

Inhaltsverzeichnis

Vorwort	V
Inhaltsverzeichnis	VII
1 Einleitung	1
1.1 Frequenz- und Leistungsbereiche	1
1.2 Besonderheiten im Hochfrequenzbereich	3
1.3 Automatisierung	5
1.4 Zusammenstellung der Meßgrößen	6
2 Meßgeneratoren	9
2.1 Klassifizierung	9
2.1.1 Signalgenerator	10
2.1.2 Wobbelgenerator	10
2.1.3 Schritt- oder Synthesegenerator	11
2.1.4 Wobbelbarer Synthesegenerator	11
2.2 Baugruppen von Meßgeneratoren	12
2.2.1 Oszillatoren	12
2.2.2 Frequenzvervielfacher mit Speichervariaktoren	17
2.2.3 Frequenzumsetzung mit Diodenmischern	19
2.2.4 Amplitudenregelschleife	27
2.2.5 Phasenregelschleife	28
2.3 Typische Blockschaltbilder	32
2.3.1 Wobbelgenerator	32
2.3.2 Synthesegeneratoren	34
2.3.3 Vergleich Wobbler/Synthesizer	37
2.4 Ausgangsspektren der Generatoren	38
2.4.1 Harmonische, Subharmonische und nichtharmonische Nebenlinien	38
2.4.2 Phasenrauschen	40
2.4.3 Spektrum im Wobbelbetrieb	42

3	Leistungsmessung	45
3.1	Prinzipielle Fehlerquellen	45
3.1.1	Beeinflussung der Quelle - das Rieke-Diagramm	46
3.1.2	Fehlanpassung	49
3.1.3	Kalibration	55
3.1.4	Rauschkenngößen für Leistungsmesser	59
3.2	Meßwandler	60
3.2.1	Überblick: Meßsensoren	60
3.2.2	Kalorimeter	61
3.2.3	Bolometer	63
3.2.4	Thermoelement-Leistungsmessung	67
3.2.5	Supraleitender Quanteninterferenz Detektor (SQUID)	71
3.2.6	Leistungsmessung mit Schottky-Dioden	72
3.2.7	Pyroelektrischer Detektor	79
3.2.8	Golay-Zelle	79
3.3	Leistungsmessung an modulierten und gepulsten Hochfrequenz-Signalen	80
3.3.1	Leistungsdefinitionen	80
3.3.2	Hüllkurvenleistung	82
3.3.3	Impulsleistung	83
3.3.4	Notch-Wattmeter	84
4	Frequenzmessung	85
4.1	Mechanische Frequenz- und Wellenlängenmesser	85
4.1.1	Stehwellenmeßleitung	85
4.1.2	Resonanzfrequenzmesser	86
4.1.3	Michelson-Interferometer	88
4.2	Elektronische Frequenzzähler	89
4.2.1	Digitale Frequenzzähler	89
4.2.2	Mikrowellenfrequenzzähler	93
5	Hochfrequenz-Spektralanalysatoren	98
5.1	Theoretische Grundlagen der Spektralanalyse	101
5.1.1	Minimale dynamische Auflösungsbandbreite	101
5.1.2	Signalauflösung des Spektralanalysators	105
5.1.3	Gepulste Signale	107
5.2	Aufbau von Spektralanalysatoren	111
5.2.1	Grundwellenmischer	111
5.2.2	Frequenzerweiterung durch Oberwellenmischung	114
5.2.3	Eigenschaften beider Konzepte	116
5.3	Praktische Grenzen der Meßdynamik	117
5.3.1	Eigenrauschen	117
5.3.2	1 dB-Kompressionspunkt	119
5.3.3	Intermodulationsverzerrungen	119

