

Dipl.-Phys. Arvid Breitenbach M. Sc.,
München

Ein Verfahren zur Bestimmung des Signal/Rausch- Verhältnisses von Abstandssensoren

Reihe **8**: Meß-, Steuerungs-
und Regelungstechnik Nr. **697**

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	V
Abkürzungen und Formelzeichen	XI
Einleitung	1
1 Grundlagen	3
1.1 Darstellungsformen zeitkontinuierlicher und -diskreter Signale	3
1.1.1 Zeitkontinuierliche Signale	3
1.1.2 Zeitdiskrete Signale	4
1.1.3 Anteile eines Sensorspektrums	7
1.2 Der Abtastatz	8
1.2.1 Der Abtastvorgang	8
1.2.2 Auswirkungen der Abtastung	10
1.3 Signal/Rausch-Verhältnis und effektive Bitzahl	11
1.3.1 Das Signal/Rausch-Verhältnis	12
1.3.2 Die effektive Bitzahl	13
1.3.3 Die effektive Bitzahl als Kenngröße für Sensoren	14
1.3.4 Besonderheiten der SNR-Bestimmung bei Sensoren	15
2 Ursachen und Phänomenologie von Störeinflüssen	16
2.1 Einteilung	16
2.2 Rauschen	17
2.2.1 Weißes Rauschen	17

2.2.2	$1/f^\alpha$ -Rauschen und andere niederfrequente Anteile	17
2.3	Andere Störeinflüsse im analogen Bereich	19
2.3.1	Oszillatorrauschen	19
2.3.2	Nullpunktsdrift	19
2.3.3	Amplitudendrift	20
2.3.4	Oberwellen	20
2.3.5	Störlinien	20
2.4	Störeinflüsse bei der Abtastung	21
2.4.1	Quantisierungsrauschen	21
2.4.2	Spikes	21
2.4.3	Nichtlinearitäten bei symmetrischer Quantisierung	22
2.4.4	Aperturfehler	24
2.4.5	Aliasing	25
2.5	Störeinflüsse durch Fensterung und Auswertung	25
2.5.1	Auslaufen von Spektrallinien (Leakage)	25
2.5.2	Numerisches Rauschen	29
2.6	Kohärente Abtastung	30
2.6.1	Kohärenzkriterium	30
2.6.2	Repetitive Abtastung	32
2.7	Erscheinungsbild von Sensorspektren	38
3	Auswertungsmethoden	40
3.1	Auswertung im Zeitbereich	40
3.1.1	Verfahrensweise	40
3.1.2	Bestimmung des SNR	40

3.2	Auswertung im Frequenzbereich	41
3.2.1	Auswertung mit Schwellenmethode	42
3.2.2	Linienorientierte Auswertung	43
3.2.3	Differenzspektren	47
3.3	Leakagevermeidung bei inkohärent aufgenommenen Datensätzen	48
3.3.1	Periodenextraktion	48
3.3.2	Hybride Berechnung von Spektren	51
3.4	Anwendungen auf anderen Gebieten	56
3.4.1	Beurteilung von Delta-Sigma-Modulatoren	56
3.4.2	Beurteilung der Kraftregulation der Hand bei klinischen Serienversuchen	56
3.5	Weitere Auswertungsverfahren	57
3.5.1	Korrelationsmessung	57
3.5.2	Standardabweichung eines Scharmittels	58
3.6	Vergleich der Auswertungsmethoden	58
4	Aufzeichnung von Sensordatensätzen	60
4.1	Verhältnis von Sinusfrequenz, Bandbreite und Abtastfrequenz	60
4.2	Veränderung der Abtastfrequenz	61
4.2.1	Durchführung	61
4.2.2	Auswirkungen auf erfaßte Nutzsignal- und Rauschleistungen	64
4.2.3	Beispielspektren	66
4.3	Veränderung anderer Parameter	68
4.3.1	Motivation	68
4.3.2	Sinusamplitude	69
4.3.3	Sinusfrequenz	69

4.3.4	Untersuchte Bandbreite	69
4.4	Weitere Gesichtspunkte	71
4.4.1	Bearbeitung des Datensatzes	71
4.4.2	Zwischenspektren	71
5	Experimenteller Aufbau	72
5.1	ADU	72
5.1.1	Auswahl	72
5.1.2	Das Delta-Sigma-Verfahren	73
5.1.3	Verwendete ADUs	76
5.2	Sensoranregung	77
5.2.1	Mechanischer Weggeber	77
5.2.2	Elektromechanischer Weggeber	80
5.3	Interferometer	83
5.3.1	Funktionsweise	83
5.3.2	Einsatz	84
5.4	Schaltungstechnische Aspekte	84
5.4.1	Signalpfade	84
5.4.2	Abtastsysteme	87
5.5	Vollständige Meßkette	91
5.5.1	Signalpfade	91
5.5.2	Leistungsfähigkeit der Komponenten der Meßkette	92
5.5.3	Einsatzbereich	93

6	Untersuchte Sensoren	94
6.1	Wirbelstromsensor	94
6.1.1	Arbeitsprinzip und Versuchsaufbau	94
6.1.2	Amplitudenabhängigkeit	94
6.1.3	Frequenzabhängigkeit	95
6.1.4	Messungen ohne Anregung	95
6.2	Andere kommerzielle Sensoren	97
6.3	Dehnungsmeßstreifen	98
6.3.1	Vorbereitende Messungen an ohmschen Widerständen	99
6.3.2	Arbeitsprinzip von DMS	100
6.3.3	Meßaufbau	101
6.3.4	Störeinflüsse	103
6.3.5	Messungen	104
6.3.6	Vergleich mit Ergebnissen bei Verwendung einer Trägerfrequenzbrücke	107
6.4	Zusammenfassung der Sensorergebnisse	108
6.4.1	Niederfrequente Anteile bestimmen das SNR	108
6.4.2	Aussteuerungsunabhängigkeit des Sensorrauschens	109
	Anhänge	113
A	Software	113
A.1	Das Softwarepaket MEA	113
A.2	Die Module des Pakets	115
B	Algorithmen zur Sinusanpassung	117
B.1	Anpassung einzelner Sinusfunktionen	117
B.2	Anpassen mehrerer Sinusfunktionen	119

C	Vergleich von Bitzahlen und dB-Werten	121
D	Glossar	122
Index		124
Zitierte Literatur		129