

# Inhaltsübersicht

---

<b>Vorwort</b>		15
<b>Vorwort zur 2. Auflage</b>		16
<b>Teil I</b>	<b>Erfahrungssätze, Bauelemente, Gleichstromschaltungen</b>	21
<b>Kapitel 1</b>	<b>Das elektrostatische Feld</b>	23
<b>Kapitel 2</b>	<b>Das stationäre elektrische Strömungsfeld</b>	87
<b>Kapitel 3</b>	<b>Einfache elektrische Netzwerke</b>	117
<b>Kapitel 4</b>	<b>Stromleitungsmechanismen</b>	171
<b>Kapitel 5</b>	<b>Das stationäre Magnetfeld</b>	195
<b>Kapitel 6</b>	<b>Das zeitlich veränderliche elektromagnetische Feld</b>	253
<b>Teil II</b>	<b>Periodische und nicht periodische Signalformen</b>	323
<b>Kapitel 7</b>	<b>Der Übergang zu den zeitabhängigen Strom- und Spannungsformen</b>	325
<b>Kapitel 8</b>	<b>Wechselspannung und Wechselstrom</b>	339
<b>Kapitel 9</b>	<b>Zeitlich periodische Vorgänge beliebiger Kurvenform</b>	473
<b>Kapitel 10</b>	<b>Schaltvorgänge in einfachen elektrischen Netzwerken</b>	513
<b>Kapitel 11</b>	<b>Die Laplace-Transformation</b>	563
<b>Anhang A</b>	<b>Vektoren</b>	597
<b>Anhang B</b>	<b>Orthogonale Koordinatensysteme</b>	605

<b>Anhang C</b>	<b>Ergänzungen zur Integralrechnung</b>	613
<b>Anhang D</b>	<b>Physikalische Grundbegriffe</b>	621
<b>Anhang E</b>	<b>Komplexe Zahlen</b>	627
<b>Anhang F</b>	<b>Ergänzungen zu den Ortskurven</b>	635
<b>Anhang G</b>	<b>Ergänzungen zur Fourier-Entwicklung</b>	645
<b>Anhang H</b>	<b>Kleine mathematische Formelsammlung</b>	655
	<b>Literaturverzeichnis</b>	667
	<b>Verzeichnis der verwendeten Symbole</b>	669
	<b>Koordinatensysteme</b>	676
	<b>Register</b>	679

# Inhaltsverzeichnis

---

<b>Vorwort</b>	15	
<b>Vorwort zur 2. Auflage</b>	16	
<b>Teil I</b>	<b>Erfahrungssätze, Bauelemente, Gleichstromschaltungen</b>	21
<b>Kapitel 1</b>	<b>Das elektrostatische Feld</b>	23
1.1	Die elektrische Ladung . . . . .	25
1.2	Das Coulomb'sche Gesetz . . . . .	26
1.3	Die elektrische Feldstärke . . . . .	27
1.4	Überlagerung von Feldern . . . . .	29
1.5	Kräfte zwischen Ladungsverteilungen . . . . .	32
1.6	Ladungsdichten . . . . .	34
1.7	Darstellung von Feldern . . . . .	35
	1.7.1 Feldbild für zwei Punktladungen . . . . .	37
	1.7.2 Qualitative Darstellung von Feldbildern . . . . .	39
1.8	Das elektrostatische Potential . . . . .	39
	1.8.1 Das Potential einer Punktladung . . . . .	42
	1.8.2 Äquipotentialflächen . . . . .	44
1.9	Die elektrische Spannung . . . . .	45
1.10	Die elektrische Flussdichte . . . . .	46
1.11	Das Verhalten der Feldgrößen bei einer Flächenladung . . . . .	49
1.12	Feldstärke an leitenden Oberflächen . . . . .	53
1.13	Die Influenz . . . . .	55
	1.13.1 Dünne leitende Platten im homogenen Feld . . . . .	55
	1.13.2 Im leitenden Körper eingeschlossener Hohlraum . . . . .	57
1.14	Die dielektrische Polarisaton . . . . .	59
1.15	Kräfte im inhomogenen Feld . . . . .	65
1.16	Sprungstellen der Dielektrizitätskonstanten . . . . .	66
1.17	Die Kapazität . . . . .	68
	1.17.1 Der Plattenkondensator . . . . .	69
	1.17.2 Der Kugelkondensator . . . . .	70
1.18	Einfache Kondensatornetzwerke . . . . .	73
1.19	Praktische Ausführungsformen von Kondensatoren . . . . .	75
	1.19.1 Der Vielschichtkondensator . . . . .	75
	1.19.2 Der Drehkondensator . . . . .	76
	1.19.3 Der Wickelkondensator . . . . .	77
1.20	Die Teilkapazitäten . . . . .	77

