

Károly Simonyi

Theoretische Elektrotechnik

Mit 455 Abbildungen und 12 Tabellen

10. Auflage



Johann Ambrosius Barth Leipzig • Berlin • Heidelberg
Edition Deutscher Verlag der Wissenschaften

Inhaltsverzeichnis

1.	Einleitende Übersicht	17
1.1.	Einleitung	19
1.2.	Der induktive Weg zu den Maxwell'schen Gleichungen	21
1.2.1.	Das Gesetz von BIOT-SAVART	21
1.2.2.	Der Begriff des Verschiebungsstromes und die I. Maxwell'sche Gleichung	24
1.2.3.	Die II. Maxwell'sche Gleichung	28
1.3.	Das vollständige System der Maxwell'schen Gleichungen	30
1.4.	Vereinfachte Formen der Maxwell'schen Gleichungen	35
1.4.1.	Die I. Maxwell'sche Gleichung	35
1.4.2.	Die II. Maxwell'sche Gleichung	37
1.4.3.	Die Größenordnung des Verschiebungsstromes	38
1.4.4.	Die übrigen Gleichungen	40
1.4.5.	Die Maxwell'schen Gleichungen bei sinusförmigem zeitlichem Verlauf	41
1.5.	Kompliziertere Formen der Maxwell'schen Gleichungen	42
1.5.1.	Die konstitutiven Relationen im allgemeinen Fall	42
1.5.2.	Anschauliche Deutung des Materialeinflusses	43
1.5.3.	Bewegte Medien	45
1.6.	Das Verhalten der Feldgrößen an der Grenzfläche von Volumenteilen mit verschiedenen Materialkonstanten	47
1.7.	Energieumwandlungen im elektromagnetischen Feld	53
1.7.1.	Allgemeine Beziehungen	53
1.7.2.	Der Poyntingsche Vektor	56
1.7.3.	Energieströmung in stationären Feldern	58
1.7.4.	Die Energiegleichung bei sinusförmigem zeitlichem Verlauf	62
1.7.5.	Einige weitere Energieumwandlungen	65
1.8.	Kraftwirkungen im elektromagnetischen Feld	68
1.9.	Die eindeutige Lösbarkeit der Maxwell'schen Gleichungen	75

1.10.	Nahwirkung — Fernwirkung . . . . .	.77
1.11.	Die Maßsysteme. . . . .	.79
1.12.	Messung von elektromagnetischen Grundgrößen. . . . .	.84
1.13.	Die Einteilung der Elektrodynamik. . . . .	.87
1.14.	Zusammenfassung der Grundbegriffe der Vektoranalysis. . . . .	.89
1.14.1.	Der Begriff der räumlichen Ableitung . . . . .	.89
1.14.2.	Der Begriff der Divergenz und der Rotation eines Vektors. . . . .	.92
1.14.3.	Zusammengesetzte Vektoroperationen. . . . .	.93
1.14.4.	Integralsätze. . . . .	.95
1.14.5.	Der Greensche Satz für Vektorfunktionen. . . . .	.96
1.15.	Die Umkehrung der Vektoroperationen. . . . .	.97
1.15.1.	Die Umkehrung der Gradientenbildung. . . . .	.97
1.15.2.	Die Umkehrung der Divergenz- und Rotationsbildung. . . . .	.99
1.15.3 [^]	Das wirbelfreie Quellenfeld. . . . .	.102
1.15.4.	Das quellenfreie Wirbelfeld . . . . .	.109
1.15.5.	Das quellen- und wirbelfreie Feld in einem endlichen Raumteil. . . . .	.110
1.15.6.	Bestimmung des in einem endlichen Volumen definierten Vektorfeldes aus seinen Quellen und Wirbeln. . . . .	.114
2.	»statische und stationäre Felder. . . . .	.119
A.	Bestimmung des elektrischen Feldes aus einer gegebenen Ladungsverteilung .	121
2.1.	Bestimmung des Feldes aus der räumlichen Ladungsdichte. . . . .	.121
2.2.	Multipole. . . . .	.124
2.2.1.	Der Dipol. . . . .	.124
2.2.2.	Axiale Multipole. . . . .	.126
-2.2.3.	Allgemeine Multipole. . . . .	.133
2.3.	Bestimmung des Potentials der Flächenladungen und Doppelschichten . . . . .	.139
2.4.	Anschauliche Erklärung der sprunghaften Änderung des Potentials und der Feldstärke. . . . .	.145
2.5.	Ersatz der Raumladungen durch eine Flächenladung tragende geschlossene Fläche und durch Doppelschichten. . . . .	.148
2.6.	Praktische Bedeutung der bisherigen Ergebnisse. . . . .	.153
B.	Bestimmung des Feldes aus gegebenen Randwerten in den einfachsten räumlichen Fällen. . . . .	.154
2.7.	Fragen der praktischen Elektrostatik. . . . .	.154
2.8.	Die Grundbegriffe der Vektoranalysis und die Maxwellschen Gleichungen im orthogonalen krummlinigen Koordinatensystem. . . . .	.155
2.8.1.	Allgemeine Koordinaten, Koordinatenflächen und Koordinatenlinien. Das lokale kartesische Koordinatensystem. . . . .	.155
2.8.2.	Der Ausdruck für den elementaren Abstand. . . . .	.157
2.8.3.	Bildung des Gradienten. . . . .	.160
2.8.4.	Bildung der Divergenz. . . . .	.161

