

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	2
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	9
1.2.2	Elektrischer Strom	10
1.2.3	Technische Stromrichtung	13
1.2.4	Elektrisches Potenzial	14
1.2.5	Elektrische Spannung	16
1.3	Grundlegende Begriffe	17
1.3.1	Modellieren, Modell	17
1.3.2	Klemme, Zweipol, Dreipol, n-Pol	18
1.3.3	Aktiver und passiver Zweipol	18
1.3.4	Erzeuger und Verbraucher	18
1.3.5	Tor, Torbedingung, Zweitor	19
1.3.6	Elektrisches Netzwerk	19
1.3.7	Schaltzeichen, Schaltplan	20
1.3.8	Ersatzschaltbild	20
1.3.9	Analyse und Synthese	21
1.4	Zählpeile, Zählpeilsysteme	21
1.4.1	Strom- und Spannungszählpeile	22
1.4.2	Zählpeilsysteme an Zweipolen	22
1.4.2.1	Verbraucher-Zählpeilsystem	23
1.4.2.2	Erzeuger-Zählpeilsystem	24

1.4.3	Zählpfeile an Zweitoren	25
1.4.3.1	Symmetrisches Zählpfeilsystem	25
1.4.3.2	Ketten-Zählpfeilsystem	25
2	Gleichstromnetzwerke	26
2.1	Grundgesetze im unverzweigten Gleichstromkreis	26
2.1.1	Ohmsches Gesetz	26
2.1.1.1	Zusammenhang zwischen Strom und Spannung	27
2.1.1.2	Elektrischer Leitwert, elektrischer Widerstand	27
2.1.2	Elektrische Widerstände	30
2.1.2.1	Elektrische Leitfähigkeit, spezifischer elektrischer Widerstand	30
2.1.2.2	Lineare Widerstände	33
2.1.2.3	Nichtlineare Widerstände	34
2.1.2.4	Temperaturabhängigkeit des Widerstandes	36
2.1.2.5	Ausführungsformen von Widerständen	39
2.1.3	Elektrische Quellen	41
2.1.3.1	Ideale Spannungsquelle	41
2.1.3.2	Ideale Stromquelle	43
2.1.3.3	Allgemeine lineare Quelle	44
2.1.3.4	Lineare Spannungsquelle, lineare Stromquelle	46
2.1.3.5	Reale Quellen	48
2.1.4	Energie und Leistung	50
2.1.4.1	Energieumsatz von Zweipolen	50
2.1.4.2	Leistungsumsatz von Zweipolen	52
2.1.4.3	Interpretation von berechneten Leistungen	53
2.1.4.4	Verluste und Wirkungsgrad	54
2.1.4.5	Leerlauf, Kurzschluss und Leistungsanpassung bei linearen Quellen	55
2.1.4.6	Leistungsbilanz	59
2.2	Verzweigte Gleichstromkreise	60
2.2.1	Knoten, Zweig, Masche	60
2.2.1.1	Knoten	60
2.2.1.2	Zweig	61
2.2.1.3	Masche	61
2.2.2	Kirchhoffsche Gesetze	61
2.2.2.1	Knotensatz (1. Kirchhoffsches Gesetz)	61
2.2.2.2	Maschensatz (2. Kirchhoffsches Gesetz)	63
2.2.3	Parallelschaltung von Widerständen	64
2.2.3.1	Gesamtwiderstand	64
2.2.3.2	Stromteilerregel	67
2.2.4	Reihenschaltung von Widerständen	68
2.2.4.1	Gesamtwiderstand	68
2.2.4.2	Spannungsteilerregel	70
2.2.5	Gemischte Schaltungen	71
2.2.5.1	Belasteter Spannungsteiler	71
2.2.5.2	Mehrstufiger Spannungsteiler	72
2.2.6	Brückenschaltungen	74
2.2.6.1	Struktur	74

2.2.6.2	Abgleichbedingung	74
2.2.7	Sternschaltungen, Dreieckschaltungen	75
2.2.7.1	Struktur	76
2.2.7.2	Dreieck-Stern-Transformation	77
2.2.7.3	Stern-Dreieck-Transformation	78
2.3	Strom-, Spannungs- und Leistungsmessung	80
