

Horst Irretier

Grundlagen der Schwingungstechnik 1

Kinematik, Modellbildung,
Systeme mit einem Freiheitsgrad

Mit 138 Abbildungen



Inhaltsverzeichnis

0	Einleitung	1
1	Kinematik von Schwingungen	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
2	Modellbildungen in der Schwingungstechnik	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
3	Schwingungen linearer Systeme mit einem Freiheitsgrad	83
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 Geregelte Schwingungssysteme	196

Anhang A Mathematische Umformungen	201
---	------------

Anhang B Beispiele	231
---------------------------------	------------

Literaturverzeichnis	273
-----------------------------------	------------

Sachwortverzeichnis	279
----------------------------------	------------