1.21	Der Energieinhalt des Feldes . . . . .	78
	Zusammenfassung. . . . .	82
	Übungsaufgaben . . . . .	83
<b>Kapitel 2 Das stationäre elektrische Strömungsfeld</b>		<b>87</b>
2.1	Der elektrische Strom . . . . .	89
2.2	Die Stromdichte. . . . .	91
2.3	Definition des stationären Strömungsfeldes . . . . .	94
2.4	Ladungsträgerbewegung im Leiter . . . . .	94
2.5	Die spezifische Leitfähigkeit und der spezifische Widerstand . . . . .	96
2.6	Das Ohm'sche Gesetz. . . . .	99
2.7	Praktische Ausführungsformen von Widerständen. . . . .	104
	2.7.1 Festwiderstände. . . . .	104
	2.7.2 Einstellbare Widerstände . . . . .	106
	2.7.3 Weitere Widerstände . . . . .	106
2.8	Das Verhalten der Feldgrößen an Grenzflächen. . . . .	107
	2.8.1 Verschwindende Leitfähigkeit in einem Teilbereich. . . . .	109
	2.8.2 Perfekte Leitfähigkeit in einem Teilbereich . . . . .	109
2.9	Energie und Leistung . . . . .	110
	Zusammenfassung. . . . .	113
	Übungsaufgaben . . . . .	114
<b>Kapitel 3 Einfache elektrische Netzwerke</b>		<b>117</b>
3.1	Zählpfeile. . . . .	119
3.2	Spannungs- und Stromquellen. . . . .	121
3.3	Zählpfeilsysteme . . . . .	123
3.4	Die Kirchhoffschen Gleichungen. . . . .	123
3.5	Einfache Widerstandsnetzwerke. . . . .	127
	3.5.1 Der Spannungsteiler . . . . .	132
	3.5.2 Der belastete Spannungsteiler. . . . .	134
	3.5.3 Messbereichserweiterung eines Spannungsmessgerätes . . . . .	136
	3.5.4 Der Stromteiler. . . . .	137
	3.5.5 Messbereichserweiterung eines Strommessgerätes . . . . .	138
	3.5.6 Widerstandsmessung . . . . .	138
3.6	Reale Spannungs- und Stromquellen. . . . .	141
3.7	Wechselwirkungen zwischen Quelle und Verbraucher. . . . .	143
	3.7.1 Zusammenschaltung von Spannungsquellen. . . . .	143
	3.7.2 Leistungsanpassung. . . . .	144
	3.7.3 Wirkungsgrad. . . . .	147
3.8	Netzwerkumwandlungen . . . . .	148
	3.8.1 Ersatzzweipole. . . . .	149
	3.8.2 Stern-Dreieck-Umwandlung . . . . .	152
3.9	Das Überlagerungsprinzip. . . . .	154
3.10	Analyse umfangreicher Netzwerke. . . . .	156
	3.10.1 Das Maschenstromverfahren. . . . .	161

