

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	13
1.1	Hochfrequenztechnik und ihre Anwendung	13
1.2	Frequenzbereiche	15
1.3	Hochfrequenztechnische Erscheinungen.....	16
1.4	Ausblick auf die folgenden Kapitel.....	20
2	Elektromagnetische Felder und Wellen	23
2.1	Physikalische und mathematische Grundlagen	23
2.1.1	Elektrostatische Feldgrößen	23
2.1.1.1	Elektrische Feldstärke und Spannung.....	23
2.1.1.2	Polarisation und relative Dielektrizitätszahl.....	27
2.1.1.3	Elektrische Feldenergie und Kapazität.....	30
2.1.2	Stationäre elektrische Strömungsfelder und magnetische Felder.....	30
2.1.2.1	Stromdichte, Leistungsdichte und Widerstand.....	30
2.1.2.2	Magnetische Feldstärke und magnetisches Vektorpotential	32
2.1.2.3	Magnetische Feldenergie und Induktivität.....	34
2.1.2.4	Lorentz-Kraft	34
2.1.3	Vektoranalytische Operatoren	34
2.2	Maxwellsche Gleichungen.....	36
2.2.1	Differentialform für allgemeine Zeitabhängigkeit.....	36
2.2.2	Differentialform für harmonische Zeitabhängigkeit.....	37
2.2.3	Integralform	38
2.2.4	Materialgleichungen	40
2.2.5	Verhalten an Materialgrenzen.....	42
2.3	Einteilung elektromagnetischer Feldprobleme.....	43
2.4	Skineffekt	44
2.5	Elektromagnetische Wellen	47
2.5.1	Wellengleichung und ebene Wellen.....	47
2.5.2	Polarisation	51
2.5.3	Reflexion und Brechung an ebenen Grenzflächen	53
2.5.3.1	Senkrechter Einfall.....	53
2.5.3.2	Schräger Einfall	56
2.5.4	Kugelwellen.....	60
2.6	Zusammenfassung.....	62
2.7	Übungsaufgaben.....	63

3	Leitungstheorie und Signale auf Leitungen	65
3.1	Leitungstheorie	65
3.1.1	Strom- und Spannungswellen auf Leitungen	65
3.1.2	Telegraphengleichung	67
3.1.3	Spannungs- und Stromwellen auf Leitungen	69
3.1.4	Einseitig abgeschlossene Leitung	72
3.1.5	Eingangsimpedanz einer abgeschlossenen Leitung	74
3.1.6	Verlustlose Leitungen	76
3.1.7	Leitungen mit geringen Verlusten	78
3.1.8	Verschiedene Leitungsabschlüsse einer verlustlosen Leitung	80
3.1.8.1	Angepasste Leitung	80
3.1.8.2	Kurzgeschlossene Leitung	81
3.1.8.3	Leerlaufende Leitung	83
3.1.8.4	Allgemeiner Abschluss	84
3.1.9	Verlustlose Leitungen als Impedanztransformatoren	85
3.1.9.1	Der $\lambda/4$ -Transformator	85
3.1.9.2	Der $\lambda/2$ -Transformator	86
3.1.10	Reflexionsfaktor einer verlustlosen Leitung	86
3.1.11	Smith-Chart-Diagramm	89
3.2	Zeitsignale auf Leitungen	93
3.2.1	Sprungförmige Signale	94
3.2.1.1	Angepasste Quelle und angepasster Abschluss	94
3.2.1.2	Angepasste Quelle und fehlangepasster (resistiver) Abschluss	95
3.2.1.3	Angepasste Quelle und fehlangepasster (reaktiver) Abschluss	97
3.2.1.4	Fehlanpassung an Quelle und Last	100
3.2.2	Rechteckförmige Signale	102
3.3	Augendiagramm	104
3.4	Zusammenfassung	107
3.5	Übungsaufgaben	107
4	Wellenleiter	109
4.1	Überblick über technisch bedeutsame Leitungstypen	109
4.2	Koaxialleitungen	112
4.2.1	Induktivitätsbelag und Leitungswellenwiderstand	112
4.2.2	Dämpfung bei schwachen Verlusten	115
4.2.3	Nutzbarer Frequenzbereich	117
4.2.4	Anwendungsgebiete	119
4.3	Mikrostreifenleitungen (<i>Microstrip</i>)	119
4.3.1	Wellenwiderstand und effektive Permittivitätszahl	119
4.3.2	Dispersion und nutzbarer Frequenzbereich	123
4.3.3	Anwendungsgebiete	124
4.4	Streifenleitung (<i>Stripline</i>)	124
4.4.1	Leitungswellenwiderstand	124
4.4.2	Nutzbarer Frequenzbereich	125
4.4.3	Anwendungsgebiete	126