2.3.1	Ideale und reale Strommesser	80
2.3.2	Ideale und reale Spannungsmesser	81
2.3.3	Indirekte Strommessung	82
2.3.4	Stromrichtiges und spannungsrichtiges Messen	82
2.3.5	Leistungsmessung	83
2.3.6	Kompensationsmessverfahren	84
2.4	Analyse linearer Gleichstromnetzwerke	85
2.4.1	Grundlagen	85
2.4.1.1	Kennzeichen linearer Gleichstromnetzwerke	85
2.4.1.2	Bei der Netzwerkanalyse zu lösende mathematische Aufgabe	87
2.4.1.3	Topologie und Graph eines Netzwerks	88
2.4.1.4	Vollständiger Baum eines Graphen	88
2.4.1.5	Baumzweige, Verbindungszweige	89
2.4.1.6	Netzwerkumformung	89
2.4.2	Rekursive Berechnung	94
2.4.3	Knoten- und Maschenanalyse	95
2.4.3.1	Prinzip des Verfahrens	95
2.4.3.2	Vorgehensweise	96
2.4.3.3	Matrixschreibweise des Gleichungssystems	96
2.4.3.4	Modifiziertes Verfahren zur Behandlung von Stromquellen	100
2.4.4	Anwendung des Überlagerungssatzes	101
2.4.4.1	Prinzip des Verfahrens	102
2.4.4.2	Vorgehensweise	102
2.4.5	Netzwerkanalyse mit Ersatz-Quellen	106
2.4.5.1	Prinzip des Verfahrens	106
2.4.5.2	Ersatz-Spannungsquelle	107
2.4.5.3	Ersatz-Stromquelle	108
2.4.5.4	Vorgehensweise	109
2.4.6	Maschenstromverfahren	113
2.4.6.1	Prinzip des Verfahrens	113
2.4.6.2	Behandlung von Stromquellen	116
2.4.6.3	Vorgehensweise	118
2.4.6.4	Vereinfachtes Aufstellen der Matrixgleichung	120
2.4.7	Knotenpotenzialverfahren	124
2.4.7.1	Prinzip des Verfahrens	125
2.4.7.2	Behandlung von Spannungsquellen	126
2.4.7.3	Vorgehensweise	127
2.4.7.4	Vereinfachtes Aufstellen der Matrixgleichung	130
2.4.8	Vergleich der Berechnungsverfahren	134
2.5	Analyse nichtlinearer elektrischer Netzwerke	135
2.5.1	Linearisierung im Arbeitspunkt	135

2.5.2	Grafische Arbeitspunktbestimmung	138
2.5.3	Stabilität des Arbeitspunktes	139
2.5.4	Numerische Berechnung	141
2.6	Grundlagen der numerischen Netzwerkanalyse	141
2.6.1	Das Programm SPICE	142
2.6.2	Datenfluss in Netzwerkanalyse-Programmen	143
2.6.3	Struktur einer integrierten Schaltungssimulations-Umgebung	145
2.6.4	Das SPICE Netzlistenformat	145
2.6.5	Berechnung linearer Gleichstromnetzwerke mit SPICE im Stapelbetrieb	147
3	Elektrisches Potenzialfeld	148
3.1	Definition und Wirkung der elektrischen Ladung	148
3.1.1	Definition der elektrischen Ladung	149
3.1.1.1	Reale Ladungsverteilungen und ihre Beschreibung	150
3.1.1.2	Ladungserhaltungssatz und Kontinuitätsgleichung	153
3.1.2	Wirkungen der elektrischen Ladung	156
3.1.2.1	Coulombsches Gesetz	156
3.1.2.2	Feldwirkung der elektrischen Ladung	157
3.2	Elektrisches Feld in Leitern (Elektrisches Strömungsfeld)	160
3.2.1	Wesen und Darstellung des elektrischen Strömungsfeldes	160
3.2.1.1	Driftladung	160
3.2.1.2	Driftgeschwindigkeit und elektrische Stromdichte	161
3.2.2	Stromdichte und Strom	164
3.2.3	Elektrische Feldstärke und elektrische Spannung	169
