

Inhalt

Vorwort	5
1 Grundbegriffe und Darstellungsmittel	13
1.1 Schwingungen und ihre Bestimmungsstücke	13
1.2 Das Ausschlag-Zeit-Diagramm (x, t -Bild)	14
1.3 Vektorbild und komplexe Darstellung	17
1.4 Phasenkurven und Phasenporträt	22
1.5 Übergangsfunktion, Frequenzgang und Ortskurve	27
1.6 Möglichkeiten einer Klassifikation von Schwingungen	31
2 Freie Schwingungen	35
2.1 Ungedämpfte freie Schwingungen	35
2.1.1 Verschiedene Arten von Schwingern und ihre Differentialgleichungen	35
2.1.2 Das Verhalten linearer Schwinger	47
2.1.3 Das Verhalten nichtlinearer Schwinger	56
2.2 Gedämpfte freie Schwingungen	76
2.2.1 Berücksichtigung dämpfender Einflüsse	76
2.2.2 Der lineare Swinger	79
2.2.3 Nichtlineare Schwinger	91
2.3 Aufgaben	101
3 Selbsterregte Schwingungen	104
3.1 Aufbau und Wirkungsweise selbsterregungsfähiger Systeme . .	104
3.1.1 Swinger- und Speicher-Typ	104
3.1.2 Energiehaushalt und Phasenporträt	108
3.2 Berechnungsverfahren	112
3.2.1 Allgemeine Verfahren	113
3.2.2 Berechnung mit linearisierten Ausgangsgleichungen	114
3.2.3 Das Verfahren von Ritz und Galerkin	118
3.2.4 Die Methode der langsam veränderlichen Amplitude	120
3.3 Beispiele von Schwingern mit Selbsterregung	123

10 Inhalt

3.3.1	Das Uhrenpendel	123
3.3.2	Der Röhren-Generator	129
3.3.3	Reibungsschwingungen	131
3.4	Kippschwingungen	137
3.4.1	Beispiele von Kippschwing-Systemen	137
3.4.2	Schwingungen in einem Relaisregelkreis	141
3.5	Aufgaben	145
4	Parametererregte Schwingungen	147
4.1	Beispiele von Schwingern mit Parametererregung	148
4.1.1	Das Schwerependel mit periodisch bewegtem Aufhängepunkt .	148
4.1.2	Schwingungen in Kupplungsstangen-Antrieben	149
4.1.3	Der elektrische Schwingkreis mit periodischen Parametern .	150
4.1.4	Nachbarbewegungen stationärer Schwingungen	150
4.1.5	Das ebene Fadenpendel mit veränderlicher Pendellänge . .	151
4.2	Berechnung eines Schaukelschwingers	152
4.2.1	Das Anwachsen der Amplituden	153
4.2.2	Der Einfluß von Dämpfung und Reibung	156
4.3	Parametererregte Schwingungen in linearen Systemen	158
4.3.1	Allgemeine mathematische Zusammenhänge	158
4.3.2	Das Verhalten von Schwingern, die einer Mathieuschen Differentialgleichung genügen	161
4.3.3	Methoden zur näherungsweisen Berechnung	166
4.4	Der Schaukelschwinger mit Parametererregung	168
4.5	Aufgaben	169
5	Erzwungene Schwingungen	171
5.1	Die Reaktion linearer Systeme auf nichtperiodische äußere Erregungen	172
5.1.1	Übergangsfunktionen bei Erregung durch eine Sprungfunktion	172
5.1.2	Übergangsfunktionen bei Erregung durch eine Stoßfunktion .	175
5.1.3	Allgemeine Erregerfunktionen	176
5.2	Periodische Erregungen in linearen Systemen	179
5.2.1	Harmonische Erregerfunktionen	180
5.2.2	Allgemein periodische Erregung; Lösung mit Hilfe der Fourier-Zerlegung	199
5.2.3	Allgemein periodische Erregung; das Anstückelverfahren . .	201
5.3	Anwendungen der Resonanztheorie	204
5.3.1	Schwingungsmeßgeräte	204

