vorgänge bei der Ladung . . . . .	155
5.6.2.3	Bauformen . . . . .	155
5.6.2.4	Wartung . . . . .	158
5.6.2.5	Wartungsfreie Bleiakkumulatoren . . . . .	159
5.6.2.6	Ladung von Bleiakkumulatoren . . . . .	160
5.6.3	Nickel-Cadmium-Akkumulatoren . . . . .	160
5.6.3.1	Wartung von Stahlakkumulatoren . . . . .	162
5.6.3.2	Ladung von Ni-Cd-Akkumulatoren . . . . .	163
5.6.4	Nickel-Metallhydrid-Akkumulator . . . . .	165
5.6.5	Natrium-Schwefel-Akkumulator . . . . .	165
5.6.6	Natrium-Nickelchlorid-Akkumulator . . . . .	167
5.6.7	Kennlinien der Ladegeräte . . . . .	167

5.7	Korrosion und Korrosionsschutz . . . . .	168
5.7.1	Chemische Korrosion . . . . .	168
5.7.2	Elektrochemische Korrosion . . . . .	168
5.7.2.1	Elektrochemische Korrosion durch Elementbildung . . . . .	169
5.7.2.2	Streustromkorrosion . . . . .	169
5.7.3	Korrosionsschutz . . . . .	170
5.7.3.1	Oberflächenschutz . . . . .	170
5.7.3.2	Konstruktive Maßnahmen gegen Kontaktkorrosion . . . . .	171
5.7.3.3	Konstruktive Maßnahmen gegen Streustromkorrosion . . . . .	171
5.7.3.4	Schutzströme gegen Korrosion im Erdreich oder Wasser . . . . .	171
<b>6</b>	<b>Elektrischer Widerstand und Schaltungen mit Widerständen . . . . .</b>	<b>173</b>
6.1	Elektrischer Widerstand . . . . .	173
6.1.1	Ohmsches Gesetz . . . . .	173
6.1.2	Elektrischer Leitwert . . . . .	174
6.1.3	Widerstandskennlinie . . . . .	175
6.1.4	Nichtlineare Widerstände . . . . .	177
6.2	Widerstand und Material . . . . .	180
6.2.1	Spezifischer Widerstand und Leitfähigkeit . . . . .	180
6.2.2	Widerstands- und Leiterwerkstoffe . . . . .	183
6.2.3	Belastbarkeit elektrischer Leiter . . . . .	184
6.3	Veränderlichkeit des elektrischen Widerstandes . . . . .	185
6.3.1	Zug- und Druckabhängigkeit des Widerstandes . . . . .	185
6.3.2	Temperaturabhängigkeit des Widerstandes . . . . .	186
6.3.3	Lichtabhängigkeit des Widerstandes . . . . .	186
6.3.4	Magnetfeldabhängigkeit des Widerstandes . . . . .	187
6.3.5	Spannungsabhängigkeit des Widerstandes . . . . .	187
6.3.6	Temperaturbeiwert . . . . .	187
6.3.7	Supraleitung . . . . .	189
6.4	Grundsaltungen von Widerständen . . . . .	190
6.4.1	Kirchhoffsche Gesetze . . . . .	190
6.4.2	Reihenschaltung von Widerständen . . . . .	194
6.4.2.1	Regeln der Reihenschaltung . . . . .	194
6.4.2.2	Unbelasteter Spannungsteiler . . . . .	198
6.4.2.3	Reihenschaltung mit einem nichtlinearen Widerstand . . . . .	201
6.4.3	Parallelschaltung von Widerständen . . . . .	202
6.4.3.1	Regeln der Parallelschaltung . . . . .	202
6.4.3.2	Beispiele mit Parallelschaltungen . . . . .	204
6.4.4	Gemischte Schaltungen aus linearen Widerständen . . . . .	206
6.5	Spannungsquellen . . . . .	209
6.5.1	Ersatzschaltbild einer Spannungsquelle . . . . .	209
6.5.2	Spannungsquellen mit nichtlinearem Verhalten . . . . .	212
6.5.3	Reihenschaltung von Spannungsquellen . . . . .	213
6.5.4	Parallelschaltung von Spannungsquellen . . . . .	215
6.5.5	Reihen- und Parallelschaltung von Spannungsquellen . . . . .	216
