

Inhaltsverzeichnis

Geleitwort des Verlags	V
Verwendete Formelzeichen	VII
Einleitung	IX
1 Elektromagnetische Wellen und Wellenleitungen	1
1.1 Wellenbegriff in der Mechanik	1
1.2 Feldgleichungen	4
1.3 Ebene Wellen	8
1.4 Rand- oder Grenzbedingungen, Skineffekt	14
1.5 Leitungswellen (<i>L</i> -Wellen)	18
1.5.1 Feldbetrachtung	18
1.5.2 Leitungstheorie	22
1.6 Hohlleitungswellen (<i>H</i> - oder <i>TE</i> -Wellen und <i>E</i> - oder <i>TM</i> -Wellen)	32
1.6.1 Zweiplattenleitung	32
1.6.2 Hohlleitungen	38
1.6.2.1 Rechteckhohlleitung	39
1.6.2.2 Rundhohlleitung	49
1.6.2.3 Wandstromverluste der Hohlleitung	55
1.6.2.4 Übertragbare Leistung	57
1.6.2.5 Dielektrisches Material in Hohlleitungen	58
1.6.2.6 Steghohlleitung	59
1.6.2.7 Biegsame Hohlleitungen	60
1.6.2.8 Überdimensionierte Hohlleitungen	60
1.6.2.9 Höhere Feldtypen in <i>L</i> -Wellenleitungen	60
1.6.2.10 Anwendung der Leitungstheorie auf Hohlleitungswellen	61
1.7 Oberflächenwellen	63
1.7.1 Ebene Grenzfläche	63
1.7.2 Axiale zylindrische Oberflächenwellenleitungen	71
1.7.2.1 Metallische Eindrahtleitung, SOMMERFELDleitung	71
1.7.2.2 Metallischer Einzeldraht mit dielektrischer Schicht (HARMS-GOUBAU-Leitung)	73
1.7.2.3 Wendelleitung	75
1.7.2.4 Dielektrische Leitungen	76
1.8 Planare und quasiplanare Wellenleitungen	79
1.8.1 Übersicht	79

1.8.2	Streifenleitungen	83
1.8.2.1	Mikrostreifenleitung	85
1.8.2.2	Triplate-Leitung	90
1.8.2.3	Hängende Streifenleitung (Suspended Stripline)	90
1.8.3	Schlitzleitung	91
1.8.4	Koplanarleitung (Doppelschlitzleitung)	93
1.8.5	Finleitungen	94
1.8.6	Dielektrische Streifenleitungen	96
1.9	<i>H</i> -Leitungen	98
1.10	Numerische Verfahren zur Berechnung elektromagnetischer Felder ...	99
1.10.1	Finite-Differenzen-Zeitbereichsverfahren	100
1.10.2	Leitungsmatrix-Methode	100
1.10.3	Momenten-Methode	100
1.10.4	Finite-Elemente-Methode	101
2	Leitungsdiagramm (Smith-Diagramm) und Anpassungsschaltungen .	103
2.1	Leitungsdiagramm (Smith-Diagramm)	103
2.2	Anpassungsschaltungen	108
2.2.1	Anpassung mit konzentrierten Induktivitäten und Kapazitäten	109
2.2.2	LC-Resonanzanpassung	112
2.2.3	Anpassung mit Reaktanzleitungen	112
2.2.4	Anpassung mit $\lambda/4$ -Leitung	114
3	Streuparameter (S-Parameter)	117
3.1	Schaltungsbeschreibung durch Streuparameter (S-Parameter)	118
3.2	Dämpfungsmaße von Zweitoren	126
3.3	Leistungsverstärkung von Zweitoren	127
3.4	Ortskurvendarstellung zur unilateralen Übertragungsleistungsverstärkung	129
3.5	Stabilität von Zweitoren	132
3.6	Netzwerkanalyse mit Hilfe von Signalfussgraphen (MASON-Beziehung)	139
4	Leitungsbauteile in Koaxial- und Hohlleitungstechnik	145
4.1	Leitungs- und Hohlraumresonatoren	145
4.1.1	Leitungsresonatoren, Topfkreise	145
4.1.2	Hohlraumresonatoren (quaderförmig und zylindrisch)	147
4.2	Blindwiderstände (reflektierende Bauteile)	155
4.2.1	Blindleitungen	155
4.2.2	Blenden und Stifte	156
4.3	Anpassungsschaltungen	161
4.4	Filterschaltungen	163
4.5	Wirkwiderstände (absorbierende Bauteile)	165
4.6	Phasenschieber	168
4.7	Leitungsverbindungen, Übergänge (Adapter), Drehkupplungen	170

