

Heinrich Frohne, Karl-Heinz Löcherer,  
Hans Müller

# Moeller Grundlagen der Elektrotechnik

19., korrigierte und durchgesehene Auflage

Mit 383 teils mehrfarbigen Abbildungen, 36 Tafeln  
und 172 Beispielen



B. G. Teubner Stuttgart · Leipzig · Wiesbaden

---

## Inhalt

### 1 Grundbegriffe (Hans Müller)

1.1 Physikalische Größen und Einheiten . . . . .	1
1.1.1 Physikalische Größen . . . . .	1
1.1.1.1 Charakter der physikalischen Größen. 1.1.1.2 Formelzeichen und ihre Darstellung. 1.1.1.3 Gerichtete Größen, Vektoren. 1.1.1.4 Zeitabhängige Größen. 1.1.1.5 Komplexe Größen	
1.1.2 Einheiten . . . . .	4
1.1.2.1 SI-Basiseinheiten. 1.1.2.2 Abgeleitete SI-Einheiten. 1.1.2.3 Gesetzliche Einheiten außerhalb des SI. 1.1.2.4 Dezimale Vielfache von Einheiten	
1.1.3 Physikalische Gleichungen . . . . .	8
1.1.3.1 Größengleichungen. 1.1.3.2 Zugeschnittene Größengleichungen	
1.2 Strom und Spannung . . . . .	11
1.2.1 Elektrische Ladung und elektrischer Strom . . . . .	11
1.2.1.1 Elektrische Ladung. 1.2.1.2 Elektrische Stromstärke. 1.2.1.3 Stromarten	
1.2.2 Elektrisches Potential und elektrische Spannung . . . . .	13
1.2.2.1 Elektrisches Potential. 1.2.2.2 Elektrische Spannung	
1.2.3 Technische Stromrichtung . . . . .	15
1.2.3.1 Stromkreis. 1.2.3.2 Strömung positiver und negativer Ladungen. 1.2.3.3 Festlegung der Stromrichtung	
1.2.4 Zählpfeile . . . . .	18
1.2.4.1 Strom- und Spannungszählpfeile. 1.2.4.2 Zählpfeilsysteme an Zweipolen und Zweitoren	

**2 Elektrischer Gleichstromkreis (Hans Müller)**

2.1 Strömungsgesetze im einfachen Stromkreis . . . . .	22
2.1.1 Ohmsches Gesetz . . . . .	22
2.1.1.1 Zusammenhang zwischen Strom und Spannung. 2.1.1.2 Definition von Widerstand und Leitwert	
2.1.2 Elektrische Widerstände . . . . .	24
2.1.2.1 Spezifischer Widerstand und Leitfähigkeit. 2.1.2.2 Me- chanisch beeinflussbare Widerstände. 2.1.2.3 Temperaturein- fluß. 2.1.2.4 Weitere Einflüsse. 2.1.2.5 Lineare und nichtli- neare Widerstände	
2.1.3 Arbeit und Leistung . . . . .	35
2.1.3.1 Arbeitsvermögen von Strom und Spannung. 2.1.3.2 Leistung. 2.1.3.3 Verluste und Wirkungsgrad	
2.1.4 Elektrische Quellen . . . . .	40
2.1.4.1 Ideale Spannungsquelle. 2.1.4.2 Ideale Stromquelle. 2.1.4.3 Technische Quellen. 2.1.4.4 Spannungsquellen-Ersatz- schaltung. 2.1.4.5 Stromquellen-Ersatzschaltung. 2.1.4.6 Äqui- valenz der Quellen-Ersatzschaltungen. 2.1.4.7 Leistungsanpas- sung	
2.2 Verzweigter Stromkreis . . . . .	51
2.2.1 Begriffe . . . . .	51
2.2.1.1 Gleichstromnetzwerke. 2.2.1.2 Knoten, Zweige und Maschen	
2.2.2 Kirchhoffsche Gesetze . . . . .	53
2.2.2.1 Knotensatz. 2.2.2.2 Maschensatz	
2.2.3 Parallelschaltung . . . . .	55
2.2.3.1 Gesamtleitwert von parallel geschalteten Leitwerten. 2.2.3.2 Stromteilerregel	
2.2.4 Reihenschaltung . . . . .	59
2.2.4.1 Gesamtwiderstand von in Reihe geschalteten Widerstän- den. 2.2.4.2 Spannungsteilerregel. 2.2.4.3 Belasteter Span- nungsteiler	
2.2.5 Duale Schaltungen . . . . .	64
2.2.5.1 Kombinierte Reihen- und Parallelschaltungen. 2.2.5.2 Dualitätsbeziehungen	
2.2.6 Strom- und Spannungsmessung . . . . .	68
2.2.6.1 Grundsaltungen. 2.2.6.2 Stromrichtiges und span- nungsrichtiges Messen. 2.2.6.3 Kompensationsmeßverfahren. 2.2.6.4 Brückenmeßverfahren	

