

Inhaltsverzeichnis

| | |
|---|-------------|
| Nomenklatur | ix |
| Kurzfassung | xv |
| Abstract | xvii |
| 1 Einleitung | 1 |
| 2 Einführung in die Problematik verstimmter Strukturen | 5 |
| 3 Stand der Wissenschaft | 7 |
| 3.1 Überblick über historisch bedeutende Forschungsarbeiten auf dem Themengebiet der gekoppelten Schaufelschwingungen | 7 |
| 3.2 Probabilistische Untersuchung des erzwungenen Schwingungsverhaltens | 8 |
| 3.3 Amplitudenreduktion durch gezieltes Einbringen von strukturellen Verstimmungen | 10 |
| 3.4 Amplitudenüberhöhung durch gezieltes Einbringen von strukturellen Verstimmungen | 11 |
| 3.5 Identifikation von strukturellen Verstimmungen | 12 |
| 4 Modellierung elastischer, rotierender Strukturen | 15 |
| 4.1 Methode der Finiten Elemente | 15 |
| 4.2 Vereinfachte Berücksichtigung von Rotationseffekten | 16 |
| 4.3 Zustandsraumdarstellung | 17 |
| 5 Modellierung der Aeroelastik | 19 |
| 5.1 Modellierung der aerodynamischen Anregung | 19 |
| 5.2 Modellierung der aerodynamischen Dämpfung | 21 |

| | | |
|-----------|--|-----------|
| 5.3 | Berechnung der aerodynamischen Anregung | 24 |
| 5.4 | Bemerkungen zur aerodynamischen Dämpfung | 25 |
| 6 | Modellordnungsreduktion | 27 |
| 6.1 | Modales Abschneiden | 27 |
| 6.1.1 | Berücksichtigung von Rotationseffekten | 31 |
| 6.2 | Substrukturverfahren | 33 |
| 6.2.1 | Craig-Bampton Verfahren | 33 |
| 6.2.2 | Craig-Chang Verfahren | 35 |
| 6.2.3 | Craig-Chang-Martinez Verfahren | 37 |
| 6.3 | Interface-Reduktion | 38 |
| 6.3.1 | Wave-Based Substructuring | 38 |
| 6.3.2 | Quantifizierung der Approximationsgüte der reduzierten Modelle . | 41 |
| 7 | Kopplung periodischer Elemente | 43 |
| 7.1 | Systemassemblierung in physikalischen Koordinaten | 43 |
| 7.2 | Verwendung von zyklischen Randbedingungen | 46 |
| 7.3 | Assemblierung zum 360°-Modell | 49 |
| 8 | Verstimmungsidentifikation | 51 |
| 8.1 | Best Achievable Eigenvektor Ansatz | 51 |
| 8.2 | Ein neuer Ansatz zur Verstimmungsidentifikation | 54 |
| 8.3 | Verstimmungsidentifikation als Optimierungsproblem | 57 |
| 9 | Quantifizierung von Verstimmungseffekten | 59 |
| 9.1 | Begriff der Frequenzpfadverfolgung | 59 |
| 9.2 | Begriff der Modenfülligkeit | 61 |
| 9.3 | Begriff der Amplitudenüberhöhung | 61 |
| 10 | Validierung des erweiterten SNM-Ansatzes | 65 |
| 10.1 | Einführung des Fallbeispiels <i>ITSM-M1</i> | 65 |
| 10.2 | Statische Vorspannungsanalyse und Matrizenexport | 66 |

| | |
|--|------------|
| 10.3 Genauigkeit der implementierten Reduktionsansätze in der Vorhersage des Eigenschwingungsverhaltens | 67 |
| 10.4 Zusammenfassung | 74 |
| 11 Probabilistische Verstimmungsuntersuchungen | 77 |
| 11.1 Analyse des Eigenschwingungsverhaltens der unverstimmten Struktur . . | 77 |
| 11.2 Validierung der Approximationsgenauigkeit in der Vorhersage des Eigenschwingungsverhaltens | 78 |
| 11.3 Probabilistische Analyse des Eigenschwingungsverhaltens verstimmter Strukturen | 80 |
| 11.4 Validierung der Approximationsgenauigkeit in der Vorhersage des erzwungenen Schwingungsverhaltens | 87 |
| 11.5 Probabilistische Analyse des erzwungenen Schwingungsverhaltens RC M1KD6 | 89 |
| 11.6 Probabilistische Analyse des erzwungenen Schwingungsverhaltens RC M2KD4 | 92 |
| 11.7 Zusammenfassung | 96 |
| 12 Resonanzamplitudenänderung bei gezieltem Einbringen struktureller Verstimmungen | 99 |
| 12.1 Mechanismen der Amplitudenreduktion | 99 |
| 12.2 Maximale Amplitudenüberhöhung | 104 |
| 12.3 Zusammenfassung | 106 |
| 13 Eignung und Potenzial von Substrukturverfahren | 109 |
| 13.1 Bemerkungen zur Interface-Reduktion bei Verwendung von Substrukturverfahren | 109 |
| 13.2 Genauigkeit bei Verwendung der wellenbasierten Interface-Reduktion . . | 112 |
| 13.3 Eignung der Reduktionsansätze bei Berücksichtigung großer Verstimmungen: Eigenschwingungsverhalten | 113 |
| 13.4 Eignung der Reduktionsansätze bei Berücksichtigung großer Verstimmungen: Erzwungenes Schwingungsverhalten | 117 |
| 13.5 Zusammenfassung | 118 |

| | |
|---|------------|
| 14 Validierung des SNM-ID Ansatzes | 119 |
| 14.1 Validierung ohne Messrauschen | 119 |
| 14.2 Validierung mit Messrauschen | 125 |
| 14.3 Vergleich elastizitätsmodulbasierter Identifikationsansätze | 129 |
| 14.4 Zusammenfassung | 132 |
| 15 Verstimmungsidentifikation am Axialverdichterlaufrad <i>ITSM-ASBI</i> | 135 |
| 15.1 Experimentelle Modalanalyse | 135 |
| 15.2 Frequenzvergleich und Modenextraktion | 137 |
| 15.3 Validierung der implementierten Identifikationsansätze | 138 |
| 15.4 Zusammenfassung | 146 |
| 16 Zusammenfassung | 147 |
| 17 Ausblick | 151 |
| Literaturverzeichnis | 153 |
| A Anhang zu Kapitel 6 | 169 |
| B Anhang zu Kapitel 7 | 171 |
| C Anhang zu Kapitel 8 | 173 |
| D Anhang zu Kapitel 10 | 177 |
| E Anhang zu den Kapiteln 12, 14 und 15 | 181 |