

Inhaltsverzeichnis

Verzeichnis der verwendeten Formelzeichen

VII

1	Einführung	1
2	Elektromagnetische Wellen	7
2.1	Maxwellsche Gleichungen für zeitharmonische Vorgänge	7
2.1.1	Verschiedene Formen der Maxwellschen Gleichungen	7
2.1.2	Durchflutungsgesetz	9
2.1.3	Induktionsgesetz	11
2.1.4	Quellenfreiheit der magnetischen Flussdichte	11
2.1.5	Quellen des elektrischen Feldes	12
2.2	Materialgleichungen und Randbedingungen	12
2.2.1	Elektrisch polarisierbare Stoffe	13
2.2.2	Magnetisch polarisierbare Stoffe	14
2.2.3	Grenzflächen	15
2.3	Skineffekt	17
2.3.1	Leitfähigkeit und Wirbelströme	17
2.3.2	Stromdichte in kreiszylindrischen Leitern	18
2.3.3	Definition der Eindringtiefe	21
2.3.4	Anwendungsbeispiele	23
2.4	Ebene Wellen	24
2.4.1	Die Wellengleichung	24
2.4.2	Eine einfache Lösung der Wellengleichung	25
2.4.3	Polarisation	33
2.5	Leitungsgeführte Wellen	38
2.5.1	Transversal elektromagnetische Wellen	38
2.5.2	Feldgrößen und Leitungsgrößen	42
2.6	Übungsaufgaben	46
3	Theorie der Leitungen	49
3.1	Leitungsgleichungen	49
3.1.1	Spannungs- und Stromverteilung	49
3.1.2	Wellenwiderstand	52
3.1.3	Reflexionsfaktor	55
3.1.4	Leistungstransport	56
3.1.5	Dämpfungskonstante bei kleinen Verlusten	58

3.2	Leitungen mit beliebigem Abschluss	58
3.2.1	Transformation des Reflexionsfaktors	58
3.2.2	Stehwellenverhältnis und Anpassungsfaktor	61
3.2.3	Blindleitungen	64
3.3	Smith-Diagramm	67
3.3.1	Grundlagen	67
3.3.2	Konzentrierte Bauelemente	71
3.3.3	Leitungsabschnitte	73
3.3.4	Stichleitungen	74
3.3.5	Impedanzmessung mit Hilfe einer Messleitung	75
3.3.6	Zusammenfassung	78
3.4	Wellengrößen und Streuparameter	79
3.5	Übungsaufgaben	84
4	Bauelemente der Hochfrequenztechnik	87
4.1	Leiter und Widerstände	87
4.1.1	Skineffekt in kreiszylindrischen Leitern	87
4.1.2	Widerstandsbauformen	89
4.1.3	Hochfrequenz-Ersatzschaltbilder	90
4.2	Kondensatoren	92
4.2.1	Grundlagen	92
4.2.2	Geschichtete Dielektrika	95
4.2.3	Beschreibung von Wirkverlusten	96
4.2.4	Technische Ausführungsformen	98
4.3	Induktivitäten	100
4.3.1	Definition	100
4.3.2	Leitender Kreisring	100
4.3.3	Zylinderspule	101
4.3.4	Gegeninduktivität	102
4.3.5	Spulen mit magnetischem Kern	107
4.3.6	Ringkern mit Luftspalt	109
4.3.7	Magnetische Werkstoffe	111
4.4	Übungsaufgaben	115
5	Passive lineare Schaltungen	121
5.1	Transformationsschaltungen	121
5.2	Resonanzschaltungen	125
5.2.1	Resonanzkreis	125
5.2.2	Schmalbandnäherung	128
5.2.3	Güte von Reflexionsresonatoren	129
5.2.4	Resonanztransformatoren	131
5.2.5	Das Fostersche Theorem	133
5.3	Breitbandschaltungen	134

5.4	Filterschaltungen	139
5.4.1	Grundlagen	139
5.4.2	Zweikreisige Kopplungsbandfilter	141
5.4.3	Akustische Oberflächenwellenfilter	144
5.5	Übungsaufgaben	145
6	Elektromagnetische Wellen in homogenen Medien	149
6.1	Beschreibung von Wirkverlusten im Medium	149
6.1.1	Komplexe Materialparameter	149
6.1.2	Näherung bei kleinen Verlusten	150
6.1.3	Materialien mit endlicher Leitfähigkeit	150
6.1.4	Mittlerer Leistungsfluss bei Verlusten	151
6.2	Wechselwirkung mit dielektrischen Materialien	152
6.2.1	Makroskopische Betrachtungsweise	152
6.2.2	Mikroskopische Betrachtungsweise	152
6.2.3	Debye-Beziehung	155
6.3	Einflüsse elektromagnetischer Wellen auf biologische Gewebe	157
6.3.1	Wirkungsweise	157
6.3.2	Sicherheitsnormen zum Schutz des Menschen	159
6.3.3	Bewertung	161
6.4	Reflexion ebener Wellen an Grenzflächen	164
6.4.1	Senkrechter Einfall	164
6.4.2	Schräger Einfall	165
6.4.3	Totalreflexion	171
6.4.4	Reflexion an einer leitenden Ebene	172
6.4.5	Rechteckhohlleiter	174
6.4.6	Dielektrische Wellenleiter	182
6.5	Übungsaufgaben	184
7	Antennen	187
7.1	Grundbegriffe	187
7.2	Isotroper Kugelstrahler	189
7.3	Antennenkenngrößen	190
7.3.1	Gewinn	190
7.3.2	Richtfaktor	190
7.3.3	Wirkfläche	191
7.3.4	Effektive Länge	192
7.3.5	Richtcharakteristik	193
7.4	Lineare Antennen	194
7.4.1	Hertzscher Dipol	195
7.4.2	Halbwellenstrahler	198
7.4.3	Elektrisch kurze Antennen	204
7.5	Antennenanordnungen	205
7.5.1	Anordnungen von zwei Strahlern	206

