

Hcxfrequenzschaltungstechnik

Funktionen und Anwendung von Halbleitern und Leitungen
in Hochfrequenzschaltungen

Prof. Dr.-Ing. Ferdinand Nibler

Dipl.-Ing. (FH) K. Hupfer
Prof. Dr.-Ing. W. Janssen
Dipl.-Ing. N. Krausse
Dipl.-Ing. (FH) G. Lang
Prof. Dipl.-Ing. P. Pauli
Dipl.-Ing. A. Rupp
Dipl.-Ing. F. Schmehr

2., verbesserte und erweiterte Auflage

Mit 276 Bildern



Kontakt & Studium
Band 140

Herausgeber:
Prof. Dr.-Ing. Wilfried J. Bartz
Technische Akademie Esslingen
Weiterbildungszentrum
Dipl.-Ing. FH Elmar Wippler
expert verlag

expert verlag

Inhaltsverzeichnis

Herausgeber-Vorwort

Autoren-Vorwort

1	Netzwerkparameter als Hilfsgrößen der HF-Schaltungstechnik	1
	F. Nibler	
1.1	Die Parameter	1
1.1.1	Einführung	1
1.1.2	Das "NF-Modell" und die klassischen Vierpolparameter	2
1.1.3	Das Leitungsmodell und die Wellen- und Kettenparameter	3
1.1.4	Das "HF-Modell" und die Streu- und Transmissionsparameter	6
1.1.4.1	Das HF-Modell und die Streuparameter (S-Parameter)	6
1.1.4.2	Die Transmissionsparameter (T-Parameter)	10
1.1.5	Der Reflexionsfaktor	13
1.1.6	Umrechnung der Parameter verschiedener Modelle	15
1.2	Messung und Darstellung der S- und T-Parameter	18
1.2.1	Messung der Parameter	18
1.2.2	Darstellung der Parameter	20
1.2.3	Einfluß des Bezugswiderstandes Z_0	29
1.3	Die Anwendung der Parameter	31
1.3.1	Berechnung des Betriebsverhaltens	31
1.3.1.1	Vorbemerkung	31
1.3.1.2	Primärer Eingangswiderstand Z_e	31
1.3.1.3	Spannungsübersetzung	33
1.3.1.4	Relative Leistungsübersetzung p	34
1.3.1.5	Reflexionsfaktoren r_1 und r_2	36
1.3.2	Zusammenschaltung von Zweitoren (bzw. Vierpolen)	38
1.4	Anhang — Umrechnungstabellen	43
2	Hochfrequenzleitungen	49
	W. Janssen	
2.1	Allgemeines, Leitungsauswahl	49
2.2	Wellenausbreitung in Leitungen	56
2.2.1	Reflexionsfreie Übertragung	56

2.2.2	Leitungen mit Reflexionen	60
2.3	Leitungstransformation	68
2.3.1	Serienschaltung von Leitungen	68
2.3.2	Parallelschaltung von Leitungen	71
2.4	Zusammenhang von Streuparametern und Leitungsgrößen	73
2.5	Koaxialkabel	78
2.6	Hohlleiter	82

3 Streifenleitungen **94**

W. Janssen

3.1	Streifenleitertypen und ihre Eigenschaften	95
3.1.1	Struktur der Mikrostreifenleiter	95
3.1.2	Übertragungseigenschaften von Mikrostreifenleitern	98
3.1.3	Symmetrische Streifenleiter (Tri-Plate-Stripline)	102
3.1.4	Schlitzleitungen	106
3.1.5	Koplanarleitungen	109
3.1.6	Mikrostreifenleitung mit Masseschlitz	110
3.2	Streifenleiterschaltungen	112
3.2.1	Grundsaltungen	122
3.2.2	Filterschaltungen	117
3.2.2.1	Tiefpaß	117
3.2.3	Streifenleiterrichtkoppler	123
3.2.3.1	Hybrid-Koppler (Branch-Line-Koppler)	123
3.2.3.2	Leitungskoppler	125
3.2.3.3	PIN-Diodenschalter	128
3.2.3.4	Mikrowellenmischer	129
3.2.3.5	Sendeumsetzer	130
3.2.4	Transistorverstärker in Streifenleitertechnik	130

4 HF-Schaltungen mit Leistungstransistoren **133**

P. Pauli

4.1	Einleitung	133
4.2	Möglichkeiten zur Beschreibung der Transistoreigenschaften	134
4.2.1	Leitwert-Y-Parameter	134
4.2.2	Streu-(S)Parameter	138
4.3	Darstellung einiger wichtiger Parameter im Smith-Diagramm	146
4.3.1	Transistorimpedanzen abgeleitet aus Y-Parametern	148
4.3.2	Transistorimpedanzen abgeleitet aus S-Parametern	149
4.4	Neutralisation	150
4.5	Anpassung	153

