Inhaltsverzeichnis

1	Grundbegriffe	1
1.1	Physikalische Größen und Einheiten	1
1.1.1	Physikalische Größen	1
1.1.1.1	Charakter der physikalischen Größen	1
1.1.1.2	Formelzeichen und ihre Darstellung	2
1.1.1.3	Vektoren, Matrizen	3
1.1.1.4	Zeitabhängige Größen	3
1.1.1.5	Komplexe Größen	3
1.1.2	Einheiten	4
1.1.2.1	SI-Basiseinheiten	5
1.1.2.2	Abgeleitete SI-Einheiten	5
1.1.2.3	Gesetzliche Einheiten außerhalb des SI-Einheitensystems	6
1.1.2.4	Dezimale Vielfache von Einheiten	6
1.1.3	Physikalische Gleichungen	7
1.1.3.1	Größengleichungen	7
1.1.3.2	Zugeschnittene Größengleichungen	7
1.2	Elektrische Grundgrößen	9
1.2.1	Elektrische Ladung	10
1.2.2	Elektrischer Strom	11
1.2.3	Technische Stromrichtung	13
1.2.4	Elektrisches Potenzial	14
1.2.5	Elektrische Spannung	16
1.3	Grundlegende Begriffe	18
1.3.1	Modellieren, Modell	18
1.3.2	Klemme, Zweipol, Dreipol, n-Pol	18
1.3.3	Aktiver und passiver Zweipol	19
1.3.4	Erzeuger und Verbraucher	19
1.3.5	Tor, Torbedingung, Zweitor	20
1.3.6	Elektrisches Netzwerk	20
1.3.7	Schaltzeichen, Schaltplan	20
1.3.8	Ersatzschaltbild	21
1.3.9	Analyse und Synthese	21
1.4	Zählpeile, Zählpeilsysteme	22
1.4.1	Strom- und Spannungszählpeile	22
1.4.2	Zählpeilsysteme an Zweipolen	24
1.4.2.1	Verbraucher-Zählpeilsystem	24
1.4.2.2	Erzeuger-Zählpeilsystem	25

1.4.3	Zählpeile an Zweitoren	26
1.4.3.1	Symmetrisches Zählpeilsystem	26
1.4.3.2	Ketten-Zählpeilsystem	26
2	Gleichstromnetzwerke	27
2.1	Grundgesetze im unverzweigten Gleichstromkreis	27
2.1.1	Ohmsches Gesetz	27
2.1.1.1	Zusammenhang zwischen Strom und Spannung	28
2.1.1.2	Elektrischer Leitwert, elektrischer Widerstand	28
2.1.2	Elektrische Widerstände	31
2.1.2.1	Elektrische Leitfähigkeit, spezifischer elektrischer Widerstand	31
2.1.2.2	Lineare Widerstände	35
2.1.2.3	Nichtlineare Widerstände	36
2.1.2.4	Temperaturabhängigkeit des Widerstandes	37
2.1.2.5	Ausführungsformen von Widerständen	40
2.1.3	Elektrische Quellen	43
2.1.3.1	Ideale Spannungsquelle	43
2.1.3.2	Ideale Stromquelle	44
2.1.3.3	Allgemeine lineare Quelle	45
2.1.3.4	Lineare Spannungsquelle, lineare Stromquelle	48
2.1.3.5	Reale Quellen	50
2.1.4	Energie und Leistung	52
2.1.4.1	Energieumsatz von Zweipolen	52
2.1.4.2	Leistungsumsatz von Zweipolen	54
2.1.4.3	Interpretation von berechneten Leistungen	55
2.1.4.4	Verluste und Wirkungsgrad	56
2.1.4.5	Leerlauf, Kurzschluss und Leistungsanpassung bei linearen Quellen	58
2.1.4.6	Leistungsbilanz	61
2.2	Verzweigte Gleichstromkreise	62
2.2.1	Knoten, Zweig, Masche	63
2.2.1.1	Knoten	63
2.2.1.2	Zweig	63
2.2.1.3	Masche	64
2.2.2	Kirchhoffsche Gesetze	64
2.2.2.1	Knotensatz (1. Kirchhoffsches Gesetz)	64
2.2.2.2	Maschensatz (2. Kirchhoffsches Gesetz)	65
2.2.3	Parallelschaltung von Widerständen	67
2.2.3.1	Gesamtwiderstand	67
2.2.3.2	Stromteilerregel	70
2.2.4	Reihenschaltung von Widerständen	71
2.2.4.1	Gesamtwiderstand	71
2.2.4.2	Spannungsteilerregel	73
2.2.5	Gemischte Schaltungen	74
2.2.5.1	Belasteter Spannungsteiler	74
2.2.5.2	Mehrstufiger Spannungsteiler	75
2.2.6	Brückenschaltungen	78