3.2.4	Elektrisches Potenzial	174
3.2.5	Leistungsdichte im elektrischen Strömungsfeld	178
3.3	Elektrisches Feld in Nichtleitern	179
3.3.1	Wesen und Darstellung des elektrischen Feldes in Nichtleitern	180
3.3.2	Elektrische Feldstärke und Spannung	180
3.3.3	Elektrisches Potenzial und Eigenschaften des Potenzialfeldes	185
3.3.4	Elektrische Flussdichte und elektrischer Fluss	187
3.3.5	Zusammenhang zwischen elektrischer Ladung und Spannung	192
3.3.5.1	Kapazität	193
3.3.5.2	Zeitliche Änderung von Strom und Spannung im Kondensator	197
3.3.5.3	Parallel- und Reihenschaltung von Kondensatoren	197
3.3.6	Energie und Kräfte im elektrischen Feld	199
3.3.6.1	Gespeicherte Energie im elektrischen Feld	200
3.3.6.2	Irreversible Energieumformung (Verlustleistung) im elektrischen Feld	202
3.3.6.3	Kräfte auf Grenzflächen im elektrischen Feld	203
4	Magnetisches Feld	205
4.1	Beschreibung und Berechnung des magnetischen Feldes	205
4.1.1	Wesen und Darstellung des magnetischen Feldes	205
4.1.1.1	Wirkungen und Ursachen des magnetischen Feldes	205
4.1.1.2	Feldbilder und Feldlinien	206
4.1.1.3	Feldrichtung und Polarität	207
4.1.2	Vektorielle Feldgrößen des magnetischen Feldes	208

4.1.2.1	Magnetische Flussdichte	208
4.1.2.2	Elektrische Durchflutung	211
4.1.2.3	Magnetische Feldstärke	213
4.1.2.4	Einheiten der magnetischen Feldgrößen	214
4.1.3	Integrale Größen des magnetischen Feldes	215
4.1.3.1	Magnetische Spannung	216
4.1.3.2	Durchflutungssatz	217
4.1.3.3	Magnetischer Fluss	224
4.1.3.4	Ohmsches Gesetz des magnetischen Kreises	229
4.1.4	Überlagerung magnetischer Felder	231
4.1.5	Magnetisches Feld in Materie	234
4.1.5.1	Typisches Verhalten der Materie im Magnetfeld	234
4.1.5.2	Brechung magnetischer Feldlinien an Grenzflächen	235
4.2	Magnetisches Feld in Ferromagnetika	236
4.2.1	Ferromagnetische Eigenschaften	236
4.2.1.1	Hystereseschleife	237
4.2.1.2	Magnetisierungskurve	239
4.2.1.3	Permeabilität und Suszeptibilität	242
4.2.1.4	Dauermagnete	244
4.2.2	Berechnung des magnetischen Feldes in Eisenkreisen	245
4.2.2.1	Magnetische Streuung und Randverzerrung	245
4.2.2.2	Berechnung der elektrischen Durchflutung	246
4.3	Wirkungen im magnetischen Feld	252
4.3.1	Spannungserzeugung im magnetischen Feld, elektrisches Wirbelfeld	253
4.3.1.1	Induktionswirkung im bewegten Leiter	253
4.3.1.2	Induktionswirkung im zeitvarianten Magnetfeld	258
4.3.1.3	Induktionsgesetz	262
4.3.1.4	Selbstinduktionsspannung	266
4.3.1.5	Selbst- und Gegeninduktivität	268
4.3.1.6	Selbst- und Gegeninduktionsspannung im Verbraucher-Zählpeilsystem	272
4.3.1.7	Wirbelströme	273
4.3.2	Energie und Kräfte im magnetischen Feld	274
4.3.2.1	Energie des magnetischen Feldes	275
4.3.2.2	Kraftwirkung auf Grenzflächen	277
