

Instationäres Verhalten von Abgasturboladern

Vom Fachbereich Maschinenbau
an der Technischen Universität Darmstadt
zur Erlangung des Grades eines
Doktor-Ingenieurs (Dr.-Ing.)
genehmigte

Dissertation

von

Dipl.-Ing. Martin Kreschel

aus Dessau

Berichterstatter: Prof. Dr.-Ing. Richard Markert
Mitberichterstatter: Prof. Dr.-Ing. Rainer Nordmann
Tag der Einreichung: 05.08.2010
Tag der mündlichen Prüfung: 02.11.2010

Darmstadt 2010
D 17



Inhaltsverzeichnis

Liste der Formelsymbole	VII
Kurzfassung	XI
Abstract	XII
1 Einleitung	1
1.1 Motivation und Aufgabenstellung	1
1.2 Stand der Forschung	2
1.2.1 Dynamik von Rotorsystemen mit konstanten Parametern im instationären Betrieb	2
1.2.2 Dynamik von Rotorsystemen mit drehzahlabhängigen Parametern im instationären Betrieb	3
1.2.3 Turboladersysteme im instationären Betrieb	3
1.2.4 Wuchten in der Praxis	4
1.2.5 Wuchten durch Identifikation aus stationären Meßläufen	5
1.2.6 Wuchten durch Identifikation aus instationären Meßläufen	6
1.3 Inhalt und Gliederung der Arbeit	8
2 Eigenschaften und Besonderheiten bei drehzahlveränderlichem Betrieb	9
2.1 Modellierung von Rotorsystemen mit drehzahlveränderlichen Eigenschaften im instationären Betrieb	9
2.2 Modale Theorie bei drehzahl- und zeitveränderlichen Systemmatrizen	11
2.3 Drehzahlabhängige Systemmatrizen	13
2.4 Beispielrotor mit Kreiselwirkung	17
2.4.1 Bewegungsgleichungen	17
2.4.2 Modale Parameter bei verschiedenen konstanten Drehzahlen	19
2.4.3 Simulation des instationären Hochlaufes	25

2.4.4	Auswirkungen von Näherungen am Beispiel des Beispielrotors mit Kreiselwirkung	28
2.5	Modellierung des Turboladers und Turboladerversuchsstand	37
2.5.1	Beschreibung des Turboladers	37
2.5.2	Finite-Elemente-Modell des Turboladerrotors	40
2.5.3	Analytisches Modell des starr gelagerten Turboladerrotors	42
2.5.4	Turboladerversuchsstand	49
2.6	Resonanzdurchfahrt von drehzahlabhängigen Rotorsystemen	52
2.7	Auswuchtaufgabe	54
3	Unwucht- und Parameteridentifikation aus instationären Messungen	56
3.1	Zum Auswuchten durch Identifikation	56
3.2	Identifikation durch Modellanpassung im Zeitbereich	58
3.2.1	Modell	58
3.2.2	Zeitdiskrete Systemdynamik	61
3.2.3	Messungen am Rotor und Berechnung der Systemerregung	62
3.2.4	Bestimmung der Systemparameter	63
3.2.5	Vereinfachungen am Identifikationsmodell	65
3.2.6	Mittelung über mehrere Hoch- und Ausläufe	66
3.3	Konvergenz, Konsistenz und Fehlereinflüsse	66
3.3.1	Statistische Eigenschaften der Identifikationsverfahren	67
3.3.2	Fehlerhafte modale Daten	67
4	Erprobung des instationären Auswuchtverfahrens	69
4.1	Am Beispielrotor mit Kreiselwirkung	69
4.1.1	Anfangswerte	73
4.1.2	Testen der Identifikation	74
4.2	Am Turbolader	78
4.2.1	Identifikation am analytischen Turboladermodell	78
4.2.2	Testen der Identifikation	81
4.2.3	Identifikation am Abgasturboladerprüfstand	83
5	Zusammenfassung und Ausblick	88
	Literaturverzeichnis	92