6.6	Belasteter Spannungsteiler . . . . .	217
6.6.1	Einbeziehung des Lastwiderstandes in den Spannungsteiler . . . . .	218
6.6.2	Belasteter Spannungsteiler als Spannungsquelle . . . . .	220
6.6.3	Einstellbarer Spannungsteiler . . . . .	222
6.7	Wheatstone-Brückenschaltung . . . . .	225
6.7.1	Die abgegliche Wheatstone-Brückenschaltung . . . . .	225
6.7.2	Die unabgeglichene Wheatstone-Brückenschaltung . . . . .	228
6.7.3	Unabgeglichene Brückenschaltung mit belastetem Diagonalzweig . . . . .	230
6.7.4	Ersatzwiderstand einer Brückenschaltung . . . . .	231

6.8	Widerstandsbauelemente . . . . .	234
6.8.1	Lineare Festwiderstände . . . . .	234
6.8.1.1	Staffelung der Nennwerte . . . . .	234
6.8.1.2	Kennzeichnung von Festwiderständen . . . . .	235
6.8.1.3	Belastbarkeit von Widerständen . . . . .	236
6.8.1.4	Bauformen von Festwiderständen . . . . .	236
6.8.1.4.1	Drahtwiderstände . . . . .	236
6.8.1.4.2	Schichtwiderstände . . . . .	237
6.8.1.4.3	Widerstandsmodule . . . . .	238
6.8.2	Verstellbare Widerstände . . . . .	239
6.8.2.1	Widerstandskurven von Potentiometern . . . . .	240
6.8.2.2	Drahtpotentiometer . . . . .	240
6.8.2.3	Schichtpotentiometer . . . . .	242
6.9	Temperaturabhängige Widerstände . . . . .	242
6.9.1	Heißleiter- oder NTC-Widerstände . . . . .	242
6.9.1.1	Aufbau und Eigenschaften von Heißleitern . . . . .	242
6.9.1.2	Anwendung von NTC-Widerständen . . . . .	245
6.9.2	Kaltleiter oder PTC-Widerstände . . . . .	247
6.9.2.1	Aufbau und Eigenschaften von PTC-Widerständen . . . . .	247
6.9.2.2	Anwendung von PTC-Widerständen . . . . .	248
6.10	Spannungsabhängige Widerstände oder Varistoren . . . . .	249
<b>7</b>	<b>Arbeit, Leistung, Energie . . . . .</b>	<b>251</b>
7.1	Begriff der Arbeit in der Mechanik . . . . .	251
7.2	Energie und Energieformen . . . . .	252
7.2.1	Mechanische Energie . . . . .	252
7.2.1.1	Potentielle Energie . . . . .	252
7.2.1.2	Kinetische Energie . . . . .	253
7.2.2	Elektrische Energie . . . . .	255
7.2.3	Wärmeenergie . . . . .	257
7.2.4	Chemische Energie . . . . .	258
7.2.5	Atomenergie . . . . .	260
7.2.6	Umrechnung von Energieeinheiten . . . . .	260
7.3	Leistung . . . . .	261
7.3.1	Mechanische Leistung . . . . .	261
7.3.2	Elektrische Leistung . . . . .	262
7.3.3	Leistung und Widerstand . . . . .	264
7.3.4	Umrechnung von Leistungseinheiten . . . . .	268
7.3.5	Messung der elektrischen Leistung . . . . .	268
7.3.6	Leistungsminderung durch Vorwiderstand . . . . .	269
7.3.7	Leistung an einer pulsierenden Gleichspannung . . . . .	270
7.3.8	Wirkungsgrad . . . . .	272
7.3.9	Elektrische Anpassung . . . . .	274
7.3.10	Pegelrechnung . . . . .	277
7.4	Wärmelehre . . . . .	281
7.4.1	Temperatur . . . . .	281
7.4.2	Temperaturmessung . . . . .	282
7.4.3	Wärmemenge . . . . .	283
7.4.4	Mischungsregel . . . . .	286
7.4.5	Umwandlung in anderen Aggregatzustand . . . . .	288
7.4.6	Ausbreitung der Wärme . . . . .	291
7.4.6.1	Wärmeleitung . . . . .	291
7.4.6.2	Wärmeströmung oder -konvektion . . . . .	293