2.3 Berechnung elektrischer Netzwerke . . . . .	74
2.3.1 Netzumformung . . . . .	74
2.3.1.1 Notwendige Voraussetzungen. 2.3.1.2 Regeln. 2.3.1.3 Vereinfachung der Schaltung. 2.3.1.4 Stern-Dreieck-Umwandlung	
2.3.2 Rekursive Berechnung . . . . .	80
2.3.3 Knoten- und Maschenanalyse . . . . .	81
2.3.3.1 Topologie. 2.3.3.2 Verfahren des vollständigen Baumes. 2.3.3.3 Regeln	
2.3.4 Überlagerungssatz . . . . .	88
2.3.5 Maschenstromverfahren . . . . .	91
2.3.5.1 Vorgehen. 2.3.5.2 Aufstellen der Matrixgleichung	
2.3.6 Knotenpotentialverfahren . . . . .	95
2.3.6.1 Vorgehen. 2.3.6.2 Aufstellen der Matrixgleichung	
2.3.7 Ersatz-Zweipolquellen . . . . .	100
2.3.7.1 Ersatz-Spannungsquelle. 2.3.7.2 Ersatz-Stromquelle. 2.3.7.3 Netzwerkanalyse mit Ersatz-Zweipolquellen	
2.3.8 Netzwerke mit nichtlinearen Bauelementen . . . . .	106
2.3.8.1 Linearisierung. 2.3.8.2 Graphische Arbeitspunktbestimmung. 2.3.8.3 Stabilität des Arbeitspunktes	
2.3.9 Vergleich der Berechnungsverfahren . . . . .	114

**3 Elektrisches Potentialfeld (Heinrich Frohne)**

3.1 Definition und Wirkung der elektrischen Ladung . . . . .	117
3.1.1 Definition der elektrischen Ladung . . . . .	117
3.1.1.1 Reale Ladungsverteilung und deren Beschreibung. 3.1.1.2 Ladungserhaltungs- und Kontinuitätssatz	
3.1.2 Wirkungen der elektrischen Ladung . . . . .	125
3.1.2.1 Coulombsches Gesetz. 3.1.2.2 Feldwirkung der elektrischen Ladung	
3.2 Elektrisches Feld in Leitern (Strömungsfeld) . . . . .	131
3.2.1 Wesen und Darstellung des elektrischen Strömungsfeldes . . .	131
3.2.1.1 Driftladung und Driftgeschwindigkeit. 3.2.1.2 Driftgeschwindigkeit und Stromdichte	
3.2.2 Stromdichte und Strom . . . . .	136
3.2.3 Elektrische Feldstärke und Spannung . . . . .	141
3.2.4 Elektrisches Potential . . . . .	146
3.2.5 Leistungsdichte im elektrischen Strömungsfeld . . . . .	151



