

Inhaltsverzeichnis

1	Schwingungen und deren Messung	1
1.1	Thematik und Anwendung	1
1.2	Definition und Zustandsgrößen	3
1.3	Einteilung von Schwingungen nach deren Zeitverlauf	4
1.4	Einteilung von Schwingungen nach deren Entstehungsmechanismus	6
1.5	Systematisierung der Messaufgaben	8
1.6	Planung und Konzept von Messeinrichtungen	10
	Literatur	12
2	Schwingungen im Zeit- und Frequenzbereich	15
2.1	Harmonische Schwingungen	15
2.2	Zeigerdiagramm	18
2.3	Darstellung im Zeitbereich und Frequenzbereich	22
2.3.1	Begriffe	22
2.3.2	Fourier-Reihe	23
2.3.3	Fourier-Transformation	27
	Literatur	30
3	Freie Schwingungen	31
3.1	Translationsschwingungen	31
3.2	Rotationsschwingungen	33
3.3	Freie gedämpfte Schwingungen	35
	Literatur	42
4	Erzwungene Schwingungen	43
4.1	Federkrafterregung mit konstanter Kraftamplitude	43
4.2	Amplituden- und Phasenfrequenzgang	46
4.3	Übertragungsfunktionen und deren Inverse	50

4.4	Nyquistdiagramm (Ortskurven)	56
4.5	Zusammenstellung verschiedener Übertragungsfunktionen	57
	Literatur	62
5	Schwingungsaufnehmer	63
5.1	Messprinzipie für kinematische Größen	63
5.1.1	Grundlagen	63
5.1.2	Relativaufnehmer	65
5.1.3	Absolutaufnehmer	66
5.2	Auswahl des Aufnehmers und der Messgröße	69
5.3	Darstellung in Frequenzbändern	71
5.4	Pegeldarstellung	72
	Literatur	75
6	Wegaufnehmer	77
6.1	Potenziometrische Wegaufnehmer	77
6.2	Kapazitive Wegaufnehmer	79
6.3	Induktive Wegaufnehmer	80
6.4	Wegaufnehmer nach dem Wirbelstromprinzip	83
6.5	Magnetostriktive Wegaufnehmer	85
6.6	Digitale Wegaufnehmer	86
6.7	Faseroptische Wegaufnehmer	87
6.8	Wegaufnehmer nach dem Lasertriangulationsprinzip	89
6.9	Videografische Verfahren	90
	Literatur	94
7	Schnelleaufnehmer (Schwinggeschwindigkeitsaufnehmer)	95
7.1	Elektrodynamische Schnelleaufnehmer	95
7.2	Elektromagnetische Schnelleaufnehmer	98
7.3	Laser-Doppler-Vibrometrie	99
	Literatur	104
8	Beschleunigungsaufnehmer	105
8.1	Piezoelektrische Beschleunigungsaufnehmer	105
8.1.1	Der piezoelektrische Effekt	105
8.1.2	Bauformen	107
8.1.3	Signalaufbereitung	112
8.1.4	Frequenzgänge und Messbereiche	118
8.1.5	Einflussgrößen auf die Messung mit piezoelektrischen Beschleunigungsaufnehmer	122
8.1.6	Befestigung piezoelektrischer Beschleunigungsaufnehmer	125
8.1.7	Auswahl piezoelektrischer Beschleunigungsaufnehmer	134

8.2	DMS-Beschleunigungsaufnehmer	137
8.3	Kapazitive Beschleunigungsaufnehmer	138
8.4	Piezoresistive Beschleunigungsaufnehmer	139
8.5	Beschleunigungsaufnehmer nach dem Servoprinzip	141
8.6	Kalibrierung von Beschleunigungsaufnehmern	142
	Literatur	143
9	Deformatorische Aufnehmer	145
9.1	Dehnungsmessstreifen	145
9.1.1	Aufbau und Funktionsweise	145
9.1.2	Einflussgrößen auf die Messung mit DMS	150
9.1.3	Viertelbrückenschaltung	152
9.1.4	Halbbrückenschaltung	155
9.1.5	Vollbrückenschaltung	156
9.1.6	Trägerfrequenz- und Gleichspannungs-Messverstärker	158
9.1.7	Applikation und Kalibrierung	161
9.1.8	Messung einachsiger Spannungszustände mittels DMS	164
9.2	Messprinzip von Kraft- und Momentenaufnehmern	173
9.3	DMS-Kraft- und Momentenaufnehmer	178
9.4	Piezoelektrische Kraft- und Momentenaufnehmer	186
9.5	Magnetoelastische Kraft- und Momentenaufnehmer	188
9.6	Mehrkomponentenaufnehmer	191
9.7	Einbau von Kraft- und Momentenaufnehmern	195
	Literatur	198
10	Signalverarbeitung	201
10.1	Signalfluss und Gerätefunktionen	201
10.2	Messverstärker	203
10.3	Elektromagnetische Beeinflussung der Messkette	209
10.3.1	Ursachen	209
10.3.2	Abhilfemaßnahmen	212
10.4	Kalibrierung und Plausibilitätsprüfung der Messkette	219
10.4.1	Methoden zur Kalibrierung der Messkette	219
10.4.2	Kennlinie, Offset und Übertragungskoeffizient	223
10.4.3	Signalpfadverfolgung und Fehlersuche in Messketten	231
10.5	TEDS (Transducer Electronic Data Sheet)	234
10.6	Filter	237
10.6.1	Aufgaben und Funktion von Filtern	237
10.6.2	Übertragungsfunktion	239
10.6.3	Einschwingverhalten	244
10.6.4	Filterauswahl	246

