

# Inhalt

<b>1</b>	<b>Grundbegriffe</b>	<b>1</b>
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	Gerichtete Größen, Vektoren	2
1.1.1.4	Zeitabhängige Größen	3
1.1.1.5	Komplexe Größen	3
1.1.2	Einheiten	3
1.1.2.1	SI-Basiseinheiten	4
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	12
1.2.4	Elektrisches Potenzial	13
1.2.5	Elektrische Spannung	15
1.3	Grundlegende Begriffe	16
1.3.1	Modellieren, Modell	16
1.3.2	Klemme, Zweipol, Dreipol, n-Pol	17
1.3.3	Aktiver und passiver Zweipol	18
1.3.4	Erzeuger und Verbraucher	18
1.3.5	Tor, Torbedingung, Zweitor	18
1.3.6	Elektrisches Netzwerk	19
1.3.7	Schaltzeichen, Schaltplan	19
1.3.8	Ersatzschaltbild	19
1.3.9	Analyse und Synthese	20
1.4	Zählpfeile, Zählpfeilsysteme	20
1.4.1	Strom- und Spannungszählpfeile	21
1.4.2	Zählpfeilsysteme an Zweipolen	22
1.4.2.1	Verbraucher-Zählpfeilsystem	22
1.4.2.2	Erzeuger-Zählpfeilsystem	23
1.4.3	Zählpfeile an Zweitoren	24
1.4.3.1	Symmetrisches Zählpfeilsystem	24
1.4.3.2	Ketten-Zählpfeilsystem	24

<b>2 Gleichstromnetzwerke</b> .....	25
2.1 Grundgesetze im unverzweigten Gleichstromkreis.....	25
2.1.1 Ohmsches Gesetz .....	25
2.1.1.1 Zusammenhang zwischen Strom und Spannung .....	25
2.1.1.2 Elektrischer Leitwert, elektrischer Widerstand.....	26
2.1.2 Elektrische Widerstände.....	28
2.1.2.1 Elektrische Leitfähigkeit, spezifischer elektrischer Widerstand...28	
2.1.2.2 Lineare Widerstände .....	32
2.1.2.3 Nichtlineare Widerstände.....	32
2.1.2.4 Temperaturabhängigkeit des Widerstandes .....	34
2.1.2.5 Ausführungsformen von Widerständen .....	37
2.1.3 Elektrische Quellen .....	39
2.1.3.1 Ideale Spannungsquelle.....	39
2.1.3.2 Ideale Stromquelle.....	40
2.1.3.3 Allgemeine lineare Quelle.....	41
2.1.3.4 Lineare Spannungsquelle, lineare Stromquelle.....	43
2.1.3.5 Reale Quellen .....	45
2.1.4 Energie und Leistung .....	47
2.1.4.1 Energieumsatz von Zweipolen.....	47
2.1.4.2 Leistungsumsatz von Zweipolen.....	49
2.1.4.3 Interpretation von berechneten Leistungen.....	50
2.1.4.4 Verluste und Wirkungsgrad .....	50
2.1.4.5 Leerlauf, Kurzschluss und Leistungsanpassung bei linearen Quellen .....	52
2.1.4.6 Leistungsbilanz.....	55
2.2 Verzweigte Gleichstromkreise .....	56
2.2.1 Knoten, Zweig, Masche .....	56
2.2.1.1 Knoten .....	56
2.2.1.2 Zweig.....	57
2.2.1.3 Masche .....	57
2.2.2 Kirchhoffsche Gesetze .....	58
2.2.2.1 Knotensatz (1. Kirchhoffsches Gesetz).....	58
2.2.2.2 Maschensatz (2. Kirchhoffsches Gesetz) .....	59
2.2.3 Parallelschaltung von Widerständen .....	61
2.2.3.1 Gesamtwiderstand.....	61
2.2.3.2 Stromteilerregel.....	63
2.2.4 Reihenschaltung von Widerständen .....	65
2.2.4.1 Gesamtwiderstand .....	65
2.2.4.2 Spannungsteilerregel .....	66
2.2.5 Gemischte Schaltungen .....	67
2.2.5.1 Belasteter Spannungsteiler .....	67
2.2.5.2 Mehrstufiger Spannungsteiler .....	69
2.2.6 Brückenschaltungen .....	71
2.2.6.1 Struktur.....	71
2.2.6.2 Abgleichbedingung .....	71