4.5.1	Betrachtungen über Leistungsanpassung	153
4.5.2	Dimensionierung von Anpaßschaltungen für HF-Transistoren	155
4.5.3	Rauschanpassung und Verstärkungsoptimierung	155
4.5.4	Entwicklung der Anpassungsschaltung	158

Unipolare und bipolare Transistoren in Leistungsstufen für 3-1000 MHz **167**

K. Hupfer

5.1	Einführung	167
5.2	Aufbau von Bipolaren und Unipolaren HF-Leistungstransistoren	167
5.2.1	Der bipolare Transistor	167
5.2.1.1	Technische Betriebsdaten	171
5.2.1.2	Arbeitspunkteinstellung	179
5.2.1.3	Wärmeleitung	181
5.2.2	Der unipolare Transistor	183
5.2.2.1	Technische Betriebsdaten	191
5.2.2.2	Arbeitspunkteinstellung	192
5.2.3	Vergleich MOSFET/Bipolar-Transistor	193
5.3	Schaltungstechnik	194
5.3.1	Der Eintaktverstärker	194
5.3.1.1	Anpaßnetzwerke	197
5.3.1.1.1	Leitungstransformatoren	203
5.3.2	Gegentaktverstärker	207
5.3.2.1	Anpaßnetzwerke	212
5.3.3	Stabilität	214
5.3.4	Erzeugung großer Hochfrequenzleistungen	216
5.3.4.1	Hybride	217
5.3.4.2	Wilkinsonteiler	219
5.3.4.3	3 dB-90°-Richtkoppler	220

6 Grundlagen der rechnergestützten Entwicklung von HF-Schaltungen **224**

N. Krause

6.1	Einführung	224
6.2	Netzwerkanalyse	225
6.2.1	Allgemeines	225
6.2.2	Kettenschaltung	226
6.2.3	Serienschaltung	226
6.2.4	Parallelschaltung	227

6.2.5	Änderung des Bezugs-Wellenwiderstandes	227
6.2.6	S-Parameter von Bauelementen	228
6.2.6.1	Allgemeines	228
6.2.6.2	S-Parameter eines Leitungsstückes	229
6.2.6.3	S-Parameter einer Längs-Impedanz	230
6.2.6.4	S-Parameter einer Quer-Admittanz	231
6.2.7	Beispiel: Einkreisiger Bandfilter	233
6.3	Rauschanalyse	237
6.3.1	Allgemeines	237
6.3.2	Rauschparameter von Transistoren	237
6.3.3	Rauschende Netzwerke	242
6.4	Netzwerk-Optimierung	244
6.4.1	Allgemeines	244
6.4.2	Optimierung nach Fletcher und Reeves	246
6.4.3	Beispiel für eine Optimierung (T-Abschwächer)	251

7 Rechnergestützte Entwicklung und Optimierung von HF-Schaltungen **254**

F. Schmehr

7.1	Einführung	254
7.2	Historische Entwicklung in der Hochfrequenztechnik	255
7.3	CAE-Programme für die Hochfrequenz-Entwicklung	255
7.3.1	COMPACT	256
7.3.2	MICROCOMPACT	256
7.3.3	SUPERCOMPACT	256
7.3.4	AUTOART	257
7.3.5	FILSYN-SUPERFILSYN (Dr. G.Szentirmai)	257
7.3.6	AMPSYN-CADSYN-DEELAY	257
7.4	Schaltungsanalyse, -Synthese und -Optimierung	258
7.4.1	Analyse	258
7.4.2	Synthese	258
7.4.3	Optimierung	258
7.5	Das Programm COMPACT	260
7.5.1	Programmstruktur	260
7.5.2	Die wichtigsten Elemente zur Schaltungsbeschreibung	261
7.5.3	Beispiel Tiefpaßfilter	261
7.6	Das Programm SUPER-COMPACT	266
7.6.1	Überblick	266
7.6.2	Verbesserungen COMPACT-SUPER-COMPACT	267
7.6.3	Programmstruktur	268
7.6.4	Aufbereitung von Schaltungsdateien	269
7.6.5	Schaltelemente (Auszug)	270

7.6.6	Synthese von Anpaßnetzwerken (PMS, SYN)	270
7.6.7	Beispiele zur Schaltungsoptimierung	271
7.7	Das Programm SUPERFILSYN	283
7.7.1	Überblick	283
7.7.2	Programmstruktur	284
7.7.3	Typische Anwendungsbereiche	285
7.7.3.1	Passive LC- und Mikrowellenfilter	285
7.7.3.2	Aktive RC-Filter	286
7.7.3.3	Digitale Filter	286
7.7.3.4	Filtercharakteristiken	286
7.7.3.5	Weitere Eigenschaften und Anwendung	286
7.7.4	Beispiele	287