10.7	Analog-Digital-Wandlung	248
10.7.1	Digitale Messtechnik	248
10.7.2	Quantisierung	249
10.7.3	Abtastung	253
10.7.4	Technische Umsetzung in A/D-Wandlern	256
10.8	Telemetrische Signalübertragung	262
	Literatur	267
11	MATLAB® und Datenformate eine Einführung	269
11.1	MATLAB® nach dem Start	269
11.2	MATLAB® Hilfe	270
11.3	MATLAB® Datentyp struct	271
11.4	Diagramme erstellen	273
11.5	Datenformate für Mess- und Metadaten	282
11.5.1	Mathworks *.mat Dateien	282
11.5.2	Audiodatenformat – WAV	282
11.5.3	Komma – separierte Werte – CSV	283
11.5.4	Universal Daten Format – UFF	288
11.5.5	ASAM ODS Format – ATF/ATFX	296
	Literatur	297
12	Messen mit MATLAB®	299
12.1	Messen mit der OnBoard-Soundkarte	300
12.1.1	Messen mit der OnBoard-Soundkarte und etwas Bedienungskomfort	302
12.2	Data Acquisition Toolbox™	305
12.2.1	Data Acquisition Toolbox™ und verbesserter Bedienungskomfort	308
12.2.2	Data Acquisition Toolbox™ – Standardaufgaben	316
12.2.3	Instrument Control Toolbox™ – HP-IB	321
12.3	Data Acquisition Toolbox™ in Verbindung mit Professional Audio Hardware	324
12.4	Mit der Data Acquisition Toolbox™ Signale generieren	330
12.5	MATLAB GUI – Grafische Oberfläche	341
12.5.1	Grafische Oberfläche erstellen	341
12.5.2	Funktionen den Elementen der grafischen Oberfläche zuordnen	345
12.6	Messprozess – ein variabler Datenlogger	353
12.6.1	Messprozess – Dokumentation	354
12.6.2	Messprozess – Messung	358
	Literatur	372

13 Raspberry Pi als Messgerät	373
13.1 Raspberry Pi	373
13.2 Digital IO	377
13.3 Spannungsmessung mit dem A/D-Wandler ads1015	381
13.4 Drehzahlmessung via Interrupt an Digital IO	384
13.5 Brückenschaltung mit Gleichspannungs-Messverstärker	390
Literatur	396
14 Verfahren und Beispiele zur Signalanalyse	397
14.1 Aufgaben und Methoden der Signalanalyse	397
14.2 Signalanalyse im Zeitbereich	398
14.2.1 Effektivwert, Leistung, Mittelwert und verwandte Größen	398
14.2.2 Anwendungsbeispiele: Effektivwert, Leistung, Mittelwert und verwandte Größen	403
14.2.3 Hüllkurven	406
14.2.4 Crestfaktor	412
14.2.5 Autokorrelation und Kreuzkorrelation	414
14.2.6 1/n-Oktav-Bandpassfilterung	417
14.3 Signalanalyse im Häufigkeitsbereich	425
14.3.1 Amplitudendichte	425
14.3.2 Zählverfahren	427
14.4 Signalanalyse im Frequenzbereich	435
14.4.1 Fourier-Transformation – FFT oder DFT?	435
14.4.2 Grundlagen zur Diskreten-Fourier-Transformation	436
14.4.3 Aliasing	445
14.4.4 Zusammenhänge zwischen den DFT-Parametern	446
14.4.5 Leakage und Fensterfunktionen	450
14.4.6 Triggerung	461
14.4.7 Mittelung und Überlappung	463
14.4.8 Spektrale Größen	467
14.4.9 Achsenskalierung	474
14.4.10 Differenzieren und Integrieren	477
14.4.11 Praxisgerechte Einstellungen für Orientierungsmessungen	479
14.4.12 Praktische Umsetzung in MATLAB® mit Testsignalen	482
14.4.13 Spektrale Größen in MATLAB®	499
14.4.14 Modulationsanalyse	500
14.5 Übertragungsfunktion	506
Literatur	518

15 Experimentelle Modalanalyse	521
15.1 Annahmen und Begriffserklärungen	522
15.2 Zusammenfassung der analytischen Grundlagen der Modalanalyse. . .	524
15.3 Operative Durchführung der experimentellen Modalanalyse	529
15.3.1 Lagerung	531
15.3.2 Objektanregung mittels Impulshammer.	531
15.3.3 Objektanregung mittels Shaker	535
15.4 Auswertung der experimentellen Modalanalyse in MATLAB®	535
15.4.1 Auswertung von Messungen mit Impulshammeranregung . . .	535
15.4.2 Auswertung von Messungen mit Shaker-Anregung	546
Literatur.	550
Stichwortverzeichnis	551