

Rudolf Müller

Rauschen



Mit 188 Abbildungen

Springer-Verlag
Berlin · Heidelberg · New York 1979

Inhaltsverzeichnis

Physikalische Größen	11
Einleitung.	17
1 Beschreibung des Rauschens im Zeitbereich	20
1.1 Das Schwankungsquadrat	21
1.2 Korrelation	22
1.3 Korrelationsfunktion	24
1.4 Autokorrelationsfunktion	25
1.5 Folge identischer, statistisch unabhängiger Impulse	28
1.6 Statistische Übergänge zwischen zwei Zuständen	32
2 Beschreibung des Rauschens im Frequenzbereich	38
2.1 Spektrale Leistungsdichte	38
2.2 Zusammenhang zwischen Autokorrelationsfunktion und spektraler Leistungsdichte	39
2.3 Folge identischer, statisch unabhängiger Impulse	42
2.4 Kreuzspektrum	43
2.5 Schmalbandrauschen	43
3 Thermisches Rauschen	45
3.1 Phänomenologische Beschreibung	45
3.2 Berechnung des thermischen Rauschens nach dem Modell von Drude	47
3.3 Thermisches Rauschen passiver Netzwerke	50
3.4 Obere Frequenzgrenze des thermischen Rauschens	52
3.5 Gültigkeit der Beziehungen für thermisches Rauschen in aktiven Bauelementen	53
3.6 „Heiße“ Elektronen	53
4 Schrotrauschen	60
4.1 Phänomenologische Beschreibung	60

4.2	Leistungsspektrum des Schrotrauschens	61
4.3	„Schrotrauschen“ stromdurchflossener Widerstände	63
5	Generations-Rekombinations-Rauschen	64
5.1	Statistische Schwankungen von Ladungen	64
5.2	Ladungsschwankungen in Eigenleitungs- und Störstellen-Halbleitern	65
5.3	Generations-Rekombinations-Rauschen im Quasi-Gleichgewicht .	71
5.4	Rauschen stromdurchflossener Widerstände	73
5.5	Generations-Rekombinations-Rauschen bei starker Abweichung vom thermischen Gleichgewicht	76
5.6	„ $1/f$ -Rauschen“	78
6	Übertragung von Rauschen über elektrische Netzwerke	81
6.1	Übertragung über lineare Netzwerke	81
6.2	Übertragung über nichtlineare Netzwerke	85
7	Kenngößen rauschender linearer Vierpole	87
7.1	Ersatzschaltbilder	87
7.2	Rauschzahl	89
7.3	Rauschtemperatur	94
7.4	Rauschmaß	94
8	Rauschmeßtechnik	96
8.1	Meßprinzip	96
8.2	Messung der Rauschzahl	97
8.3	Rauschquellen	98
8.4	Korrelationsmeßmethode	100
8.5	Messung der Korrelation	101
8.6	Erforderliche Mindestmeßzeit	102
9	Dioden	105
9.1	Diffusionsbegrenzter Diodenstrom	107
9.2	Dioden mit Generation-Rekombination in der Raumladungszone .	109
9.3	Schottky-Dioden und Tunneldioden	112
9.4	Rauschersatzschaltbild	113
9.5	Rauschzahl eines Diodenmischers	114
9.6	Tunneldiodenverstärker	116
9.7	Parametrischer Verstärker	118
9.8	Gunn-Dioden	119
9.9	Vergleich von Rauschzahlen	122
10	Bipolare Transistoren	123
10.1	Schrotrauschen	123
10.2	Thermisches Rauschen und Ersatzschaltbilder	129

10.3	Generations-Rekombinations-Rauschen ($1/f$ -Rauschen)	130
10.4	Rauschtemperatur eines Transistorverstärkers in Emitterschaltung	131
10.5	Rauschzahl eines Transistorverstärkers in Basisschaltung	135
10.6	Burst-Rauschen	139
11	Feldeffekttransistoren	141
11.1	Qualitative Beschreibung	141
11.2	Thermisches Kanalrauschen	142
11.3	Sperrschicht-FET	153
11.4	MOS-FET	156
11.5	MES-FET	157
11.6	Rauschzahl eines FET-Verstärkers	160
11.7	Betrieb bei tiefen Temperaturen	161
11.8	Ladungsverschiebungselemente	162
12	Empfang optischer Signale	169
12.1	<i>pn</i> -Fotodiode	170
12.2	Betriebsarten optischer Detektoren	172
12.3	Rauschquellen in Fotodetektoren	175
12.4	Schrotrauschen der Fotodiode, Quantenrauschen	177
12.5	Thermisches Rauschen, Verstärkerrauschen	178
12.6	Fotodioden mit internem Gewinn	179
12.7	Rauschersatzschaltbilder der Fotodiode	181
12.8	Signal-Geräusch-Verhältnis optischer Detektoren	181
12.9	NEP-Wert und Detektivität <i>D</i>	184
12.10	Fotoleiter	187
12.11	Mikrowellengepumpte Fotodetektoren	192
12.12	Überlagerungsempfang	196
12.13	Überblick über die erreichten NEP-Werte	198
13	Oszillatorrauschen	199
13.1	Beschreibungsgrößen für Oszillatorrauschen	199
13.2	Messung des Oszillatorrauschens	202
13.3	Vier- und Zweipol-Oszillatormodelle	203
13.4	Oszillatoren mit rascher Amplitudenbegrenzung	206
13.5	Oszillatoren mit langsamer Amplitudenregelung	214
13.6	Modulationsrauschen und Selbstgleichrichtung	216
13.7	Impattoszillatoren	218
13.8	Gunn-Oszillatoren	223
13.9	Laserdioden	224
14	Anhang	226
14.1	Stabilität negativer Widerstände	226

14.2	Zusammenhang zwischen Signal-Geräusch-Verhältnis und Fehlerrate für Digitalsignale	230
14.3	Berechnung der Rauschzahl einer Lawinenfotodiode	231
	Literatur	236
	Sachverzeichnis	245