4.3.2.3	Kraftwirkung auf stromdurchflossene Leiter im Magnetfeld	281
4.3.2.4	Kraftwirkung zwischen stromdurchflossenen Leitern	286
4.4	Vergleich elektrischer und magnetischer Felder	287
5	Wechselstromtechnik	290
5.1	Periodische Zeitfunktionen	291
5.1.1	Periodendauer, Grundfrequenz, Grundkreisfrequenz	291
5.1.2	Maximalwert, Minimalwert, Spitze-Spitze-Wert	292
5.1.3	Arithmetischer Mittelwert	292
5.1.4	Wechselgrößen, Mischgrößen	293
5.1.5	Scheitelwert	293
5.1.6	Gleichrichtwert	293
5.1.7	Effektivwert	294

5.1.8	Scheitelfaktor, Formfaktor	296
5.2	Sinusgrößen	297
5.2.1	Erzeugung von Sinusspannungen	297
5.2.2	Kennwerte von Sinusgrößen	298
5.2.2.1	Amplitude	298
5.2.2.2	Periodendauer, Frequenz, Kreisfrequenz	298
5.2.2.3	Nullphasenwinkel, Nullzeit	300
5.2.2.4	Phasenverschiebungswinkel	301
5.2.2.5	Arithmetischer Mittelwert	302
5.2.2.6	Gleichrichtwert	302
5.2.2.7	Effektivwert	302
5.2.2.8	Scheitelfaktor, Formfaktor	303
5.2.3	Beschreibung von Sinusgrößen durch Zeiger	304
5.2.4	Zählpfeile für Sinusgrößen	306
5.2.5	Addition und Subtraktion gleichfrequenter Sinusgrößen	306
5.2.6	Differenziation und Integration von Sinusgrößen	309
5.3	Komplexe Größen der Sinusstromtechnik	311
5.3.1	Darstellung komplexer Größen	311
5.3.2	Rechenregeln für komplexe Größen	314
5.3.3	Komplexe Gleichungen	317
5.3.4	Komplexe Spannungen und Ströme	318
5.3.4.1	Komplexe Scheitelwertzeiger	318
5.3.4.2	Komplexe Effektivwertzeiger	319
5.3.5	Komplexe Widerstände und Leitwerte	321
5.4	Leistung in Sinusstromnetzwerken	324
5.4.1	Wirkleistung	324
5.4.2	Scheinleistung	325
5.4.3	Komplexe Leistung	325
5.4.4	Leistungsfaktor	326
5.5	Ideale passive Zweipole bei Sinusstrom	327
5.5.1	Ohmscher Widerstand	328
5.5.1.1	Spannung, Strom und Phasenverschiebungswinkel	328
5.5.1.2	Wirkwiderstand und Wirkleitwert	329
5.5.1.3	Wirkleistung	330
5.5.2	Induktivität	331
5.5.2.1	Spannung, Strom und Phasenverschiebungswinkel	332
5.5.2.2	Induktiver Blindwiderstand und induktiver Blindleitwert	333
5.5.2.3	Induktive Blindleistung	335
5.5.3	Kapazität	336
5.5.3.1	Spannung, Strom und Phasenverschiebungswinkel	336
5.5.3.2	Kapazitiver Blindwiderstand und Blindleitwert	338
5.5.3.3	Kapazitive Blindleistung	340
5.5.4	Gegenüberstellung der idealen passiven Zweipole	341
5.6	Kirchhoffsche Gesetze	343
5.6.1	Knotensatz	343
5.6.2	Maschensatz	344
5.7	Reihen- und Parallelschaltung passiver Zweipole	346

5.7.1	Reihenschaltung passiver Zweipole	346
5.7.1.1	Gesamtimpedanz	346
5.7.1.2	Spannungsteilerregel	347
5.7.1.3	Reihenschaltungen der Grundzweipole	348
5.7.2	Parallelschaltung passiver Zweipole	354
5.7.2.1	Gesamtdmittanz	354
5.7.2.2	Stromteilerregel	356
5.7.2.3	Parallelschaltungen der Grundzweipole	357
5.8	Gemischte Schaltungen	363
