

Hans Dresig

Schwingungen mechanischer Antriebssysteme

Modellbildung, Berechnung, Analyse, Synthese

Zweite, aktualisierte und ergänzte Auflage

Mit 192 Abbildungen und 46 Tabellen

4y Springer

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	14
2.1.2.3	Zur Vermeidung „steifer“ Systeme	22
2.1.3	Beispiel: Antrieb eines Mechanismus	24
2.2	Bewertung von Modellgleichungen	26
2.2.1	Regeln zur Verifikation von Modellgleichungen	26
2.2.2	Normierung der Parameter und der Variablen	29
2.2.3	Berechnungsmodelle von Schubkurbelgetrieben	31
2.2.3.1	Modellgleichungen	31
2.2.3.2	Elastisches Abtriebsglied mit Spiel	33
2.2.3.3	Spiel im Kurbelgelenk	41
2.2.3.4	Zur Kolbensekundärbewegung	43
2.2.4	Beispiele für mehrere Modellstufen	45
2.2.4.1	Modellgleichungen von Rotoren mit Unwucht	45
2.2.4.2	Schadensfall an einer Pumpenwelle	48
2.2.4.3	Versuchsstand mit Unwuchterreger	52
2.3	Induktive Modellbildung	55
2.3.1	Allgemeines	55
2.3.2	Parametererregte Schwingungen einer Buchschneidemaschine	58
2.3.3	Selbsterregte Schwingungen eines Wicklers	61
2.3.4	Instationäre Bewegungen bei Kranen	67
2.3.4.1	Anheben der Last vom Boden	67
2.3.4.2	Heben und Senken (Modell mit $n = 2$)	71
2.3.4.3	Heben und Senken (Modell mit $n = 4$)	79
2.3.4.4	Antriebsmoment bei Wippkranen	83
2.3.5	Diskrete Schwinger statt Kontinua (Balken- und Stabmodelle)	86
2.4	Deduktive Modellbildung	94
2.4.1	Allgemeines	94
2.4.2	Grundfrequenz von Schleifspindeln	96
2.4.3	Von 23 zu 5 Parametern (Fahrbewegung eines Brückenkrans)	101
2.4.4	Von räumlichen zu eindimensionalen Balken- und Stabmodellen	105
2.4.4.1	Allgemeine Zusammenhänge	105

2.4.4.2	Biegeschwingungen	113
2.4.4.3	Längs- und Torsionsschwingungen	119
2.4.4.4	Modellierung einer Getriebewelle	121
2.4.5	Schwenkbewegung eines Auslegerarms	124
2.4.6	Modellreduktion mit der Mittelungsmethode	131
2.4.7	Reibungseinflüsse	132
2.4.7.1	Zur Modellierung der Reibung	132
2.4.7.2	Einfluß der Schwingungen auf die Reibungszahl	134
2.5	Ermittlung von Parametern des Gesamtsystems	139
2.5.1	Sensitivitätsanalyse	139
2.5.1.1	Allgemeine Zusammenhänge	139
2.5.1.2	Beispiel: Torsionsschwingerkette	142
2.5.2	Parameterermittlung aus gemessenen Eigenfrequenzen und Eigenformen	146
2.5.3	Identifikation eines Systems mit zwei Freiheitsgraden	150
2.6	Freiheitsgradreduktion und Modellanpassung	153
2.6.1	Grundlagen der Freiheitsgradreduktion	153
2.6.2	Statische und dynamische Kondensation (GUYAN, RÖHRLE)	155
2.6.3	Reduktion nach RIVIN und Di	157
2.6.4	Modale Reduktion und Eigenformapproximation	159
2.6.5	Vergleich der Reduktionsmethoden an einem Beispiel	160
2.6.6	Modale Synthese	164
2.6.7	Kopplung von zwei Schwingerketten	167
3	Parameterwerte von Maschinenelementen und Baugruppen	173
3.1	Erreger- und Übertragungselemente von Torsionsschwingern	173
3.2	Parameterwerte einzelner Elemente	178
3.2.1	Zylinder- und Kegelelemente	178
3.2.2	Zusatzlängen und Nachgiebigkeitsfaktoren	181
3.2.3	Drehsteifigkeiten von Kurbelwellen	184
3.2.4	Dämpfungswerte von Torsionsschwingern	186
3.3	Wälzlager und Fugen	189
3.3.1	Allgemeine Zusammenhänge	189
3.3.2	Kugel- und Rollenlager	190
3.3.3	Fugen, Kontaktstellen, Gleit- und Wälzfürungen	194
3.4	Getriebe, Kupplungen, Motoren	195
3.4.1	Zahnradgetriebe	195
3.4.2	Berechnungsmodelle für nachgiebige Kupplungen	199
3.4.2.1	Allgemeine Zusammenhänge	199
3.4.2.2	Berechnungsmodell für Elastomerkupplungen	201
3.4.2.3	Nichtlineare Effekte bei biharmonischer Erregung	204
3.4.3	Asynchronmotor	208
3.5	Dämpfungskennwerte	211
4	Beispiele zur dynamischen Analyse von Antriebssystemen	219
4.1	Anlaufvorgang eines Antriebs mit Asynchronmotor	219
4.2	Fahrzeug-Antriebsstrang	221

