

Horst Irretier

# Grundlagen der Schwingungstechnik 1

Kinematik, Modellbildung,  
Systeme mit einem Freiheitsgrad

Mit 138 Abbildungen



vieweg

# Inhaltsverzeichnis

<b>0</b>	<b>Einleitung</b> .....	1
<b>1</b>	<b>Kinematik von Schwingungen</b> .....	5
1.1	Harmonische Schwingungen .....	6
1.2	Gedämpfte Schwingungen .....	14
1.2.1	Exponentiell gedämpfte Schwingungen .....	15
1.2.2	Linear gedämpfte Schwingungen.....	23
1.3	Modulierte Schwingungen .....	25
1.3.1	Amplitudenmodulation .....	25
1.3.2	Phasenmodulation .....	28
1.3.3	Amplituden- und Frequenzmodulation; Schwebung .....	29
1.4	Periodische Schwingungen .....	33
1.5	Nichtperiodische Schwingungen .....	39
<b>2</b>	<b>Modellbildungen in der Schwingungstechnik</b> .....	47
2.1	Elemente mechanischer Schwingungssysteme .....	50
2.1.1	Elemente diskreter Systeme .....	51
2.1.1.1	Die Feder .....	51
2.1.1.2	Die Masse .....	57
2.1.1.3	Der Dämpfer .....	59
2.1.2	Elemente kontinuierlicher Systeme.....	62
2.1.2.1	Eindimensionale Kontinua .....	62
2.1.2.1.1	Die Saite .....	63
2.1.2.1.2	Der Stab .....	64
2.1.2.1.3	Die Welle .....	65
2.1.2.1.4	Der Balken .....	66
2.1.2.2	Zweidimensionale Kontinua .....	66
2.1.2.2.1	Die Membran .....	67
2.1.2.2.2	Die Scheibe .....	67
2.1.2.2.3	Die Platte .....	68
2.1.2.2.4	Die Schale .....	70
2.1.2.3	Einbeziehung von Dämpfung .....	71
2.2	Aufstellen von Bewegungsgleichungen .....	75
2.2.1	Ausgangs- und Momentanzustand .....	75

2.2.2	Schnittprinzip und Freikörperbild .....	76
2.2.3	Impulssatz und Drallsatz .....	77
<b>3</b>	<b>Schwingungen linearer Systeme mit einem Freiheitsgrad .....</b>	<b>83</b>
3.1	Freie, ungedämpfte Schwingungen .....	85
3.1.1	Mechanische Modelle und ihre Bewegungsgleichungen .....	85
3.1.1.1	Feder-Masse-System .....	85
3.1.1.2	Drehfeder-Masse-System (Drehschwinger) .....	87
3.1.1.3	Physikalisches Pendel .....	87
3.1.1.4	Mathematisches Pendel .....	89
3.1.2	Lösung der Bewegungsgleichungen .....	90
3.1.3	Anfangsbedingungen .....	92
3.1.4	Energiebetrachtungen .....	93
3.2	Freie, gedämpfte Schwingungen .....	98
3.2.1	Viskose Dämpfung .....	98
3.2.1.1	Mechanische Modelle und ihre Bewegungsgleichungen .....	98
3.2.1.2	Lösung der Bewegungsgleichungen, Anfangsbedingungen, Energiebetrachtungen .....	100
3.2.2	Dämpfung durch trockene Reibung .....	106
3.2.3	Strukturelle Dämpfung .....	110
3.3	Erzwungene Schwingungen .....	111
3.3.1	Mechanische Modelle und ihre Bewegungsgleichungen .....	112
3.3.1.1	Krafterregung .....	112
3.3.1.2	Federfußpunkterregung .....	113
3.3.1.3	Dämpferfußpunkterregung .....	114
3.3.1.4	Feder- und Dämpferfußpunkterregung .....	115
3.3.1.5	Erregungen über Zusatzelemente .....	115
3.3.1.6	Massenkrafterregung .....	116
3.3.2	Allgemeine Lösung der Bewegungsgleichungen .....	118
3.3.3	Sprung- und impulsförmige Anregung .....	119
3.3.3.1	Sprunganregung .....	121
3.3.3.2	Impulsanregung .....	125
3.3.4	Harmonische Anregung .....	131
3.3.4.1	Bewegungsgleichungen und deren Lösung .....	131
3.3.4.2	Einschwingvorgang und eingeschwungener Zustand .....	136
3.3.4.3	Der Frequenzgang .....	138
3.3.4.3.1	Betrag und Phase: Verzerrungs- und Phasenfunktion .....	140
3.3.4.3.2	Ortskurve .....	148

3.3.4.3.3 Real- und Imaginärteil .....	151
3.3.4.4 Leistungs- und Energiebetrachtungen .....	154
3.3.4.5 Resonanznähe und Resonanz .....	158
3.3.4.6 Resonanzdurchgang .....	160
3.3.4.7 Einfluss des Dämpfungsgesetzes; Strukturdämpfung .....	164
3.3.5 Periodische Anregung .....	167
3.3.5.1 Bewegungsgleichungen und deren Lösung .....	167
3.3.5.2 Erreger- und Antwortspektrum .....	170
3.3.6 Nichtperiodische Anregung .....	172
3.3.6.1 Lösung im Zeitbereich: Faltungsintegral .....	173
3.3.6.2 Lösung im Frequenzbereich: Erreger- und Antwortspektrum .....	175
3.3.7 Technische Anwendungen .....	180
3.3.7.1 Rotierende Körper und Wellen .....	180
3.3.7.2 Schwingungsisolierung von Maschinen und Geräten .....	186
3.3.7.2.1 Aktive Isolierung .....	186
3.3.7.2.2 Passive Isolierung .....	191
3.3.7.3 Seismische Bewegungsaufnehmer .....	192
3.3.7.4 Geregelter Schwingungssysteme .....	196

<b>Anhang A Mathematische Umformungen .....</b>	<b>201</b>
---	------------

<b>Anhang B Beispiele .....</b>	<b>231</b>
---------------------------------	------------

<b>Literaturverzeichnis .....</b>	<b>273</b>
-----------------------------------	------------

<b>Sachwortverzeichnis .....</b>	<b>279</b>
----------------------------------	------------