7.4.6.3	Wärmestrahlung . . . . .	293

<b>8</b>	<b>Elektrisches Feld und Kondensator</b>	295
8.1	Gesetze des elektrischen Feldes	295
8.2	Durchschlagsfestigkeit	298
8.3	Elektrostatische Influenz und Polarisation	300
	8.3.1 Influenz	300
	8.3.2 Polarisation	301
8.4	Kondensator	302
	8.4.1 Kapazität des Kondensators	302
	8.4.2 Energie eines geladenen Kondensators	305
	8.4.3 Schaltungen von Kondensatoren	306
8.5	Kondensator im Gleichstromkreis	308
	8.5.1 Ladung und Entladung eines Kondensators mit konstantem Strom	309
	8.5.2 Ladung und Entladung eines Kondensators an konstanter Spannung	310
	8.5.3 Kapazitätsbestimmung durch Zeitmessung	314
	8.5.4 Aufladung eines Kondensators mit parallel geschaltetem Widerstand	315
8.6	Widerstand und Kondensator als Integrier- und Differenzglied	316
	8.6.1 RC-Glied als Integrierglied	317
	8.6.2 CR-Glied als Differenzglied	318
8.7	Bauformen und Eigenschaften von Kondensatoren	320
	8.7.1 Einteilung von Kondensatoren	320
	8.7.2 Eigenschaften von Festkondensatoren	320
	8.7.3 Kennzeichnung von Kondensatoren	322
	8.7.4 Aufbau von Kondensatoren	323
	8.7.4.1 Wickelkondensatoren	323
	8.7.4.2 Vielschichtkondensatoren	326
	8.7.4.3 Keramikmassekondensatoren	327
	8.7.5 Elektrolytkondensatoren (Elkos)	328
	8.7.5.1 Aluminium-Elektrolytkondensatoren	328
	8.7.5.2 Tantal-Elektrolytkondensatoren	329
	8.7.6 Verstellbare Kondensatoren	329
	8.7.6.1 Drehkondensator	329
	8.7.6.2 Trimmerkondensatoren	329
<b>9</b>	<b>Magnetisches Feld</b>	331
9.1	Grundbegriffe	331
	9.1.1 Historisches	331
	9.1.2 Entstehung der magnetischen Wirkung	331
	9.1.3 Magnetische Abschirmung	334
	9.1.4 Wirkung magnetischer Pole	334
9.2	Magnetischer Kreis	335
	9.2.1 Magnetischer Fluß	336
	9.2.2 Flußdichte – Induktion	336
	9.2.3 Durchflutung	337
	9.2.4 Magnetischer/Elektrischer Spannungsfall	338
	9.2.5 Magnetischer/Elektrischer Widerstand	339
	9.2.6 Magnetischer/Elektrischer Leitwert	341
	9.2.7 Magnetische/Elektrische Feldstärke	342
9.3	Ferromagnetische Materialien	347
	9.3.1 Größen der Magnetisierungskennlinien	347
	9.3.1.1 Remanenz	347
	9.3.1.2 Hysterisisverluste	348
	9.3.1.3 Entmagnetisierung	350
	9.3.2 Hartmagnetische Werkstoffe	351

9.3.2.1	Hartferrit-Magneten . . . . .	351
9.3.2.2	Seltenerd-Magneten . . . . .	352
9.3.2.3	Metallische Dauermagnete . . . . .	352
9.3.2.4	Magnetisierungsarten . . . . .	353
9.3.2.5	Aufmagnetisierung von Dauermagneten . . . . .	354
9.3.3	Weichmagnetische Bauelemente . . . . .	355
9.3.3.1	Kerne aus einzelnen Blechen . . . . .	355
9.3.3.2	Bandkerne . . . . .	356
9.3.3.3	Schnittbandkerne . . . . .	356
9.3.3.4	Pulverkerne . . . . .	356
9.3.3.5	Ferritkerne . . . . .	356
9.4	Elektromagnete . . . . .	357
9.4.1	Magnetfeld eines stromdurchflossenen Leiters . . . . .	357
9.4.2	Magnetfeld in einer Spule . . . . .	358
9.4.3	Eisen im Magnetkreis . . . . .	359
9.4.4	Anwendungen von Elektromagneten . . . . .	359
9.4.5	Kraftwirkung zweier Magnetpole . . . . .	360
9.4.6	Kraftwirkung zwischen zwei stromführenden Leitern . . . . .	361
