

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
2	Modellbildung mechanischer Antriebssysteme	5
2.1	Einführung in die Modellbildung	5
2.1.1	Ziele der Modellbildung	5
2.1.2	Typen der Berechnungsmodelle	11
2.1.2.1	Allgemeines	11
2.1.2.2	Einteilung der Berechnungsmodelle	15
2.1.2.3	Beispiel: Antrieb eines Mechanismus	22
2.2	Bewertung von Modellgleichungen	24
2.2.1	Regeln zur Verifikation von Modellgleichungen	24
2.2.2	Normierung der Parameter und der Variablen	27
2.2.3	Berechnungsmodelle von Schubkurbelgetrieben	29
2.2.3.1	Modellgleichungen	29
2.2.3.2	Elastisches Abtriebsglied mit Spiel	31
2.2.3.3	Spiel im Kurbelgelenk	39
2.2.3.4	Zur Kolbensekundärbewegung	41
2.2.4	Beispiele für mehrere Modellstufen	43
2.2.4.1	Modellgleichungen von Rotoren mit Unwucht	43
2.2.4.2	Schadensfall an einer Pumpenwelle	46
2.2.4.3	Versuchsstand mit Unwuchterreger	50
2.3	Induktive Modellbildung	53
2.3.1	Allgemeines	53
2.3.2	Parametererregte Schwingungen einer Buchschneidemaschine	56
2.3.3	Selbsterregte Schwingungen eines Wicklers	59
2.3.4	Instationäre Bewegungen bei Kranen	65
2.3.4.1	Anheben der Last vom Boden	65
2.3.4.2	Heben und Senken (Modell mit $n = 2$)	69
2.3.4.3	Heben und Senken (Modell mit $n = 4$)	77
2.3.4.4	Antriebsmoment bei Wippkranen	81
2.3.5	Diskrete Schwinger statt Kontinua (Balken- und Stabmodelle)	84
2.4	Deduktive Modellbildung	92
2.4.1	Allgemeines	92
2.4.2	Grundfrequenz von Schleifspindeln	94
2.4.3	Von 23 zu 5 Parametern (Fahrbewegung eines Brückenkrans)	99
2.4.4	Von räumlichen zu eindimensionalen Balken- und Stabmodellen	103
2.4.4.1	Allgemeine Zusammenhänge	103
2.4.4.2	Biegeschwingungen	111

2.4.4.3	Längs- und Torsionsschwingungen	112
2.4.4.4	Modellierung einer Getriebewelle	114
2.4.5	Modellreduktion mit der Mittelungsmethode	117
2.4.5.1	Einführung	117
2.4.5.2	Einfluß der Schwingungen auf die Reibungszahl	118
2.5	Ermittlung von Parametern des Gesamtsystems	124
2.5.1	Sensitivitätsanalyse	124
2.5.1.1	Allgemeine Zusammenhänge	124
2.5.1.2	Beispiel: Torsionsschwingerkette	127
2.5.2	Parameterermittlung aus gemessenen Eigenfrequenzen und Eigenformen	131
2.5.3	Identifikation eines Systems mit zwei Freiheitsgraden	135
2.6	Freiheitsgradreduktion und Modellanpassung	137
2.6.1	Grundlagen der Freiheitsgradreduktion	137
2.6.2	Statische und dynamische Kondensation GUYAN, RÖHRLE	140
2.6.3	Reduktion nach RIVIN und DI	141
2.6.4	Modale Reduktion und Eigenformapproximation	144
2.6.5	Vergleich der Reduktionsmethoden an einem Beispiel	145
2.6.6	Modale Synthese	149
2.6.7	Kopplung von zwei Schwingerketten	152
3	Parameterwerte von Maschinenelementen und Baugruppen	159
3.1	Erreger- und Übertragungselemente von Torsionsschwingern	159
3.2	Parameterwerte einzelner Elemente	164
3.2.1	Zylinder- und Kegelelemente	164
3.2.2	Zusatzlängen und Nachgiebigkeitsfaktoren	167
3.2.3	Drehsteifigkeiten von Kurbelwellen	170
3.2.4	Dämpfungswerte von Torsionsschwingern	172
3.3	Wälzlager und Fugen	175
3.3.1	Allgemeine Zusammenhänge	175
3.3.2	Kugel- und Rollenlager	176
3.3.3	Fugen, Kontaktstellen, Gleit- und Wälzführungen	180
3.4	Getriebe, Kupplungen, Motoren	181
3.4.1	Zahnradgetriebe	181
3.4.2	Berechnungsmodelle für nachgiebige Kupplungen	185
3.4.2.1	Allgemeine Zusammenhänge	185
3.4.2.2	Berechnungsmodell für Elastomerkupplungen	187
3.4.2.3	Nichtlineare Effekte bei biharmonischer Erregung	190
3.4.3	Asynchronmotor	194
3.5	Dämpfungskennwerte	197
4	Beispiele zur dynamischen Analyse von Antriebssystemen	205
4.1	Anlaufvorgang eines Antriebs mit Asynchronmotor	205
4.2	Fahrzeug-Antriebsstrang	207
4.3	Kupplungen im Antriebsstrang	214
4.3.1	Allgemeine Problemstellung	214
4.3.2	Lüfterantrieb	215
4.3.3	Druckmaschine	219

