
Maschinendynamik – Aufgaben und Beispiele

Michael Beitelschmidt • Hans Dresig (Hrsg.)

Maschinendynamik – Aufgaben und Beispiele

Herausgeber
Michael Beitelschmidt
Inst. für Festkörpermechanik
TU Dresden
Dresden, Deutschland

Hans Dresig
Technische Universität Chemnitz
Chemnitz, Deutschland
hdresig@web.de und www.dresig.de

ISBN 978-3-662-47235-4 ISBN 978-3-662-47236-1 (eBook)
DOI 10.1007/978-3-662-47236-1

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

Springer Vieweg

© Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2015

Das Werk einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung, die nicht ausdrücklich vom Urheberrechtsgesetz zugelassen ist, bedarf der vorherigen Zustimmung des Verlags. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Bearbeitungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in diesem Werk berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, dass solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürften. Der Verlag, die Autoren und die Herausgeber gehen davon aus, dass die Angaben und Informationen in diesem Werk zum Zeitpunkt der Veröffentlichung vollständig und korrekt sind. Weder der Verlag noch die Autoren oder die Herausgeber übernehmen, ausdrücklich oder implizit, Gewähr für den Inhalt des Werkes, etwaige Fehler oder Äußerungen.

Gedruckt auf säurefreiem und chlorfrei gebleichtem Papier

Springer Berlin Heidelberg ist Teil der Fachverlagsgruppe Springer Science+Business Media
(www.springer.com)

Vorwort

Die vorliegenden Aufgaben und Beispiele umfassen das Wissensgebiet, das in der *Maschinendynamik* von Dresig/Holzweißig [22] behandelt wird. Sie sind analog zu den Kapiteln der *Maschinendynamik* geordnet, also von der Modellbildung über die *starre Maschine* bis zu den speziellen Kapiteln der Maschinenschwingungen. Einige der 60 Aufgaben wurden aus den vergriffenen Aufgabensammlungen [18] und [34] übernommen und überarbeitet.

Die acht Autorinnen und Autoren, deren Kurzbiografien im Anhang angegeben sind, haben mit ihren jahrelangen Erfahrungen aus Lehre und Forschung, die sie auf verschiedenen Gebieten des Maschinenbaues und der Fahrzeugtechnik sammelten, dafür gesorgt, dass ein breites Spektrum an praktischen Problemstellungen erfasst wird.

Die Aufgaben sind sowohl hinsichtlich der angewandten Lösungswege, als auch wegen der verschiedenen aufgezeigten physikalischen Effekte lehrreich und interessant. Der Schritt vom Realsystem zum Berechnungsmodell wird vielfach erläutert. Alle Ansätze und analytischen Lösungswege werden bei jeder Aufgabe ausführlich beschrieben. Zur Lösung wird oft auf Berechnungs-Software zurückgegriffen, deren Einsatz in Lehre und Praxis eine immer größere Rolle spielt. Die zunehmenden Möglichkeiten komplizierter Berechnungen verlangen jedoch vom Ingenieur eine verständnisvolle Interpretation der Ergebnisse, wobei die exemplarisch behandelten Standardfälle hilfreich sind. Maschinenbauingenieure, welche im Studium die Grundlagen der Technischen Mechanik kennenlernten, bekommen die Möglichkeit, sich in spezifische Fragestellungen der Maschinendynamik einzuarbeiten.

Die aus der Ingenieurpraxis stammenden Beispiele berücksichtigen reale Parameterwerte konkreter Maschinen, so dass nicht nur der mathematische Lösungsweg von Interesse ist, sondern u. a. auch die im Maschinenbau vorkommenden Parameterbereiche, z. B. der Frequenzen freier und erzwungener Schwingungen, der kritischen Drehzahlen und der dynamische Kräfte und Momente. Jede Aufgabe wird als typisches Beispiel einer Problemgruppe aufgefasst, die einleitend und in der Zusammenfassung erläutert wird. Die Verweise auf weiterführende Literatur bei vielen Lösungen werden vor allem diejenigen interessieren, welche sich in ein Gebiet weiter einarbeiten wollen.

Im Namen aller Autoren danken wir Herrn Dr.-Ing. Dr. h.c. Zhirong Wang (王志荣), der uns wertvolle fachlich-inhaltliche Hinweise zu einzelnen Aufgaben gab und mit außergewöhnlichem Engagement die druckreife Fassung des Buchmanuskripts gestaltete.