3.10.2	Das Knotenpotentialverfahren . . . . .	165
	Zusammenfassung . . . . .	168
	Übungsaufgaben . . . . .	169
<b>Kapitel 4</b>	<b>Stromleitungsmechanismen</b>	<b>171</b>
4.1	Stromleitung im Vakuum . . . . .	173
4.2	Stromleitung in Gasen . . . . .	177
4.3	Stromleitung in Flüssigkeiten . . . . .	178
4.4	Ladungstransport in Halbleitern . . . . .	182
4.4.1	Der <i>pn</i> -Übergang . . . . .	186
4.4.2	Die Diode . . . . .	189
	Zusammenfassung . . . . .	191
	Übungsaufgaben . . . . .	192
<b>Kapitel 5</b>	<b>Das stationäre Magnetfeld</b>	<b>195</b>
5.1	Magnete . . . . .	197
5.2	Kraft auf stromdurchflossene dünne Leiter . . . . .	199
5.3	Kraft auf geladene Teilchen . . . . .	203
5.4	Definition der Stromstärke . . . . .	203
5.5	Die magnetische Feldstärke . . . . .	206
5.6	Das Oersted'sche Gesetz . . . . .	207
5.7	Die magnetische Feldstärke einfacher Leiteranordnungen . . . . .	209
5.7.1	Unendlich langer kreisförmiger Linienleiter . . . . .	209
5.7.2	Toroidspule . . . . .	210
5.7.3	Lang gestreckte Zylinderspule . . . . .	212
5.8	Die magnetische Spannung . . . . .	214
5.9	Der magnetische Fluss . . . . .	215
5.10	Die magnetische Polarisation . . . . .	215
5.10.1	Diamagnetismus . . . . .	219
5.10.2	Paramagnetismus . . . . .	219
5.10.3	Ferromagnetismus . . . . .	220
5.10.4	Dauermagnete . . . . .	222
5.11	Das Verhalten der Feldgrößen an Grenzflächen . . . . .	224
5.12	Die Analogie zwischen elektrischem und magnetischem Kreis . . . . .	226
5.13	Die Induktivität . . . . .	230
5.13.1	Induktivität der Ringkernspule . . . . .	231
5.13.2	Induktivität einer Doppelleitung . . . . .	233
5.14	Der magnetische Kreis mit Luftspalt und der $A_L$ -Wert . . . . .	237
5.14.1	Zusammenhang von Luftspalllänge und Windungszahl . . . . .	239
5.14.2	Zusammenhang von Luftspalllänge und Flussdichte . . . . .	241
5.15	Praktische Ausführungsformen von Induktivitäten . . . . .	243
5.15.1	Drahtgewickelte Luftspulen . . . . .	243
5.15.2	Planare Luftspulen . . . . .	246
5.15.3	Spulen mit hochpermeablen Kernen . . . . .	246
	Zusammenfassung . . . . .	248
	Übungsaufgaben . . . . .	249

<b>Kapitel 6</b>	<b>Das zeitlich veränderliche elektromagnetische Feld</b>	<b>253</b>
6.1	Das Induktionsgesetz . . . . .	255
6.2	Die Selbstinduktion . . . . .	268
6.3	Einfache Induktivitätsnetzwerke . . . . .	269
6.4	Die Gegeninduktion . . . . .	270
6.4.1	Die Gegeninduktivität zweier Doppelleitungen . . . . .	274
6.4.2	Die Koppelfaktoren . . . . .	279
6.5	Der Energieinhalt des Feldes . . . . .	280
6.5.1	Die Energieberechnung aus den Feldgrößen . . . . .	283
6.5.2	Die Hystereseverluste . . . . .	285
6.6	Anwendung der Bewegungsinduktion . . . . .	287
6.6.1	Das Generatorprinzip . . . . .	287
6.6.2	Das Drehstromsystem . . . . .	290
6.7	Anwendung der Ruheinduktion . . . . .	294
6.7.1	Der verlustlose Übertrager . . . . .	295
6.7.2	Die Punktkonvention . . . . .	300
6.7.3	Der verlustlose streufreie Übertrager . . . . .	306
6.7.4	Der ideale Übertrager . . . . .	307
6.7.5	Die Widerstandstransformation . . . . .	309
6.7.6	Ersatzschaltbilder für den verlustlosen Übertrager . . . . .	309
6.7.7	Der verlustbehaftete Übertrager . . . . .	314
6.7.8	Der Spartransformator . . . . .	315
	Zusammenfassung . . . . .	317
	Übungsaufgaben . . . . .	318
<b>Teil II</b>	<b>Periodische und nicht periodische Signalformen</b>	<b>323</b>
<b>Kapitel 7</b>	<b>Der Übergang zu den zeitabhängigen Strom- und Spannungsformen</b>	<b>325</b>
7.1	Vorbetrachtungen . . . . .	326
7.2	Modellbildung . . . . .	328
7.3	Quasistationäre Rechnung . . . . .	329
7.4	Die Netzwerkanalyse . . . . .	330
7.5	Kurvenformen und ihre Kenngrößen bei zeitlich periodischen Vorgängen . . . . .	331
	Zusammenfassung . . . . .	336
	Übungsaufgaben . . . . .	337
<b>Kapitel 8</b>	<b>Wechselspannung und Wechselstrom</b>	<b>339</b>
8.1	Das Zeigerdiagramm . . . . .	341
8.1.1	Der ohmsche Widerstand an Wechselspannung . . . . .	345
8.1.2	Die Induktivität an Wechselspannung . . . . .	346
8.1.3	Die Kapazität an Wechselspannung . . . . .	347