2.2.7 Sternschaltungen, Dreieckschaltungen .....	72
2.2.7.1 Struktur.....	72
2.2.7.2 Dreieck-Stern-Transformation .....	73
2.2.7.3 Stern-Dreieck-Transformation .....	74

2.3	Strom-, Spannungs- und Leistungsmessung .....	76
2.3.1	Ideale und reale Strommesser .....	77
2.3.2	Ideale und reale Spannungsmesser .....	77
2.3.3	Indirekte Strommessung.....	78
2.3.4	Stromrichtiges und spannungsrichtiges Messen .....	78
2.3.5	Leistungsmessung .....	79
2.3.6	Kompensationsmessverfahren .....	80
2.4	Analyse linearer Gleichstromnetzwerke .....	81
2.4.1	Grundlagen.....	81
2.4.1.1	Kennzeichen linearer Gleichstromnetzwerke .....	81
2.4.1.2	Bei der Netzwerkanalyse zu lösende mathematische Aufgabe ...	83
2.4.1.3	Topologie und Graph eines Netzwerks.....	84
2.4.1.4	Vollständiger Baum eines Graphen .....	84
2.4.1.5	Baumzweige, Verbindungszweige.....	84
2.4.1.6	Netzwerkumformung .....	85
2.4.2	Rekursive Berechnung .....	89
2.4.3	Knoten- und Maschenanalyse .....	90
2.4.3.1	Prinzip des Verfahrens .....	91
2.4.3.2	Vorgehensweise .....	91
2.4.3.3	Matrixschreibweise des Gleichungssystems.....	92
2.4.3.4	Modifiziertes Verfahren zur Behandlung von Stromquellen.....	95
2.4.4	Anwendung des Überlagerungssatzes.....	97
2.4.4.1	Prinzip des Verfahrens .....	97
2.4.4.2	Vorgehensweise .....	98
2.4.5	Netzwerkanalyse mit Ersatz-Quellen.....	101
2.4.5.1	Prinzip des Verfahrens .....	101
2.4.5.2	Ersatz-Spannungsquelle .....	102
2.4.5.3	Ersatz-Stromquelle.....	103
2.4.5.4	Vorgehensweise .....	104
2.4.6	Maschenstromverfahren.....	108
2.4.6.1	Prinzip des Verfahrens .....	108
2.4.6.2	Behandlung von Stromquellen.....	111
2.4.6.3	Vorgehensweise .....	113
2.4.6.4	Vereinfachtes Aufstellen der Matrixgleichung .....	114
2.4.7	Knotenpotenzialverfahren.....	118
2.4.7.1	Prinzip des Verfahrens .....	118
2.4.7.2	Behandlung von Spannungsquellen.....	120
2.4.7.3	Vorgehensweise .....	120
2.4.7.4	Vereinfachtes Aufstellen der Matrixgleichung .....	123
2.4.8	Vergleich der Berechnungsverfahren.....	127
2.5	Analyse nichtlinearer elektrischer Netzwerke.....	128
2.5.1	Linearisierung im Arbeitspunkt .....	128
2.5.2	Grafische Arbeitspunktbestimmung .....	131
2.5.3	Stabilität des Arbeitspunktes.....	132
2.5.4	Numerische Berechnung.....	134
2.6	Grundlagen der numerischen Netzwerkanalyse.....	134
2.6.1	Das Programm SPICE.....	135
2.6.2	Datenfluss in Netzwerkanalyse-Programmen.....	135
2.6.3	Struktur einer integrierten Schaltungssimulations-Umgebung.....	137

2.6.4	Das SPICE Netzlistenformat.....	138
2.6.5	Berechnung linearer Gleichstromnetzwerke mit SPICE im Stapelbetrieb ..	139

<b>3</b>	<b>Elektrisches Potenzialfeld.....</b>	<b>141</b>
3.1	Definition und Wirkung der elektrischen Ladung.....	141
3.1.1	Definition der elektrischen Ladung.....	141
3.1.1.1	Reale Ladungsverteilungen und deren Beschreibung.....	143
3.1.1.2	Ladungserhaltungs- und Kontinuitätssatz.....	146
3.1.2	Wirkungen der elektrischen Ladung.....	148