Prof. Dr.-Ing. Michael Beiteltschmidt

Prof. Dr.-Ing. habil. Hans Dresig

Inhaltsverzeichnis

Vorwort	v
1 Modellbildung und Kennwertermittlung	1
1.1 Kennwertermittlung mit Hilfe von Ausschwingversuchen	1
1.2 Trägheitsmomente bei Antrieben mit großen Übersetzungen	5
1.3 Trägheitsparameter/Rollpendel	10
1.4 Dämpfungsvermögen einer Fräsmaschinenspindel	14
1.5 Dämpfungsbestimmung aus einem Frequenzgang	21
1.6 Dämpfungs- und Steifigkeitseigenschaften eines Viskodämpfers	28
1.7 Antriebsleistung von Schwingförderer mit belastungsunabhängiger Amplitude	34
1.8 Bestimmung des Trägheitstensors starrer Maschinenkomponenten	39
2 Dynamik der starren Maschine	45
2.1 Antriebsleistung und Schwungrad einer Presse	45
2.2 Massenkräfte und Massenausgleich an einem Luftverdichter	54
2.3 Massenausgleich bei einer Schneidemaschine	61
2.4 Veränderliche Zahnkräfte bei einem Kolbenverdichter	69
2.5 Ausgleichswellen im Verbrennungsmotor	78
2.6 Stoß bei Kolbenquerbewegung	85
2.7 Auswuchten eines starren Rotors	92
2.8 Momentenverlauf im Verbrennungsmotor	97
2.9 Lastdrehen am Hubseil	103
2.10 Freie Massenkräfte und –momente in einem Fünfzylindermotor	108
3 Fundamentierung und Schwingungsisolierung	113
3.1 Motoraufstellung auf einer Wippe	113
3.2 Aufstellung einer Nähmaschine	117
3.3 Schwingungsisierte Aufstellung eines Steuerschranks	126
3.4 Federung für konstante Eigenfrequenz	129
3.5 Doppelte Schwingungsisolierung	134
3.6 Laufkatze stößt gegen Puffer	140
3.7 Resonanzfreier Betriebsbereich	145
4 Torsionsschwinger und Längsschwinger	151
4.1 Überlastschutz an einer Reibspindelpresse	151
4.2 Schwingungstilgung in einem Planetengetriebe	155
4.3 Verzahnungsfehler als Schwingungserregung	160
4.4 Schwingungen in einem Antriebssystem mit Kurvengetriebe	169
4.5 Anlaufvorgang eines Antriebssystems mit elastischer Kupplung	176
4.6 Schützenantrieb einer Webmaschine	180
5 Biegeschwinger	187
5.1 Einflüsse konstruktiver Parameter auf die Grundfrequenz einer Getriebewelle	187

5.2	Stabilität der Biegeschwingungen einer unrunder Welle	195
5.3	Stabilität eines starren Rotors in anisotropen Lagern	200
5.4	Riemenschwingungen	205
5.5	Fluidgedämpfte Schwingungen des Rotors einer Kreiselpumpe . . .	211
5.6	Kreiselpumpe mit innerer Dämpfung	217
5.7	Schlag und Unwucht am LAVAL-Rotor	225
5.8	Lagereinfluss auf das Eigenverhalten einer Spindel	234
6	Lineare Schwinger mit Freiheitsgrad N	241
6.1	Schwingungen eines Versuchsstandes	241
6.2	Elastisch aufgehängter Motorblock mit Freiheitsgrad 6	248
6.3	Stationäre Schwingungen einer Nadelbarre mit elastischem Antrieb	256
6.4	Eigenverhalten einer elastisch gelagerten Maschinenwelle	266
6.5	Abschätzung der unteren Eigenfrequenzen eines WZM-Tischantriebs	274
6.6	Digitaldruckmaschine	281
6.7	Kreiselkorrekturerreger	288
6.8	Gezielte Änderung von Eigenfrequenzen	293
7	Nichtlineare und selbsterregte Schwinger	299
7.1	Zur Kinetik einer Kardanwelle	299
7.2	Reibungsschwingungen in einem Positionierantrieb	307
7.3	Nichtlineare Schwingungen eines Vibrationstisches	314
7.4	Resonanzdurchfahrt einer unwuchtig beladenen Waschmaschine . .	319
7.5	Selbstsynchronisation von Unwuchterregern an einem Schwingtisch	328
7.6	Höhere Harmonische bei einem unwuchterregten Versuchsstand . .	334
7.7	Periodische Bewegungen eines Bodenverdichters	343
7.8	Stabilität der Gleichgewichtslagen eines Rührwerkes	348
7.9	Vergleich zweier Dämpfungsansätze	356
7.10	Kontrolle des Superpositionsprinzips an einem Beispiel	362
8	Geregelte Systeme (Systemdynamik/Mechatronik)	367
8.1	Stehendes Pendel	367
8.2	Magnetgelagerte Werkzeugspindel	375
8.3	Fliehkraftregelung einer Schleifmaschine mit Luftmotor	383
	Autorenbiographien	393
	Literatur	395
	Sachverzeichnis	401