

Inhaltsverzeichnis

1	Rauschen in elektronischen Schaltungen	1
1.1	Rauscharten	1
1.2	Rauschmechanismen	2
1.2.1	Thermisches Rauschen	2
1.2.2	Schrotrauschen	6
1.2.3	Stromrauschen	7
1.3	Fehler bei linearer und quadratischer Addition durch Vernachlässigung	12
1.3.1	Vernachlässigung kleiner Rauschgrößen	12
1.3.2	Korrelation	13
2	Methoden und Werkzeuge zur Rauschberechnung	15
2.1	Quellenverschiebung	15
2.2	Bodeverfahren	20
2.3	Resonanz und Resonanzüberhöhung im Bode-Diagramm	27
3	Verstärkerrauschen	33
3.1	Die äquivalente Eingangsrauschspannungsquelle	33
3.2	Messung von Rauschspannung u_N und Rauschstrom i_N	35
3.3	Parameter zur Beurteilung des Rauscheinflusses	35
3.3.1	Rauschfaktor F	35
3.3.2	Rauschmaß (Noise Figure) NF	35
3.3.3	Signal-Rausch-Abstand	36
3.4	Der optimale Quellenwiderstand	36
3.5	Dimensionierungsvorgang	38
4	Rauschbegrenzung durch Filter	41
4.1	Rauschbandbreite	41
4.2	Gesamtrauschen bei Serienschaltung mehrerer unabhängiger gleicher Tiefpässe	42

4.3	Die Rauschbandbreite bei Butterworth-Filttern	44
4.4	Berechnung der Ausgangsrauschspannung im gesamten Frequenzbereich	45
4.5	Berechnung der äquivalenten Eingangsrauschspannung in einem definierten Frequenzbereich	46
4.6	Berechnung des Rauschens bei steigenden und fallenden Kennlinien der Frequenzabhängigkeit	48
5	Berechnung der äquivalenten Eingangsrauschquellen	51
5.1	Die äquivalente Eingangsrauschspannungsquelle	51
5.1.1	Rauschen in der Schaltung mit Parallelwiderstand	51
5.1.2	Rauschen in der Schaltung mit Parallel- und Serienwiderstand .	53
5.2	Die äquivalente Eingangsrauschstromquelle	55
5.3	Kapazitive und induktive Sensoren	59
5.3.1	Kapazitive Sensoren	59
5.3.2	Induktive Sensoren	62
5.3.3	Zusammenfassung	65
5.3.4	Schaltung mit drei verschiedenen Bauteilen	68
6	Operationsverstärker	71
6.1	Idealer Operationsverstärker	71
6.1.1	Invertierende Schaltung	71
6.1.2	Nichtinvertierende Schaltung	74
6.1.3	Spannungsfolger	75
6.2	Rauschbetrachtungen bei realen Operationsverstärkern	76
6.2.1	Verschiebung einer Rauschquelle am Ausgang des OP's	77
6.2.2	Schaltung mit Ausgangswiderstand R_o	81
6.2.3	Schaltung mit verändertem Ausgang	83
7	Rauschmechanismen in Transistoren	89
7.1	Transistorrauschen bei mittleren Frequenzen (1 kHz . . . 1 MHz)	89
7.2	Transistorrauschen bei tiefen Frequenzen	95
7.3	Transistorrauschen bei höheren Frequenzen	97
7.4	Transistorrauschen im gesamten Frequenzbereich	99
7.5	Rauschen bei Feldeffekttransistoren	101
7.6	Vergleich Bipolar- und Feldeffekttransistor	105
7.7	Einsatz verschiedener aktiver Bauteile	107
8	Grundschaltungen der Elektronik	109
8.1	Rauschen der Arbeitspunkteinstellung	109
8.2	Emitterschaltung	113
8.2.1	Bestimmung des Gleichstrom-Arbeitspunktes I_C	113
8.2.2	Berechnung der Kleinsignalparameter	116
8.2.3	Rauschen der Emitterschaltung	118
8.3	Sourceschaltung	123

8.3.1	Bestimmung des Gleichstrom-Arbeitspunktes I_D	123
8.3.2	Kleinsignalbetrachtung	125
8.3.3	Rauschen der Sourceschaltung	127
8.4	Kollektorschaltung	127
8.4.1	Bestimmung des Arbeitspunktes	127
8.4.2	Kleinsignalbetrachtung	127
8.4.3	Rauschen der Kollektorschaltung	129
8.5	Basisschaltung	132
8.5.1	Kleinsignalbetrachtung	132
8.5.2	Rauschen der Basisschaltung	134
8.6	Kollektorschaltung mit Bootstrapeffekt	135
8.6.1	Kleinsignalbetrachtung	136
8.6.2	Rauschen der Kollektorschaltung mit Bootstrap	140
8.6.3	Vergleich mit Operationsverstärkerschaltung – Signal	142
8.6.4	Vergleich mit Operationsverstärkerschaltung – Rauschen	143
8.7	Emitterschaltung mit Millereffekt	144
8.7.1	Gleichstrom-Arbeitspunktes I_C	144
8.7.2	Spannungsverstärkung	146
8.7.3	Eingangswiderstand	147
8.7.4	Ausgangswiderstand	147
8.7.5	Rauschen der Emitterschaltung mit Millereffekt	148
8.8	Rauschen in Kaskadenschaltungen	153
8.8.1	Emitter–Emitter–Schaltung	153
8.8.2	Kaskode–Schaltung	154
8.8.3	Kollektor–Emitter–Schaltung	156
8.8.4	Kollektor–Basisschaltung (Differenzverstärker)	158
8.8.5	Schaltungen mit Feldeffekttransistoren	158
9	Sonderschaltungen	159
9.1	Übertrager	159
9.2	Parallel- und Serienschaltungen von elektronischen Bauteilen	159
9.2.1	Widerstände	159
9.2.2	Parallelschaltung von Transistoren	160
9.2.3	Parallelschaltung von Feldeffekttransistoren	164
9.2.4	Parallelschaltung von Operationsverstärkern	164
9.3	Rauschen eines Transistors als Diode	165
9.4	Stromquellen	167
9.4.1	Transistorstromquelle	167
9.4.2	Transistorstromquelle mit Operationsverstärker	175
9.5	Stromspiegel–Schaltungen	177
9.5.1	Einfache Stromspiegel–Schaltung	177
9.5.2	Wilson–Stromspiegel	179
9.5.3	Widlar–Stromspiegel	183

9.5.4 Erweiterte Stromspiegelschaltungen	185
9.6 Zusammenfassung der Ergebnisse der Stromquellen und Stromspiegelschaltungen	188
10 Beispiele	193
10.1 Kapazitiver Sensor-Verstärker	193
10.1.1 Schaltung 1	193
10.1.2 Schaltung 2	200
10.2 Impedanzwandler	207
10.3 Brückenschaltung	210
10.3.1 Berechnung der Spannungsverstärkung	210
10.3.2 Berechnung der Offset-Fehlerspannung am Ausgang	212
10.3.3 Rauschen der Brückenschaltung	215
Anhang A Algemeines	223
A.1 Griechisches Alphabet	223
A.2 SI-Präfixe	223
A.3 Formelzeichen	224
A.4 Schaltsymbole	227
Literaturverzeichnis	231
Sachverzeichnis	233