

**Peter Kirchknopf**

**Ermittlung  
modaler Parameter aus  
Übertragungsfrequenzgängen**

Mit 57 Abbildungen

**Springer-Verlag  
Berlin Heidelberg New York  
London Paris Tokyo 1989**

## Inhaltsverzeichnis

<b>0. Zeichen und Einheiten</b>	<b>IV</b>
0.1. Kleine und große lateinische Buchstaben	IV
0.2. Kleine und große griechische Buchstaben	VI
0.3. Indices	VII
0.4. Kennzeichnungen	VII
0.5. Vektoren und Matrizen	VIII
<b>1. Einleitung</b>	<b>1</b>
1.1. Allgemeines	1
1.2. Stand der Technik	6
1.2.1. Methoden zur Ermittlung modaler Parameter anhand gemessener Systemgrößen	6
1.2.2. Berücksichtigung nichtlinearer Objekteigenschaften	10
1.3. Zielsetzung der Arbeit	11
<b>2. Theoretische Grundlagen</b>	<b>13</b>
2.1. Definitionen und Voraussetzungen	13
2.2. Ermittlung des Systemverhältnisses bei einer Frequenz	15
2.3. Rechnerische Untersuchung elastomechanischer Systeme	17
2.4. Rechnerische Modalanalyse und Frequenzgangdarstellung	19
2.4.1. Ungedämpfte Systeme oder Systeme mit Caughey-Dämpfung	19
2.4.1.1. Viskose Dämpfung	19
2.4.1.2. Strukturdämpfung	23
2.4.2. Gedämpfte Systeme mit beliebiger Dämpfungsmatrix	24
2.4.2.1. Viskose Dämpfung	24
2.4.2.2. Strukturdämpfung	28
2.5. Diskussion der Modelle	30
2.6. Weitere Definitionen im Zusammenhang mit Systemverhältnissen	31
2.7. Einschränkungen in der Praxis	33
2.8. Berücksichtigung von Abschneidefehlern in Frequenzgängen	35

<b>3. Ermittlung modaler Parameter mit Berücksichtigung einer Standardfunktion</b>	<b>36</b>
<hr/>	
3.1. Problemstellung	36
3.2. Verfahren zur Ermittlung modaler Parameter aus Beweglichkeitsfunktionen	39
3.2.1. Methode der kleinsten Fehlerquadrate	39
3.2.2. Verfahren mit Kreis- und Phasenwinkelanpassung	42
3.2.3. Anpassung über Umformung der Standardfunktion	46
3.2.3.1. Viskoses Dämpfungsmodell	46
3.2.3.2. Modell mit Strukturdämpfung	49
3.3. Testergebnisse mit Rechenprogrammen	51
3.3.1. Allgemeines	51
3.3.2. Zufällige Fehler im Frequenzgang	52
3.3.3. Einfluß anderer Standardfunktionen	56
<b>4. Parameterermittlung mit Berücksichtigung mehrerer Standardfunktionen</b>	<b>59</b>
<hr/>	
4.1. Allgemeines	59
4.2. Näherungsverfahren zur Eigenfrequenzerkennung	60
4.2.1. Bekannte Kriterien	60
4.2.2. Vergleich Ortskurvenkriterium - erweitertes Ortskurvenkriterium	62
4.2.3. Rechenprogramm zur Ermittlung der Eigenfrequenzen	67
4.2.4. Programm zur Kontrolle der ermittelten Eigenfrequenzen	68
4.3. Iterationsverfahren zur Parameterermittlung bei mehreren Standardfunktionen	69
4.3.1. Theorie des Verfahrens	69
4.3.2. Abbruchkriterien	73
4.3.3. Rechenprogramm	75
4.4. Testergebnisse mit berechneten Beweglichkeitsfunktionen	79
4.4.1. Allgemeines	79
4.4.2. Analytische Teststruktur nach EMAUG	80

---

4.4.3. Testergebnisse von einer Struktur mit 3 Eigenschwingungen	85
4.4.3.1. Testvoraussetzungen	85
4.4.3.2. Fall 1: Viskose Dämpfung, reelle Eigenformen	86
4.4.3.3. Fall 2: Viskose Dämpfung, komplexe Eigenformen	89
4.4.3.4. Fall 3: Strukturdämpfung, komplexe Eigenformen	92
4.5. Beurteilung der Testergebnisse und praktischer Einsatz	95
<b>5. Methoden zur Untersuchung nichtlinearer Objekte</b>	<b>101</b>
<hr/>	
5.1. Einführung	101
5.2. Hilbert-Transformation	103
5.2.1. Mathematische Formulierung	103
5.3. Eigenschaften der Hilbert-Transformation	105
5.3.1. Kausalität	105
5.3.2. Erweiterte Hilbert-Transformation	106
5.3.3. Kausale Hilbert-Transformation	107
5.4. Numerische Berechnung der Hilbert-Transformation	108
5.4.1. Direkte Berechnung durch Integration	108
5.4.2. Berechnung über die diskrete Fourier-Transformation	109
5.5. Linearitätsfaktor	112
<b>6. Anwendungen</b>	<b>116</b>
<hr/>	
6.1. Allgemeines	116
6.2. Fehler bei der Berechnung der kausalen Hilbert-Transformation	116
6.3. Anwendung auf nichtlineare Objekte	119
6.4. Linearitätsfaktorfunktionen	122
6.5. Parameterermittlung bei kausal Hilbert-transformierten Beschreibungsfunktionen	126
6.6. Anwendung auf verrauschte Funktionen	130
6.7. Praktische Anwendung und zusammenfassende Bemerkungen	131
<b>7. Zusammenfassung</b>	<b>133</b>
<hr/>	
<b>8. Literaturverzeichnis</b>	<b>135</b>
<hr/>	