5.3.2	Schwingungsisolierung von Maschinen und Geräten	210
5.4	Erzwungene Schwingungen von nichtlinearen Schwingern	215
5.4.1	Problemstellung und Lösungsmöglichkeiten	216
5.4.2	Harmonische Erregung eines ungedämpften Schwingers mit unstetiger Kennlinie	219
5.4.3	Harmonische Erregung von gedämpften nichtlinearen Schwingern	226
5.4.4	Oberschwingungen, Kombinationsfrequenzen und Unterschwingungen	234
5.4.5	Gleichrichterwirkungen	237
5.4.6	Erzwungene Schwingungen in selbsterregungsfähigen Systemen	238
5.5	Aufgaben	243
6	Koppelschwingungen	245
6.1	Schwinger mit zwei Freiheitsgraden	245
6.1.1	Freie Schwingungen eines ungedämpften linearen Koppelschwingers	246
6.1.2	Eigenschwingungen und Hauptkoordinaten	249
6.1.3	Eigenfrequenzen als Extremwerte eines Energieausdruckes . .	253
6.1.4	Das Schwerependel mit elastischem Faden	255
6.1.5	Das Körperpendel mit drehbarer Platte	258
6.1.6	Erzwungene Schwingungen eines linearen Koppelschwingers .	260
6.2	Lineare Schwingungssysteme mit endlich vielen Freiheitsgraden	263
6.2.1	Freie ungedämpfte Schwingungen	264
6.2.2	Eigenschwingungen und Hauptkoordinaten	268
6.2.3	Schwingerketten	271
6.2.4	Freie gedämpfte Schwingungen	277
6.2.5	Erzwungene Schwingungen	281
6.2.6	Allgemeine Schwingungssysteme	284
6.3	Verfahren zur Schwingungsanalyse am Beispiel einer Drehschwingerkette	286
6.3.1	Restgrößenverfahren	289
6.3.2	Übertragungsmatrizen-Verfahren	292
6.3.3	Methode der finiten Elemente	296
6.4	Aufgaben	299
7	Kontinuumsschwingungen	302
7.1	Saite, Dehn- und Torsionsstab	302
7.1.1	Bewegungsgleichungen für freie, ungedämpfte Schwingungen .	302

12 Inhalt

7.1.2	Lösung der Wellengleichung	307
7.2	Balken	311
7.2.1	Bewegungsgleichung für freie, ungedämpfte Balkenschwingungen	311
7.2.2	Lösung der Differentialgleichung für Balkenschwingungen	314
7.2.3	Beispiele für allgemeinere Balkenprobleme	317
7.3	Zusammenfassung und Erweiterungen auf gedämpfte und erzwungene Schwingungen	322
7.3.1	Freie gedämpfte Schwingungen	326
7.3.2	Erzwungene Schwingungen	327
7.4	Näherungsverfahren	331
7.4.1	Diskretisierungsverfahren	331
7.4.2	Schrankenverfahren	338
7.5	Aufgaben	344
8	Chaotische Bewegungen	346
8.1	Zeitdiskrete Systeme	347
8.1.1	Die logistische Abbildung	347
8.1.2	Konzept und Anwendung der Poincaré-Abbildung	355
8.2	Zeitkontinuierliche Systeme	359
8.2.1	Konservative Systeme	360
8.2.2	Homokline Punkte und die Methode von Melnikov	362
8.2.3	Dissipative Systeme und Attraktoren	365
8.2.4	Merkmale regulärer und chaotischer Bewegungen	367
8.3	Beispiele	373
8.3.1	Der Reibungsschwinger mit Fremderregung	373
8.3.2	Der Duffing-Schwinger	382
Lösungen der Aufgaben		387
Literaturverzeichnis		394
Sachverzeichnis		397