

Inhaltsverzeichnis

Vorwort	XI
Symbolverzeichnis	XIV
1 Einführung	1
1.1 Einordnung und Aufgabenstellung der Systemidentifikation	2
1.2 Modelldefinitionen und -beziehungen	4
1.3 Merkmale der Identifikationsgrößen und -verfahren	6
1.4 Bedingungen und praktische Aspekte	8
1.5 Schrifttum	9
2 Determinierte Signale und Prozesse	11
2.1 Kinematische Grundbegriffe	11
2.1.1 Harmonische Signale	11
2.1.2 Periodische Signale	14
2.1.3 Überlagerte und modulierte (fastperiodische) Signale	17
2.1.4 Nichtperiodische Signale	20
2.1.4.1 Die Fouriertransformation	20
2.1.4.2 Die LaplaceTransformation	26
2.2 Determinierte Einfreiheitsgradsysteme	30
2.2.1 Das Duhamel-Integral (Faltungsprodukt)	31
2.2.2 Der Frequenzgang	36
2.2.3 Die Übertragungsfunktion	38
2.2.4 Systemzusammenfassung	39
2.3 Determinierte Mehrfreiheitsgradsysteme	39
2.3.1 Die Matrix der Gewichtsfunktionen	39
2.3.2 Die Frequenzgangmatrix	40
2.3.3 Die Übertragungsmatrix	42
2.4 Diskrete Signale und Prozesse	44
2.4.1 Diskretisierung zeitkontinuierlicher Signale	44
2.4.2 Die z-Transformation	46
2.4.3 Die diskrete Fouriertransformation	48
2.4.4 Die Fast-Fouriertransformation	50
2.5 Übersicht zur Fouriertransformation, LaplaceTransformation und z-Transformation	51
2.6 Aufgaben	56
2.7 Schrifttum	58

3 Stochastische Signale und Prozesse	59
3.1 Statistische Grundbegriffe	59
3.1.1 Zufallsvariable und ihre statistischen Kennzeichen	59
3.1.2 Mehrere Zufallsvariablen	64
3.1.3 Gaußverteilungen	66
3.2 Stochastische Prozesse	69
3.2.1 Stationäre Prozesse	69
3.2.2 Ergodische Prozesse	71
3.2.3 Gaußverteilte Prozesse	74
3.3 Grundlegendes zur Schätztheorie	74
3.3.1 Grundbegriffe der Schätztheorie	75
3.3.2 Parameteranpassung: Determinierte Approximation und Parameterschätzverfahren	78
3.3.3 Methode der gewichteten kleinsten Quadrate	81
3.3.4 Methode der Hilfsvariablen	88
3.3.5 Teilübersicht zu den Parameterschätzverfahren	90
3.4 Korrelationsfunktionen	91
3.4.1 Einfache zeitliche Mittelwerte	91
3.4.2 Die Autokorrelationsfunktion	91
3.4.3 Die Kreuzkorrelationsfunktion	95
3.4.4 Der Korrelationskoeffizient	97
3.5 Spektrale Leistungsdichten	97
3.5.1 Die Wiener-Khintchine-Transformation	98
3.5.2 Die Wirkleistungsdichte	99
3.5.3 Die Kreuzleistungsdichte	102
3.5.4 Die Kohärenzfunktion	107
3.6 Übertragung durch Einfreiheitsgradsysteme	109
3.6.1 Darstellung im Zeitraum	109
3.6.2 Darstellung im Frequenzraum	112
3.6.3 Systemzusammenfassung	115
3.7 Übertragung durch Mehrfreiheitsgradsysteme	116
3.7.1 Darstellung im Zeitraum	116
3.7.2 Darstellung im Frequenzraum	117
3.8 Diskrete stochastische Signale und Prozesse	118
3.8.1 Abtastung	118
3.8.1.1 Abtastvorgang	118
3.8.1.2 Auswirkung der Abtastung im Frequenzbereich	119
3.8.1.3 Verwendung diskreter Werte im Frequenzbereich	123
3.8.1.4 Zusammenhang zwischen kontinuierlichen und diskreten, infiniten und finiten Prozessen	125
3.8.2 Abschneideeffekt	128
3.8.2.1 Abschneideeffekt im Zeitbereich	129
3.8.2.2 Benutzung anderer Fensterfunktionen	132
3.8.2.3 Frequenzbandspreizung	139
3.8.3 Schätzung von Korrelationsfunktionen	142