4.8	Leitungsverzweigungen, Hybridverzweigungen (Hybridkoppler)	175
4.9	Gekoppelte Hohlleitungen	180
4.10	Richtungskoppler (Richtkoppler)	182
4.10.1	Zwei- und Mehrlochkoppler	184
4.10.2	Richtkoppler mit verteilter Kopplung	186
4.10.3	Einlochkoppler	187
4.11	Mikrowellenschalter	188
5	Bauteile in der Technik planarer und quasiplanarer Leitungstechnik . .	189
5.1	Technologie integrierter Mikrowellenschaltungen (MIC)	189
5.2	Streifenleitungsbauteile	191
5.2.1	Widerstände, Kapazitäten, Induktivitäten	192
5.2.2	Streifenleitungsresonatoren	197
5.2.3	Streifenleitungsfilter	198
5.2.4	Richtkoppler	203
5.2.5	Hybridkoppler (Hybridverzweigungen)	204
5.2.6	Leitungsübergänge	213
5.3	Schlitz- und Koplanarleitungsbauteile	213
5.4	Finleitungsbauteile	215
6	Ferritbauteile (Gyromagnetische Bauteile)	219
6.1	Physikalische Grundlagen	219
6.2	Nichtreziproke Ferritbauteile	229
6.2.1	Ausnutzung der Resonanzabsorption	229
6.2.2	FARADAY-Dreher	232
6.2.2.1	FARADAY-Isolator	234
6.2.2.2	FARADAY-Zirkulator	235
6.2.3	Nichtreziproke Phasenverschiebung	237
6.2.4	Ausnutzung der Feldverzerrung (Feldverdrängung)	239
6.3	Reziproke Ferritbauteile	242
6.4	Verzweigungszirkulatoren	243
6.5	YIG-Bauelemente	247
7	Mikrowellenantennen	253
7.1	Einführung	253
7.2	Flächen- oder Aperturstrahler	253
7.2.1	Aperturbelegung und Antennendiagramm	254
7.2.2	Horn- oder Trichterstrahler	268
7.2.3	Spiegel- oder Reflektorantennen	273
7.2.4	Linsenantennen	284
7.2.4.1	Verzögerungslinsen	285
7.2.4.2	Beschleunigungslinsen	289
7.2.4.3	Verzögerungs- und Beschleunigungslinsen als Stufenlinsen	296
7.3	Schlitzantennen	298