Inhaltsverzeichnis

2.8.5.	Bildung der Rotation	163
2.8.6.	Der Laplacesche Ausdruck in allgemeinen orthogonalen Koordinaten	165
2.8.7.	Die Maxwell'schen Gleichungen in allgemeinen orthogonalen Koordinaten	165
2.9.	Lösung der Laplaceschen Gleichung für einige einfache räumliche Probleme	166
2.9.1.	Kartesische Koordinaten	167
2.9.2.	Zylinderkoordinaten	168
2.9.3.	Kugelkoordinaten	171
2.9.4.	Konfokale Koordinaten	174
2.9.5.	Leitendes Ellipsoid im homogenen Feld	182
2.9.6.	Weitere orthogonale Koordinatensysteme	185
C.	Lösung der Randwertaufgabe in der Ebene.	187
2.10.	Trennung der Variablen	187
2.11.	Lösung durch Reihenentwicklung	190
2.12.	Elementare Eigenschaften der Funktion einer komplexen Veränderlichen. Die konforme Abbildung	192
2.13.	Lösung des ebenen Problems mit Hilfe komplexer Funktionen	196
2.14.	Beispiele für die Anwendung von Funktionen einer komplexen Veränderlichen.	199
2.15.	Der Fundamentalsatz der konformen Abbildung	206
2.16.	Das Feld von Elektroden mit polygonaler Grundkurve	208
2.17.	Beispiele für die Anwendung der Schwarz-Christoffelschen Abbildung	214
D.	Zylindersymmetrische Felder.	218
2.18.	Berechnung des elektrostatischen Feldes zylindersymmetrischer Elektrodenanordnungen durch Trennung der Variablen	218
2.19.	Die Lösung der Besselschen Differentialgleichung. Eigenschaften der Besselschen Funktionen.	221
2.19.1.	Bestimmung der Reihen der Besselschen Funktionen erster und zweiter Art	221
2.19.2.	Das Verhalten der Besselschen Funktionen bei kleinen und großen Argumenten	227
2.19.3.	Die modifizierten Besselschen Funktionen	228
2.19.4.	Beziehungen zwischen den Besselschen Funktionen verschiedener Ordnung	231
	$2k + 1$	
2.19.5.	Besselsche Funktionen mit Indizes in der Form $\frac{2k+1}{2}$	234
2.19.6.	Die Reihenentwicklung beliebiger Funktionen nach Besselschen Funktionen. Beweis der Orthogonalitätsrelation	236
2.20.	Beispiele für die Bestimmung zylindersymmetrischer Kraftfelder	240
2.21.	Berechnung des Potentials bei bekannter Potentialverteilung entlang der Symmetrieachse	252
2.22.	Lösung der zylindersymmetrischen Gleichung durch Reihenentwicklung	254
2.23.	Allgemeine Lösung der Laplaceschen Gleichung in Zylinderkoordinaten	258
E.	Lösung der Laplaceschen Gleichung in Kugelkoordinaten.	260
2.24.	Behandlung der zylindersymmetrischen Felder mit Hilfe der Kugelfunktionen	260
2.25.	Die Eigenschaften der Legendreschen Polynome	265