2.2.6.1	Struktur	78
2.2.6.2	Abgleichbedingung	78
2.2.7	Sternschaltungen, Dreieckschaltungen	79
2.2.7.1	Struktur	79
2.2.7.2	Dreieck-Stern-Transformation	80
2.2.7.3	Stern-Dreieck-Transformation	81
2.3	Strom-, Spannungs- und Leistungsmessung	84
2.3.1	Ideale und reale Strommesser	84
2.3.2	Ideale und reale Spannungsmesser	85
2.3.3	Indirekte Strommessung	86
2.3.4	Stromrichtiges und spannungsrichtiges Messen	86
2.3.5	Leistungsmessung	87
2.3.6	Kompensationsmessverfahren	88
2.4	Analyse linearer Gleichstromnetzwerke	89
2.4.1	Grundlagen	89
2.4.1.1	Kennzeichen linearer Gleichstromnetzwerke	89
2.4.1.2	Bei der Netzwerkanalyse zu lösende mathematische Aufgabe	91
2.4.1.3	Topologie und Graph eines Netzwerks	92
2.4.1.4	Vollständiger Baum eines Graphen	92
2.4.1.5	Baumzweige, Verbindungszweige	93
2.4.1.6	Netzwerkumformung	93
2.4.2	Rekursive Berechnung	97
2.4.3	Knoten- und Maschenanalyse	99
2.4.3.1	Prinzip des Verfahrens	99
2.4.3.2	Vorgehensweise	99
2.4.3.3	Matrixschreibweise des Gleichungssystems	100
2.4.3.4	Modifiziertes Verfahren zur Behandlung von Stromquellen	104
2.4.4	Anwendung des Überlagerungssatzes	106
2.4.4.1	Prinzip des Verfahrens	106
2.4.4.2	Vorgehensweise	106
2.4.5	Netzwerkanalyse mit Ersatz-Quellen	110
2.4.5.1	Prinzip des Verfahrens	110
2.4.5.2	Ersatz-Spannungsquelle	111
2.4.5.3	Ersatz-Stromquelle	112
2.4.5.4	Vorgehensweise	113
2.4.6	Maschenstromverfahren	118
2.4.6.1	Prinzip des Verfahrens	118
2.4.6.2	Behandlung von Stromquellen	121
2.4.6.3	Vorgehensweise	123
2.4.6.4	Vereinfachtes Aufstellen der Matrixgleichung	125
2.4.7	Knotenpotenzialverfahren	129
2.4.7.1	Prinzip des Verfahrens	129
2.4.7.2	Behandlung von Spannungsquellen	131
2.4.7.3	Vorgehensweise	132
2.4.7.4	Vereinfachtes Aufstellen der Matrixgleichung	135
2.4.8	Vergleich der Berechnungsverfahren	139
2.5	Analyse nichtlinearer elektrischer Netzwerke	140