9.4.7	Kraftwirkung auf einen stromdurchflossenen Leiter im Magnetfeld . . . . .	363
9.4.8	Kraftwirkung auf eine stromdurchflossene Spule im Magnetfeld . . . . .	365
9.5	Elektromagnetische Induktion . . . . .	366
9.5.1	Lenzsches Gesetz . . . . .	370
9.5.2	Selbstinduktion und Induktivität . . . . .	371
9.5.3	Induktivität von Spulen . . . . .	372
9.5.4	Schaltzeichen und Ersatzschaltbild einer Spule . . . . .	373
9.5.5	Spule im Gleichstromkreis . . . . .	374
9.5.5.1	Einschaltvorgang an einer Spule . . . . .	374
9.5.5.2	Abschaltvorgang an einer Spule . . . . .	375
9.5.5.2.1	Abschaltvorgang ohne Zusatzaßnahmen . . . . .	376
9.5.5.2.2	Abschaltvorgang mit Entlademöglichkeit über den ohmschen Widerstand des Stromkreises . . . . .	376
9.5.5.2.3	Abschaltung mit Entlademöglichkeit über eine Freilaufdiode . . . . .	376
9.6	Wirbelströme . . . . .	376
9.6.1	Stromverdrängung – Skinneffekt . . . . .	377
<b>10</b>	<b>Wechselstromtechnik . . . . .</b>	<b>379</b>
10.1	Begriffe . . . . .	379
10.1.1	Warum ist die Wechselspannung sinusförmig? . . . . .	379
10.1.2	Periode – Periodendauer . . . . .	382
10.1.3	Frequenz – Polpaarzahl – Drehzahl . . . . .	383
10.1.4	Winkelgeschwindigkeit oder Kreisfrequenz . . . . .	385
10.1.5	Winkel – Bogenmaß – Zeit im Liniendiagramm . . . . .	385
10.1.5.1	Angabe des Winkels $\alpha$ . . . . .	385
10.1.5.2	Angabe des Bogenmaßes $\omega \cdot t$ . . . . .	386
10.1.5.3	Angabe der Zeit bei vorgegebener Frequenz . . . . .	386
10.1.6	Zeiger- und Liniendiagramm . . . . .	387
10.1.7	Phasenverschiebung im Zeiger- und Liniendiagramm . . . . .	387
10.1.8	Scheitelwert – Mittelwert – Effektivwert . . . . .	390
10.1.9	Leistung im Wechselstromkreis . . . . .	393
10.1.9.1	Leistung (Wirkleistung) . . . . .	393
10.1.9.2	Blindleistung . . . . .	394
10.1.9.3	Scheinleistung . . . . .	395
10.1.9.4	Leistungsdreieck . . . . .	395

10.2	Ohmscher Widerstand (Wirkwiderstand) im Wechselstromkreis . . . . .	396
10.3	Induktiver Widerstand . . . . .	398
10.3.1	Phasenverschiebung und Berechnung des Blindwiderstandes . . . . .	398
10.3.2	Schaltungen mit induktiven Widerständen . . . . .	401
10.3.3	Reihenschaltung aus $R$ und $X_L$ (Spule) . . . . .	401
10.3.4	Parallelschaltung von $R$ und $X_L$ . . . . .	409
10.3.5	Verluste in Spulen bei Wechselstrom . . . . .	414
10.3.5.1	Verlustfaktor und Gütefaktor . . . . .	415
10.4	Kapazitiver Widerstand . . . . .	417
10.4.1	Phasenverschiebung und Berechnung des Blindwiderstandes . . . . .	417
10.4.2	Reihenschaltung $R$ und $X_C$ . . . . .	419
10.4.3	Parallelschaltung aus $R$ und $X_C$ . . . . .	424
10.4.4	Verluste im Kondensator . . . . .	426
10.4.4.1	Verlustfaktor und Gütefaktor . . . . .	427
10.5	Kombinierte Wechselstromschaltungen . . . . .	429
10.5.1	Schaltungen mit nur induktiven bzw. nur kapazitiven Widerständen . . . . .	429
10.5.2	Reihenschaltung induktiv-ohmscher Verbraucher . . . . .	432
10.5.3	Reihenschaltung von mehreren $R$ und $C$ . . . . .	437