3.8.4 Schätzung von Leistungsdichten	143
3.8.4.1 Verbesserte Schätzungen über Mittelwertbildung	144
3.8.4.2 Schätzungen von modifizierten Leistungsdichten	148
3.8.5 Parameterdiskussion	150
3.9 Aufgaben	152
3.10 Schrifttum	155
4 Nichtparametrische Identifikation – Anwendungen	157
4.1 Erregungsmöglichkeiten	158
4.1.1 Harmonische Erregung	159
4.1.2 Transiente Erregung	161
4.1.2.1 Impulserregung	161
4.1.2.2 Sinusförmige Erregung mit schneller Gleitfrequenz	169
4.1.2.3 Sprungerregung	170
4.1.3 Stochastische Erregung	173
4.1.3.1 Weißes Rauschen	173
4.1.3.2 Breitbandrauschen	174
4.1.4 Periodische Erregung	176
4.1.4.1 Schnelle Gleitfrequenz und Periodisierung	177
4.1.4.2 Impulsfolge	177
4.1.4.3 Pseudostochastische Erregung	178
4.1.4.4 Wiederholte pseudostochastische Erregung	178
4.1.5 Vergleichende Zusammenstellung	179
4.2 Die Fourieranalyse	180
4.2.1 Frequenzgangmessung	180
4.2.2 Ermittlung der Übertragungsmatrix	185
4.2.3 Maßnahmen zur Genauigkeitssteigerung und Zusammenfassung . .	187
4.3 Die Korrelationsanalyse	188
4.3.1 Signalauffindung aus verrauschem Hintergrund	189
4.3.2 Ermittlung von Gewichtsfunktionen	192
4.3.3 Untersuchung von Signalübertragungswegen	197
4.3.4 Ortung von Schwingungsquellen	203
4.3.5 Cepstrum-Analyse	204
4.3.6 Zusammenfassung	206
4.4 Spektralanalyse	207
4.4.1 Fehleruntersuchungen bei gegebenen Modellen	207
4.4.2 Zwei Anwendungen aus der Akustik	218
4.4.3 Frequenzgangmessung	221
4.4.4 Untersuchung von Mehrfreiheitsgradsystemen	224
4.4.5 Zusammenfassung	230
4.5 Analyse mittels der Zufallsdekkrementfunktion	231
4.5.1 Die Ermittlung von Systemeigenschaften ohne Kenntnis der Eingangsgrößen nach den klassischen Verfahren	232
4.5.2 Die Zufallsdekkrementfunktion	236

4.5.3	Anwendungen	236
4.6	Aufgaben	236
4.7	Schrifttum	240
5	Parametrische Identifikation – Anwendungen	243
5.1	Schwingungstheorie linearer zeitinvariante Mehrfreiheitsgradsysteme	243
5.1.1	Energieausdrücke, Bewegungsgleichungen	244
5.1.2	Das passive ungedämpfte System	247
5.1.2.1	Die Eigenschwingungen	247
5.1.2.2	Die erzwungenen Schwingungen	249
5.1.2.3	Die freien Schwingungen	253
5.1.3	Das viskos gedämpfte System	255
5.1.3.1	Die Eigenschwingungen	255
5.1.3.2	Die erzwungenen Schwingungen	262
5.1.3.3	Die freien Schwingungen	269
5.1.4	Das strukturell gedämpfte System	271
5.1.4.1	Das Eigenwertproblem	272
5.1.4.2	Die erzwungenen Schwingungen	275
5.1.5	Weitere Eigenschaften des gedämpften Systems	276
5.1.5.1	Die Charakteristikschwingungen	278
5.1.5.2	Entwicklung der dynamischen Antwort nach den Charakteristikgrößen	280
5.1.6	Aktive Systeme	281
5.1.7	Der Einfluß von Rand- und Anfangsbedingungen	290
5.1.8	Entwicklung der Systemparameter-Matrizen	296
5.1.8.1	Systemparameter-Matrizen und Eigenschwingungsgrößen	296
5.1.8.2	Praktische Erwägungen	301
5.1.9	Hinweise zur numerischen Behandlung	303
5.1.9.1	Berechnung von Eigenschwingungsgrößen	303
5.1.9.2	Kondensation von Freiheitsgraden	305
5.2	Das Phasenresonanzverfahren	312
5.2.1	Grundlagen	312
5.2.2	Auswertemethoden für Einfreiheitsgradsysteme	315
5.2.2.1	Eigenschaften der Frequenzgänge	316
5.2.2.2	Ermittlung der Eigenfrequenz ω_0	320
5.2.2.3	Ermittlung der effektiven Dämpfung α	322
5.2.2.4	Ermittlung der Eigenschwingungsform	324
5.2.2.5	Ermittlung der generalisierten Masse	324
5.2.3	Durchführung	327
5.3	Die Phasentrennungstechnik	336
5.3.1	Das strukturell gedämpfte System unter harmonischer Erregung	337
5.3.1.1	Modale Dämpfung	337
5.3.1.2	Nichtmodale Dämpfung	348
5.3.2	Das viskos gedämpfte System unter transienter Erregung	354