2.26.	Die allgemeine Lösung der Laplaceschen Gleichung in Kugelkoordinaten	270
2.27.	Eigenschaften der zugeordneten Legendreschen Funktionen.	273
2.28.	Entwicklung der Funktion $1/r$ nach Kugelflächenfunktionen.	276
2.29.	Reihenentwicklung mit Hilfe der Kugelflächenfunktionen.	280
2.30.	Anwendung der Kugelfunktionen zur Lösung elektrostatischer Probleme	283
F.	Besondere Lösungsmethoden.	286
2.31.	Elektrische Spiegelung	286
2.32.	Ermittlung der zu den gegebenen Ladungsverteilungen gehörenden Äquipotentialflächen	293
2.33.	Numerisches Näherungsverfahren in der Ebene.	293
2.34.	Die Monte-Carlo-Methode.	295
2.35.	Graphische Ermittlung ebener und zylindersymmetrischer Kraftfelder	298
2.36.	Theorie des Gummimodells.	300
2.37.	Der elektrolytische Trog	304
6.	Randwertaufgaben der mathematischen Potentialtheorie.	307
2.38.	Die Greensche Funktion im Raum	307
2.39.	Die Greensche Funktion in der Ebene.	310
2.40.	Die Methode der Integralgleichungen	314
H.	Verallgemeinerung des Kapazitätsbegriffes.	317
2.41.	Der Begriff der Teilkapazität	317
2.42.	Die Energie des elektrostatischen Feldes.	323
2.43.	Das elektrostatische Feld in Isolatoren.	326
2.44.	Das statische magnetische Feld.	331
2.45.	Beispiele für die Berechnung statischer elektrischer und magnetischer Felder in Anwesenheit von Stoffen.	333
J.	Das magnetische Feld stationärer Ströme.	341
2.46.	Berechnung des magnetischen Feldes mit Hilfe des Vektorpotentials	341
2.47.	Die Ableitung des magnetischen Feldes aus einem zyklischen Potential	344
2.48.	Einige Beispiele zur Bestimmung des Vektorpotentials.	347
2.49.	Berechnung des zylindersymmetrischen magnetischen Feldes.	353
2.49.1.	Das Feld einer beliebigen Spule.	353
2.49.2.	Berechnung des zylindersymmetrischen Feldes mit Hilfe des Vektorpotentials	355
2.49.3.	Berechnung des Magnetfeldes einer Helmholtzschen Spule.	358
2.50.	Die Energie des magnetischen Feldes.	359
2.51.	Der Begriff der Induktionskoeffizienten.	361
2.52.	Berechnungsmethoden für Selbstinduktivität und Gegeninduktivität	363
2.53.	Die elliptischen Integrale und die elliptischen Funktionen.	364
2.53.1.	Die elliptischen Integrale	365

