

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Schwingungen und deren Messung</b>	1
1.1	Thematik und Anwendung	1
1.2	Definition und Zustandsgrößen	3
1.3	Einteilung von Schwingungen nach deren Zeitverlauf	3
1.4	Einteilung von Schwingungen nach deren Entstehungsmechanismus	6
	Literatur	8
<b>2</b>	<b>Messaufgabe und deren Realisierung</b>	9
2.1	Systematisierung der Messaufgaben	9
2.2	Planung und Konzept von Messeinrichtungen	11
	Literatur	13
<b>3</b>	<b>Schwingungen im Zeit- und Frequenzbereich</b>	15
3.1	Harmonische Schwingungen	15
3.2	Zeigerdiagramm	18
3.3	Darstellung im Zeitbereich und Frequenzbereich	22
3.3.1	Begriffe	22
3.3.2	Fourier-Reihe	23
3.3.3	Fourier-Transformation	27
	Literatur	30
<b>4</b>	<b>Freie Schwingungen</b>	31
4.1	Translationsschwingungen	31
4.2	Rotationsschwingungen	33
4.3	Freie gedämpfte Schwingungen	35
	Literatur	42
<b>5</b>	<b>Erzwungene Schwingungen</b>	43
5.1	Federkrafterregung mit konstanter Kraftamplitude	43
5.2	Amplituden- und Phasenfrequenzgang	46
5.3	Übertragungsfunktionen und deren Inverse	50
5.4	Nyquistdiagramm (Ortskurven)	52

---

5.5	Zusammenstellung verschiedener Übertragungsfunktionen . . . . .	57
	Literatur . . . . .	62
<b>6</b>	<b>Schwingungsaufnehmer . . . . .</b>	<b>63</b>
6.1	Messprinzip für kinematische Größen . . . . .	63
6.1.1	Grundlagen . . . . .	63
6.1.2	Relativaufnehmer . . . . .	65
6.1.3	Absolutaufnehmer . . . . .	67
6.2	Auswahl des Aufnehmers und der Messgröße . . . . .	69
6.3	Darstellung in Frequenzbändern . . . . .	71
6.4	Pegeldarstellung . . . . .	72
	Literatur . . . . .	75
<b>7</b>	<b>Wegaufnehmer . . . . .</b>	<b>77</b>
7.1	Potenziometrische Wegaufnehmer . . . . .	77
7.2	Kapazitive Wegaufnehmer . . . . .	79
7.3	Induktive Wegaufnehmer . . . . .	80
7.4	Wegaufnehmer nach dem Wirbelstromprinzip . . . . .	83
7.5	Magnetostriktive Wegaufnehmer . . . . .	84
7.6	Wegaufnehmer nach dem Lasertriangulationsprinzip . . . . .	85
7.7	Videographische Verfahren . . . . .	86
	Literatur . . . . .	90
<b>8</b>	<b>Schnelleaufnehmer (Schwinggeschwindigkeitsaufnehmer) . . . . .</b>	<b>93</b>
8.1	Elektrodynamische Schnelleaufnehmer . . . . .	93
8.2	Elektromagnetische Schnelleaufnehmer . . . . .	95
8.3	Laser-Doppler-Vibrometrie . . . . .	96
	Literatur . . . . .	100
<b>9</b>	<b>Beschleunigungsaufnehmer . . . . .</b>	<b>101</b>
9.1	Piezoelektrische Beschleunigungsaufnehmer . . . . .	101
9.1.1	Der piezoelektrische Effekt . . . . .	101
9.1.2	Bauformen . . . . .	103
9.1.3	Signalaufbereitung . . . . .	108
9.1.4	Frequenzgänge und Messbereiche . . . . .	114
9.1.5	Einflussgrößen auf die Messung mit piezoelektrischen Beschleunigungsaufnehmern . . . . .	118
9.1.6	Befestigung piezoelektrischer Beschleunigungsaufnehmer . . . . .	121
9.1.7	Auswahl piezoelektrischer Beschleunigungsaufnehmer . . . . .	128
9.2	DMS-Beschleunigungsaufnehmer . . . . .	132
9.3	Kapazitive Beschleunigungsaufnehmer . . . . .	133
9.4	Piezoresistive Beschleunigungsaufnehmer . . . . .	135
9.5	Beschleunigungsaufnehmer nach dem Servoprinzip . . . . .	136