7.4	Wendel- oder Spulenantennen	301
7.5	Dielektrische Stab- und Rohrstrahler	306
7.6	Extrem breitbandige Antennen	309
7.6.1	Logarithmische Spiralantenne	310
7.6.2	Logarithmisch-periodische Antennen	311
7.7	Phased-Array-Antennen	313
8	Mikrowellenelektronenröhren	323
8.1	Laufzeitröhren	323
8.1.1	Triftröhren	326
8.1.1.1	Zweikammerklystron	326
8.1.1.2	Mehrkammerklystron	331
8.1.1.3	Reflexklystron	332
8.1.1.4	Röhren mit ausgedehnter Wechselwirkung	338
8.1.2	Lauffeldröhren	339
8.1.2.1	Verzögerungsleitungen für Lauffeldröhren	339
8.1.2.2	Wanderfeldröhre (O-Typ)	350
8.1.2.3	Rückwärtswellenröhre	361
8.1.2.4	Magnetron	364
8.1.2.5	Koaxialmagnetron	380
8.1.2.6	Kreuzfeldverstärker	383
8.1.3	Gyrotrom	386
9	Mikrowellendioden	391
9.1	Eigen- und Störstellenleitung	391
9.2	pn-Übergang (pn-Diode)	399
9.3	Spitzendioden (Punktkontaktdioden)	405
9.4	SCHOTTKYdioden (Hot-carrier-Dioden)	405
9.5	PIN-Dioden	410
9.5.1	Diodenschalter und -phasenschieber	412
9.6	Varaktordioden (Kapazitätsdioden)	417
9.6.1	Sperrschichtvaraktoren	417
9.6.2	Speichervaraktordioden, Speicherschalt-dioden (Step-recovery-, Charge storage-, Snapp-off-Dioden)	420
9.7	Backwarddioden (Rückwärtsdioden)	425
9.8	Aktive Halbleiterzweipole	427
9.8.1	Schwingungserzeugung und -verstärkung mit aktiven Zweipolen	427
9.8.2	Tunneldioden	436
9.8.3	Laufzeitdioden	445
9.8.3.1	Lawinenlaufzeitdioden (Impatt-, Trapattdioden)	445
9.8.3.2	Barittdioden	457
9.8.4	GUNNElemente	459

10	Detektoren und Mischer	477
10.1	Detektoren	478
10.2	Mischer und Modulatoren	481
10.2.1	Misch- und Modulationsvorgang	481
10.2.2	Kenngrößen von Mixchern	483
10.2.3	Eindiodenmischer (unsymmetrischer Mischer)	490
10.2.4	Balance- oder Gegentaktmischer	491
10.2.5	Doppelbalance- oder Doppelgegentaktmischer	495
10.2.6	Unerwünschte Mischprodukte	499
10.2.7	Mischer mit Spiegelunterdrückung	500
10.2.8	Mischer mit Spiegelrückmischung	502
10.2.9	Mischerausführungen	503
10.2.10	Subharmonische-Mischer	503
10.2.11	Phasendetektor	505
10.2.12	PSK-Modulator	505
11	Mikrowellentransistoren	509
11.1	Bipolare Transistoren	509
11.1.1	Physikalische Grundlagen	509
11.1.2	Hochfrequenzverhalten	512
11.1.3	Entwurf von Transistorverstärkern mit Hilfe der S-Parameter	521
11.2	Feldeffekttransistoren (FET)	523
11.2.1	Wirkungsweise	523
11.2.2	Hochfrequenzverhalten	528
11.2.3	MESFET-Verstärker	531
11.3	Transistoren mit Heterostruktur	532
11.3.1	Bipolarer Transistor mit Heterostruktur	533
11.3.2	Feldeffekttransistor mit Heterostruktur	533
11.4	Transistoroszillatoren	534
11.4.1	Oszillatoren und Filter mit dielektrischen Resonatoren	534
11.4.1.1	Filter mit dielektrischen Resonatoren	536
11.4.1.2	Oszillatoren mit dielektrischen Resonatoren	538
11.4.2	YIG-abgestimmte Transistoroszillatoren	540
11.4.3	Oszillatoren mit Oberflächenwellen-Verzögerungsleitungen (SAW-Oszillatoren)	541
12	Entwurf eines Transistorverstärkers	543
12.1	Anpassungsnetzwerke	543
12.2	Beispiel 1: Entwurf eines Schmalbandverstärkers ($S_{12} \approx 0$)	546
12.3	Beispiel 2: Entwurf eines Breitbandverstärkers ($S_{12} \approx 0$)	549
12.4	Beispiel 3: Verstärkerentwurf mit Stabilitätsbetrachtung ($k > 1$)	553
12.5	Beispiel 4: Verstärkerentwurf mit Stabilitätsbetrachtung ($k < 1$)	559
12.6	Beispiel 5: Rauscharmer Verstärker	563