X Inhalt

3.3	Elektrisches Feld in Nichtleitern . . . . .	152
3.3.1	Wesen und Darstellung des elektrischen Feldes in Nichtleitern	152
3.3.2	Elektrische Feldstärke und Spannung . . . . .	153
3.3.3	Elektrisches Potential und Eigenschaften des Potentialfeldes .	158
3.3.4	Elektrische Flußdichte und elektrischer Fluß . . . . .	161
3.3.5	Zusammenhang zwischen elektrischer Ladung und Spannung .	166
3.3.5.1	Kapazität. 3.3.5.2 Zeitliche Änderung von Strom und	
3.3.5.2	Spannung im Kondensator. 3.3.5.3 Schaltung von Kondensato-	
3.3.5.3	ren.	
3.3.6	Energie und Kräfte im elektrischen Feld . . . . .	175
3.3.6.1	Gespeicherte Energie im elektrischen Feld. 3.3.6.2 Irre-	
3.3.6.2	versible Energieumformung (Verlustleistung) im elektrischen	
3.3.6.3	Feld. 3.3.6.3 Kräfte auf Grenzflächen im elektrischen Feld	

**4 Magnetisches Feld (Heinrich Frohne)**

4.1	Beschreibung und Berechnung des magnetischen Feldes . . . . .	182
4.1.1	Wesen und Darstellung des magnetischen Feldes . . . . .	182
4.1.1.1	Wirkungen und Ursachen des magnetischen Feldes.	
4.1.1.2	Feldbilder und Feldlinien. 4.1.1.3 Feldrichtung und Po-	
4.1.1.3	larität	
4.1.2	Vektorielle Feldgrößen des magnetischen Feldes . . . . .	186
4.1.2.1	Magnetische Flußdichte. 4.1.2.2 Durchflutung, Zusam-	
4.1.2.2	menhang zwischen Feldgrößen und erregendem Strom. 4.1.2.3	
4.1.2.3	Magnetische Feldstärke. 4.1.2.4 Einheiten der magnetischen	
4.1.2.4	Feldgrößen	
4.1.3	Integrale Größen des magnetischen Feldes . . . . .	194
4.1.3.1	Magnetische Spannung. 4.1.3.2 Durchflutungssatz.	
4.1.3.2	4.1.3.3 Magnetischer Fluß. 4.1.3.4 Ohmsches Gesetz des ma-	
4.1.3.3	gnetischen Kreises	
4.1.3.4		
4.1.4	Überlagerung magnetischer Felder . . . . .	211
4.1.5	Magnetisches Feld in Materie . . . . .	214
4.1.5.1	Typisches Verhalten der Materie im Magnetfeld.	
4.1.5.2	Brechung magnetischer Feldlinien	
4.2	Magnetisches Feld in Eisen . . . . .	217
4.2.1	Ferromagnetische Eigenschaften . . . . .	217
4.2.1.1	Hystereseschleife. 4.2.1.2 Magnetisierungskurve. 4.2.1.3	
4.2.1.2	Permeabilität und Suszeptibilität. 4.2.1.4 Dauermagnete	
4.2.1.3		
4.2.1.4		



4.2.2	Berechnung des magnetischen Feldes im Eisenkreis . . . . .	226
4.2.2.1	Magnetische Streuung und Randverzerrung.	
4.2.2.2	Ermittlung der Durchflutung	
4.3	Wirkungen im magnetischen Feld . . . . .	233
4.3.1	Spannungserzeugung im magnetischen Feld, elektrisches Wirbelfeld . . . . .	234
4.3.1.1	Induktionswirkung im bewegten Leiter.	
4.3.1.2	Induktionswirkung im zeitlich veränderlichen Magnetfeld.	
4.3.1.3	Induktionsgesetz in allgemeiner Form.	
4.3.1.4	Selbstinduktionsspannung.	
4.3.1.5	Selbst- und Gegeninduktivität.	
4.3.1.6	Selbst- und Gegeninduktionsspannung im Verbraucherzählpfeilsystem.	
4.3.1.7	Wirbelströme	
4.3.2	Energie und Kräfte im magnetischen Feld . . . . .	259
4.3.2.1	Energie des magnetischen Feldes.	
4.3.2.2	Kraftwirkung auf Grenzflächen.	
4.3.2.3	Kraftwirkung auf stromdurchflossene Leiter im Magnetfeld.	
4.3.2.4	Kraftwirkung zwischen stromdurchflossenen Leitern	
4.4	Vergleich elektrischer und magnetischer Felder . . . . .	274

