

Karl-Heinz Hapel

Festigkeitsanalyse dynamisch beanspruchter Offshore-Konstruktionen

Mit 245 Bildern und 20 Tabellen



Inhaltsverzeichnis

Einleitung	1
1 Schwingungsmechanische Grundlagen	
1.1 Linearer Einmassenschwinger	6
1.1.1 Freie ungedämpfte Schwingung	9
1.1.2 Freie gedämpfte Schwingung	10
1.1.3 Erzwungene gedämpfte Schwingung. Übertragungsfunktion	12
1.2 Nichtlinearer Einmassenschwinger	16
1.2.1 Erzwungene Schwingung bei nichtlinearer Dämpfung	16
1.2.2 Erzwungene Schwingung in selbsterregten Systemen	22
1.3 Linearer Zweimassenschwinger	27
1.3.1 Freie ungedämpfte Schwingung. Eigenschwingungsanalyse	27
1.3.2 Erzwungene gedämpfte Schwingung	31
1.4 Lineares System mit mehreren Freiheitsgraden	35
1.4.1 Eigenschwingungsanalyse am Balken	35
1.4.2 Näherungsberechnung von Knicklasten und Eigenfrequenzen nach der Energiemethode	41
1.4.3 Erzwungene gedämpfte Bewegung des Balkens. Modalanalyse	48
1.4.4 Werkstoffdämpfung	54
1.4.5 Hydrodynamische Dämpfung	57
Übungsaufgaben zu Kapitel 1	60
2 Zufallsprozesse	
2.1 Wahrscheinlichkeit, Wahrscheinlichkeitsverteilung und -dichte	62
2.2 Mittelwerte, statistische Erwartung	65
2.3 Spezielle Wahrscheinlichkeitsverteilungen	68
2.3.1 Die Gleichverteilung	68
2.3.2 Die Normalverteilung	68
2.3.3 Die Rayleigh-Verteilung	70
2.3.4 Die Gumbel-Verteilung	72
2.3.5 Die Weibull-Verteilung	73
2.4 Zweidimensionale Wahrscheinlichkeit, Kovarianz	74
2.5 Lineare Regression	79
2.6 Die charakteristische Funktion	80
2.7 Bedingte Wahrscheinlichkeit	82
2.8 Transformation von Wahrscheinlichkeitsdichten	84
2.9 Der zentrale Grenzwertsatz	89
2.10 Ensemble-Mittelung	90
2.11 Autokorrelationsfunktion	92

2.12	Kreuzkorrelationsfunktion	98
2.13	Fourier-Analyse	101
2.13.1	Fourier-Reihe	101
2.13.2	Fourier-Integral	104
2.13.3	Der Faltungssatz	110
2.13.4	Mehrdimensionale Fourier-Transformation	113
2.14	Spektraldichte	113
2.15	Kreuzspektraldichte	120
2.16	Momente des Spektrums	124
2.17	Breitbandprozeß	126
2.18	Schmalbandprozeß	127
2.19	Zufallsfeldprozeß	129
2.20	Niveauekreuzungen und Maximalwertverteilungen	135
2.20.1	Anzahl der Niveauekreuzungen	135
2.20.2	Maximalwertverteilung schmalbandiger Zufallsprozesse	138
2.20.3	Niveauüberschreitende Maxima von Zufallsprozessen beliebiger Bandbreite	140
2.20.4	Maximalwertverteilung von Zufallsprozessen beliebiger Bandbreite	143
2.20.5	Die $1/n$ -höchsten Maximalwerte	147
2.20.6	Erwarteter Maximalwert	151
2.20.7	Rückkehrperiode eines Maximalereignisses	155
	Übungsaufgaben zu Kapitel 2	158
3	Zufallsschwingungen linearer Systeme	
3.1	Eingangs-Ausgangs-Beschreibung	160
3.2	Impuls- und Sprungeingang	160
3.3	Impulsantwort, Übertragungsfunktion und Systemantwort	163
3.4	Impulsantwort und Übertragungsfunktion des Einmassenschwingers	166
3.5	Residuensatz	167
3.5.1	Laurentreihe und Residuen	167
3.5.2	Residuensatz und Integralberechnung	168
3.6	Eingangs-Ausgangs-Beziehungen für Zufallsprozesse	169
3.7	Eingangs-Ausgangs-Beziehungen für Zufallsprozesse mit zwei Eingängen	177
3.8	Impulsantwort und Übertragungsfunktion eines Kontinuums	180
3.9	Eingangs-Ausgangs-Beziehungen für ein Kontinuum unter Zufallsbelastung	183
3.10	Nichtlinearer Einmassenschwinger unter Zufallsbelastung	189
	Übungsaufgaben zu Kapitel 3	191
4	Meerestechnische Konstruktionen unter Wellenbelastung	
4.1	Meereswellen und Seegang	194
4.1.1	Lineare Wellentheorie	194
4.1.2	Wellenenergie	198