13	Parametrischer Verstärker, Reaktanzverstärker	567
13.1	Prinzip der parametrischen Verstärkung, Reaktanzmischung	567
13.2	Reaktanzverstärker als Aufwärtsmischer mit Summenfrequenz	574
13.3	Reaktanzverstärker als Aufwärtsmischer mit Differenzfrequenz	575
13.4	Reaktanzgeradeausverstärker	575
13.5	Rauschverhalten	579
14	Mikrowellenmesstechnik	581
14.1	Frequenzmessung	581
14.2	Leistungsmessung	582
14.3	Dämpfungsmessung	584
14.4	Messung von Impedanz, Reflexionsfaktor, Streuparametern	584
14.4.1	Messung mit Messleitung	585
14.4.2	Messung mit Richtkoppler	587
14.4.3	Richtungsmessbrücke	589
14.4.4	Netzwerkanalysatoren	591
14.4.4.1	Skalare Netzwerkanalysatoren	591
14.4.4.2	Vektorielle Netzwerkanalysatoren	593
14.5	Spektrumanalysatoren	594
14.5.1	Echtzeitanalysatoren	595
14.5.2	Wobbelanalysatoren	596
14.6	Messung der Rauschzahl	598
14.7	Messung von Materialeigenschaften	600
14.7.1	Bestimmung der Permittivität	601
14.7.2	Bestimmung des Verlustfaktors	602
15	Mikrowellenanwendungen	607
15.1	Radartechnik	607
15.1.1	Radarprinzip	607
15.1.2	Radarmessung	608
15.1.2.1	Radargleichung	608
15.1.2.2	Entdeckungs- und Falschalarmwahrscheinlichkeit	611
15.1.2.3	Impulsintegration	612
15.1.2.4	Verluste in der Radargleichung	614
15.1.2.5	Ausbreitungseffekte	615
15.1.2.6	Signalfilterung, Optimalempfänger	616
15.1.2.7	Mehrdeutigkeiten der Radarmessung	619
15.1.2.8	Radarauflösung	620
15.1.2.9	Wahl der Radarsignalform	622
15.1.3	Radarsysteme	622
15.1.3.1	Impulsradar	623
15.1.3.2	CW- und FM-Radar	623
15.1.3.3	Dopplerradar	625
15.1.3.4	Radar mit Impulskompression	637

15.1.3.5	Suchradar	645
15.1.3.6	Folgeradar	646
15.1.3.7	Phased Array-Radar	658
15.1.3.8	Seitensichtradar	659
15.1.3.9	Sekundärradar	660
15.1.3.10	Millimeterwellenradar	661
15.1.3.11	Zielidentifikation mit Hilfe von Radar	662
15.1.4	Radarkomponenten	662
15.1.4.1	Radaranennen	662
15.1.4.2	Sende-Empfangsschalter (Duplexer)	663
15.1.4.3	Radarsender	668
15.1.4.4	Radarempfänger	668
15.2	Erwärmung durch Mikrowellen	671
15.2.1	Physikalische Grundlagen	671
15.2.2	Wärmegeneratoren, Mikrowellenherd	675
15.2.3	Medizinische Anwendungen	677
15.2.4	Kontrollierte Kernfusion	680
15.3	Untersuchung von Stoffen und Teilchen	682
15.3.1	Materialuntersuchung	682
15.3.2	Radiometrie	685
15.3.3	Radioastronomie	688
15.3.4	Teilchenbeschleuniger	689
Aufgaben mit Lösungen		691
Aufgaben		691
Lösungen		697
Literaturverzeichnis		713
Index		727