7.5.2	Dipolzeilen	208
7.5.3	Multiplikatives Gesetz	211
7.5.4	Spiegelungsprinzip	211
7.5.5	Technische Ausführungsformen	213
7.6	Ultrabreitbandantennen	221
7.7	Übungsaufgaben	227
8	Ausbreitung elektromagnetischer Wellen	229
8.1	Funkfelder im freien Raum	229
8.2	Brechung in der Atmosphäre	230
8.3	Reflexion	231
8.3.1	Erdboden	231
8.3.2	Ionosphäre	234
8.3.3	Ausbreitung durch Streuung	236
8.4	Atmosphärische Dämpfung	238
8.5	Beugungerscheinungen	239
8.6	Übungsaufgaben	243
9	Send- und Empfangstechnik	245
9.1	Nichtlineare Kennlinien	245
9.1.1	Bauelemente und Potenzreihenentwicklung	245
9.1.2	Aussteuerung mit einer Frequenz	247
9.1.3	Aussteuerung mit zwei Signalen unterschiedlicher Frequenz	247
9.1.4	Aussteuerung mit zwei Signalen gleicher Frequenz	250
9.2	Mischer	251
9.2.1	Beschreibung	251
9.2.2	Kenngrößen	253
9.2.3	Konversionsarten	257
9.3	Schwingungserzeugung	258
9.3.1	Entdämpfung eines Schwingkreises	259
9.3.2	Rückkopplung eines Verstärkers	260
9.3.3	Einfache Oszillatorschaltungen	262
9.3.4	Spannungsgesteuerte Oszillatoren	266
9.3.5	Quarzoszillatoren	267
9.3.6	Frequenzvervielfachung	268
9.3.7	Frequenzteilung	269
9.3.8	Frequenzaufbereitung	269
9.4	Hochfrequenzverstärker	271
9.4.1	Vorverstärkung	271
9.4.2	Leistungsverstärkung	278
9.5	Aufbau von Sendern	284
9.5.1	Endstufenmodulation	284
9.5.2	Zwischenfrequenzmodulation	285

9.6	Aufbau von Empfängern	285
9.6.1	Geradeausempfänger	285
9.6.2	Überlagerungsempfänger	286
9.6.3	Direktkonversionsempfänger	288
9.7	Modulation und Demodulation	289
9.7.1	Amplitudenmodulation	289
9.7.2	Einseitenbandmodulation	292
9.7.3	Frequenzmodulation	293
9.7.4	Grundzüge digitaler Modulationsverfahren	296
9.8	Rauschen	304
9.8.1	Grundbegriffe des elektrischen Rauschens	304
9.8.2	Effektive Rauschtemperatur	307
9.8.3	Rauschzahl	308
9.8.4	Kettenrauschzahl	310
9.8.5	Rauschpegel	312
9.8.6	Rauschanpassung	312
9.8.7	Antennenrauschen	314
9.9	Übungsaufgaben	316
A	Mathematische Grundlagen und Hilfsmittel	321
A.1	Der Feldbegriff	321
A.2	Koordinatensysteme	322
A.2.1	Kartesische Koordinaten	322
A.2.2	Zylinderkoordinaten	323
A.2.3	Kugelkoordinaten	324
A.3	Vektoranalytische Operationen	325
A.3.1	Skalarprodukt	325
A.3.2	Kreuzprodukt	326
A.3.3	Der Gradient eines skalaren Feldes	326
A.3.4	Die Divergenz eines Vektorfeldes	327
A.3.5	Die Rotation eines Vektorfeldes	328
A.4	Kurven-, Flächen- und Volumenelemente	329
A.5	Kurven-, Flächen- und Volumenintegrale	333
A.6	Sätze und Korrespondenzen der Fouriertransformation	335
B	Elektrotechnische Grundlagen und Hilfsmittel	337
B.1	Komplexe Zeiger	337
B.2	Leistung im Netzwerk	338
B.3	Leistungstransport auf Hochfrequenzleitungen	343
B.4	Das Dezibel	344
B.4.1	Definition	345
B.4.2	Pegelrechnung	347
B.5	Grafische Auswertung der Richtcharakteristik	350

C Lösungen zu den Übungsaufgaben

355

Weiterführende Literatur

373

Stichwortverzeichnis

377