3.1.2.1	Coulombsches Gesetz.....	149
3.1.2.2	Feldwirkung der elektrischen Ladung.....	150
3.2	Elektrisches Feld in Leitern (Strömungsfeld).....	152
3.2.1	Wesen und Darstellung des elektrischen Strömungsfeldes.....	153
3.2.1.1	Driftladung.....	153
3.2.1.2	Driftgeschwindigkeit und elektrische Stromdichte.....	153
3.2.2	Stromdichte und Strom.....	157
3.2.3	Elektrische Feldstärke und elektrische Spannung.....	162
3.2.4	Elektrisches Potenzial.....	165
3.2.5	Leistungsdichte im elektrischen Strömungsfeld.....	170
3.3	Elektrisches Feld in Nichtleitern.....	171
3.3.1	Wesen und Darstellung des elektrischen Feldes in Nichtleitern.....	171
3.3.2	Elektrische Feldstärke und Spannung.....	172
3.3.3	Elektrisches Potenzial und Eigenschaften des Potenzialfeldes.....	176
3.3.4	Elektrische Flussdichte und elektrischer Fluss.....	178
3.3.5	Zusammenhang zwischen elektrischer Ladung und Spannung.....	183
3.3.5.1	Kapazität.....	184
3.3.5.2	Zeitliche Änderung von Strom und Spannung im Kondensator....	187
3.3.5.3	Parallel- und Reihenschaltung von Kondensatoren.....	188
3.3.6	Energie und Kräfte im elektrischen Feld.....	190
3.3.6.1	Gespeicherte Energie im elektrischen Feld.....	190
3.3.6.2	Irreversible Energieumformung (Verlustleistung) im elektrischen Feld.....	192
3.3.6.3	Kräfte auf Grenzflächen im elektrischen Feld.....	193
<b>4</b>	<b>Magnetisches Feld.....</b>	<b>195</b>
4.1	Beschreibung und Berechnung des magnetischen Feldes.....	195
4.1.1	Wesen und Darstellung des magnetischen Feldes.....	195
4.1.1.1	Wirkungen und Ursachen des magnetischen Feldes.....	195
4.1.1.2	Feldbilder und Feldlinien.....	195
4.1.1.3	Feldrichtung und Polarität.....	197
4.1.2	Vektorielle Feldgrößen des magnetischen Feldes.....	198
4.1.2.1	Magnetische Flussdichte.....	198
4.1.2.2	Durchflutung, Zusammenhang zwischen Feldgrößen und erregendem Strom.....	200
4.1.2.3	Magnetische Feldstärke.....	202
4.1.2.4	Einheiten der magnetischen Feldgrößen.....	203
4.1.3	Integrale Größen des magnetischen Feldes.....	204
4.1.3.1	Magnetische Spannung.....	205
4.1.3.2	Durchflutungssatz.....	206

4.1.3.3	Magnetischer Fluss.....	212
4.1.3.4	Ohmsches Gesetz des magnetischen Kreises.....	217
4.1.4	Überlagerung magnetischer Felder .....	219
4.1.5	Magnetisches Feld in Materie.....	222
4.1.5.1	Typisches Verhalten der Materie im Magnetfeld .....	222
4.1.5.2	Brechung magnetischer Feldlinien an Grenzflächen .....	223
4.2	Magnetisches Feld in Ferromagnetika .....	224
4.2.1	Ferromagnetische Eigenschaften .....	224
4.2.1.1	Hystereseschleife.....	225
4.2.1.2	Magnetisierungskurve.....	227
4.2.1.3	Permeabilität und Suszeptibilität .....	229
4.2.1.4	Dauermagnete .....	232
4.2.2	Berechnung des magnetischen Feldes im Eisenkreis.....	232
4.2.2.1	Magnetische Streuung und Randverzerrung.....	232
4.2.2.2	Ermittlung der elektrischen Durchflutung .....	234
4.3	Wirkungen im magnetischen Feld.....	239