8.2	Komplexe Wechselstromrechnung . . . . .	351
8.2.1	Der Übergang zur symbolischen Methode . . . . .	351
8.2.2	Die Berechnung von Netzwerken mit der symbolischen Methode . . . . .	352
8.2.3	Gegenüberstellung der unterschiedlichen Vorgehensweisen . . .	358
8.2.4	Strom-Spannungs- und Widerstandsdiagramm . . . . .	363
8.2.5	Umrechnung zwischen Impedanz und Admittanz . . . . .	364
8.3	Frequenzabhängige Spannungsteiler . . . . .	366
8.4	Frequenzkompensierter Spannungsteiler . . . . .	372
8.5	Resonanzerscheinungen . . . . .	374
8.5.1	Der Serienschwingkreis . . . . .	374
8.5.2	Der Parallelschwingkreis . . . . .	383
8.5.3	Ersatzschaltbilder für Kondensatoren und Spulen . . . . .	390
8.6	Wechselstrom-Messbrücken . . . . .	393
8.6.1	Die Wien-Brücke . . . . .	394
8.6.2	Die Maxwell-Wien-Brücke . . . . .	395
8.7	Ortskurven . . . . .	396
8.7.1	Ortskurve für die Impedanz einer RL-Reihenschaltung . . . . .	397
8.7.2	Umrechnung zwischen Impedanz und Admittanz . . . . .	398
8.7.3	Ortskurve für die Admittanz einer RL-Reihenschaltung . . . . .	401
8.7.4	Allgemeine Gesetzmäßigkeiten bei der Inversion von Ortskurven . . . . .	402
8.7.5	Ortskurven bei komplizierteren Netzwerken . . . . .	403
8.8	Energie und Leistung bei Wechselspannung . . . . .	406
8.8.1	Wirkleistung . . . . .	407
8.8.2	Blindleistung . . . . .	408
8.8.3	Scheinleistung und Leistungsfaktor . . . . .	410
8.8.4	Komplexe Leistung . . . . .	415
8.9	Leistungsanpassung . . . . .	417
8.9.1	Lastimpedanz mit einstellbarem Wirk- und Blindwiderstand . .	418
8.9.2	Reiner Wirkwiderstand als Verbraucher . . . . .	419
8.9.3	Fehlanpassung . . . . .	420
8.10	Blindstromkompensation . . . . .	422
8.11	Leistung beim Drehstromsystem . . . . .	423
8.11.1	Sternschaltung mit Sternpunkteleiter . . . . .	424
8.11.2	Sternschaltung ohne Sternpunkteleiter . . . . .	425
8.11.3	Dreieckschaltung . . . . .	429
8.11.4	Besondere Eigenschaften des Drehstromsystems . . . . .	431
8.12	Netzwerkbetrachtungen . . . . .	435
8.12.1	Die Impedanzmatrix $Z$ . . . . .	436
8.12.2	Weitere Matrixdarstellungen . . . . .	438
8.12.3	Die Matrizen bei Seitenumkehr . . . . .	439
8.12.4	Matrizenumrechnungen . . . . .	440
8.12.5	Matrizen einfacher Netzwerke . . . . .	443
8.12.6	Zusammenschaltung von Zweitoren . . . . .	447
8.12.7	Das beschaltete Zweitor . . . . .	453

8.12.8	Spezielle Zweitoreigenschaften	456
8.12.9	Elementare Filterstrukturen	458
	Zusammenfassung	467
	Übungsaufgaben	468
<b>Kapitel 9</b>	<b>Zeitlich periodische Vorgänge beliebiger Kurvenform</b>	<b>473</b>
9.1	Grundlegende Betrachtungen	475
9.2	Die harmonische Analyse	479
9.2.1	Die komplexe Form der Fourier-Reihe	485
9.2.2	Vereinfachungen bei der Bestimmung der Fourier-Koeffizienten	487
9.2.3	Tabellarische Zusammenstellung wichtiger Fourier-Reihen	494
9.2.4	Die Linienspektren	495
9.3	Anwendung der Fourier-Reihen in der Schaltungsanalyse	496
9.3.1	Der Ablaufplan	496
9.3.2	Eine einfache Schaltung	497
9.3.3	Die Erzeugung von Subharmonischen	499
9.3.4	Effektivwert und Leistung	502
9.3.5	Weitere Kenngrößen	508
	Zusammenfassung	511
	Übungsaufgaben	511
<b>Kapitel 10</b>	<b>Schaltvorgänge in einfachen elektrischen Netzwerken</b>	<b>513</b>
10.1	RC-Reihenschaltung an Gleichspannung	516
10.2	Reihenschaltung von Kondensator und Stromquelle	519
10.3	RL-Reihenschaltung an Gleichspannung	520
10.4	Parallelschaltung von Induktivität und Spannungsquelle	522
10.5	Schaltvorgänge in Netzwerken mit Wechselspannungsquellen	523
10.6	Quellen mit periodischen, nicht sinusförmigen Strom- und Spannungsformen	527
10.7	Konsequenzen aus den Stetigkeitsforderungen	529
10.8	Vereinfachte Analyse für Netzwerke mit einem Energiespeicher	530
10.8.1	Kondensator und Widerstandsnetzwerk	530
10.8.2	Induktivität und Widerstandsnetzwerk	532
10.9	Spannungswandlerschaltung	536
10.10	Wirkungsgradbetrachtungen bei Schaltvorgängen	540
10.11	Zusammenfassung	546
10.12	Netzwerke mit mehreren Energiespeichern	546
10.12.1	Serienschwingkreis an Gleichspannung	551
10.12.2	Serienschwingkreis an periodischer Spannung	555
	Zusammenfassung	559
	Übungsaufgaben	560