5.4 Messungen mit dem Spektralanalysator	123
5.4.1 Amplitudenmodulation (AM)	124
5.4.2 Frequenz- und Phasenmodulation (FM, PM)	126
5.4.3 Skalare Netzwerkanalyse (stimulus response)	131
6 Hochfrequenzmessungen in der Modulationsebene	133
6.1 Der Frequenz- und Zeitintervall-Analysator (HP)	133
6.1.1 Idee und Funktionsweise des totzeitfreien Frequenzzählers	133
6.1.2 Eigenschaften und Spezifikationen	136
6.2 Messungen mittels Frequenz- und Zeitintervall-Analysator	138
6.2.1 Frequenz- und Phasendynamik von Oszillatoren	139
6.2.2 Charakterisierung von Phasenregelschleifen	140
6.2.3 Jitter-Messung in digitalen Kommunikationssystemen	141
6.2.4 Messung von Radarsignalen	142
7 Phasenrauschmeßtechnik	144
7.1 Definition und Ursachen des Phasenrauschens	145
7.1.1 Instabilitäten und Rauscherscheinungen	145
7.1.2 Ursachen des Phasenrauschens	147
7.2 Quantitative Beschreibung des Phasenrauschens	150
7.2.1 Spektrale Leistungsdichte der Phasenschwankungen $S_\phi(\delta f)$	151
7.2.2 Einseitenband-Phasenrauschen $\mathfrak{f}(\delta f)$	152
7.2.3 Spektrale Leistungsdichte der Frequenzschwankungen $S_{\Delta f}(\delta f)$	154
7.2.4 Spektrale Dichte relativer Frequenzschwankungen $S_y(\delta f)$	155
7.2.5 Rest-FM (Residual FM)	156
7.2.6 Frequenzstabilität im Zeitbereich: Allan-Varianz $\sigma_y^2(\tau)$	156
7.2.7 Phasenrauschen und Rauschtemperatur	160
7.3 Phasenrauschmessungen im Hochfrequenzbereich	162
7.3.1 Direkte Meßmethode (Spektralanalysator)	162
7.3.2 Phasendetektor-Methode	165
7.3.3 Frequenzdiskriminator-Methode	172
7.3.4 Vergleich der vorgestellten Meßmethoden	178
7.4 Gepulste Phasenrauschmessungen	179
7.5 AM-Rauschmessungen	180
8 Lineare Netzwerkanalyse	182
8.1 Grundlagen und Meßprinzip	183
8.1.1 Struktur eines Analysators	186
8.1.2 Signalquelle	187
8.1.3 Signaltrennung	187
8.1.4 Empfangstechniken	190
8.1.5 Verarbeitung der Meßwerte und Ausgabeformate	192

8.2 Vektorieller Netzwerkanalysator (VNWA)	194
8.2.1 Aufbau eines VNWAs	194
8.2.2 Frequenzbereichsreflektometrie (FDR)	197
8.2.3 Fehlerkorrektur	204
8.3 Skalarer Netzwerkanalysator (SNWA)	220
8.3.1 Aufbau eines SNWAs	220
8.3.2 Übertragungsmessung	222
8.3.3 Reflexionsmessung	224
9 Antennenmeßtechnik	228
9.1 Kenngrößen einer Antenne	228
9.2 Antennenmeßstrecke und Meßumgebung	234
9.2.1 Die Antennenmeßstrecke	235
9.2.2 Freiraummessungen	240
9.2.3 Der Absorbermeßraum	241
9.2.4 Die kompakte Fernfeld-Meßstrecke	243
9.2.5 Die Nahfeld-Meßstrecke	244
9.3 Messung der Kenngrößen einer Antenne	244
9.3.1 Gewinnmessung	245
9.3.2 Messung der Richtcharakteristik	247
10 Anhang	251
10.1 Signalflußdiagramme	251
10.2 Richtschärfe eines Kopplers bei reflektierender Last	255
10.3 Umrechnung Reflexion - Stehwellenverhältnis	256
10.4 Wichtige Hersteller von Meßgeräten im Hochfrequenz- und Mikrowellenbereich (Stand 1998)	257
Literatur	258
Bildnachweis	261
Sachwortverzeichnis	265