8 HF-Empfänger 299

A. Rupp

8.1	Einführung	299
8.2	Charakteristische Größen eines Empfängers	300
8.2.1	Rauschen eines Empfängers	300
8.2.1.1	Rauschzahl	301
8.2.1.2	Rauschtemperatur	301
8.2.1.3	Friische Formel	302
8.2.1.4	Rauschen eines verlustbehafteten Bauteils	302
8.2.2	Empfindlichkeit eines Empfängers	303
8.2.3	Empfängerdynamik	304
8.2.4	Rechenbeispiel	307
8.3	Empfängerkonzepte	307
8.3.1	Detektorvideoempfänger (Crystal Video Receiver)	307
8.3.2	Überlagerungsempfänger	309
8.3.3	Vollkohärenter Radarempfänger	313
8.3.4	Monopulsempfänger	315
8.3.5	Breitbandempfänger	319
8.4	HF-Komponenten	321
8.4.1	Rauscharme Transistorverstärker	321
8.4.2	Logarithmischer Verstärker	321
8.4.3	90°-Hybrid	323
8.4.4	Wilkinsonteiler (0°-Teiler)	324
8.4.5	Hybridtransformator	326
8.4.6	Empfangsmischer	327
8.4.7	Der Ringmischer und seine vielseitigen Anwendungsmöglichkeiten	330
8.4.8	Spiegelselektionsmischer (Image Rejection Mixer)	333
8.4.9	HF-Dämpfungsglied	335

8.4.10	Phasenschieber	337
8.5	MM IC-Technologie	339
8.5.1	Typischer MM IC-Herstellungsprozess	340
8.5.2	MM IC-Schaltungselemente	342
8.5.3	Beispiele ausgeführter MM IC-Schaltungen	344
9	Anpassungsmessung — Probleme und Lösungen	349
	G. Lang	
9.1	Anpassungs-(Reflexions-)Messungen	349
9.2	Richtverhältnis	352
9.3	Fehlanpassung am Meßausgang	355
9.4	Fehlergrenzen von Meßsystemen	357
9.5	Fehler durch Fehlanpassung der Signalquelle	358
9.6	Einfluß von Oberwellen	359
9.7	Verbesserung der Meßgenauigkeit	360
9.8	Einfluß von Adaptern	362
9.9	Einfluß der Anpassung auf die Transmissionsmessung	363
9.10	Präzisionsmessung mit Hilfe von Luftleitungen	364
9.10.1	Gedehnte Messungen der Reflexion	365
9.10.2	Mittelungsmethode zur genauen Bestimmung der Reflexion	366
9.10.3	Präzise Dämpfungsmessungen zwischen 2 Luftleitungen	366
10	Rauschen und die Messung von Rauschgrößen	368
	N. Krause	
10.1	Einführung	368
10.1.1	Allgemeines	368
10.1.2	Störabstände	369
10.2	Rauschquellen	369
10.2.1	Allgemeines	369
10.2.2	Thermisches Widerstandsrauschen	370
10.2.3	Schrottrauschen	376
10.2.3.1	Schrotstrom	376
10.2.3.2	Andere Phänomene	377
10.2.4	Rauschen der Lawinen-Laufzeit-Diode	378
10.3	Rauschzahl	378
10.3.1	Allgemeines	378
10.3.2	Definition der Rauschzahl F	379
10.3.3	Effektive Eingangs-Rauschtemperatur T_e	381
10.3.4	System-Rauschtemperatur, Systemrauschzahl	383
10.3.5	Kettenschaltung von rauschenden Zweitoren	383

10.3.6	Typische Rauschzahlen	385
10.4	Rauschen von Bauelementen	386
10.4.1	Angepaßter Abschwächer	386
10.4.2	Mischer-Dioden	386
10.4.3	Transistoren	389
10.4.3.1	Allgemeines	389
10.4.3.2	Bipolare Transistoren	389
10.4.3.3	Feldeffekt-Transistoren	390
10.5	Messung der Rauschzahl	392
10.5.1	Pegelplan	392
10.5.2	Meßgeräte für die Rauschzahlmessung	393
10.5.2.1	Rauschquellen	393
10.5.2.2	Meßempfänger	394
10.5.3	Signalgenerator-Methode	396
10.5.4	Y-Faktor-Verfahren	397
10.5.5	Automatische Rauschmeßplätze	400
10.5.6	Fehlerquellen bei Rauschmessungen	401
10.6	Anhang: Verfügbare Leistungsverstärkung	402

Literaturverzeichnis	404
-----------------------------	------------

Sachregister	409
---------------------	------------

Autorenverzeichnis	411
---------------------------	------------