<b>Kapitel 11 Die Laplace-Transformation</b>	563
11.1 Das Fourier-Integral	565
11.2 Der Übergang zur Laplace-Transformation	574
11.3 Die Berechnung von Netzwerken mit der Laplace-Transformation	576
11.3.1 Transformation in den Frequenzbereich	576
11.3.2 Aufstellung und Lösung des Gleichungssystems	584
11.3.3 Rücktransformation in den Zeitbereich	586
Zusammenfassung	593
Übungsaufgaben	594
<b>Anhang A Vektoren</b>	597
A.1 Einheitsvektoren	599
A.2 Einfache Rechenoperationen mit Vektoren	599
A.2.1 Addition und Subtraktion von Vektoren	599
A.2.2 Multiplikation von Vektor und Skalar	600
A.3 Das Skalarprodukt	600
A.4 Das Vektorprodukt	601
A.5 Zerlegung eines Vektors in seine Komponenten	602
A.6 Vektorbeziehungen in Komponentendarstellung	603
A.7 Formeln zur Vektorrechnung	604
<b>Anhang B Orthogonale Koordinatensysteme</b>	605
B.1 Das kartesische Koordinatensystem	606
B.2 Krummlinige orthogonale Koordinatensysteme	608
B.3 Die Zylinderkoordinaten	610
B.4 Die Kugelkoordinaten	611
<b>Anhang C Ergänzungen zur Integralrechnung</b>	613
C.1 Das Linienintegral einer vektoriellen Größe	614
C.2 Der Fluss eines Vektorfeldes	617
<b>Anhang D Physikalische Grundbegriffe</b>	621
D.1 Physikalische Größen	622
D.2 Physikalische Gleichungen	625
D.2.1 Größengleichungen	625
D.2.2 Zugeschnittene Größengleichungen	626
<b>Anhang E Komplexe Zahlen</b>	627
E.1 Bezeichnungen	628
E.2 Rechenoperationen	631
<b>Anhang F Ergänzungen zu den Ortskurven</b>	635
F.1 Beweis für die Gültigkeit des ersten Verfahrens	636
F.2 Beweis für die Gültigkeit des 2. Verfahrens	637
F.3 Die Inversion einer Geraden durch den Nullpunkt	638

F.4	Die Inversion einer Geraden, die nicht durch den Nullpunkt verläuft. . .	639
F.5	Die Inversion eines Kreises. . . . .	642
<b>Anhang G Ergänzungen zur Fourier-Entwicklung</b>		<b>645</b>
G.1	Die Konvergenz der Fourier-Reihen. . . . .	646
G.2	Das Gibbs'sche Phänomen. . . . .	651
<b>Anhang H Kleine mathematische Formelsammlung</b>		<b>655</b>
H.1	Additionstheoreme . . . . .	656
H.2	Integrale . . . . .	656
H.3	Matrizen. . . . .	658
H.4	Fourier-Entwicklungen . . . . .	659
H.5	Tabellen zur Laplace-Transformation. . . . .	662
<b>Literaturverzeichnis</b>		<b>667</b>
<b>Verzeichnis der verwendeten Symbole</b>		<b>669</b>
<b>Koordinatensysteme</b>		<b>676</b>
<b>Register</b>		<b>679</b>