5.3.2.1	Die freien Schwingungen	354
5.3.2.2	Die erzwungenen Schwingungen	357
5.3.3	Zur Durchführung	359
5.4	Weitere parametrische Identifikationsverfahren	360
5.4.1	Ein Zeitbereichsverfahren	361
5.5.	Aufgaben	365
5.6.	Schrifttum	370
6	Indirekte Identifikation: Korrektur der Systemparameter des Rechenmodells	375
6.1	Parameteranpassung mit Hilfe der Methode der gewichteten kleinsten Fehlerquadrate	377
6.2	Das ungedämpfte System	382
6.2.1	Korrektur mittels Eigenwerte	383
6.2.1.1	Korrektur der Steifigkeitsmatrix	383
6.2.1.2	Korrektur der Nachgiebigkeitsmatrix	387
6.2.1.3	Korrektur der Trägheitsmatrix	388
6.2.1.4	Korrektur der Trägheits- und Steifigkeits- bzw. Nachgiebigkeitsmatrix	390
6.2.1.5	Korrektur der Steifigkeitsmatrix über das Matrizeneigenwertproblem	392
6.2.1.6	Korrektur der Nachgiebigkeitsmatrix über das Matrizeneigenwertproblem	397
6.2.2	Korrektur mittels Eigenwerte und Eigenvektoren	399
6.2.2.1	Korrektur der Trägheits- und Steifigkeitsmatrix über das Matrizeneigenwertproblem	400
6.2.2.2	Korrektur der Systemparameter über Eigenwert- und Eigenvektor-Residuen	404
6.2.3	Korrekturverfahren mittels gemessener Erregung und Antwort	406
6.2.3.1	Korrektur der Steifigkeitsmatrix über den Ausgangsfehler	407
6.2.3.2.	Korrektur der Steifigkeitsmatrix über den Eingangsfehler	409
6.2.4	Zur Durchführung	410
6.2.4.1	Fehler der Schätzwerte	410
6.2.4.2	Empfindlichkeitsuntersuchung des Zielfunktional	411
6.2.4.3	Empfindlichkeitsuntersuchungen der Systemgrößen	414
6.2.4.4	Wahl der Submatrizen	417
6.2.4.5	Anwendungen	419
6.3	Das viskos gedämpfte System	422
6.3.1	Korrektur mittels Eigenwerte und Eigenvektoren	422
6.3.2	Korrektur mittels Eigenwerte	425
6.3.3	Korrektur mittels gemessener Erregung und Antwort	426
6.3.3.1	Der Ausgangsfehler	426
6.3.3.2	Der Eingangsfehler	429
6.4	Das strukturell gedämpfte System	432

6.4.1	Korrektur mittels Eigenwerte und Eigenvektoren	432
6.4.2	Korrektur mittels Eigenwerte	434
6.4.3	Korrektur mittels gemessener Erregung und Antwort	434
6.4.3.1	Der Ausgangsfehler	434
6.4.3.2	Der Eingangsfehler	435
6.5	Zur Schätzung der Konstruktionselement-Parameter	436
6.6	Weitere Verfahren	440
6.7	Aufgaben	442
6.8	Schrifttum	446
7	Abschließende Bemerkung: Subsystemtechnik	448
8	Anhang: Lösung der Aufgaben	450
Kapitel 2	. . . . .	450
Kapitel 3	. . . . .	458
Kapitel 4	. . . . .	470
Kapitel 5	. . . . .	481
Kapitel 6	. . . . .	499
Namen- und Sachverzeichnis	. . . . .	510