**5 Einfacher Sinusstromkreis (Hans Müller)**

5.1	Periodische Ströme und Spannungen . . . . .	277
5.1.1	Periodische Zeitfunktionen . . . . .	277
5.1.1.1	Periodizität.	
5.1.1.2	Arithmetischer Mittelwert	
5.1.2	Wechselgrößen und Mischgrößen . . . . .	279
5.1.2.1	Definition einer Wechselgröße.	
5.1.2.2	Gleichrichtwert.	
5.1.2.3	Effektivwert.	
5.1.2.4	Scheitelfaktor und Formfaktor.	
5.1.2.5	Mischgrößen	
5.1.3	Leistung . . . . .	283
5.1.3.1	Wirkleistung.	
5.1.3.2	Scheinleistung	
5.2	Sinusgrößen . . . . .	285
5.2.1	Eigenschaften von Sinusgrößen . . . . .	285
5.2.1.1	Erzeugung von Sinusspannungen.	
5.2.1.2	Phasenlage, Periodendauer und Frequenz.	
5.2.1.3	Mittelwerte von Sinusgrößen	
5.2.2	Zeigerdiagramm . . . . .	293
5.2.2.1	Zeiger.	
5.2.2.2	Zählpfeile.	
5.2.2.3	Addition und Subtraktion von Sinusgrößen.	
5.2.2.4	Differentiation und Integration von Sinusgrößen	



## XII Inhalt

5.3 Komplexe Rechnung . . . . .	300
5.3.1 Begriffe und Rechenregeln . . . . .	301
5.3.1.1 Darstellung komplexer Zahlen. 5.3.1.2 Rechenregeln für komplexe Zahlen. 5.3.1.3 Komplexe Gleichungen	
5.3.2 Komplexe Größen der Sinusstromtechnik . . . . .	307
5.3.2.1 Komplexe Drehzeiger. 5.3.2.2 Komplexe Amplitude. 5.3.2.3 Effektivwertzeiger. 5.3.2.4 Komplexe Widerstände und Leitwerte. 5.3.2.5 Komplexe Leistung. 5.3.2.6 Leistungsfak- tor	
5.4 Ideale passive Zweipole bei Sinusstrom . . . . .	317
5.4.1 Widerstand . . . . .	317
5.4.1.1 Spannung, Strom und Phasenwinkel. 5.4.1.2 Wirkwi- derstand und Wirkleitwert. 5.4.1.3 Wirkleistung	
5.4.2 Induktivität . . . . .	322
5.4.2.1 Spannung, Strom und Phasenwinkel. 5.4.2.2 Induktiver Blindwiderstand und Blindleitwert. 5.4.2.3 Induktive Blindlei- stung	
5.4.3 Kapazität . . . . .	327
5.4.3.1 Spannung, Strom und Phasenwinkel. 5.4.3.2 Kapaziti- ver Blindwiderstand und Blindleitwert. 5.4.3.3 Kapazitive Blindleistung	
5.4.4 Gegenüberstellung der idealen passiven Zweipole . . . . .	334

## 6 Sinusstromnetzwerke (Hans Müller)

6.1 Reihen- und Parallelschaltungen . . . . .	335
6.1.1 Kirchhoffsche Gesetze . . . . .	335
6.1.1.1 Knotensatz. 6.1.1.2 Maschensatz	
6.1.2 Reihenschaltung . . . . .	338
6.1.2.1 Impedanz von Reihenschaltungen. 6.1.2.2 Spannungs- teilerregel. 6.1.2.3 Reihenschaltung der Grundzweipole	
6.1.3 Parallelschaltung . . . . .	346
6.1.3.1 Admittanz von Parallelschaltungen. 6.1.3.2 Stromteiler- regel. 6.1.3.3 Parallelschaltung der Grundzweipole	
6.2 Verzweigter Sinusstromkreis . . . . .	354
6.2.1 Duale Schaltungen . . . . .	354
6.2.1.1 Analogien zu Gleichstromnetzwerken. 6.2.1.2 Kombi- nierte Reihen- und Parallelschaltungen. 6.2.1.3 Dualitätsbezie- hungen	