2.5.1	Linearisierung im Arbeitspunkt	141
2.5.2	Grafische Arbeitspunktbestimmung	144
2.5.3	Stabilität des Arbeitspunktes	146
2.5.4	Numerische Berechnung	148
2.6	Grundlagen der numerischen Netzwerkanalyse	148
2.6.1	Das Programm SPICE	149
2.6.2	Datenfluss in Netzwerkanalyse-Programmen	149
2.6.3	Struktur einer integrierten Schaltungssimulations-Umgebung	151
2.6.4	Das SPICE Netzlistenformat	152
2.6.5	Berechnung linearer Gleichstromnetzwerke mit SPICE im Stapelbetrieb	153
3	Elektrisches Potenzialfeld	155
3.1	Definition und Wirkung der elektrischen Ladung	155
3.1.1	Definition der elektrischen Ladung	156
3.1.1.1	Reale Ladungsverteilungen und ihre Beschreibung	157
3.1.1.2	Ladungserhaltungssatz und Kontinuitätsgleichung	161
3.1.2	Wirkungen der elektrischen Ladung	163
3.1.2.1	Coulombsches Gesetz	163
3.1.2.2	Feldwirkung der elektrischen Ladung	165
3.2	Elektrisches Strömungsfeld	168
3.2.1	Wesen und Darstellung des elektrischen Strömungsfeldes	168
3.2.1.1	Driftladung	168
3.2.1.2	Driftgeschwindigkeit und elektrische Stromdichte	169
3.2.2	Stromdichte und Strom	172
3.2.3	Elektrische Feldstärke und elektrische Spannung	177
3.2.4	Elektrisches Potenzial	182
3.2.5	Leistungsdichte im elektrischen Strömungsfeld	187
3.3	Elektrisches Feld in Nichtleitern	188
3.3.1	Wesen und Darstellung des elektrischen Feldes in Nichtleitern	188
3.3.2	Elektrische Feldstärke und Spannung	189
3.3.3	Elektrisches Potenzial und Eigenschaften des Potenzialfeldes	193
3.3.4	Elektrische Flussdichte und elektrischer Fluss	196
3.3.5	Zusammenhang zwischen elektrischer Ladung und Spannung	201
3.3.5.1	Kapazität	202
3.3.5.2	Zeitliche Änderung von Strom und Spannung im Kondensator	206
3.3.5.3	Parallel- und Reihenschaltung von Kondensatoren	206
3.3.6	Energie und Kräfte im elektrischen Feld	209
3.3.6.1	Gespeicherte Energie im elektrischen Feld	209
3.3.6.2	Verlustleistung im elektrischen Feld	212
3.3.6.3	Kräfte auf Grenzflächen im elektrischen Feld	213
4	Magnetisches Feld	215
4.1	Beschreibung und Berechnung des magnetischen Feldes	215
4.1.1	Wesen und Darstellung des magnetischen Feldes	215
4.1.1.1	Wirkungen und Ursachen des magnetischen Feldes	215
4.1.1.2	Feldbilder und Feldlinien	216
4.1.1.3	Feldrichtung und Polarität	217

4.1.2	Vektorielle Feldgrößen des magnetischen Feldes	218
4.1.2.1	Magnetische Flussdichte	218
4.1.2.2	Elektrische Durchflutung	221
4.1.2.3	Magnetische Feldstärke	223
4.1.2.4	Einheiten der magnetischen Feldgrößen	224
4.1.3	Integrale Größen des magnetischen Feldes	226
4.1.3.1	Magnetische Spannung	226
4.1.3.2	Durchflutungssatz	227
4.1.3.3	Magnetischer Fluss	235
4.1.3.4	Ohmsches Gesetz des magnetischen Kreises	240
4.1.4	Überlagerung magnetischer Felder	243
4.1.5	Magnetisches Feld in Materie	245
4.1.5.1	Verhalten von Materie im Magnetfeld	246
4.1.5.2	Brechung magnetischer Feldlinien an Grenzflächen	247
4.2	Magnetisches Feld in Ferromagnetika	248
4.2.1	Ferromagnetische Eigenschaften	248
4.2.1.1	Hystereseschleife	249
4.2.1.2	Magnetisierungskurve	251
4.2.1.3	Permeabilität und Suszeptibilität	254
4.2.1.4	Dauermagnete	256
4.2.2	Berechnung des magnetischen Feldes in Eisenkreisen	256
4.2.2.1	Magnetische Streuung und Randverzerrung	257
4.2.2.2	Berechnung der elektrischen Durchflutung	258
4.3	Wirkungen im magnetischen Feld	265
4.3.1	Spannungserzeugung im magnetischen Feld, elektrisches Wirbelfeld	265
4.3.1.1	Induktionswirkung im bewegten Leiter	266
4.3.1.2	Induktionswirkung im zeitvarianten Magnetfeld	271
4.3.1.3	Induktionsgesetz	275
4.3.1.4	Selbstinduktionsspannung	280
4.3.1.5	Selbst- und Gegeninduktivität	282
4.3.1.6	Selbst- und Gegeninduktionsspannung im Verbraucher-Zählpfeilsystem	287
4.3.1.7	Wirbelströme	287
4.3.2	Energie und Kräfte im magnetischen Feld	288
4.3.2.1	Energie des magnetischen Feldes	289
4.3.2.2	Kraftwirkung auf Grenzflächen	291
4.3.2.3	Kraftwirkung auf stromdurchflossene Leiter im Magnetfeld	296
4.3.2.4	Kraftwirkung zwischen stromdurchflossenen Leitern	301
4.4	Vergleich der elementaren elektrischen und magnetischen Felder	302
4.5	Maxwellsche Gleichungen	303
5	Wechselstromtechnik	306
5.1	Periodische Zeitfunktionen	307
5.1.1	Periodendauer, Grundfrequenz, Grundkreisfrequenz	307
5.1.2	Maximalwert, Minimalwert, Spitze-Spitze-Wert	308
5.1.3	Arithmetischer Mittelwert	308
5.1.4	Wechselgrößen, Mischgrößen	309