2.53.2.	Die elliptischen Funktionen als Umkehrfunktionen der elliptischen Integrale	369
2.54.	Singularitäten im magnetischen Feld	372
2.54.1.	Singularitäten im stationären Feld	372
2.54.2.	Der Begriff der magnetischen Ströme	376
2.55.	Das magnetische Feld stationärer Ströme in Gegenwart ferromagnetischer Substanzen	378
3.	Quasistationäre Vorgänge	383
A.	Analyse der Netzwerke	385
3.1.	Die Kirchhoffschen Gleichungen	385
3.1.1.	Gleichstrom-Netzwerke	385
3.1.2.	Netzwerke bei beliebigem zeitlichem Verlauf	389
3.1.3.	Praktische Gesichtspunkte zur Anwendung der Kirchhoffschen Sätze	392
3.1.4.	Die Methode der Maschenströme und die Methode der Knotenpunkt-potentiale	394
3.1.5.	Beispiel für die Aufstellung der Grundgleichungen	397
3.1.6.	Die allgemeinen Methoden zur Lösung der Grundgleichungen	399
3.2.	Netzwerke mit einfacher Geometrie und mit einfachem zeitlichem Verlauf	402
3.2.1.	Sinusförmige Erregung. Einfachste Kreise	403
3.2.2.	Energieverhältnisse bei sinusförmigem zeitlichem Verlauf	405
3.2.3.	Die Methode der Knotenpunkt-potentiale und der Maschenströme bei sinusförmigem zeitlichem Verlauf	407
3.2.4.	Beispiele für die Anwendung der Methoden der Knotenpunkt-potentiale und der Maschenströme	409
3.2.5.	Der ra-Pol	412
3.2.6.	Der 2re-Pol oder das w-Tor	416
3.2.7.	Das Zweitor oder der Vierpol	419
3.2.8.	Das aktive »-Tor	427
3.3.	Netzwerkanalyse für die Netzwerksynthese	430
3.3.1.	Einführung der komplexen Frequenzebene	430
3.3.2.	Pole und Nullstellen	436
3.3.3.	Die Stabilität aktiver Netzwerke	440
3.3.4.	Nullstellen und Pole auf der jcu-Achse	440
3.3.5.	Die Eigenschaften der verlustfreien Netzwerke	442
3.3.6.	Die Immittanzfunktion als PR-Funktion	444
3.3.7.	Die Grundprobleme der Netzwerksynthese	445
3.4.	Netzwerke mit allgemeinem zeitlichem Verlauf	446
3.4.1.	Die klassische Methode	446
3.4.2.	Die Methode der Übergangsfunktion und der Gewichtsfunktion	449
3.5.	Lösung des Einschaltproblems, wenn das Frequenzspektrum der Erregungsfunktion bekannt ist	455
3.5.1.	Die Fourier-Reihe und das Fourier-Integral	455
3.5.2.	Das Fourier-Integral der Sprungfunktion $l(t)$	462
3.5.3.	Das Fourier-Integral einiger praktisch wichtiger Funktionen	466
3.5.4.	Die Fourier-Transformation	470
3.6.	Die Laplace-Transformation	473
3.7.	Anwendung der Laplace-Transformation bei einfachen Stromkreisen	476

3.8:	Die Umkehrung der Laplace-Transformation auf elementarem Wege	482
3.8.1.	Der Verschiebungssatz	482
3.8.2.	Der Ähnlichkeitssatz	484
3.8.3.	Der Faltungssatz	484
3.8.4.	Der Entwicklungssatz	485
3.8.5.	Der Entwicklungssatz für mehrfache Wurzeln.	487
3.9.	Die Umkehrung der Laplace-Transformation	498
3.10.	Die wechselseitigen Beziehungen zwischen den charakteristischen Funktionen eines linearen Netzwerkes.	502
3.11.	Weitere Sätze der Funktionentheorie.	505
3.12.	Die allgemeinste Formulierung der Grundgleichungen linearer Netzwerke mit konzentrierten Parametern.	512
3.12.1.	Die Grundlagen der Netzwerktopologie.	512
3.12.2.	Die topologischen Matrizen eines Netzwerkes.	518
3.12.3.	Die charakteristischen Matrizen des elektrischen Zustandes.	523
3.12.4.	Die Grundzusammenhänge in Matrixschreibweise.	525
3.12.5.	Die Energieverhältnisse.	530
3.13.	Nichtlineare Netzwerke.	531
3.13.1.	Allgemeine Netzwerkelemente.	531
3.13.2.	Das Substitutionstheorem	533
3.13.3.	Das Thevenin-Nortonsche Äquivalenztheorem.	535
3.14.	Die Methode der Zustandsvariablen.	536
B.	Räumliche Strömungen.	542
3.15.	Die Begriffe Widerstand und Induktivität bei räumlichen Strömen.	542
3.16.	Das elektromagnetische Feld in Stoffen mit endlicher Leitfähigkeit.	545
3.17.	Das elektromagnetische Feld im leitenden unendlichen Halbraum.	547
3.18.	Die Impedanz eines leitenden unendlichen Halbraumes.	553
3.19.	Das elektromagnetische Feld in kreiszylindrischen Leitern.	554
3.20.	Die Impedanz zylindrischer Leiter.	561
3.21.	Der Induktionsofen.	566
3.22.	Wirbelströme in dünnen Platten.	568
C.	Fernleitungen.	574
3.23.	Ableitung der Differentialgleichung der Fernleitung	574
3.24.	Lösung der Differentialgleichung der Fernleitung	578
3.25.	Das Verhalten des Fortpflanzungsfaktors und der Wellenimpedanz als Funktion der Leitungs konstanten.	584
3.25.1.	Ideale Leitung	585
3.25.2.	Leitungen mit geringer Dämpfung	589
3.25.3.	Große Dämpfung.	591
3.26.	Erscheinungen am Ende der Leitung	592