4.3	Kupplungen im Antriebsstrang	228
4.3.1	Allgemeine Problemstellung	228
4.3.2	Lüfterantrieb	229
4.3.3	Druckmaschine	233
4.4	Ungleichmäßig übersetzende Mechanismen	236
4.4.1	Schwingungsursachen	236
4.4.2	Schwingungen am Abtriebsglied	241
4.4.3	Schwingungen infolge elastischer Antriebsglieder	246
4.5	Selbsthemmende Getriebe	250
4.5.1	Schwingungsursachen	250
4.5.2	Keilschubgetriebe	251
4.5.3	Schneckengetriebe	254
4.6	Schwingungen von Zugmittelgetrieben	262
4.6.1	Schwingungsursachen	262
4.6.2	Eigenfrequenzen des Zweischeiben-Riemengetriebes	264
4.6.3	Erzwungene und parametererregte Schwingungen	268
4.6.4	Kettengetriebe	270
4.6.5	Zahnriemengetriebe	277
4.7	Planetengetriebe	279
4.7.1	Allgemeine Problemstellung	279
4.7.2	Bewegungsgleichungen eines einfachen Berechnungsmodells	280
4.7.3	Beispiel: Getriebe mit drei Planeten	283
4.7.4	Vergleich von drei Fällen unterschiedlicher Zahneingriffe	286
4.8	Fahrbewegung eines Regalbediengerätes	288
4.8.1	Modellbildung	288
4.8.2	Herleitung der Bewegungsgleichungen	290
4.8.3	Lösung der Bewegungsgleichungen	293
4.8.4	Zahlenbeispiel	295
4.9	Irreguläre Belastungen	298
4.9.1	Querstoßan Führungsbahn	298
4.9.2	Nachlauf nach dem Abschalten (Überlastsicherung)	301
5	Zur Synthese von Antriebssystemen	305
5.1	Regeln zur dynamischen Synthese	305
5.1.1	Zur Struktursynthese	305
5.1.2	Modellstufe „Starrkörpersystem“	311
5.1.2.1	Bewegung eines einzelnen Starrkörpers	311
5.1.2.2	Bewegung von Starrkörpersystemen	312
5.1.3	Modellstufe „Lineares Schwingungssystem“	315
5.1.4	Modellstufe „Nichtlineares Schwingungssystem“	318
5.2	Modale Anregbarkeit	318
5.2.1	Allgemeine Zusammenhänge	318
5.2.2	Beispiel: Torsionsschwingerkette	321
5.3	Optimale Auslegung von Baugruppen	324
5.3.1	Konturen von Unwuchtmassen	324
5.3.2	Kompensatoren für ungleichmäßig übersetzende Getriebe	326

5.3.3	Übersetzungsverhältnisse bei minimalem Trägheitsmoment . . .	327
5.3.4	Stabprofile für extreme Eigenfrequenzen	329
5.4	Optimale Bewegungsabläufe	332
5.4.1	Instationäre Starrkörperbewegung	332
5.4.2	Eigenbewegung von Mechanismen	336
5.4.3	Anlaufen und Bremsen eines linearen Schwingers	339
5.4.3.1	Vergleich von Anlauffunktionen	339
5.4.3.2	Optimaler Antriebskraftverlauf	344
5.4.4	Rechtecksprünge und Restschwingungen	347
5.4.5	Stöße und deren Kompensation	354
5.4.5.1	Einzelstoß	354
5.4.5.2	Mehrere Stöße	354
5.4.5.3	Endlose Stoßfolge	358
5.4.5.4	Beispiel	360
5.4.6	Resonanzdurchlauf	366
5.5	Zum Entwurf schwingungsarmer Mechanismen	372
5.5.1	Gestellschwingungen und Massenausgleich	372
5.5.2	Torsionsschwingungen und Leistungsausgleich	375
5.5.3	HS-Profile bei Kurvengetrieben	378
5.5.3.1	Theoretische Grundlagen	378
5.5.3.2	Rastgetriebe	382
5.5.3.3	Schrittgetriebe	384
5.5.4	Beeinflussung des Erregerspektrums mehrgliedriger Koppel- getriebe	391
5.6	Optimale Stützenabstände angetriebener Balken	393
5.6.1	Aufgabenstellung	393
5.6.2	Gekoppelte Biege- und Torsionsschwinger	394
5.6.3	Balken auf mehreren Stützen	397
5.7	Antriebe von Vibrationsmaschinen	404
5.7.1	Aufgabenstellung	404
5.7.2	Schubkurbelgetriebe als Schwingungserreger	405
5.7.3	Unwuchterreger und Selbstsynchronisation	410
5.7.3.1	Zur historischen Entwicklung dieser Antriebsart	410
5.7.3.2	Bedingungen für stabile Betriebszustände von Unwuchttrotoren	412
5.7.3.3	Beispiele für Vibrationsantriebe mit Selbstsynchroni- sation	416
5.7.4	Vibrationshammer	421
5.7.4.1	Minimale konstante Handkraft	421
5.7.4.2	Dynamisch ausgeglichener pneumatischer Schlag- hammer	423
	Häufig benutzte Formelzeichen	427
	Literaturverzeichnis	431
	Sachverzeichnis	449