5.1.5	Scheitelwert	309
5.1.6	Gleichrichtwert	309
5.1.7	Effektivwert	310
5.1.8	Scheitelfaktor, Formfaktor	312
5.2	Sinusgrößen	313
5.2.1	Erzeugung von Sinusspannungen	313
5.2.2	Kennwerte von Sinusgrößen	314
5.2.2.1	Amplitude	315
5.2.2.2	Periodendauer, Frequenz, Kreisfrequenz	315
5.2.2.3	Nullphasenwinkel, Nullzeit	315
5.2.2.4	Phasenverschiebungswinkel	317
5.2.2.5	Arithmetischer Mittelwert	318
5.2.2.6	Gleichrichtwert	318
5.2.2.7	Effektivwert	319
5.2.2.8	Scheitelfaktor, Formfaktor	320
5.2.3	Beschreibung von Sinusgrößen durch Zeiger	320
5.2.4	Zählpfeile für Sinusgrößen	322
5.2.5	Addition und Subtraktion gleichfrequenter Sinusgrößen	323
5.2.6	Differenziation und Integration von Sinusgrößen	326
5.3	Komplexe Größen der Sinusstromtechnik	327
5.3.1	Darstellung komplexer Größen	328
5.3.2	Rechenregeln für komplexe Größen	330
5.3.3	Komplexe Gleichungen	334
5.3.4	Komplexe Spannungen und Ströme	335
5.3.4.1	Komplexe Scheitelwertzeiger	335
5.3.4.2	Komplexe Effektivwertzeiger	336
5.3.5	Komplexe Widerstände und Leitwerte	338
5.4	Leistung in Sinusstromnetzwerken	341
5.4.1	Wirkleistung	341
5.4.2	Scheinleistung	342
5.4.3	Komplexe Leistung	342
5.4.4	Leistungsfaktor	344
5.5	Ideale passive Zweipole bei Sinusstrom	344
5.5.1	Ohmscher Widerstand	345
5.5.1.1	Spannung, Strom und Phasenverschiebungswinkel	345
5.5.1.2	Wirkwiderstand und Wirkleitwert	346
5.5.1.3	Wirkleistung	348
5.5.2	Induktivität	349
5.5.2.1	Spannung, Strom und Phasenverschiebungswinkel	349
5.5.2.2	Induktiver Blindwiderstand und induktiver Blindleitwert	350
5.5.2.3	Induktive Blindleistung	353
5.5.3	Kapazität	354
5.5.3.1	Spannung, Strom und Phasenverschiebungswinkel	354
5.5.3.2	Kapazitiver Blindwiderstand und Blindleitwert	355
5.5.3.3	Kapazitive Blindleistung	358
5.5.4	Gegenüberstellung der idealen passiven Zweipole	359
5.6	Kirchhoffsche Gesetze	361

