

Inhaltsverzeichnis

| | |
|---|-----|
| Inhaltsverzeichnis | i |
| Einleitung | vii |
| 1 Systeme mit einem Freiheitsgrad | |
| 1.1 Formulierung der Bewegungsgleichung | 1 |
| 1.1.1 Direkte Formulierung | 1 |
| 1.1.2 Prinzip der virtuellen Arbeiten | 3 |
| 1.1.3 Energie Formulierung | 3 |
| 1.2 Beispiel "Inverted Pendulum" | 4 |
| 1.3 Modellbildung | 10 |
| 1.3.1 Strukturen mit konzentrierten Massen | 10 |
| 1.3.2 Strukturen mit verteilten Massen | 12 |
| 1.3.3 Dämpfung | 20 |
| 2 Freie Schwingungen | |
| 2.1 Ungedämpfte Schwingungen | 23 |
| 2.1.1 Formulierung 1: Amplitude und Phasenwinkel | 23 |
| 2.1.2 Formulierung 2: Trigonometrische Funktionen | 23 |
| 2.1.3 Formulierung 3: Exponentialfunktionen | 26 |
| 2.2 Gedämpfte Schwingungen | 28 |
| 2.2.1 Formulierung 3: Exponentialfunktionen | 28 |
| 2.2.2 Formulierung 1: Amplitude und Phasenwinkel | 32 |

| | |
|---|----|
| 2.3 Das logarithmische Dekrement | 34 |
| 2.4 Reibungsdämpfung | 37 |
| 3 Harmonische Anregung | |
| 3.1 Harmonische Anregung ohne Dämpfung | 43 |
| 3.1.1 Deutung als Schwebung | 46 |
| 3.1.2 Resonanzanregung | 48 |
| 3.2 Harmonische Anregung mit Dämpfung | 50 |
| 3.2.1 Resonanzanregung | 53 |
| 4 Übertragungsfunktionen | |
| 4.1 Kraftanregung | 57 |
| 4.1.1 Bemerkungen zum Vergrößerungsfaktor V | 60 |
| 4.1.2 Stationäre Bewegungsgrösse | 64 |
| 4.1.3 Eigenschaften von EMS aus harmonischen Schwingungen | 66 |
| 4.2 Kraftübertragung (Schwingungsisolierung) | 68 |
| 4.3 Fusspunktanregung (Schwingungsisolierung) | 71 |
| 4.3.1 Verschiebungsanregung | 71 |
| 4.3.2 Beschleunigungsanregung | 73 |
| 4.3.3 Beispiel Transmissibilität bei Fusspunktanregung | 76 |
| 4.4 Zusammenfassung Übertragungsfunktionen | 82 |
| 5 Erzwungene Schwingungen | |
| 5.1 Periodische Anregung | 83 |
| 5.1.1 Stationäre Antwort infolge periodischer Anregung | 86 |
| 5.1.2 Halbsinus | 87 |
| 5.1.3 Beispiel: "Hüpfen auf Stahlbetonbalken" | 89 |

| | |
|--|------------|
| 5.2 Zeitschrittverfahren | 94 |
| 5.2.1 Integrationsverfahren nach Newmark | 95 |
| 5.2.2 Implementierung des Integrationsverfahrens nach Newmark in der Excel-Tabelle "TD_Einmassenschwinger_HS09.xls" | 98 |
| 5.3 Antwortspektren | 101 |
| 5.3.1 Pseudo Bewegungsgrösse | 104 |
| 5.4 Kurze Anregung | 111 |
| 5.4.1 Sprungfunktion | 111 |
| 5.4.2 Rechteckanregung | 113 |
| 5.4.3 Beispiel "Sprengwirkung" | 120 |
| | |
| 6 Systeme mit mehreren Freiheitsgraden | |
| 6.1 Formulierung der Bewegungsgleichung | 129 |
| 6.1.1 Gleichgewichtsformulierung | 129 |
| 6.1.2 Steifigkeitsformulierung | 130 |
| 6.1.3 Nachgiebigkeitsformulierung | 131 |
| 6.1.4 Prinzip der virtuellen Arbeit | 133 |
| 6.1.5 Energieformulierung | 133 |
| 6.1.6 "Direct Stiffness Method" | 134 |
| 6.2 Freie Schwingungen | 139 |
| 6.2.1 Eigenschwingungen | 139 |
| 6.2.2 Beispiel "Zweimassenschwinger" | 141 |
| 6.2.2.1 Eigenwerte | 142 |
| 6.2.2.2 Grundschiwingung | 142 |
| 6.2.2.3 Höhere Schwingung | 144 |
| 6.2.2.4 Freie Schwingung des Zweimassenschwingers | 145 |
| 6.3 Modalmatrix und Spektralmatrix | 149 |
| 6.4 Eigenschaften der Eigenvektoren | 150 |
| 6.4.1 Orthogonalität der Eigenvektoren | 150 |
| 6.4.2 Lineare Unabhängigkeit der Eigenvektoren | 153 |
| 6.4.3 Entkoppelung der Bewegungsgleichung | 153 |