4.1.3	Unregelmäßiger Seegang	200
4.1.4	Wellenenergiespektrum	205
4.1.5	Wellenhöhenüberschreitungsdiagramm	210
4.1.6	Wellenhöhen-perioden-Zuordnung	215
4.1.7	Wellenhöhen-Windgeschwindigkeiten-Zuordnung	220
4.2	Lastannahmen	221
4.2.1	Morison-Formel	221
4.2.2	Wellenkraft auf einen vertikalen starren Pfahl	225
4.2.3	Linearisierung der Widerstandskraft beim Entwurfswellenkonzept	228
4.2.4	Linearisierung der Widerstandskraft in der stochastischen Analyse	230
4.2.5	Hydrostatische Kraft auf einen gebogenen Pfahl	231
4.3	Schwingungsanalyse nach dem Entwurfswellenkonzept	234
4.3.1	Bewegungsgleichung	234
4.3.2	Schwingungsanalyse der einfachen Pfahl-Plattform-Konstruktion	237
4.3.3	Einfluß des Beinabstandes	242
4.4	Schwingungsanalyse nach dem stochastischen Konzept	249
4.4.1	Schwingungsanalyse der einfachen Pfahl-Plattform-Konstruktion	249
4.4.2	Einfluß des Beinabstandes	255
	Übungsaufgaben zu Kapitel 4	259
5	Meerestechnische Konstruktionen unter Windbelastung	
5.1	Eigenschaften des natürlichen Windes	260
5.1.1	Frequenzbereiche des Windes	260
5.1.2	Höhenprofil des Windes	261
5.1.3	Statistische Verteilung der maximalen Windgeschwindigkeiten	262
5.1.4	Rückkehrperiode einer R-Jahreswindgeschwindigkeit	264
5.1.5	Spektraldichte des turbulenten Geschwindigkeitsanteils	264
5.2	Lastannahmen	265
5.2.1	Aerodynamische Übertragungsfunktion	266
5.2.2	Windkraft	268
5.3	Schwingungsanalyse für stochastische Windbelastung	271
5.4	Schwingungsanalyse für eine deterministische Einzelbö	275
6	Meerestechnische Konstruktionen unter der Wirkung von Meeresströmungen	
6.1	Gezeitenströmungen	282
6.2	Windinduzierte Strömungen	283
6.3	Permanente Strömungen und seismische Fluten	283
7	Wirbelinduzierte Schwingungen meerestechnischer Konstruktionen	
7.1	Die Kármánsche Wirbelstraße	284
7.2	Strömungskräfte	287
7.3	Wirbelinduzierte Querschwingungen kleiner Amplitude	288
7.4	Strömungszosillator	290

8 Selbsterregte Schwingungen meeres technischer Konstruktionen	
8.1 Strömungskräfte	296
8.2 Kritische Anströmgeschwindigkeit	298
8.3 Grenzyklus	299
9 Lebensdaueranalyse meeres technischer Konstruktionen	
9.1 Grundbegriffe der Schwingfestigkeit	306
9.2 Dauer- und Zeitfestigkeit	307
9.3 Betriebsfestigkeit	313
9.4 Deterministische Lebensdaueranalyse	314
9.5 Schädigung durch eine Zufallsbeanspruchung	319
9.6 Stochastische Lebensdaueranalyse	321
10 Meerestechnische Rohrleitungen	
10.1 Bewegungsgleichung des Drilling-Risers	324
10.2 Die Besselsche Differentialgleichung	327
10.2.1 Lösung nach der Methode der unbestimmten Koeffizienten	328
10.2.2 Die inhomogene Besselsche Differentialgleichung	330
10.2.3 Asymptotisches Verhalten von Bessel- und Lommel-Funktion	331
10.2.4 Die modifizierte Bessel- und Lommel-Funktion	332
10.3 Riserstatik	334
10.3.1 Zug-Biegung des Risers nach der Theorie 2. Ordnung	335
10.4 Riserdynamik	341
10.4.1 Linearisierung des Strömungswiderstandes	343
10.4.2 Transformation der linearisierten Bewegungsgleichung	343
10.4.3 Die freien ungedämpften Schwingungen	346
10.4.4 Die resonanzerregten gedämpften Schwingungen	348
10.4.5 Oberschwingungen als Korrektur der linearisierten Analyse	358
10.4.6 Stochastische Schwingungsanalyse	361
Übungsaufgaben zu Kapitel 10	365
Lösungen der Übungsaufgaben	366
Literatur	368
Tabelle bestimmter Integrale	373
Sachwort- und Namenverzeichnis	374