

Inhalt

1 Thermisches Rauschen (Widerstandsrauschen)	9
1.1 Ursache und Charakter des thermischen Rauschens	9
1.2 Verfügbare Rauschleistung und Rauschbandbreite	10
1.3 Die thermische Rauschspannung	12
1.4 Das Stromrauschen	13
1.5 Blindwiderstände und reelle Widerstände	14
2 Antennenrauschen	15
2.1 What is Noise?	15
2.2 Verschiedene Quellen	15
2.3 Frequenz-, Orts- und Zeitabhängigkeit	15
2.4 Konsequenz für Empfänger	16
3 Elektronisches Rauschen	19
3.1 Das Schrotrauschen	19
3.2 Das Funkelrauschen	19
3.3 Das Influenzrauschen	20
3.4 Eigenrauschen von Bipolartransistoren	20
3.5 Eigenrauschen von Feldeffekttransistoren	22
3.6 Rauschanpassung	25
3.7 Eigenrauschen der Gleichrichterdiode	27
3.8 Halbleiterrauschen im Vergleich	27
3.9 Zener- und Lawinen-Rauschen	29
4 Rauschmaß, Rauschabstand und Empfindlichkeit	30
4.1 Das Rauschmaß	30
4.2 Einfluss von Verstärkung, Bandbreite und Außenbeschaltung	30
4.3 Von der Rauschspannung zur Rauschleistung	31
4.4 Der Rauschabstand	32
4.5 Rauschmaß und Rauschabstand	32
4.6 Die Grenzemfindlichkeit	32
4.7 Von der Grenzemfindlichkeit zum Rauschmaß	33
4.8 Empfindlichkeit – Definitionsmöglichkeiten	33
4.9 Rauschmaßermittlung mit Rauschgenerator	34
4.10 Methodenvergleich	34
5 Rauschgrößen und deren Umrechnung	35
5.1 Einfach und gut: S/N	35
5.2 (S+N)/N – warum?	35
5.3 Mehr zu (S+N)/N und S/R	36
5.4 Signalempfang bei S/R < 0 dB	39
5.5 Der Störabstand: Rauschen inklusive	40
5.6 Die drei Rauschtemperaturen	40
5.7 Spezialfall Antenne	44
6 Weitere Rauschkenngrößen	45
6.1 Der Antennengewinn	45
6.2 Das Gütemaß	46
6.3 Rauschreduzierung durch Parallelschaltung	46
6.4 Gesamtrauschen bei Kettenschaltung	47

6.5 Dämpfungen – Vorsicht, Falle!	50
6.6 Antennen- und Empfängerrauschen	51
6.7 Rauschen und Verstärkung	53
6.8 Rauschgüte und effektives Rauschmaß	53
6.9 Hürde für das Rauschen: die FM-Schwelle	56
7 Zum Rauschen von MMICs, Operationsverstärkern, Puffern und Empfängern	57
7.1 Das Rauschen populärer MMICs	57
7.2 Das Operationsverstärker-Rauschen	58
7.3 Einfluss des Generator-Innenwiderstands	59
7.4 Op-Amp-Berechnungsbeispiel	60
7.5 Operationsverstärker mit hohen Transitfrequenzen	63
7.6 Puffer (auch mit 3 dB)	66
7.7 Zum Eigenrauschen von Empfängern	69
7.8 Besonderheiten bei FM-Empfängern	73
8 Rauscheinfluss bei digitaler Modulation	76
8.1 Digitale Modulationsarten	76
8.2 MER, BER und C/N	76
8.3 Messung von DVB-S-Signalen	77
8.4 Messung von DVB-C-Signalen	77
8.5 Messung von DVB-T-Signalen	77
8.6 Kosmisches Rauschen und Wetter	77
8.7 Hinweise für die Messpraxis	78
8.8 Berechnungsbeispiele	78
8.9 Wichtige Abkürzungen und Begriffe	80
9 Das Rauschen von Oszillatoren und Sendern	81
9.1 Zwei Rauschanteile	81
9.2 Bezeichnungen	81
9.3 Angabe des Oszillatorrauschens	81
9.4 Die Leeson-Formel	82
9.5 Leerlaufgüte, Leeson-Effekt, Amplituden- und Funkelauschen	84
9.6 Vergleich verschiedener Oszillatoren	84
9.7 Rauschkennzeichnung bei Low-Noise-Oszillatoren	84
9.8 So stört das Oszillatorrauschen bei Empfängern	87
9.9 So stört das Oszillatorrauschen bei Sendern	89
10 Praktische Verfahren der Rauschmessung	91
10.1 Messung mit analogem oder digitalem Oszilloskop	91
10.2 Messung mit RMS-Konverter oder RMS-Voltmeter	92
10.3 Empfängerrauschen mit Signalgenerator ermitteln	94
10.4 Rauschmessung mit RMS Detector (Pegelmessung)	95
10.5 Rauschmessung mit Spektrumanalysator	96
10.6 Thermische Leistungsmessung	97
10.7 Messmethoden für das Oszillatorrauschen	98
10.8 Empfänger-Oszillatorrauschen/reziprokes Mischen	104
10.9 Der Rauschgenerator und seine Anwendung	104
10.10 Die Y-Faktor- oder Heiß-kalt-Methode	106
10.11 Die Gain- oder Cold-Noise-Methode	108
10.12 Für schwaches Rauschen: Noise Figure Analyzer	109
10.13 Ein- und Zweiseitenbandmessung	110
10.14 Grundsätzliches zur Messgenauigkeit	110

11 Schaltungen und Tipps für die Praxis 111

 11.1 Z-Diode als Rauschquelle 111

 11.2 Basis-Emitter-Strecke als Rauschquelle 112

 11.3 Empfängerabgleich mit Rauschgenerator 112

 11.4 Rauscharme Linearregler 113

 11.5 Rauschminimierung bei UKW-Antennen 114

 11.5 Rauschunterdrückung im SSB-Empfänger 116

 11.6 Rauschmessung identischer Operationsverstärker 118

 11.7 Vielseitiges modernes Messsystem mit RMS Detector 118

12 Literatur 119

13 Index 121