3.27.	Die Eingangsimpedanz einer Fernleitung . . . . .	.607
3.28.	Der Leitungsabschnitt endlicher Länge als Schaltungselement. . . . .	.613
3.28.1.	Der Leitungsabschnitt als Impedanz. . . . .	.613
3.28.2.	Der Leitungsabschnitt als Transformator. . . . .	.616
3.28.3.	Der Leitungsabschnitt als Schwingungskreis. . . . .	.619
3.29.	Die Einschaltvorgänge bei verlustlosen Fernleitungen. . . . .	.627
3.30.	Anwendung der Laplace-Transformation beim Studium der Einschaltvorgänge an Fernleitungen. . . . .	.633
3.31.	Einschaltvorgänge bei Fernleitungen endlicher Länge. . . . .	.637
4.	Elektromagnetische Wellen. . . . .	.639
A.	Ebene Wellen. . . . .	.641
4.1.	Die einfachste Lösung der Wellengleichung. . . . .	.641
4.2.	Die Reflexion der ebenen Wellen an Leitern und Isolierstoffen. . . . .	.649
4.3.	Ebene Wellen in Stoffen mit endlicher Leitfähigkeit. . . . .	.653
4.4.	Ebene Wellen in gyromagnetischen Stoffen. . . . .	.661
B.	Lineare Antennen und Antennensysteme. . . . .	.672
4.5.	Lösung der Maxwell'schen Gleichungen mit Hilfe der retardierten Potentiale . . . . .	.672
4.6.	Lösung der Maxwell'schen Gleichungen mit Hilfe des Hertz'schen Vektors in Isolatoren. . . . .	.678
4.7.	Die Strahlung einer Dipolantenne. . . . .	.682
4.7.1.	Allgemeine Lösung. . . . .	.682
4.7.2.	Das gesamte Feld der Dipolantenne. . . . .	.689
4.7.3.	Die ausgestrahlte Leistung. . . . .	.689
4.8.	Die Strahlung bewegter Ladungen. . . . .	.693
4.9.	Die Strahlung der Rahmenantenne. . . . .	.694
4.10.	Die Strahlung linearer Antennen mit beliebiger Stromverteilung. . . . .	.702
4.10.1.	Lineare Antennen mit sinusförmiger Stromverteilung. . . . .	.702
4.10.2.	Dipolzeile. . . . .	.708
4.10.3.	Dipolgruppe. . . . .	.710
4.10.4.	Dipolebene. . . . .	.711
4.11.	Einwirkung der Erde auf das Strahlungsfeld. . . . .	.715
4.12.	Die Impedanz linearer Antennen. . . . .	.717
4.13.	Das Reziprozitätsgesetz. . . . .	.724
C.	Lösung der Wellengleichung in verschiedenen Koordinatensystemen. . . . .	.728
4.14.	Die Rückführung der vektoriellen Wellengleichung auf die skalare Wellengleichung. . . . .	.728
4.15.	Homogene und inhomogene ebene Wellen. . . . .	.734
4.16.	Zylinderwellen. . . . .	.738