5.9	Analogien zwischen Gleich- und Sinusstromnetzwerken	365
5.10	Dualitätsbeziehungen bei Sinusstromnetzwerken	367
5.11	Leistung in Sinusstromnetzwerken	370
5.11.1	Addition von Leistungen, Leistungsbilanzen	370
5.11.2	Blindleistungskompensation	372
5.11.3	Leistungsanpassung	377
5.11.4	Leistungsmessung	378
5.12	Ersatzschaltungen realer passiver Zweipole	380
5.12.1	Verlustwinkel	380
5.12.2	Verlustfaktor	380
5.12.3	Güte	381
5.12.4	Modelle realer passiver Zweipole	381
5.12.4.1	Bedingt und unbedingt äquivalente Schaltungen	381
5.12.4.2	Reihen-Ersatzschaltungen	382
5.12.4.3	Parallel-Ersatzschaltungen	385
5.12.4.4	Gemischte Ersatzschaltungen	388
5.13	Transformator	390
5.13.1	Idealer Transformator	391
5.13.2	Verlust- und streuungsloser Transformator	394
5.13.3	Transformator mit Streuung ohne Verluste	400
5.13.4	Transformator mit Streuung und Kupferverlusten	401
5.13.5	Transformator mit Streuung und Verlusten	403
5.13.6	Vereinfachte Ersatzschaltung mit reduzierten Größen	404
6	Ortskurven	405
6.1	Grundlagen	405
6.2	Konstruktion einfacher Ortskurven	407
6.3	Inversion von Ortskurven	414
6.4	Amplituden- und Phasenwinkeldiagramme	418
7	Filterschaltungen und Schwingkreise	420
7.1	Filterschaltungen	420
7.1.1	Grundlegende Begriffe	421
7.1.1.1	Übertragungsfunktion	421
7.1.1.2	Ordnung eines Filters	422
7.1.1.3	Amplitudenfrequenzgang	422
7.1.1.4	Phasenfrequenzgang	423
7.1.1.5	Pegel, Dämpfung	423

7.1.1.6	Bode-Diagramm, Eckfrequenz	424
7.1.1.7	Grenzfrequenz, Durchlassbereich, Sperrbereich	424
7.1.2	Einfache Filterschaltungen	425
7.1.2.1	Tiefpässe	425
7.1.2.2	Hochpässe	432
7.1.2.3	Bandpässe	435
7.1.2.4	Bandsperren	439
7.1.2.5	Allpässe	439
7.2	Schwingkreise	440
7.2.1	Freie Schwingungen	441
7.2.2	Erzwungene Schwingungen	443
7.2.3	Kenngrößen von Schwingkreisen	444
7.2.3.1	Resonanzbedingung, Resonanzfrequenz, Kennfrequenz	444
7.2.3.2	Normierte Frequenz, Verstimmung	444
7.2.3.3	Kennwiderstand, Kennleitwert	445
7.2.3.4	Güte, Dämpfung	445
7.2.3.5	Grenzfrequenzen, Bandbreite	445
7.2.4	Elementare Schwingkreise	446
7.2.4.1	Elementarer Reihenschwingkreis	446
7.2.4.2	Elementarer Parallelschwingkreis	454
7.2.4.3	Vergleich der elementaren Schwingkreise	456
7.2.5	Nichtelementare Schwingkreise mit einem Freiheitsgrad	458
7.2.6	Schwingkreise mit mehreren Freiheitsgraden	460
8	Mehrphasensysteme	463
8.1	Verkettete Mehrphasensysteme	463
8.1.1	Schaltungsarten	463
8.1.1.1	Mehrphasengenerator	463
8.1.1.2	Sternschaltung	465
8.1.1.3	Ringschaltung	466
8.1.2	Zweiphasensysteme	466
8.1.2.1	Symmetrisches Zweiphasensystem	466
8.1.2.2	Unsymmetrisches Zweiphasensystem	467
8.1.2.3	Drehfelderzeugung	468
8.2	Symmetrisches Dreiphasensystem	469
8.2.1	Spannungen und Ströme	469
8.2.1.1	Benennungen	469
8.2.1.2	Spannungen	470