4.3.1	Spannungserzeugung im magnetischen Feld, elektrisches Wirbelfeld.....	239
4.3.1.1	Induktionswirkung im bewegten Leiter .....	240
4.3.1.2	Induktionswirkung im zeitvarianten Magnetfeld.....	244
4.3.1.3	Induktionsgesetz in allgemeiner Form.....	248
4.3.1.4	Selbstinduktionsspannung.....	252
4.3.1.5	Selbst- und Gegeninduktivität.....	254
4.3.1.6	Selbst- und Gegeninduktionsspannung im Verbraucher-Zählpeilsystem.....	258
4.3.1.7	Wirbelströme.....	259
4.3.2	Energie und Kräfte im magnetischen Feld.....	260
4.3.2.1	Energie des magnetischen Feldes .....	260
4.3.2.2	Kraftwirkung auf Grenzflächen .....	263
4.3.2.3	Kraftwirkung auf stromdurchflossene Leiter im Magnetfeld .....	267
4.3.2.4	Kraftwirkung zwischen stromdurchflossenen Leitern .....	271
4.4	Vergleich elektrischer und magnetischer Felder .....	272
<b>5</b>	<b>Einfacher Sinusstromkreis.....</b>	<b>275</b>
5.1	Periodische Ströme und Spannungen.....	275
5.1.1	Periodische Zeitfunktionen .....	275
5.1.1.1	Periodizität .....	275
5.1.1.2	Arithmetischer Mittelwert.....	275
5.1.2	Wechselgrößen.....	276
5.1.2.1	Definition einer Wechselgröße .....	276
5.1.2.2	Gleichrichtwert.....	277
5.1.2.3	Effektivwert.....	277
5.1.2.4	Scheitelfaktor und Formfaktor .....	279
5.1.2.5	Mischgrößen.....	279
5.2	Sinusgrößen .....	280
5.2.1	Eigenschaften von Sinusgrößen .....	280
5.2.1.1	Erzeugung von Sinusspannungen .....	280
5.2.1.2	Phasenlage, Periodendauer und Frequenz.....	282
5.2.1.3	Mittelwerte von Sinusgrößen .....	285

5.2.2	Zeigerdiagramme .....	287
5.2.2.1	Zeiger .....	287
5.2.2.2	Zählpfeile .....	289
5.2.2.3	Addition und Subtraktion von Sinusgrößen.....	290
5.2.2.4	Differenziation und Integration von Sinusgrößen.....	293
5.3	Komplexe Rechnung .....	294
5.3.1	Begriffe und Rechenregeln.....	294
5.3.1.1	Darstellung komplexer Zahlen.....	294
5.3.1.2	Rechenregeln für komplexe Zahlen .....	295
5.3.1.3	Komplexe Gleichungen.....	298
5.3.2	Komplexe Größen der Sinusstromtechnik .....	298
5.3.2.1	Komplexe Drehzeiger .....	299
5.3.2.2	Komplexe Amplitude .....	300
5.3.2.3	Effektivwertzeiger.....	300
5.3.2.4	Komplexe Widerstände und Leitwerte.....	302
5.4	Leistung .....	305
5.4.1	Wirkleistung.....	305
5.4.2	Scheinleistung .....	306
5.4.3	Komplexe Leistung .....	306
5.4.4	Leistungsfaktor.....	307
5.5	Ideale passive Zweipole bei Sinusstrom.....	307
5.5.1	Widerstand.....	308
5.5.1.1	Spannung, Strom und Phasenverschiebungswinkel.....	308
5.5.1.2	Wirkwiderstand und Wirkleitwert.....	309
5.5.1.3	Wirkleistung.....	310
5.5.2	Induktivität .....	311
5.5.2.1	Spannung, Strom und Phasenverschiebungswinkel.....	311
5.5.2.2	Induktiver Blindwiderstand und Blindleitwert .....	312
5.5.2.3	Induktive Blindleistung .....	314
5.5.3	Kapazität.....	316
5.5.3.1	Spannung, Strom und Phasenverschiebungswinkel.....	316
5.5.3.2	Kapazitiver Blindwiderstand und Blindleitwert .....	317
5.5.3.3	Kapazitive Blindleistung.....	319
5.5.4	Gegenüberstellung der idealen passiven Zweipole .....	322