10.5.4	Parallelschaltung induktiv-ohmscher Verbraucher . . . . .	438
10.5.5	Parallelschaltung mehrerer kapazitiver und ohmscher Verbraucher . . . . .	444
10.5.6	Schwingkreise . . . . .	446
10.5.6.1	Reihenschwingkreis . . . . .	446
10.5.6.2	Parallelschwingkreis . . . . .	453
10.5.6.3	Vergleich zwischen einem mechanischen Schwingkreis und einem elektrischen Schwingkreis . . . . .	458
10.5.6.4	Widerstandsverlauf eines Schwingkreises in Abhängigkeit von der Frequenz . . . . .	462
10.5.6.5	Bandbreite und Güte . . . . .	463
10.5.7	Blindleistungskompensation . . . . .	466
10.6	Passive Vierpole . . . . .	470
10.6.1	Phasenschieber . . . . .	471
10.6.2	Filterschaltungen . . . . .	474
10.6.3	Siebglieder . . . . .	480
10.6.4	Frequenzkompensierter Spannungsteiler . . . . .	481
<b>11</b>	<b>Dreiphasenwechselstrom – Drehstrom . . . . .</b>	<b>483</b>
11.1	Phasenlage und Verkettung . . . . .	483
11.1.1	Generator in Sternschaltung ( $Y$ -Schaltung) . . . . .	483
11.1.2	Generator in Dreieckschaltung ( $\Delta$ -Schaltung) . . . . .	487
11.2	Drehstromverbraucherschaltungen (unsymmetrisch) . . . . .	489
11.2.1	Sternschaltung (unsymmetrisch) . . . . .	489
11.2.2	Dreieckschaltung (unsymmetrisch) . . . . .	493
11.2.3	Leistungen im Drehstromsystem bei unsymmetrischer Last . . . . .	494
11.3	Symmetrische Drehstromverbraucherschaltungen . . . . .	495
11.3.1	Symmetrische Sternschaltung . . . . .	495
11.3.2	Symmetrische Dreieckschaltung . . . . .	498
11.3.3	Stern-Dreieck-Schaltung . . . . .	500
11.3.4	Störungen bei symmetrischen Schaltungen . . . . .	504
11.3.4.1	Störungen bei symmetrischen Sternschaltungen . . . . .	504
11.3.4.2	Störungen bei symmetrischen Dreieckschaltungen . . . . .	507
11.3.4.3	Zusammenfassung zu den Abschnitten 11.3.4.1 und 11.3.4.2 . . . . .	509
11.3.5	Unterbrechung des N-Leiters bei unsymmetrischer Belastung . . . . .	509

11.4	Blindleistungskompensation im Drehstromnetz	510
11.4.1	Berechnungsverfahren	515
11.4.2	Kompensationsarten	516
<b>12</b>	<b>Grundlagen der Leitungsberechnung</b>	<b>517</b>
12.1	Kriterien der Leitungsberechnung	517
12.2	Leitungsauswahl nach mechanischer Festigkeit	517
12.3	Strombelastbarkeit von Leitungen	518
12.4	Spannungsfall auf elektrischen Leitungen	519
12.4.1	Bestimmungen über die Höhe des zulässigen Spannungsfalls	519
12.4.2	Berechnung des Spannungsfalls auf Leitungen	520
12.4.2.1	Spannungsfall bei Gleichstrom	520
12.4.2.2	Spannungsfall bei Wechselstrom	521
12.4.2.3	Spannungsfall bei Drehstrom	524
12.4.3	Leitungen mit Abzweigen	526
12.4.3.1	Leitungen mit Abzweigen bei Wechselstrom	527
12.4.3.2	Leitungen mit Abzweigen bei Drehstrom	530
12.4.4	Ringleitung	532
12.4.5	Zusammenfassung der Formeln für die Leitungsberechnung nach Spannungsfall	536
12.5	Leistungsverlust auf elektrischen Leitungen	537
<b>13</b>	<b>Vierpole</b>	<b>538</b>
13.1	Übertragungsverhalten von Vierpolen	538
	<b>Verzeichnis der Tabellen</b>	<b>539</b>
	<b>Stichwortverzeichnis</b>	<b>541</b>