8.2.1.3	Symmetrische Sternschaltung	471
8.2.1.4	Symmetrische Dreieckschaltung	473
8.2.2	Leistung bei symmetrischer Last	474
8.2.2.1	Augenblicksleistung	474
8.2.2.2	Wirk-, Blind- und Scheinleistung	475
8.2.2.3	Blindleistungskompensation	477
8.3	Unsymmetrische Dreiphasenbelastung	478
8.3.1	Vierleiternetz	478
8.3.1.1	Allgemeine Belastung	478

8.3.1.2	Leistungsmessung	480
8.3.2	Dreileiternetz	482
8.3.2.1	Dreieckschaltung	482
8.3.2.2	Sternschaltung	483
8.3.2.3	Leistungsmessung	485
9	Nichtsinusförmige Ströme und Spannungen	486
9.1	Fourier-Analyse periodischer Zeitfunktionen	486
9.1.1	Aufgabenstellung	487
9.1.1.1	Näherungsfunktion	487
9.1.1.2	Approximation nach dem kleinsten mittleren Fehlerquadrat	488
9.1.2	Fourier-Reihen	490
9.1.2.1	Berechnung der Fourier-Koeffizienten	490
9.1.2.2	Unendliche Fourier-Reihe	493
9.1.2.3	Sonderfälle	493
9.1.2.4	Komplexe Fourier-Reihe	496
9.1.3	Kennwerte periodischer Größen	497
9.1.3.1	Effektivwert	497
9.1.3.2	Schwingungsgehalt und Klirrfaktor	498
9.1.4	Nichtsinusförmige Wechselgrößen in linearen Netzwerken	500
9.1.4.1	Lineare Verzerrungen	501
9.1.4.2	Differenziation und Integration nichtsinusförmiger Wechselgrößen	501
9.2	Nichtlineare Wechselstromnetzwerke	505
9.2.1	Nichtlineare Verzerrungen	505
9.2.2	Gleichrichterschaltungen	507
9.2.3	Spule mit ferromagnetischem Kern (Eisendrossel)	510
9.2.4	Leistung bei nicht sinusförmigen Klemmengrößen	511
9.2.4.1	Nichtsinusförmige Spannungen und Ströme	511
9.2.4.2	Nichtlineare Zweipole an Sinusspannung	512
9.3	Schaltvorgänge in linearen elektrischen Netzwerken	515
9.3.1	Berechnungsverfahren	515
9.3.1.1	Aufstellen der Differenzialgleichung	515
9.3.1.2	Lösungsverfahren	518
9.3.1.3	Exponentialansatz	518
9.3.1.4	Partikuläre Lösung	519
9.3.2	Schalten von Gleichströmen und -spannungen	520
9.3.2.1	Idealisiertes Einschalten von RC- und RL-Schaltungen	520
9.3.2.2	Idealisiertes Ausschalten von RC- und RL-Schaltungen	525
9.3.2.3	Schalten von Schwingkreisen	528
9.3.3	Schalten von Sinusströmen und -spannungen	536
9.3.3.1	Schalten einer RL-Reihenschaltung an eine Sinusspannung	536
9.3.3.2	Schalten einer RC-Reihenschaltung an eine Sinusspannung	539
9.3.3.3	Schalten eines Reihenschwingkreises an eine Sinusspannung	540
9.3.3.4	Ausschalten von Sinusströmen	542
10	Elektrische Leitungsmechanismen	544
10.1	Elektrische Leitung im Vakuum	544

10.1.1	Elektronenemission in das Vakuum	544
10.1.2	Elektronenströmung im Vakuum	546
10.1.2.1	Bewegung im elektrischen Feld	546
10.1.2.2	Bewegung im magnetischen Feld	551
10.1.3	Technische Nutzung	553
10.1.3.1	Elektronenröhre ohne Gitter	553
10.1.3.2	Elektronenröhre mit Gitter	555
10.1.3.3	Oszilloskop-Röhren	557
10.1.3.4	Röntgenröhren	558
10.2	Elektrische Leitung in Gasen	558
10.2.1	Ladungsträger in Gasen	558