| | |
|---|------------|
| 6.5 Dämpfung | 157 |
| 6.5.1 Freie Schwingungen mit Dämpfung | 157 |
| 6.5.2 Beispiel | 158 |
| 6.5.3 Klassische Dämpfungsmatrizen | 161 |
| 6.5.4 Beispiel | 163 |
| 6.6 Erzwungene Schwingungen ohne Dämpfung | 165 |
| 6.6.1 Einleitung | 165 |
| 6.6.2 Beispiel 1: "Zweimassenschwinger" | 167 |
| 6.6.3 Beispiel 2: "Stahlbetonbalken mit Tilger ohne Dämpfung" | 171 |
| 6.7 Erzwungene Schwingungen mit Dämpfung | 177 |
| 6.7.1 Einleitung | 177 |
| 6.8 Modalanalyse: Zusammenfassung | 179 |
| 6.9 Fusspunktanregung | 180 |
| 6.9.1 Zeitverlauf der Antwort | 180 |
| 6.9.2 Maximale Antwort | 185 |
| 6.9.3 Vorgehen bei mehrgeschossigen Bauten | 188 |
| 6.9.4 Beispiel "Antwortspektrenverfahren" | 190 |
| 6.9.4.1 Dynamische Eigenschaften | 190 |
| 6.9.4.2 Eigenschwingungen | 191 |
| 6.9.4.3 Antwort jeder Eigenschwingung | 192 |
| 6.9.4.4 Kombination der modalen Beiträge | 196 |
| 6.9.4.5 Antwortspektrumverfahren im Vergleich zu Zeitverlaufsberechnungen | 197 |
| 6.9.4.6 Zeitverläufe | 202 |

7 Schwingungsprobleme bei Bauwerken

| | |
|--|------------|
| 7.1 Einführung | 203 |
| 7.1.1 Einwirkungen | 204 |
| 7.1.2 Neue Tragwerksnormen | 205 |
| 7.1.3 Literatur | 212 |
| 7.2 Schwingungsbegrenzung | 213 |
| 7.2.1 Nachweiskonzepte | 213 |

| | | |
|------------|---------------------------------------|------------|
| 7.2.2 | Massnahmen | 214 |
| 7.2.3 | Berechnungsmethoden | 215 |
| 7.3 | Menschenerregte Schwingungen | 217 |
| 7.3.1 | Anregungskräfte | 217 |
| 7.3.2 | Beispiel: Hüpfen auf Stahlbetonbalken | 224 |
| 7.3.3 | Fussgängerbrücke | 227 |
| 7.3.4 | Decken in Wohn- und Bürogebäuden | 235 |
| 7.3.5 | Turnhallen und Tanzsäle | 238 |
| 7.3.6 | Konzertsäle, Tribünen und Sprungtürme | 239 |
| 7.4 | Maschinenerregte Schwingungen | 239 |
| 7.5 | Winderregte Schwingungen | 240 |
| 7.5.1 | Mögliche Effekte | 240 |
| 7.6 | Schwingungstilger | 243 |
| 7.6.1 | Einführung | 243 |
| 7.6.2 | Zweimassenschwinger | 244 |
| 7.6.3 | Optimale Tilgerparameter | 248 |
| 7.6.4 | Bemerkungen "Schwingungstilger" | 248 |

8 Fussgängersteg mit Tilger (DEMO)

| | | |
|------------|---|------------|
| 8.1 | Versuchskörper und Instrumentierung | 251 |
| 8.2 | Parameter | 254 |
| 8.2.1 | Steg (Gerechnet, ohne Tilgermasse) | 254 |
| 8.2.2 | Tilger (Gerechnet) | 254 |
| 8.3 | Versuchsprogramm | 255 |
| 8.4 | Ausschwingversuch mit blockiertem Tilger | 256 |
| 8.5 | Sandsackversuch | 258 |
| 8.5.1 | Blockierter Tilger, Anregung in Stegmitte | 259 |
| 8.5.2 | Blockierter Tilger, Anregung im Viertelpunkt | 262 |
| 8.5.3 | Freier Tilger, Anregung in Stegmitte | 265 |

| | | |
|------------|---|------------|
| 8.6 | Gehen 1 Person mit 3 Hz | 267 |
| 8.7 | Gehen 1 Person mit 2 Hz | 270 |
| 8.7.1 | Blockierter Tilger (Gemessen) | 270 |
| 8.7.2 | Blockierter Tilger (ABAQUS-Simulation) | 272 |
| 8.7.3 | Freier Tilger | 274 |
| 8.7.4 | Bemerkungen zu "Gehen 1 Person mit 2 Hz" | 275 |
| 8.8 | Gehen Gruppe mit 2 Hz | 276 |
| 8.8.1 | Blockierter Tilger | 279 |
| 8.8.2 | Freier Tilger | 280 |
| 8.9 | Hüpfen 1 Person mit 2 Hz | 281 |
| 8.9.1 | Blockierter Tilger | 281 |
| 8.9.2 | Freier Tilger | 283 |
| 8.9.3 | Bemerkungen zu "Hüpfen 1 Person mit 2 Hz" | 284 |