6	Sinusstromnetzwerke.....	323
6.1	Reihen- und Parallelschaltungen .....	323
6.1.1	Kirchhoffsche Gesetze .....	323
6.1.1.1	Knotensatz.....	323
6.1.1.2	Maschensatz .....	324
6.1.2	Reihenschaltung passiver Zweipole.....	326
6.1.2.1	Impedanz von Reihenschaltungen.....	326
6.1.2.2	Spannungsteilerregel .....	326
6.1.2.3	Reihenschaltung der Grundzweipole .....	327
6.1.3	Parallelschaltung passiver Zweipole .....	333
6.1.3.1	Admittanz von Parallelschaltungen.....	333
6.1.3.2	Stromteilerregel.....	334
6.1.3.3	Parallelschaltung der Grundzweipole .....	334

6.2	Verzweigte Sinusstromkreise .....	339
6.2.1	Duale Schaltungen .....	339
6.2.1.1	Analogien zu Gleichstromnetzwerken .....	339
6.2.1.2	Gemischte Schaltungen .....	340
6.2.1.3	Dualitätsbeziehungen bei Sinusstromnetzwerken .....	342
6.2.2	Leistungen .....	345
6.2.2.1	Addition von Leistungen .....	345
6.2.2.2	Blindleistungskompensation .....	346
6.2.2.3	Leistungsanpassung .....	349
6.2.2.4	Leistungsmessung .....	351
6.3	Netzwerkumformung .....	352
6.3.1	Ersatzschaltungen passiver technischer Zweipole .....	353
6.3.1.1	Reihen-Ersatzschaltung .....	353
6.3.1.2	Parallel-Ersatzschaltung .....	356
6.3.1.3	Gemischte Schaltungen .....	358
6.3.2	Transformator .....	361
6.3.2.1	Idealer Übertrager .....	362
6.3.2.2	Verlustloser, streuungsbehafteter Transformator .....	365
6.3.2.3	Transformator ohne Eisenverluste .....	366
6.3.2.4	Transformator mit Kupfer- und Eisenverlusten .....	369
<b>7</b>	<b>Ortskurven und Schwingkreise .....</b>	<b>370</b>
7.1	Ortskurven .....	370
7.1.1	Erläuterung und Konstruktion von Ortskurven .....	370
7.1.1.1	Ortskurven für Spannung und Impedanz .....	371
7.1.1.2	Ortskurven für Strom und Admittanz .....	373
7.1.2	Inversion komplexer Größen und Ortskurven .....	377
7.1.3	Amplituden- und Phasenwinkeldiagramme .....	380
7.2	Schwingkreise .....	382
7.2.1	Freie Schwingungen .....	382
7.2.2	Erzwungene Schwingungen .....	384
7.2.2.1	Reihenschwingkreise .....	384
7.2.2.2	Parallelschwingkreise .....	388
7.2.2.3	Vergleich von Reihen- und Parallelschwingkreisen .....	391
7.2.3	Kenngößen für Schwingkreise .....	392
7.2.4	Schwingkreise mit mehreren Freiheitsgraden .....	395
<b>8</b>	<b>Mehrphasensysteme .....</b>	<b>398</b>
8.1	Verkettete Mehrphasensysteme .....	398
8.1.1	Schaltungsarten .....	398
8.1.1.1	Mehrphasengenerator .....	398
8.1.1.2	Sternschaltung .....	400
8.1.1.3	Ringschaltung .....	400
8.1.2	Zweiphasensysteme .....	401
8.1.2.1	Symmetrisches Zweiphasensystem .....	401
8.1.2.2	Unsymmetrisches Zweiphasensystem .....	402
8.1.2.3	Drehfelderzeugung .....	403

8.2	Symmetrisches Dreiphasensystem .....	404
8.2.1	Spannungen und Ströme.....	404
8.2.1.1	Benennungen.....	404
8.2.1.2	Spannungen.....	405
8.2.1.3	Symmetrische Sternschaltung.....	406
8.2.1.4	Symmetrische Dreieckschaltung.....	408
8.2.2	Leistung bei symmetrischer Last.....	409
8.2.2.1	Augenblicksleistung.....	409