10.2.2	Generation und Rekombination von Ladungsträgern	559
10.2.3	Entladungsformen	562
10.2.3.1	Unselbstständige Entladung	562
10.2.3.2	Selbstständige Entladung	563
10.2.4	Technische Nutzung der Gasentladung	566
10.3	Elektrische Leitung in Flüssigkeiten	568
10.3.1	Mechanismus der elektrolytischen Leitung	568
10.3.2	Ladungs-, Massen- und Strombilanzen	569
10.3.2.1	Faradaysche Gesetze	569
10.3.2.2	Elektrolytische Spannung galvanischer Zellen	571
10.3.2.3	Zersetzungs- und Polarisations-Spannung	572
10.3.3	Technische Nutzung elektrischer Leitung in Flüssigkeiten	573
10.3.3.1	Elektrochemische Stromerzeuger	573
10.3.3.2	Elektrolyse, Galvanik und Korrosion	580
10.4	Elektrische Leitung in homogenen kristallinen Festkörpern	581
10.4.1	Kristallaufbau von Metallen, Halbleitern und Isolatoren	581
10.4.2	Energiebändermodell	582
10.4.2.1	Energiewerte der Elektronen im Einzelatom	582
10.4.2.2	Energiewerte der Elektronen im kristallinen Festkörper, Klassifizierung nach Metallen, Halbleitern und Isolatoren	584
10.4.3	Elektrische Leitung in Metallen	590
10.4.3.1	Normalleitung	590
10.4.3.2	Supraleitung	591
10.4.3.3	Technische Nutzung	592
10.4.4	Elektrische Leitung in Halbleitern	593
10.4.4.1	Eigenleitung	593
10.4.4.2	Störstellenleitung	596
10.4.4.3	Feld- und Diffusionsstrom	600
10.4.4.4	Stromleitung bei Lichteinstrahlung, Photowiderstand	601
10.4.4.5	Stromleitung bei Magnetfeldeinwirkung, Feldplatte	601
10.4.5	Elektrische Leitung in Isolatoren	602
10.5	Elektrische Leitung in geschichteten kristallinen Festkörpern	603
10.5.1	Der pn-Übergang	603
10.5.2	Halbleiterdioden	609
10.5.2.1	Strom-Spannungs-Charakteristik eines realen pn-Übergangs	609
10.5.2.2	Gleichrichter- und Misch-Dioden	611

10.5.2.3	Z-Dioden	612
10.5.2.4	Schaltdioden	615
10.5.2.5	Varaktordioden	616
10.5.2.6	pin-Dioden	617
10.5.2.7	Aktive Mikrowellendioden	618
10.5.3	Transistoren	623
10.5.3.1	Feldeffekttransistoren	624
10.5.3.2	Bipolartransistoren	629
10.5.4	Thyristoren	631
10.5.4.1	Thyristor-Dioden	632
10.5.4.2	Thyristor	633
10.5.4.3	Vom Thyristor abgeleitete Bauelemente	635
10.5.5	Stromleitung bei Lichteinwirkung	636
10.5.5.1	Lichtdetektoren	636
10.5.5.2	Lichtemitter	638
10.5.5.3	Optoelektronische Koppler	640
10.5.6	Integrierte Schaltungen	641
10.5.6.1	Allgemeine Gesichtspunkte	641
10.5.6.2	Schaltungsfamilien	643
Tabellenverzeichnis		645
Abbildungsverzeichnis		647
Literaturverzeichnis		660
A Anhang		664
A.1	Griechisches Alphabet	664
A.2	SI-Einheiten	664
A.3	Elektrische Leitungseigenschaften einiger Werkstoffe	666
A.4	Schaltzeichen	667
A.5	Symbole und Schreibweisen	668
A.6	Indizes	668
A.7	Formelzeichen	669
A.8	Werte der Normreihe E 24	671
A.9	Werte wichtiger Naturkonstanten	671
Stichwortverzeichnis		672