4.17.	Kugelwellen . . . . .	.742
4.18.	Beziehungen zwischen ebenen, Zylinder- und Kugelwellen . . . . .	.745
D.	Randwertprobleme 1. . . . . .	.753
4.19.	Brechung und Reflexion ebener Wellen . . . . .	.753
4.20.	Lösung des Randwertproblems auf Zylinderflächen . . . . .	.759
4.20.1.	Auslaufende Zylinderwellen . . . . .	.759
4.20.2.	Zylinderwellen entlang einem Kreiszyylinder . . . . .	.761
4.20.2.1.	Allgemeine Lösung . . . . .	.761
4.20.2.2.	Dielektrische Wellenleiter . . . . .	.763
4.20.2.3.	Die Sommerfeldsche Oberflächenwelle . . . . .	.765
4.20.2.4.	Der Goubausche Oberflächenleiter . . . . .	.766
4.21.	Lösung des Randwertproblems auf einer Kugelfläch« . . . . .	.769
4.21.1.	Allgemeine Lösung . . . . .	.769
4.21.2.	Eigenschwingungen einer massiven Metallkugel . . . . .	.771
4.21.3.	Die Kugelantenne . . . . .	.772
4.21.4.	Doppelkonusleitungen und -antennen . . . . .	.777
4.22.	Die einfachsten Streuungsprobleme . . . . .	.779
4.22.1.	Streuung ebener Wellen am gut leitenden Kreiszyylinder . . . . .	.779
4.22.2.	Streuung ebener Wellen an einer gut leitenden Kugel . . . . .	.781
E.	Randwertprobleme II — Wellen in Hohlleitern. . . . . .	.785
4.23.	Berechnung der Feldstärke im Innern eines Hohlleiters mit beliebiger Leitkurve . . . . .	.785
4.24.	Der kreiszylindrische Hohlleiter . . . . .	.787
4.24.1.	Die allgemeine Lösung . . . . .	.787
4.24.2.	Die Erfüllung der Randbedingungen . . . . .	.788
4.24.3.	Die Grenzwellenlänge . . . . .	.792
4.24.4.	Die Eigenschaften einiger einfacher Wellenarten . . . . .	.793
4.25.	Verschiedene Wellenarten im Koaxialkabel . . . . .	.795
4.26.	Verschiedene Wellenarten in elliptischen Hohlleitern . . . . .	.797
4.27.	Wellen in rechteckigen Hohlleitern . . . . .	.800
4.28.	Vergleich zwischen Kreis- bzw. Rechteckhohlleiter und Koaxialkabel . . . . .	.803
4.29.	Berechnung der Leistungsübertragung in den einfachsten Fällen . . . . .	.805
4.29.1.	TM ₀₁ -Welle in kreiszylindrischen Hohlleitern . . . . .	.806
4.29.2.	TE ₀ -Welle in Rechteckhohlleitern . . . . .	.807
4.29.3.	Bestimmung der Konstante A . . . . .	.808
4.30.	Verluste in Hohlleitungen . . . . .	.809
4.30.1.	Verluste in der Wand . . . . .	.809
4.30.2.	Verluste im Dielektrikum . . . . .	.810
4.30.3.	Dämpfungskoeffizient . . . . .	.811
4.31.	Zusammenfassung der wichtigsten Zusammenhänge für Kreis- und Rechteckhohlleiter . . . . .	.812
4.31.1.	Die Feldkomponenten . . . . .	.812