8.2.2.2	Wirk-, Blind- und Scheinleistung .....	410
8.2.2.3	Blindleistungskompensation .....	411
8.3	Unsymmetrische Dreiphasenbelastung .....	412
8.3.1	Vierleiternetz.....	413
8.3.1.1	Allgemeine Belastung .....	413
8.3.1.2	Leistungsmessung .....	414
8.3.2	Dreileiternetz.....	416
8.3.2.1	Dreieckschaltung.....	416
8.3.2.2	Sternschaltung.....	417
8.3.2.3	Leistungsmessung .....	419
<b>9</b>	<b>Nichtsinusförmige Ströme und Spannungen.....</b>	<b>421</b>
9.1	Fourier-Zerlegung periodischer Zeitfunktionen.....	421
9.1.1	Aufgabenstellung .....	422
9.1.1.1	Näherungsfunktion.....	422
9.1.1.2	Approximation nach dem kleinsten mittleren Fehlerquadrat.....	423
9.1.2	Fourier-Reihen .....	425
9.1.2.1	Berechnung der Fourier-Koeffizienten .....	425
9.1.2.2	Unendliche Fourier-Reihe.....	427
9.1.2.3	Sonderfälle .....	428
9.1.2.4	Komplexe Fourier-Reihe.....	430
9.1.3	Kennwerte periodischer Größen .....	432
9.1.3.1	Effektivwert.....	432
9.1.3.2	Schwingungsgehalt und Klirrfaktor.....	433
9.1.4	Nichtsinusförmige Wechselgrößen in linearen Netzwerken.....	435
9.1.4.1	Lineare Verzerrungen.....	435
9.1.4.2	Differenziation und Integration nichtsinusförmiger Wechselgrößen.....	436
9.2	Nichtlineare Wechselstromkreise.....	439
9.2.1	Nichtlineare Verzerrungen.....	439
9.2.2	Gleichrichterschaltungen.....	441
9.2.3	Spule mit ferromagnetischem Kern (Eisendrossel) .....	443
9.2.4	Leistungen .....	444
9.2.4.1	Nichtsinusförmige Spannungen und Ströme.....	444
9.2.4.2	Nichtlineare Zweipole an Sinusspannung.....	445
9.3	Schaltvorgänge .....	448
9.3.1	Berechnungsverfahren.....	448
9.3.1.1	Aufstellen der Differenzialgleichung.....	449
9.3.1.2	Lösungsverfahren.....	451
9.3.1.3	Exponentialansatz.....	452
9.3.1.4	Partikuläre Lösung .....	452

9.3.2	Schalten von Gleichströmen und -spannungen.....	453
9.3.2.1	Idealisiertes Einschalten von RC- und RL-Schaltungen.....	453
9.3.2.2	Idealisiertes Ausschalten von RC- und RL-Schaltungen.....	459
9.3.2.3	Schalten von Schwingkreisen .....	462
9.3.3	Schalten von Sinusströmen und -spannungen.....	469
9.3.3.1	Schalten einer RL-Reihenschaltung an eine Sinusspannung.....	469
9.3.3.2	Schalten einer RC-Reihenschaltung an eine Sinusspannung.....	472
9.3.3.3	Schalten eines Reihenschwingkreises an eine Sinusspannung ...	474
9.3.3.4	Ausschalten von Sinusströmen .....	476
<b>10</b>	<b>Elektrische Leitungsmechanismen.....</b>	<b>477</b>
10.1	Elektrische Leitung im Vakuum.....	477
10.1.1	Elektronenemission in das Vakuum.....	477
10.1.2	Elektronenströmung im Vakuum.....	479
10.1.2.1	Bewegung im elektrischen Feld.....	479
10.1.2.2	Bewegung im magnetischen Feld .....	484
10.1.3	Technische Nutzung.....	486
10.1.3.1	Elektronenröhre ohne Gitter.....	486
10.1.3.2	Elektronenröhre mit Gitter .....	489
10.1.3.3	Oszilloskop-Röhren .....	490
10.1.3.4	Röntgenröhren.....	491
10.2	Elektrische Leitung in Gasen.....	491
10.2.1	Ladungsträger in Gasen.....	492
