

Holger Heuermann

Hochfrequenz- technik

Komponenten für High-Speed-
und Hochfrequenzschaltungen

2., durchgesehene und erweiterte Auflage

Mit 394 Abbildungen

STUDIUM



VIEWEG+
TEUBNER

Inhaltsverzeichnis

1	Einführung	1
1.1	Inhalte der modernen Hochfrequenztechnik	1
1.2	HF-Technik: Zwischen Elektronik und Optik	3
1.3	Aufbau von Hochfrequenzanordnungen	6
2	Schaltungstheoretische Grundlagen	7
2.1	Systemvoraussetzungen	8
2.2	Die Streumatrix	8
2.2.1	Einführung der Wellengrößen	9
2.2.2	Bedeutung der Streuparameter	11
2.2.3	Die Netzwerkparameter der Elektronik	14
2.3	Schaltungsentwurf von Zweitoren über Streuparameter	17
2.4	Streumatrizen von Netzwerken mit speziellen Eigenschaften	18
2.4.1	Eigenschaften der Streuparameter von passiven Komponenten	19
2.4.2	Eigenschaften der Streuparameter von passiven verlustlosen Komponenten	21
2.4.3	Gängige Umrechnungen von Streuparametern	23
2.5	Transmissions-, Ketten- und sonstige Matrizen	25
2.5.1	Die Transmissionsmatrix Σ	25
2.5.2	Die Kettenmatrix $[A]$ und die ABCD-Matrix	28
3	Passive HF-Komponenten aus konzentrierten Bauteilen	29
3.1	Konzentrierte Elemente und Bauteile	30
3.1.1	Ideale konzentrierte Elemente	30
3.1.2	Reale konzentrierte Bauteile	30
3.1.2.1	Güte von Spulen und Kondensatoren	33
3.1.2.2	SMD's	35

3.1.2.3	Halbleiterbauteile	38
3.1.2.4	Multilayerbauteile in LTCC und Laminaten	39
3.1.2.5	Gekoppelte Induktivitäten	40
3.2	Zweitore	40
3.2.1	Dämpfungsglieder	41
3.2.2	Impedanztransformatoren	41
3.2.3	$\pm 90^\circ$ -Phasenschieber	46
3.3	Drei- und Viertore	47
3.3.1	DC- und Steuersignal-Einspeisung	48
3.3.2	Beschaltungen	49
3.3.3	Resistive Signalteiler	49
3.3.4	Reaktive Signalteiler	52
3.3.5	Verschiedenste Koppler und Symmetrierglieder	54
3.4	Multifunktionskomponenten	55
4	Hochfrequenzleitungen: Theorie, Leitertypen und Anwendungen	57
4.1	Die allgemeine Leitungstheorie	59
4.1.1	Schwach verlustbehaftete Leitungen	64
4.1.2	Dämpfung einer Leitung	65
4.1.3	Leitungstheorie verlustloser Leitungen	66
4.1.4	Wellenlänge und Phasengeschwindigkeit	68
4.1.5	Gruppenlaufzeit	69
4.1.6	Augendiagramm und BER-Test	72
4.2	TEM- und Quasi-TEM-Wellenleiter	72
4.2.1	Die Koaxialleitung	76
4.2.2	Die Band- und Paralleldrahtleitung	78
4.2.3	Die geschirmte Streifenleitung	79
4.2.4	Quasi-TEM-Wellenleiter: Mikrostreifen- und Koplanarleitung	81
4.2.5	Technologie der planaren Schaltung	85
4.2.6	Koaxialleitung als Referenzleitung	87
4.3	Leitungstransformation und Smith-Chart	92
4.3.1	Eingangswiderstand einer Leitung	92
4.3.2	Leitungen als Impedanztransformatoren	98
4.3.3	Der Reflexionsfaktor r	100
4.3.4	Stehwellenverhältnis und Anpassungsfaktor	102

4.3.5	Das Smith-Chart	103
4.4	Quasi-konzentrierte Leitungsbauteile	110
5	Schaltungstheorie und -synthese mit Gleich- und Gegentaktgrößen	113
5.1	Einführung von Mixed-Mode-TEM-Systemen	113
5.1.1	Unsymmetrischer Mode und Gegentaktmode in Zweileitersystemen	115
5.1.2	Gleich- und Gegentaktmoden in Dreileitersystemen	117
5.2	Komponenten mit Dreileitersystemen am Ein- und Ausgang	119
5.2.1	Transceiver für die digitale Datenübertragung	126
5.2.2	Differentielle Leitungstechnik für die digitale Datenübertragung . .	128
5.2.3	Modeblocker	130
5.2.4	$\pm 90^\circ$ -Phasenschieber mit Modeblocker- und Impedanztransformatorfunktionalität	134
5.2.5	Modekonverter und Modeweichen	135
5.2.6	Propagation-Matrix für Mixed-Mode-Systeme	139
5.3	Komponenten mit Zwei- und Dreileitersystemen	141
5.3.1	Zusammenhang zwischen S- und allgemeinen M-Parametern	142
5.3.2	Symmetrischer Signalteiler	145
5.3.3	Symmetrierglieder	146
5.4	Schaltungssynthese von symmetrischen Netzwerken	155
5.4.1	Analyse von symmetrischen Zweitornetzwerken	161
5.4.2	Synthese von symmetrischen Mixed-Mode-Netzwerken	161
5.5	Koppler und Grundlagen der Kopplersynthese	162
5.5.1	Wilkinson-Koppler	164
5.5.2	Leitungskoppler	166
5.5.3	Hybrid-Koppler	167
5.5.4	Resistiver Koppler und $\pm 90^\circ$ -LC-Koppler	169
6	Resonatoren und Filter	171
6.1	Synthese aus Butterworth- oder Tschebyscheff-Standardtiefpässen	173
6.1.1	Schaltungsentwurf von Standardfiltern	175
6.2	Synthese von speziellen Filtern	179
6.3	Grundlagen der Resonatoren	180
6.3.1	Theorie der $\lambda/4$ -Leitungsresonatoren	186
6.4	Beschaltete Resonatoren	190
6.4.1	Transmissionsresonatoren	191

