

# Inhalt

<b>1</b>	<b>Grundbegriffe und Darstellungsmittel</b>	<b>1</b>
1.1	Grundbegriffe	1
1.2	Das Ausschlag-Zeit-Diagramm ( $x, t$ -Bild)	2
1.3	Vektorbild und komplexe Darstellung	4
1.4	Phasenkurven und Phasenporträt	8
1.5	Übergangsfunktion, Frequenzgang und Ortskurve	12
1.6	Möglichkeiten einer Klassifikation von Schwingungen	16
<b>2</b>	<b>Freie Schwingungen</b>	<b>18</b>
2.1	Ungedämpfte freie Schwingungen	18
2.1.1	Verschiedene Arten von Schwingern und ihre Differentialgleichungen	18
2.1.1.1	Feder-Masse-Pendel	18
2.1.1.2	Der elektrische Schwingkreis	20
2.1.1.3	Flüssigkeit im U-Rohr	22
2.1.1.4	Drehschwinger	22
2.1.1.5	Schwerependel	24
2.1.2	Das Verhalten linearer Schwinger	28
2.1.2.1	Lösungen der Differentialgleichung	28
2.1.2.2	Energiebeziehungen	31
2.1.2.3	Der Einfluss der Federmasse	32
2.1.2.4	Bestimmung der Frequenz aus dem Biegepfeil	34
2.1.3	Das Verhalten nichtlinearer Schwinger	35
2.1.3.1	Allgemeine Zusammenhänge	35
2.1.3.2	Das ebene Schwebpendel	38
2.1.3.3	Anwendungen des Schwebpendels	41
2.1.3.4	Schwinger mit stückweise linearer Rückföhrfunktion	43
2.1.3.5	Näherungsmethoden	46
2.2	Gedämpfte freie Schwingungen	50
2.2.1	Berücksichtigung dämpfender Einflüsse	50
2.2.2	Der lineare Schwinger	52
2.2.2.1	Reduktion der allgemeinen Gleichung	52
2.2.2.2	Lösung der Bewegungsgleichungen	53
2.2.2.3	Das Zeitverhalten der Lösungen	55
2.2.2.4	Das Phasenporträt	59
2.2.3	Nichtlineare Schwinger	61
2.2.3.1	Der allgemeine Fall	61
2.2.3.2	Dämpfung durch Festreibung	62
2.2.3.3	Quadratische Dämpfungskräfte	65
2.2.3.4	Näherungen für den Fall geringer Dämpfung	68
2.3	Aufgaben	70
<b>3</b>	<b>Selbsterregte Schwingungen</b>	<b>72</b>
3.1	Aufbau und Wirkungsweise selbsterregungsfähiger Systeme	72
3.1.1	Schwinger- und Speicher-Typ	72
3.1.2	Energiehaushalt und Phasenporträt	75

3.2	Berechnungsverfahren .....	78
3.2.1	Allgemeine Verfahren .....	78
3.2.2	Berechnung mit linearisierten Ausgangsgleichungen.....	79
3.2.3	Das Verfahren von Ritz und Galerkin .....	82
3.2.4	Die Methode der langsam veränderlichen Amplitude .....	84
3.3	Beispiele von Schwingern mit Selbsterregung .....	86
3.3.1	Das Uhrenpendel .....	86
3.3.1.1	Stoßerregung und lineare Dämpfung .....	86
3.3.1.2	Stoßerregung und Festreibung .....	89
3.3.2	Der Röhren-Generator .....	90
3.3.3	Reibungsschwingungen .....	92
3.4	Kippschwingungen .....	96
3.4.1	Beispiele von Kippschwing-Systemen .....	97
3.4.2	Schwingungen in einem Relaisregelkreis .....	99
3.5	Aufgaben.....	102
<b>4</b>	<b>Parametererregte Schwingungen .....</b>	<b>104</b>
4.1	Beispiele von Schwingern mit Parametererregung .....	104
4.1.1	Das Schwerependel mit periodisch bewegtem Aufhängepunkt.....	104
4.1.2	Schwingungen in Kupplungsstangen-Antrieben .....	105
4.1.3	Der elektrische Schwingkreis mit periodischen Parametern .....	106
4.1.4	Nachbarbewegungen stationärer Schwingungen.....	106
4.1.5	Das ebene Fadenpendel mit veränderlicher Pendellänge .....	107
4.2	Berechnung eines Schaukelschwingers .....	108
4.2.1	Das Anwachsen der Amplituden .....	109
4.2.2	Der Einfluss von Dämpfung und Reibung .....	111
4.3	Parametererregte Schwingungen in linearen Systemen .....	113
4.3.1	Allgemeine mathematische Zusammenhänge.....	113
4.3.2	Mathieuschen Differentialgleichung .....	114
4.3.3	Methoden zur näherungsweise Berechnung .....	118
4.4	Der Schaukelschwinger mit Parametererregung.....	119
4.5	Aufgaben.....	120
<b>5</b>	<b>Erzwungene Schwingungen .....</b>	<b>122</b>
5.1	Die Reaktion linearer Systeme auf nichtperiodische äußere Erregungen.....	123
5.1.1	Übergangsfunktionen bei Erregung durch eine Sprungfunktion .....	123
5.1.2	Übergangsfunktionen bei Erregung durch eine Stoßfunktion .....	125
5.1.3	Allgemeine Erregerfunktionen .....	126
5.2	Periodische Erregungen in linearen Systemen.....	128
5.2.1	Harmonische Erregerfunktionen.....	129
5.2.1.1	Bewegungsgleichungen von Schwingern mit harmonischer Erregung.....	129
5.2.1.2	Vergrößerungsfunktion und Phasenverlauf .....	131
5.2.1.3	Leistung und Arbeit bei erzwungenen Schwingungen .....	134
5.2.1.4	Übertragungsfunktion, Frequenzgang und Ortskurven .....	138
5.2.1.5	Einschwingvorgänge .....	141
5.2.2	Lösung mit Hilfe der Fourier-Zerlegung .....	143
5.2.3	Das Anstückelverfahren .....	145
5.3	Anwendungen der Resonanztheorie .....	147
5.3.1	Schwingungsmessgeräte .....	147