5.6.1	Knotensatz	361
5.6.2	Maschensatz	362
5.7	Reihen- und Parallelschaltung passiver Zweipole	364
5.7.1	Reihenschaltung passiver Zweipole	364
5.7.1.1	Gesamtimpedanz	364
5.7.1.2	Spannungsteilerregel	365
5.7.1.3	Reihenschaltungen der Grundzweipole	366
5.7.2	Parallelschaltung passiver Zweipole	373
5.7.2.1	Gesamtadmittanz	373
5.7.2.2	Stromteilerregel	375
5.7.2.3	Parallelschaltungen der Grundzweipole	376
5.8	Gemischte Schaltungen	382
5.9	Analogien zwischen Gleich- und Sinusstromnetzwerken	385
5.10	Dualitätsbeziehungen bei Sinusstromnetzwerken	387
5.11	Leistung in Sinusstromnetzwerken	390
5.11.1	Addition von Leistungen, Leistungsbilanzen	390
5.11.2	Blindleistungskompensation	392
5.11.3	Leistungsanpassung	397
5.11.4	Leistungsmessung	399
5.12	Ersatzschaltungen realer passiver Zweipole	401
5.12.1	Verlustwinkel	401
5.12.2	Verlustfaktor	401
5.12.3	Güte	402
5.12.4	Modelle realer passiver Zweipole	402
5.12.4.1	Bedingt und unbedingt äquivalente Schaltungen	402
5.12.4.2	Reihen-Ersatzschaltungen	402
5.12.4.3	Parallel-Ersatzschaltungen	406
5.12.4.4	Gemischte Ersatzschaltungen	409
5.13	Transformator	411
5.13.1	Idealer Transformator	412
5.13.2	Verlust- und streuungsloser Transformator	416
5.13.3	Transformator mit Streuung ohne Verluste	422
5.13.4	Transformator mit Streuung und Kupferverlusten	423
5.13.5	Transformator mit Streuung und Verlusten	425
5.13.6	Vereinfachte Ersatzschaltung mit reduzierten Größen	426
6	Ortskurven	427
6.1	Grundlagen	427
6.2	Konstruktion einfacher Ortskurven	429
6.3	Inversion von Ortskurven	437
6.4	Betrags- und Phasenwinkeldiagramme	441
7	Filterschaltungen und Schwingkreise	443
7.1	Filterschaltungen	443
7.1.1	Grundlegende Begriffe	444
7.1.1.1	Übertragungsfunktion	444
7.1.1.2	Ordnung eines Filters	445

7.1.1.3	Betragsfrequenzgang	445
7.1.1.4	Phasenfrequenzgang	446
7.1.1.5	Pegel, Dämpfung	446
7.1.1.6	Bode-Diagramm, Eckfrequenz	447
7.1.1.7	Grenzfrequenz, Durchlassbereich, Sperrbereich	448
7.1.2	Einfache Filterschaltungen	448
7.1.2.1	Tiefpässe	448
7.1.2.2	Hochpässe	456
7.1.2.3	Bandpässe	460
7.1.2.4	Bandsperrern	464
7.1.2.5	Allpässe	464
7.2	Schwingkreise	465
7.2.1	Freie Schwingungen	466
7.2.2	Erzwungene Schwingungen	467
7.2.3	Kenngößen von Schwingkreisen	468
7.2.3.1	Resonanzbedingung, Resonanzfrequenz, Kennfrequenz	469
7.2.3.2	Normierte Frequenz, Verstimmung	469
7.2.3.3	Kennwiderstand, Kennleitwert	469
7.2.3.4	Güte, Dämpfung	470
7.2.3.5	Grenzfrequenzen, Bandbreite	470
7.2.4	Elementare Schwingkreise	471
7.2.4.1	Elementarer Reihenschwingkreis	471
7.2.4.2	Elementarer Parallelschwingkreis	479
7.2.4.3	Vergleich der elementaren Schwingkreise	481
7.2.5	Nichtelementare Schwingkreise mit einem Freiheitsgrad	483
7.2.6	Schwingkreise mit mehreren Freiheitsgraden	486
8	Mehrphasensysteme	489
8.1	Verkettete Mehrphasensysteme	489
8.1.1	Schaltungsarten	489
8.1.1.1	Mehrphasengenerator	489
8.1.1.2	Sternschaltung	492
8.1.1.3	Ringschaltung	492
8.1.2	Zweiphasensysteme	492
8.1.2.1	Symmetrisches Zweiphasensystem	492
8.1.2.2	Unsymmetrisches Zweiphasensystem	493
8.1.2.3	Drehfelderzeugung	495
8.2	Symmetrisches Dreiphasensystem	495
8.2.1	Spannungen und Ströme	496
8.2.1.1	Benennungen	496
8.2.1.2	Spannungen	496
8.2.1.3	Symmetrische Sternschaltung	498
8.2.1.4	Symmetrische Dreieckschaltung	499
8.2.2	Leistung bei symmetrischer Last	501
8.2.2.1	Augenblicksleistung	501
8.2.2.2	Wirk-, Blind- und Scheinleistung	501
8.2.2.3	Blindleistungskompensation	503