4.5	Rechteckhohlleiter.....	126
4.5.1	Allgemeine Überlegungen	126
4.5.2	Die H_{10} -Grundwelle.....	130
4.5.3	Höhere Wellentypen.....	132
4.5.4	Einsatzgebiete von Hohlleitern	134
4.5.5	Anregung von Hohlleiterwellen	134
4.5.6	Hohlraumresonatoren.....	135
4.6	Zweidrahtleitung	137
4.6.1	Leitungswellenwiderstand	137
4.6.2	Anwendungsgebiete.....	138
4.7	Dreileitersysteme	138
4.7.1	Gleich- und Gegentaktwellen	138
4.7.2	Leitungswellenwiderstände und Ausbreitungskonstanten	140
4.7.3	Leistungsabschluss	143
4.8	Übungsaufgaben.....	143
5	Streuparameter	145
5.1	Mehrtorgleichungen in Matrixform	145
5.2	Definition von Wellengrößen	146
5.3	Streuparameter und Leistung	148
5.4	Spezielle Eigenschaften von Schaltungen	151
5.4.1	Anpassung.....	151
5.4.2	Leistungsanpassung	152
5.4.3	Reziprozität (Übertragungssymmetrie).....	153
5.4.4	Symmetrie	153
5.4.5	Verlustlosigkeit bei Passivität.....	153
5.4.6	Rückwirkungsfreiheit	154
5.4.7	Besondere Bedingungen bei Dreitoren	155
5.5	Berechnung von Streumatrizen	155
5.5.1	Reflexionsfaktoren.....	155
5.5.2	Transmissionsfaktoren	156
5.5.3	Umnormierung einer Streumatrix auf andere Torwiderstände	158
5.6	Signalflussmethode.....	160
5.7	Messung von Streuparametern	164
5.8	Übungsaufgaben.....	168
6	Hochfrequenzbauelemente und -schaltungen	171
6.1	Ersatzschaltbilder konzentrierter Bauelemente	171
6.1.1	Widerstände	171
6.1.2	Kondensatoren.....	173
6.1.3	Spulen.....	175
6.2	Passive Schaltungen.....	176
6.2.1	Leitungsresonatoren	176
6.2.2	Anpassschaltungen	180
6.2.2.1	LC-Anpassnetzwerke.....	180

6.2.2.2	Anpassung mit Leitungen	183
6.2.3	Filter	186
6.2.3.1	Klassischer LC-Filterentwurf mit Induktivitäten und Kapazitäten.....	187
6.2.3.2	Entwurf von Butterworth-Filtern	189
6.2.4	Leitungsfiler	195
6.2.4.1	Planare Filter.....	195
6.2.4.2	Metallisch geschirmte Filter (Gehäuseresonanzen).....	201
6.2.4.3	Hohlleitungsfiler	202
6.2.5	Zirkulatoren.....	204
6.2.6	Leistungssteiler.....	205
6.2.6.1	Wilkinson-Leistungssteiler.....	205
6.2.6.2	Leistungssteiler mit ungleicher Leistungsaufteilung	207
6.2.7	Branchline-Koppler.....	208
6.2.7.1	Konventioneller 3-dB-Koppler.....	208
6.2.7.2	Ungleiche Leistungsaufteilung und Impedanztransformation	210
6.2.8	Rat-Race-Koppler	212
6.2.9	Richtkoppler	213
6.2.10	Symmetrierglieder.....	215
6.3	Elektronische Schaltungen	217
6.3.1	Mischer	219
6.3.2	Verstärker und Oszillatoren.....	221
6.4	Moderne HF-Entwurfswerkzeuge.....	223
6.4.1	HF-Schaltungssimulatoren	223
6.4.2	Elektromagnetische 3D-Feldsimulation.....	223
6.5	Übungsaufgaben	227
7	Antennen	229
7.1	Grundbegriffe und Kenngrößen	230
7.1.1	Nahfeld und Fernfeld	230
7.1.2	Isotroper Kugelstrahler	231
7.1.3	Kenngrößen für das Strahlungsfeld einer Antenne	232
7.1.4	Anpassung und Bandbreite.....	237
7.2	Praktische Antennenbauformen	238
7.3	Mathematische Behandlung des Hertzschen Dipols.....	241
7.4	Drahtantennen	246
7.4.1	Halbwellendipol	246
7.4.2	Monopol	247
7.4.3	Verkürzung von Monopulantennen	249
7.5	Planare Antennen	250
7.5.1	Rechteckige Patch-Antenne.....	251
7.5.1.1	Abstrahlung eines Patch-Elementes	251
7.5.1.2	Resonanzfrequenz und Patch-Abmessungen	252
7.5.1.3	Speisung von Patch-Antennen	253
7.5.2	Patch-Antennen mit zirkularer Polarisation.....	257
7.5.3	Planare Dipol- und <i>Inverted-F</i> -Antennen.....	259

7.6	Gruppenantennen	260
7.6.1	Einzelcharakteristik und Gruppenfaktor	260
7.6.2	Phasengesteuerte Antennen	264
7.6.3	Strahlformung	269
7.7	Weitere Antennenkonzepte	272
7.8	Übungsaufgaben	272
8	Funkwellen	275
8.1	Wellenausbreitungseffekte	275
8.2	Einfache Ausbreitungsszenarien	280
8.2.1	Freiraumausbreitung	280
8.2.2	Ausbreitung über ebenem Grund	283
8.2.3	Richtfunkstrecken	285
8.2.4	Geschichtete Medien	287
8.3	Komplexe Umgebungen	289
8.3.1	Mehrwegeausbreitung	289
8.3.2	Patch-Loss-Modelle	290
8.4	Übungsaufgaben	291
A	Anhang	293
A.1	Koordinatensysteme	293
A.1.1	Kartesisches Koordinatensystem	293
A.1.2	Zylinderkoordinatensystem	294
A.1.3	Kugelkoordinatensystem	295
A.2	Logarithmische Darstellung von Größen	296
A.2.1	Dimensionslose Größen	296
A.2.2	Relative und absolute Pegel	297
A.2.3	Pegelplan einer Übertragungsstrecke	297
	Literaturverzeichnis	299
	Sachwortverzeichnis	303