4.4	Ungleichmäßig übersetzende Mechanismen	222
4.4.1	Schwingungsursachen	222
4.4.2	Schwingungen am Abtriebsglied	227
4.4.3	Schwingungen infolge elastischer Antriebsglieder	232
4.5	Selbsthemmende Getriebe	236
4.5.1	Schwingungsursachen	236
4.5.2	Keilschubgetriebe	237
4.5.3	Schneckengetriebe	240
4.6	Schwingungen von Zugmittelgetrieben	248
4.6.1	Schwingungsursachen	248
4.6.2	Eigenfrequenzen des Zweischeiben-Riemengetriebes	250
4.6.3	Erzwungene und parametererregte Schwingungen	254
4.6.4	Kettengetriebe	256
4.6.5	Zahnriemengetriebe	263
4.7	Schwenkbewegung eines Auslegerarms	265
4.8	Fahrbewegung eines Regalbediengerätes	272
4.8.1	Modellbildung	272
4.8.2	Herleitung der Bewegungsgleichungen	274
4.8.3	Lösung der Bewegungsgleichungen	277
4.8.4	Zahlenbeispiel	279
4.9	Irreguläre Belastungen	282
4.9.1	Querstoß an Führungsbahn	282
4.9.2	Nachlauf nach den Abschalten (Überlastsicherung)	285
5	Zur Synthese von Antriebssystemen	289
5.1	Regeln zur dynamischen Synthese	289
5.1.1	Zur Struktursynthese	289
5.1.2	Modellstufe „Starrkörpersystem“	294
5.1.2.1	Bewegung eines einzelnen Starrkörpers	294
5.1.2.2	Bewegung von Starrkörpersystemen	296
5.1.3	Modellstufe „Lineares Schwingungssystem“	299
5.1.4	Modellstufe „Nichtlineares Schwingungssystem“	301
5.2	Modale Anregbarkeit	302
5.2.1	Allgemeine Zusammenhänge	302
5.2.2	Beispiel: Torsionsschwingerkette	304
5.3	Optimale Auslegung von Baugruppen	307
5.3.1	Konturen von Unwuchtmassen	307
5.3.2	Kompensatoren für ungleichmäßig übersetzende Getriebe	309
5.3.3	Übersetzungsverhältnisse bei minimalem Trägheitsmoment	311
5.3.4	Stabprofile für extreme Eigenfrequenzen	313
5.4	Optimale Bewegungsabläufe	316
5.4.1	Instationäre Starrkörperbewegung	316
5.4.2	Eigenbewegung von Mechanismen	320
5.4.3	Anlaufen und Bremsen eines linearen Schwingers	323
5.4.3.1	Vergleich von Anlauffunktionen	323
5.4.3.2	Optimaler Antriebskraftverlauf	328

5.4.4	Kompensation von Restschwingungen	331
5.4.5	Resonanzdurchlauf	338
5.5	Zum Entwurf schwingungsarmer Mechanismen	344
5.5.1	Gestellschwingungen und Massenausgleich	344
5.5.2	Torsionsschwingungen und Leistungsausgleich	347
5.5.3	HS-Profile bei Kurvengetrieben	350
5.5.3.1	Theoretische Grundlagen	350
5.5.3.2	Rastgetriebe	354
5.5.3.3	Schrittgetriebe	356
5.5.4	Beeinflussung des Erregerspektrums mehrgliedriger Koppelgetriebe	363
5.6	Optimale Stützenabstände angetriebener Balken	365
5.6.1	Aufgabenstellung	365
5.6.2	Gekoppelte Biege- und Torsionsschwinger	366
5.6.3	Balken auf mehreren Stützen	369
5.7	Antriebe von Vibrationsmaschinen	376
5.7.1	Aufgabenstellung	376
5.7.2	Schubkurbelgetriebe als Schwingungserreger	377
5.7.3	Unwuchterreger und Selbstsynchronisation	382
5.7.3.1	Zur historischen Entwicklung dieser Antriebsart	382
5.7.3.2	Bedingungen für stabile Betriebszustände von Unwuchttrotoren	384
5.7.3.3	Beispiele für Vibrationsantriebe mit Selbstsynchronisation	388
	Häufig benutzte Formelzeichen	395
	Literaturverzeichnis	399
	Sachverzeichnis	415