6.2.2 Leistungen . . . . .	361
6.2.2.1 Addition von Leistungen. 6.2.2.2 Blindleistungskom- pensation. 6.2.2.3 Leistungsanpassung. 6.2.2.4 Leistungsmes- sung	
6.3 Netzumformung . . . . .	370
6.3.1 Ersatzschaltungen . . . . .	370
6.3.1.1 Reihen-Ersatzschaltung. 6.3.1.2 Parallel-Ersatzschal- tung. 6.3.1.3 Gemischte Schaltungen	
6.3.2 Magnetische Kopplung . . . . .	379
6.3.2.1 Idealer Übertrager. 6.3.2.2 Verlustlose Übertrager und Transformatoren. 6.3.2.3 Übertrager und Transformatoren ohne Eisenverluste. 6.3.2.4 Transformatoren mit Kupfer- und Eisenverlusten	
 <b>7 Ortskurven und Schwingkreise (Heinrich Frohne)</b>	
7.1 Ortskurven . . . . .	391
7.1.1 Erläuterung und Konstruktion von Ortskurven . . . . .	391
7.1.1.1 Ortskurven für Spannung und Widerstand. 7.1.1.2 Ortskurven für Strom und Leitwert	
7.1.2 Inversion komplexer Größen und Ortskurven . . . . .	398
7.1.3 Amplituden- und Phasenwinkeldiagramme . . . . .	401
7.2 Schwingkreise . . . . .	404
7.2.1 Freie Schwingungen . . . . .	404
7.2.2 Erzwungene Schwingungen . . . . .	406
7.2.2.1 Reihenschwingkreise. 7.2.2.2 Parallelschwingkreise. 7.2.2.3 Vergleich von Reihen- und Parallelschwingkreisen	
7.2.3 Kenngrößen für Schwingkreise . . . . .	417
7.2.4 Schwingkreise mit mehreren Freiheitsgraden . . . . .	420
 <b>8 Mehrphasensysteme (Hans Müller)</b>	
8.1 Verkettete Mehrphasensysteme . . . . .	423
8.1.1 Schaltungsarten . . . . .	424
8.1.1.1 Mehrphasengenerator. 8.1.1.2 Sternschaltung. 8.1.1.3 Ringschaltung	
8.1.2 Zweiphasensysteme . . . . .	427
8.1.2.1 Symmetrisches Zweiphasensystem. 8.1.2.2 Unsymme- trisches Zweiphasensystem. 8.1.2.3 Drehfelderzeugung	





XIV Inhalt

8.2	Symmetrisches Dreiphasensystem . . . . .	430
8.2.1	Spannungen und Ströme . . . . .	430
	8.2.1.1 Benennungen. 8.2.1.2 Spannungen. 8.2.1.3 Symmetri- sche Sternschaltung. 8.2.1.4 Symmetrische Dreieckschaltung	
8.2.2	Leistung bei symmetrischer Last . . . . .	436
	8.2.2.1 Augenblicksleistung. 8.2.2.2 Wirk-, Blind- und Schein- leistung. 8.2.2.3 Blindleistungskompensation	
8.3	Unsymmetrische Dreiphasenbelastung . . . . .	440
8.3.1	Vierleiternetz . . . . .	440
	8.3.1.1 Allgemeine Belastung. 8.3.1.2 Leistungsmessung	
8.3.2	Dreileiternetz . . . . .	444
	8.3.2.1 Dreieckschaltung. 8.3.2.2 Sternschaltung. 8.3.2.3 Lei- stungsmessung	