8.3	Unsymmetrische Dreiphasenbelastung	504
8.3.1	Vierleiternetz	505
8.3.1.1	Allgemeine Belastung	505
8.3.1.2	Leistungsmessung	507
8.3.2	Dreileiternetz	509
8.3.2.1	Dreieckschaltung	509
8.3.2.2	Sternschaltung	510
8.3.2.3	Leistungsmessung	512
9	Nichtsinusförmige Ströme und Spannungen	513
9.1	Fourier-Analyse periodischer Zeitfunktionen	513
9.1.1	Aufgabenstellung	514
9.1.1.1	Näherungsfunktion	514
9.1.1.2	Approximation nach dem kleinsten mittleren Fehlerquadrat	515
9.1.2	Fourier-Reihen	517
9.1.2.1	Berechnung der Fourier-Koeffizienten	517
9.1.2.2	Unendliche Fourier-Reihe	520
9.1.2.3	Sonderfälle	520
9.1.2.4	Komplexe Fourier-Reihe	523
9.1.3	Kennwerte periodischer Größen	524
9.1.3.1	Effektivwert	524
9.1.3.2	Schwingungsgehalt, Welligkeit, Grundschwingungsgehalt, Klirrfaktor, Total Harmonic Distortion	525
9.1.4	Nichtsinusförmige Wechselgrößen in linearen Netzwerken	530
9.1.4.1	Lineare Verzerrungen	530
9.1.4.2	Differenziation und Integration nichtsinusförmiger Wechselgrößen	532
9.2	Nichtlineare Wechselstromnetzwerke	536
9.2.1	Nichtlineare Verzerrungen	536
9.2.2	Gleichrichterschaltungen	538
9.2.3	Spule mit ferromagnetischem Kern (Eisendrossel)	541
9.2.4	Leistung bei nicht sinusförmigen Klemmengrößen	542
9.2.4.1	Nichtsinusförmige Spannungen und Ströme	542
9.2.4.2	Nichtlineare Zweipole an Sinusspannung	543
9.3	Schaltvorgänge in linearen elektrischen Netzwerken	547
9.3.1	Berechnungsverfahren	547
9.3.1.1	Aufstellen der Differenzialgleichung	547
9.3.1.2	Lösungsverfahren	550
9.3.1.3	Exponentialansatz	550
9.3.1.4	Partikuläre Lösung	551
9.3.2	Schalten von Gleichströmen und -spannungen	552
9.3.2.1	Idealisiertes Einschalten von RC- und RL-Schaltungen	552
9.3.2.2	Idealisiertes Ausschalten von RC- und RL-Schaltungen	558
9.3.2.3	Schalten von Schwingkreisen	561
9.3.3	Schalten von Sinusströmen und -spannungen	569
9.3.3.1	Schalten einer RL-Reihenschaltung an eine Sinusspannung	570
9.3.3.2	Schalten einer RC-Reihenschaltung an eine Sinusspannung	573
9.3.3.3	Schalten eines Reihenschwingkreises an eine Sinusspannung	574