9.6	Kalibrierung von Beschleunigungsaufnehmern . . . . .	137
Literatur . . . . .		138
<b>10</b>	<b>Deformatorische Aufnehmer . . . . .</b>	<b>141</b>
10.1	Dehnungsmessstreifen . . . . .	141
10.1.1	Aufbau und Funktionsweise . . . . .	141
10.1.2	Einflussgrößen auf die Messung mit DMS . . . . .	146
10.1.3	Viertelbrückenschaltung . . . . .	148
10.1.4	Halbbrückenschaltung . . . . .	151
10.1.5	Vollbrückenschaltung . . . . .	152
10.1.6	Trägerfrequenz- und Gleichspannungs-Messverstärker . . . . .	154
10.1.7	Applikation und Kalibrierung . . . . .	157
10.1.8	Messung einachsiger Spannungszustände mittels DMS . . . . .	160
10.2	Messprinzip von Kraft- und Momentenaufnehmern . . . . .	169
10.3	DMS-Kraft- und Momentenaufnehmer . . . . .	174
10.4	Piezoelektrische Kraft- und Momentenaufnehmer . . . . .	182
10.5	Magnetoelastische Kraft- und Momentenaufnehmer . . . . .	184
10.6	Mehrkomponentenaufnehmer . . . . .	187
10.7	Einbau von Kraft- und Momentenaufnehmern . . . . .	191
Literatur . . . . .		194
<b>11</b>	<b>Signalverarbeitung . . . . .</b>	<b>197</b>
11.1	Signalfluss und Gerätefunktionen . . . . .	197
11.2	Messverstärker . . . . .	199
11.3	Elektromagnetische Beeinflussung der Messkette . . . . .	204
11.3.1	Ursachen . . . . .	204
11.3.2	Abhilfemaßnahmen . . . . .	207
11.4	Kalibrierung und Plausibilitätsprüfung der Messkette . . . . .	214
11.4.1	Methoden zur Kalibrierung der Messkette . . . . .	214
11.4.2	Kennlinie, Offset und Übertragungskoeffizient . . . . .	217
11.4.3	Signalpfadverfolgung und Fehlersuche in Messketten . . . . .	226
11.5	TEDS (Transducer Electronic Data Sheet) . . . . .	229
11.6	Filter . . . . .	231
11.6.1	Aufgaben und Funktion von Filtern . . . . .	231
11.6.2	Übertragungsfunktion . . . . .	233
11.6.3	Einschwingverhalten . . . . .	238
11.6.4	Filterauswahl . . . . .	240
11.7	Analog-Digital-Wandlung . . . . .	242
11.7.1	Digitale Messtechnik . . . . .	242
11.7.2	Quantisierung . . . . .	243
11.7.3	Abtastung . . . . .	247
11.7.4	Technische Umsetzung in A/D-Wandlern . . . . .	250

---

11.8 Telemetrische Signalübertragung . . . . .	256
Literatur . . . . .	261
<b>12 Verfahren und Beispiele zur Signalanalyse . . . . .</b>	<b>263</b>
12.1 Aufgaben und Methoden der Signalanalyse . . . . .	263
12.2 Signalanalyse im Zeitbereich . . . . .	264
12.2.1 Effektivwert, Leistung, Mittelwert und verwandte Größen . . . . .	264
12.2.2 Autokorrelation und Kreuzkorrelation . . . . .	267
12.3 Signalanalyse im Häufigkeitsbereich . . . . .	271
12.3.1 Amplitudendichte . . . . .	271
12.3.2 Zählverfahren . . . . .	274
12.4 Diskrete Fourier-Transformation (DFT) . . . . .	279
12.4.1 Grundlagen und Fast Fourier Transformation (FFT) . . . . .	279
12.4.2 Aliasing . . . . .	288
12.4.3 Zusammenhänge zwischen den FFT-Parametern . . . . .	290
12.4.4 Leakage und Fensterfunktionen . . . . .	293
12.4.5 Triggerung . . . . .	304
12.4.6 Mittelung und Überlappung . . . . .	305
12.4.7 Spektrale Größen . . . . .	310
12.4.8 Achsenkalierung . . . . .	317
12.4.9 Differenzieren und Integrieren . . . . .	320
12.4.10 Praxisgerechte Einstellungen für Orientierungsmessungen . . . . .	322
12.5 Übertragungsfunktion . . . . .	325
Literatur . . . . .	334
<b>Sachverzeichnis . . . . .</b>	<b>337</b>