4.31.2.	Wellenimpedanz. Übertragene Leistung	814
4.31.3.	Verlustleistung. Dämpfungskoeffizient	815
4.31.4.	Kopplung der Moden infolge der Wandverluste.	817
4.32.	Erregung von Hohlleiterwellen.	818
4.33.	Inhomogenitäten in Hohlleitern.	821
4.33.1.	Stoßstelle eines gefüllten und eines leeren Wellenleiters.	821
4.33.2.	Zum Teil gefüllter Hohlleiter.	823
4.33.3.	Sprunghafte Abmessungsänderung in der .E-Ebene.	826
4.33.4.	„Induktiver“ Stab.	829
4.33.5.	Blende in einem Rechteckwellenleiter.	830
4.34.	Mit Ferriten gefüllte Wellenleiter.	833
4.35.	Entwicklung nach Eigenfunktionen.	839
4.35.1.	Einführung der orthonormierten Typen-Funktionen.	839
4.35.2.	Berechnung der Leistung der Hohlleiterwellen.	842
4.35.3.	Die Analogie mit den Fernleitungen	843
4.35.4.	Beweis der Orthogonalitätsrelationen.	845
4.35.5.	Explizite Form der Funktionen e und h für Kreis- und Rechteckquerschnitte	847
4.35.6.	Beweis der Formeln (IIa) und (IIb) des Abschnitts 4.31.2.	848
4.35.7.	Berücksichtigung der Verluste im Ersatzschaltbild.	849
4.35.8.	Allgemeine Theorie der Erregung	850
F.	Randwertprobleme III — Hohlraumresonatoren.	852
4.36.	Der Zylinder als Hohlraumresonator.	852
4.37.	Die Kugel als Hohlraumresonator.	858
4.38.	Der Gütefaktor und die Stromkreisparameter der Hohlraumresonatoren....	862
4.39.	Allgemeine Theorie der Hohlraumresonatoren.	867
4.39.1.	Die Eigenschaften der Eigenlösungen.	867
4.39.2.	Störungsrechnung	870
4.39.3.	Erregung der Hohlraumresonatoren.	874
4.39.4.	Mikrowellen-»-Tore.	876
G.	Allgemeine Strahlungsprobleme.	880
4.40.	Das vektorielle Huygenssche Prinzip.	880
4.40.1.	Berechnung des Feldes aus den Quellen und aus Oberflächenangaben.	880
4.40.2.	Veranschaulichung des Ergebnisses mit Hilfe elektrischer und magnetischer Flächenstromdichten.	884
4.40.3.	Die Ausstrahlungsbedingung.	885
4.40.4.	Das Streuungsproblem.	889
4.40.5.	Das Beugungsproblem.	891
4.40.6.	Ausstrahlung eines Koaxialkabelendes.	892
4.40.7.	Ausstrahlung einer Huygensschen Quelle.	894
5.	Abschließende Übersicht.	897
5.1.	Die Einheit der Maxwell'schen Elektrodynamik.	899
5.1.1.	Die physikalische Einheit	899
5.1.2.	Die Einheit der mathematischen Methode.	907
5.2.	Die Grundgleichungen der relativistischen Elektrodynamik.	918

5.2.1.	Die Lorentz-Transformation.	918
5.2.2.	Die Maxwell'schen Gleichungen und die Lorentz-Transformation.	921
5.2.3.	Die kovariante Formulierung der Maxwell'schen Gleichungen.	924
5.2.4.	Einige Resultate der relativistischen Elektrodynamik.	930
5.3.	Die Übersetzung der Maxwell'schen Gleichungen in die Formelsprache der Mechanik.	938
5.3.1.	Die Grundgleichungen der Punktmechanik.	938
5.3.2.	Analogie zwischen mechanischen Punktsystemen und elektrischen Netzwerken	941
5.3.3.	Die Grundgleichungen bei kontinuierlichen Systemen.	943
5.3.4.	Die Dichtefunktionen der Elektrodynamik und die Maxwell'schen Gleichungen	946
5.4.	Die Elemente der Quantenelektrodynamik.	950
5.4.1.	Der Matrix-Formalismus der Quantenmechanik.	950
5.4.2.	Die Grundzusammenhänge der Quantenelektrodynamik.	955
5.4.3.	Qualitative Betrachtungen über einige Resultate der Quantenelektrodynamik .	959
	Literaturverzeichnis.	963
	Sachverzeichnis.	967