6.4.2	Reflexionsresonatoren	195
6.4.3	Dielektrischer Resonator und Reaktionsresonatoren	198
6.5	Dual-Mode-Resonatoren	200
6.6	Gekoppelte zweikreisige Resonatorfilter beliebiger Güte	205
6.6.1	Übersicht: Zweikreisige Resonatorfilter	205
6.6.2	Synthese von gekoppelten Parallelschwingkreisen mit Spannungskopplung	206
6.6.2.1	Das kapazitiv gekoppelte Resonatorfilter	209
6.6.2.2	Das induktiv gekoppelte Resonatorfilter	210
6.6.2.3	Resonatoren als Koppellemente	211
6.6.2.4	Implementierte Impedanztransformation	213
6.7	Frequenzweichen	214
7	Hochfrequenzschalter	217
7.1	Koaxiale Relais	217
7.1.1	Reed-Relais	219
7.1.2	Freilaufdiode	220
7.2	MEMS	221
7.3	PIN-Dioden-Funktionalität und -Schalter	222
7.3.1	Aufbau einer PIN-Diode	223
7.3.2	PIN-Diode im stationären Sperrbereich	224
7.3.3	PIN-Diode im stationären Flussbereich	226
7.3.4	Schaltverhalten von PIN-Dioden	228
7.3.5	Bauformen von PIN-Dioden	231
7.3.6	PIN-Dioden Schalter-Anordnungen	232
7.4	HF-Transistor-Schalter	235
7.5	Schalter für differentielle Schaltungen	236
7.5.1	Beschreibung der symmetrischen Schalteranordnungen	237
8	Lineare Verstärker und Rauschen	241
8.1	Kenngrößen von Kleinsignalverstärkern	242
8.1.1	Leistungsverstärkung	242
8.1.2	Stabilität	243
8.1.3	Maximaler Leistungsgewinn und maximaler stabiler Gewinn	246
8.2	Entwurf von Schmalband-Verstärkern	247
8.2.1	Analyse des Transistors im Arbeitspunkt	249

8.2.2	Schaltungsoptimierung des Transistorverstärkers	252
8.3	Analyse des nichtlinearen Verhaltens von Verstärkern	256
8.3.1	Grundlagen der nichtlinearen Verzerrungen	256
8.3.2	Nichtlineare Effekte und Simulation eines HF-Verstärkers	258
8.4	Kompensation des Millereffektes	261
8.5	Grundlagen der Theorie des elektrischen Rauschens	262
8.5.1	Grundbegriffe	262
8.5.2	Rauschquellen	262
8.5.3	Rauschzahl eines Zweitores und einer Kaskade	265
8.5.4	Auslegung rauscharmer Empfänger	268
9	Modelling, Fitting und Spulenentwurf	269
9.1	Modelle zum Fitting einer Spule	270
9.2	Sensibilisierungsstrukturen zum optimalen Fitting	272
9.2.1	Fitting einer Spule ohne Sensibilisierung	272
9.2.2	Fitting einer Spule unter Verwendung eines Tiefpasses	273
9.2.3	Beurteilung einer Spule unter Verwendung des MAG's	275
9.3	Die Praxis eines Modellings mit Serenade	277
9.4	Die Praxis eines Modellings mit ADS	281
9.5	Entwurf und Optimierung von planaren Spulen	285
9.5.1	Charakteristische Eigenschaften von planaren Spulen	285
9.5.2	Dimensionierung von planaren Spulen	286
9.5.3	Konzeptionelle Optimierung von differentiellen Schaltungen	289
10	Grundlagen der Systemkonzeption	293
10.1	Auslegung einfacher Übertragungsstrecken	294
10.1.1	Arbeiten mit einer Ersatzlast	295
10.1.2	Arbeiten mit einer Ersatzquelle	297
10.1.3	Kenngrößen von Übertragungsstrecken	298
10.2	Signalflussmethode und -diagramme	302
10.2.1	Komponenten für Signalflussdiagramme	303
10.2.2	Beispielrechnung: Signalverfolgungsmethode	305
10.3	Wichtige Systemkomponenten	307
10.3.1	Nichtreziproke passive Komponenten	307
10.3.2	Detektoren	310
10.3.3	Mischer	312

10.3.4	Einseitenbandumsetzer und IQ-Modulatoren	314
10.3.5	Oszillatoren und Synthesegeneratoren	316
10.3.6	Antennen	321
10.4	Skalare S-Parameter-Messsysteme	323
10.4.1	Transmissionsmessungen	325
10.4.2	Reflexions- und unidirektionale Messungen	328
10.5	Vektorielle S-Parameter-Messsysteme	330
10.5.1	Homodyne Konzepte	332
10.5.2	Heterodyne Konzepte	334
10.5.3	Netzwerkanalysator-Konzepte	338
10.5.4	Kalibrierung vektorieller Netzwerkanalysatoren	343
10.6	Beschreibung des Dual-Mode-Funks	344
10.6.1	Funktionsweise der Dual-Mode-Funk-Technik	347
A	Anhang	349
A.1	Hilfsblätter	349
	Literaturverzeichnis	368
	Verzeichnis häufig verwendeter Formelzeichen und Kürzel	375
	Sachwortverzeichnis	378