**9 Nichtsinusförmige Ströme und Spannungen (Hans Müller)**

9.1	Fourier-Zerlegung periodischer Zeitfunktionen . . . . .	450
9.1.1	Aufgabenstellung . . . . .	450
	9.1.1.1 Näherungsfunktion. 9.1.1.2 Approximation nach dem kleinsten mittleren Fehlerquadrat	
9.1.2	Fourier-Reihen . . . . .	453
	9.1.2.1 Berechnung der Fourier-Koeffizienten. 9.1.2.2 Unend- liche Fourier-Reihe. 9.1.2.3 Sonderfälle. 9.1.2.4 Komplexe Fourier-Reihe	
9.1.3	Kenngößen . . . . .	461
	9.1.3.1 Effektivwert. 9.1.3.2 Schwingungsgehalt und Klirrfak- tor	
9.1.4	Nichtsinusförmige Wechselgrößen in linearen Netzwerken . . .	465
	9.1.4.1 Lineare Verzerrungen. 9.1.4.2 Differentiation und Inte- gration nichtsinusförmiger Wechselgrößen	
9.2	Nichtlineare Wechselstromkreise . . . . .	470
9.2.1	Nichtlineare Verzerrungen . . . . .	470
9.2.2	Gleichrichterschaltungen . . . . .	472
9.2.3	Eisendrossel . . . . .	475
9.2.4	Leistungen . . . . .	476
	9.2.4.1 Nichtsinusförmige Spannungen und Ströme. 9.2.4.2 Nichtlineare Zweipole an Sinusspannung	



9.3 Schaltvorgänge . . . . .	481
9.3.1 Berechnungsverfahren . . . . .	481
9.3.1.1 Aufstellen der Differentialgleichung. 9.3.1.2 Lösungs-	
verfahren. 9.3.1.3 Exponentialansatz. 9.3.1.4 Partikuläre Lö-	
sung	
9.3.2 Schalten von Gleichströmen . . . . .	486
9.3.2.1 Idealisertes Einschalten von RC- und RL-Kreisen.	
9.3.2.2 Idealisertes Ausschalten von RC- und RL-Kreisen.	
9.3.2.3 Schalten von Schwingkreisen	
9.3.3 Schalten von Wechselströmen . . . . .	505
9.3.3.1 Einschalten einer RL-Reihenschaltung. 9.3.3.2 Ein-	
schalten einer RC-Reihenschaltung. 9.3.3.3 Einschalten eines	
Reihenschwingkreises. 9.3.3.4 Ausschalten	
<b>10 Elektrische Leitungsmechanismen (Karl-Heinz Löcherer)</b>	
10.1 Elektrische Leitung im Vakuum . . . . .	514
10.1.1 Elektronen-Emission in das Vakuum . . . . .	515
10.1.2 Elektronenströmung im Vakuum . . . . .	517
10.1.2.1 Bewegung im elektrischen Feld. Bewegungsglei-	
chung. Elektronen-Geschwindigkeit. Ablenkung durch ein	
elektrisches Feld. 10.1.2.2 Bewegung im magnetischen	
Feld. Bewegungsgleichung. Ablenkung durch ein magneti-	
sches Feld.	
10.1.3 Technische Nutzung . . . . .	525
10.1.3.1 Elektronenröhre ohne Gitter. 10.1.3.2 Elektronen-	
röhre mit Gitter. 10.1.3.3 Oszilloskop-Röhren. 10.1.3.4	
Röntgenröhren	
10.2 Elektrische Leitung in Gasen . . . . .	532
10.2.1 Ladungsträger in Gasen . . . . .	532
10.2.2 Generation und Rekombination von Ladungsträgern . . . .	533
10.2.3 Entladungsformen . . . . .	536
10.2.3.1 Unselbständige Entladung. 10.2.3.2 Selbständige	
Entladung	
10.2.4 Technische Nutzung . . . . .	541
10.3 Elektrische Leitung in Flüssigkeiten . . . . .	543
10.3.1 Mechanismus der elektrolytischen Leitung . . . . .	544