10.2.2	Generation und Rekombination von Ladungsträgern.....	492
10.2.3	Entladungsformen .....	495
10.2.3.1	Unselbstständige Entladung.....	495
10.2.3.2	Selbstständige Entladung .....	496
10.2.4	Technische Nutzung.....	499
10.3	Elektrische Leitung in Flüssigkeiten .....	500
10.3.1	Mechanismus der elektrolytischen Leitung .....	501
10.3.2	Ladungs-, Massen-, Strombilanzen.....	502
10.3.2.1	Faradaysche Gesetze .....	502
10.3.2.2	Elektrolytische Spannung galvanischer Zellen.....	504
10.3.2.3	Zersetzungs- und Polarisations-Spannung.....	504
10.3.3	Technische Nutzung.....	506
10.3.3.1	Elektrochemische Stromerzeuger .....	506
10.3.3.2	Elektrolyse, Galvanik und Korrosion .....	512
10.4	Elektrische Leitung in homogenen kristallinen Festkörpern.....	513
10.4.1	Kristallaufbau von Metallen, Halbleitern und Isolatoren .....	513
10.4.2	Energiebändermodell .....	516
10.4.2.1	Energiewerte der Elektronen im Einzelatom .....	516
10.4.2.2	Energiewerte der Elektronen im kristallinen Festkörper, Klassifizierung nach Metallen, Halbleitern und Isolatoren .....	517
10.4.3	Elektrische Leitung in Metallen.....	523
10.4.3.1	Normalleitung .....	523
10.4.3.2	Supraleitung .....	524
10.4.3.3	Technische Nutzung.....	524

10.4.4 Elektrische Leitung in Halbleitern .....	525
10.4.4.1 Eigenleitung .....	525
10.4.4.2 Störstellenleitung.....	528
10.4.4.3 Feld- und Diffusionsstrom .....	532
10.4.4.4 Stromleitung bei Lichteinstrahlung, Photowiderstand.....	533
10.4.4.5 Stromleitung bei Magnetfeldeinwirkung, Feldplatte .....	533
10.4.5 Elektrische Leitung in Isolatoren .....	534
10.5 Elektrische Leitung in geschichteten kristallinen Festkörpern.....	535
10.5.1 Der pn-Übergang.....	535
10.5.2 Dioden .....	541
10.5.2.1 Strom-Spannungs-Charakteristik eines realen pn-Übergangs .....	541
10.5.2.2 Gleichrichter- und Misch-Dioden .....	543
10.5.2.3 Z-Dioden .....	545
10.5.2.4 Schaltioden.....	548
10.5.2.5 Varaktordioden.....	549
10.5.2.6 pin-Dioden.....	549
10.5.2.7 Aktive Mikrowellendioden .....	550
10.5.3 Transistoren .....	555
10.5.3.1 Feldeffekttransistoren.....	556
10.5.3.2 Bipolartransistoren .....	561
10.5.4 Thyristoren .....	563
10.5.4.1 Thyristor-Dioden.....	563
10.5.4.2 Thyristor .....	564
10.5.4.3 Vom Thyristor abgeleitete Bauelemente.....	566
10.5.5 Stromleitung bei Lichteinwirkung .....	568
10.5.5.1 Lichtdetektoren.....	568
10.5.5.2 Lichtemitter .....	569
10.5.5.3 Optoelektronische Koppler .....	571
10.5.6 Integrierte Schaltungen .....	572
10.5.6.1 Allgemeine Gesichtspunkte .....	572
10.5.6.2 Schaltungstechniken.....	573
<b>Literaturverzeichnis .....</b>	<b>576</b>
<b>Anhang.....</b>	<b>578</b>
1 Griechisches Alphabet .....	578
2 SI-Einheiten .....	578
3 Elektrische Leitungseigenschaften einiger Werkstoffe .....	580
4 Schaltzeichen .....	581
5 Symbole und Schreibweisen .....	582
6 Indizes .....	582
7 Formelzeichen.....	583
8 Werte der Normreihe E 24.....	585
<b>Register .....</b>	<b>586</b>