5.3.2	Schwingungsisolierung von Maschinen und Geräten.....	151
5.4	Erzwungene Schwingungen von nichtlinearen Schwingern.....	155
5.4.1	Problemstellung und Lösungsmöglichkeiten.....	156
5.4.2	Schwinger mit unstetiger Rückföhrfunktion.....	158
5.4.2.1	Exakte L6sungen für gleichperiodische Schwingungen.....	158
5.4.2.2	Vergleich mit der Nherungsl6sung.....	160
5.4.2.3	Die Stabilität der periodischen L6sungen.....	161
5.4.3	Harmonische Erregung von gedämpften nichtlinearen Schwingern.....	163
5.4.3.1	Lineare Dämpfung und kubische Rückstellkraft.....	163
5.4.3.2	Festreibung und lineare Rückstellkraft.....	168
5.4.4	Oberschwingungen, Kombinationsfrequenzen und Unterschwingungen.....	169
5.4.5	Gleichrichterwirkungen.....	172
5.4.6	Erzwungene Schwingungen in selbsterregungsfhigen Systemen.....	172
5.5	Aufgaben.....	176
<b>6</b>	<b>Koppelschwingungen.....</b>	<b>178</b>
6.1	Schwinger mit zwei Freiheitsgraden.....	178
6.1.1	Freie Schwingungen eines ungedämpften linearen Koppelschwingers.....	179
6.1.2	Eigenschwingungen und Hauptkoordinaten.....	181
6.1.3	Eigenfrequenzen als Extremwerte eines Energieausdruckes.....	184
6.1.4	Das Schwerkpendel mit elastischem Faden.....	185
6.1.5	Das K6rperpendel mit drehbarer Platte.....	188
6.1.6	Erzwungene Schwingungen eines linearen Koppelschwingers.....	190
6.2	Lineare Schwingungssysteme mit endlich vielen Freiheitsgraden.....	192
6.2.1	Freie ungedämpfte Schwingungen.....	192
6.2.2	Eigenschwingungen und Hauptkoordinaten.....	195
6.2.3	Schwingerketten.....	198
6.2.4	Freie gedämpfte Schwingungen.....	202
6.2.5	Erzwungene Schwingungen.....	204
6.2.6	Allgemeine Schwingungssysteme.....	207
6.3	Verfahren zur Schwingungsanalyse am Beispiel einer Drehschwingerkette.....	208
6.3.1	Restgr6enverfahren.....	211
6.3.2	Übertragungsmatrizen-Verfahren.....	213
6.3.3	Methode der finiten Elemente.....	216
6.4	Aufgaben.....	218
<b>7</b>	<b>Kontinuumsschwingungen.....</b>	<b>221</b>
7.1	Saite, Dehn- und Torsionsstab.....	221
7.1.1	Bewegungsgleichungen für freie, ungedämpfte Schwingungen.....	221
7.1.1.1	Querschwingungen von Saite und Seil.....	221
7.1.1.2	Längsschwingungen von Dehnstab und Schraubenfeder.....	222
7.1.1.3	Drehschwingungen von Torsionsstben.....	223
7.1.2	L6sung der Wellengleichung.....	224
7.2	Balken.....	228
7.2.1	Bewegungsgleichung für freie, ungedämpfte Balkenschwingungen.....	228
7.2.2	L6sung der Differentialgleichung für Balkenschwingungen.....	229
7.2.3	Beispiele für allgemeinere Balkenprobleme.....	232
7.2.3.1	Querschwingungen eines Balkens mit Längskraft.....	232
7.2.3.2	Querschwingungen eines umlaufenden Balkens.....	234

7.2.3.3 Querschwingungen eines Kragbalkens mit Endkörper.....	235
7.3 Erweiterungen auf gedämpfte und erzwungene Schwingungen .....	236
7.3.1 Freie gedämpfte Schwingungen .....	238
7.3.2 Erzwungene Schwingungen .....	239
7.4 Näherungsverfahren.....	242
7.4.1 Diskretisierungsverfahren.....	242
7.4.1.1 Das Ritz-Verfahren.....	243
7.4.1.2 Das Galerkin-Verfahren .....	245
7.4.2 Schrankenverfahren.....	247
7.4.2.1 Der Rayleigh-Quotient .....	247
7.4.2.2 Die Formeln von Southwell und Dunkerley.....	250
7.5 Aufgaben.....	252
<b>8 Chaotische Bewegungen.....</b>	<b>254</b>
8.1 Zeitdiskrete Systeme.....	254
8.1.1 Die logistische Abbildung .....	254
8.1.2 Konzept und Anwendung der Poincare-Abbildung.....	260
8.2 Zeitkontinuierliche Systeme .....	264
8.2.1 Konservative Systeme .....	265
8.2.2 Homokline Punkte und die Methode von Melnikov.....	266
8.2.3 Dissipative Systeme und Attraktoren .....	268
8.2.4 Merkmale regulärer und chaotischer Bewegungen .....	269
8.3 Beispiele .....	273
8.3.1 Der Reibungsschwinger mit Fremderregung.....	274
8.3.2 Der Duffing-Schwinger .....	281
<b>Lösungen der Aufgaben.....</b>	<b>284</b>
<b>Literaturverzeichnis.....</b>	<b>291</b>
<b>Sachverzeichnis.....</b>	<b>294</b>