XVI Inhalt

10.3.2 Ladungs-, Massen-, Strombilanzen . . . . .	545
10.3.2.1 Faradaysche Gesetze. 10.3.2.2 Elektrolytische Spannung galvanischer Zellen. 10.3.2.3 Zersetzungs- und Polarisationsspannung	
10.3.3 Technische Nutzung . . . . .	550
10.3.3.1 Elektrochemische Stromerzeuger. 10.3.3.2 Elektrolyse. Galvanik. Korrosion	
10.4 Elektrische Leitung in kristallinen Festkörpern . . . . .	559
10.4.1 Kristallaufbau von Metallen, Halbleitern und Isolatoren . .	559
10.4.2 Energiebändermodell . . . . .	562
10.4.2.1 Energiewerte der Elektronen im Einzelatom.	
10.4.2.2 Energiewerte der Elektronen im kristallinen Festkörper. Klassifizierung nach Metallen, Halbleitern, Isolatoren.	
10.4.3 Elektrische Leitung in Metallen . . . . .	570
10.4.3.1 Normalleitung. 10.4.3.2 Supraleitung. 10.4.3.3 Technische Nutzung	
10.4.4 Elektrische Leitung in Halbleitern . . . . .	573
10.4.4.1 Eigenleitung. 10.4.4.2 Störstellenleitung. 10.4.4.3 Feld- und Diffusionsstrom. 10.4.4.4 Der pn-Übergang	
10.4.5 Elektrische Leitung in Isolatoren . . . . .	590

**11 Halbleiterbauelemente (Karl-Heinz Löcherer)**

11.1 Dioden . . . . .	591
11.1.1 Die Strom-Spannungs-Charakteristik eines realen pn-Übergangs . . . . .	591
11.1.2 Gleichrichter- und Misch-Dioden . . . . .	593
11.1.3 Z-Dioden . . . . .	595
11.1.4 Schaltdioden . . . . .	599
11.1.5 Varaktordioden . . . . .	600
11.1.6 pin-Dioden . . . . .	601
11.1.7 Aktive Mikrowellendioden . . . . .	602
11.1.7.1 Lawinen-Laufzeitdiode. 11.1.7.2 Gunn-Element. 11.1.7.3 Tunnelodiode	
11.2 Feldeffekttransistoren . . . . .	608
11.2.1 Sperrschicht-Feldeffekttransistor . . . . .	609
11.2.2 Isolierschicht-Feldeffekttransistor . . . . .	612
11.2.3 Source-, Gate- und Drainschaltung . . . . .	615

11.3 Bipolartransistoren . . . . .	615
11.3.1 npn- und pnp-Typ . . . . .	616
11.3.2 Basis-, Emitter- und Kollektorschaltung . . . . .	617
11.3.3 Betriebsbereiche für Verstärker- und Schalterbetrieb . . . . .	621
11.3.4 Sonderbauformen . . . . .	623
11.4 Thyristoren . . . . .	624
11.4.1 Thyristor-Dioden . . . . .	624
11.4.2 Die rückwärtssperrende Thyristor-Triode (Thyristor) . . . . .	625
11.4.3 Vom Thyristor abgeleitete Bauelemente . . . . .	627
11.5 Integrierte Schaltungen . . . . .	630
11.5.1 Allgemeine Gesichtspunkte . . . . .	630
11.5.2 Schaltungstechniken . . . . .	631
11.5.2.1 Bipolare Techniken. 11.5.2.2 (C)MOS-Technik	
11.6 Optoelektronische Bauelemente . . . . .	633
11.6.1 Lichtdetektoren . . . . .	634
11.6.2 Lichtemitter . . . . .	637
11.6.3 Optoelektronische Koppler . . . . .	638
11.7 Galvanomagnetische Bauelemente . . . . .	640

**Anhang**

1 Literaturverzeichnis . . . . .	642
2 Griechisches Alphabet . . . . .	644
3 Einheiten . . . . .	644
4 Leitungseigenschaften einiger Werkstoffe . . . . .	646
5 Schaltzeichen . . . . .	647
6 Symbole und Schreibweisen . . . . .	648
7 Indizes . . . . .	649
8 Formelzeichen . . . . .	649
<b>Sachverzeichnis</b> . . . . .	<b>652</b>

Hinweise auf DIN-Normen in diesem Werk entsprechen dem Stand der Normung bei Abschluß des Manuskriptes. Maßgebend sind die jeweils neuesten Ausgaben der Normblätter des DIN Deutsches Institut für Normung e. V. im Format A 4, die durch die Beuth-Verlag GmbH, Berlin und Köln, zu beziehen sind. – Sinngemäß gilt das gleiche für alle in diesem Buche angezogenen amtlichen Richtlinien, Bestimmungen, Verordnungen usw.