9.3.3.4	Ausschalten von Sinusströmen	576
10	Elektrische Leitungsmechanismen	578
10.1	Elektrische Leitung im Vakuum	578
10.1.1	Elektronenemission in das Vakuum	578
10.1.2	Elektronenströmung im Vakuum	580
10.1.2.1	Bewegung im elektrischen Feld	581
10.1.2.2	Bewegung im magnetischen Feld	585
10.1.3	Technische Nutzung	587
10.1.3.1	Elektronenröhre ohne Gitter	587
10.1.3.2	Elektronenröhre mit Gitter	590
10.1.3.3	Oszilloskop-Röhren	591
10.1.3.4	Röntgenröhren	593
10.2	Elektrische Leitung in Gasen	593
10.2.1	Ladungsträger in Gasen	593
10.2.2	Generation und Rekombination von Ladungsträgern	594
10.2.3	Entladungsformen	597
10.2.3.1	Unselbstständige Entladung	597
10.2.3.2	Selbstständige Entladung	598
10.2.4	Technische Nutzung der Gasentladung	602
10.3	Elektrische Leitung in Flüssigkeiten	603
10.3.1	Mechanismus der elektrolytischen Leitung	603
10.3.2	Ladungs-, Massen- und Strombilanzen	605
10.3.2.1	Faradaysche Gesetze	605
10.3.2.2	Elektrolytische Spannung galvanischer Zellen	607
10.3.2.3	Zersetzungs- und Polarisations-Spannung	607
10.3.3	Technische Nutzung elektrischer Leitung in Flüssigkeiten	609
10.3.3.1	Elektrochemische Stromerzeuger	609
10.3.3.2	Elektrolyse, Galvanik und Korrosion	612
10.4	Elektrische Leitung in homogenen kristallinen Festkörpern	613
10.4.1	Kristallaufbau von Metallen, Halbleitern und Isolatoren	613
10.4.2	Energiebändermodell	616
10.4.2.1	Energiewerte der Elektronen im Einzelatom	616
10.4.2.2	Energiewerte der Elektronen im kristallinen Festkörper, Klassifizierung nach Metallen, Halbleitern und Isolatoren	617
10.4.3	Elektrische Leitung in Metallen	623
10.4.3.1	Normalleitung	623
10.4.3.2	Supraleitung	624
10.4.3.3	Technische Nutzung	625
10.4.4	Elektrische Leitung in Halbleitern	626
10.4.4.1	Eigenleitung	626
10.4.4.2	Störstellenleitung	629
10.4.4.3	Feld- und Diffusionsstrom	634
10.4.4.4	Stromleitung bei Lichteinstrahlung, Photowiderstand	634
10.4.4.5	Stromleitung bei Magnetfeldeinwirkung, Feldplatte	635
10.4.5	Elektrische Leitung in Isolatoren	636
10.5	Elektrische Leitung in geschichteten kristallinen Festkörpern	637

10.5.1	Der pn-Übergang	637
10.5.2	Halbleiterdioden	643
10.5.2.1	Strom-Spannungs-Charakteristik eines realen pn-Übergangs . . .	643
10.5.2.2	Gleichrichter- und Misch-Dioden	645
10.5.2.3	Z-Dioden	647
10.5.2.4	Schaltdioden	650
10.5.2.5	Varaktordioden	651
10.5.2.6	pin-Dioden	652
10.5.2.7	Aktive Mikrowellendioden	652
10.5.3	Transistoren	658
10.5.3.1	Feldeffekttransistoren	659
10.5.3.2	Bipolartransistoren	665
10.5.4	Thyristoren	667
10.5.4.1	Thyristor-Dioden	667
10.5.4.2	Thyristor	668
10.5.4.3	Vom Thyristor abgeleitete Bauelemente	670
10.5.5	Stromleitung bei Lichteinwirkung	671
10.5.5.1	Lichtdetektoren	671
10.5.5.2	Lichtemitter	674
10.5.5.3	Optoelektronische Koppler	676
10.5.6	Integrierte Schaltungen	677
10.5.6.1	Allgemeine Gesichtspunkte	677
10.5.6.2	Schaltungsfamilien	678

Literaturverzeichnis **681**

A Anhang	685
A.1 Griechisches Alphabet	685
A.2 SI-Einheiten	685
A.3 Elektrische Leitungseigenschaften einiger Werkstoffe	687
A.4 Schaltzeichen	688
A.5 Symbole und Schreibweisen	689
A.6 Indizes	689
A.7 Formelzeichen	690
A.8 Werte der Normreihe E 24	692
A.9 Werte wichtiger Naturkonstanten	692

Stichwortverzeichnis **693**