

# Bibliografische Beschreibung

Wittstock, Volker

## Thema

Piezobasierte Aktor-Sensor-Einheiten zur uniaxialen Schwingungskompensation in Antriebssträngen von Werkzeugmaschinen

Dissertation an der Fakultät für Maschinenbau der Technischen Universität Chemnitz, Institut für Werkzeugmaschinen und Produktionsprozesse, Chemnitz, 2006

- 163 Seiten
- 71 Abbildungen
- 13 Tabellen
- 115 Literaturzitate

## Referat

Für adaptronische Komponenten zur Schwingungskompensation wird gezeigt, wie mit Hilfe des V-Modells als Makrozyklus im konstruktiven Entwicklungsprozess methodisch zwischen dem komplexen Systementwurf und der Detailgestaltung abgewogen werden kann. Für die Einbindung der Piezoaktork in mechanische Komponentenmodelle wird die Nutzung eines elektromechanischen Wandlermodells vorgeschlagen. Die systematische Modellbeschreibung der Komponente mit einer Differenzialanordnung der Piezoaktoren beruht auf Gestaltungsfaktoren, die das Verhältnis der Steifigkeiten der Einzelemente zur Aktorsteifigkeit ausdrücken. Als wichtigster Einfluss auf die Kraftübertragung wird die serielle Anbindungssteifigkeit identifiziert, aus der sich auch die maximal kompensierbare äußere Störkraft ergibt. Mit dem vorgeschlagenen Komponentenmodell ist die Übertragung der aktortypischen Kennwerte Blockierkraft und freier Hub auf die Komponente möglich. Durch die Nutzung des Wandlermodells können Aussagen zum elektrischen Ansteuerstrom getroffen werden. Die Ausführungen zur Komponentengestaltung, zur Berechnung der mechanischen Kennwerte sowie zur Verifizierung werden an zwei Aktor-Sensor-Einheiten exemplarisch erläutert, die jeweils für den späteren Einsatz in einer seriellen, spannenden Werkzeugmaschine und einer parallelkinematischen Maschine vorgesehen sind. Das Konzept zur stärkeren Strukturintegration der Aktork in Komponenten mit Formkomposit-Aktoren wird an der Vorspannungsvariation einer Mutter eines Kugelgewindetriebes demonstriert.

verfolgt und mich stets, vielleicht etwas den Kopf schüttelnd, nach dem praktischen Nutzen gefragt.

Dresden, den 12. März 2006

Volker Wittstock

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Problemstellung</b> .....	<b>25</b>
1.1	<b>Ausgangssituation</b> .....	<b>25</b>
1.2	<b>Schwingungsbedingte Leistungsgrenzen von Werkzeugmaschinen</b> .....	<b>25</b>
1.3	<b>Charakterisierung von Antriebssträngen und deren Schwingformen</b> .....	<b>26</b>
1.4	<b>Anregungsmechanismen</b> .....	<b>28</b>
1.5	<b>Piezokeramische Aktorik</b> .....	<b>31</b>
<b>2</b>	<b>Zielstellung der Arbeit</b> .....	<b>33</b>
<b>3</b>	<b>Stand der Technik</b> .....	<b>37</b>
<b>3.1</b>	<b>Schwingungsreduzierung in mechanischen Strukturen</b> .....	<b>37</b>
3.1.1	Unterschiede zwischen dämpfenden und kompensierenden Maßnahmen .....	37
3.1.2	Defizite schwingungsreduzierender Maßnahmen in Antriebssträngen .....	39
3.1.3	Lösungsansatz Adaptronik .....	41
<b>3.2</b>	<b>Einsatz von Piezokeramiken als hochdynamische Aktoren</b> .....	<b>42</b>
3.2.1	Einbindung der Piezoaktorik in mechanische Modelle .....	42
3.2.2	Anwendungen in allgemeinen Maschinenelementen .....	44
3.2.3	Aktive Komponenten in Antriebssträngen von Werkzeugmaschinen .....	46
3.2.4	Piezobasierte Stellglieder in Werkzeughalter und -stellsystemen ..	48

<b>4</b>	<b>Elektromechanischer Entwurf adaptiver Komponenten</b>	<b>53</b>
<b>4.1</b>	<b>Methodisches Vorgehen im konstruktiven Entwicklungsprozess</b>	<b>53</b>
4.1.1	Anwendung der VDI-Richtlinie 2206	53
4.1.2	Auswahl der Differenzialanordnung als Antriebsprinzip und Grobauslegung der Piezoaktoren	56
4.1.3	Gestalterische Aspekte piezobasierter Komponenten	57
4.1.4	Aktor-Sensor-Einheit zur Torsionskompensation (ASE Torsion)	62
4.1.5	Axialwirkende Aktor-Sensor-Einheit (ASE Axial)	66
<b>4.2</b>	<b>Modellierung der diskreten Piezoaktoren</b>	<b>72</b>
4.2.1	Aufbereitung notwendiger Grundlagen	72
4.2.2	Mechanisches Piezoaktor-Modell	76
4.2.3	Berechnung des elektromechanischen Frequenzverhaltens	83
4.2.4	Nutzung von Materialdaten und Aktor-Kennwerten	86
<b>4.3</b>	<b>Mechanische Modellierung von Komponenten mit Differenzialanordnung der Aktoren</b>	<b>88</b>
4.3.1	Zweckorientierte Analyse der Struktur	88
4.3.2	Quasistatisches Verhalten: Freier Hub und Blockierkraft	90
4.3.3	Vorspannung und Betriebsbelastung der Piezoaktoren	94
4.3.4	Modellreduktion und dynamisches Verhalten	101
4.3.5	Aktor-Sensor-Einheit zur Torsionskompensation (ASE Torsion)	105
4.3.6	Axialwirkende Aktor-Sensor-Einheit (ASE Axial)	111
<b>4.4</b>	<b>Konstruktionssystematik für piezobasierte Komponenten mit Differenzialanordnung</b>	<b>116</b>
<b>4.5</b>	<b>Aspekte der Wechselwirkungen zwischen der Komponente und der Systemumgebung</b>	<b>118</b>
4.5.1	Ansätze für maschinendynamisch-regelungstechnische Gesamtmodelle mit konzentrierten Parametern	118
4.5.2	Modellierungsansätze für die Komponentenbeispiele	119
<b>4.6</b>	<b>Verifizierung der Komponenten Kennwerte</b>	<b>122</b>
4.6.1	Versuchsprogramm und Analysegrenzen	122
4.6.2	Experimentelle Analyse der ASE Torsion	124
4.6.3	Experimentelle Analyse der ASE Axial	126
4.6.4	Amplitudengänge des Stroms - Grenzen der Verifizierung	130

<b>5</b>	<b>Aktorik zur stärkeren Strukturintegration</b>	<b>133</b>
<b>5.1</b>	<b>Lösungsansatz</b>	<b>133</b>
5.1.1	Verschiebung der System- und Betrachtungsgrenzen	133
5.1.2	Piezokeramische Formkomposit-Aktoren	134
<b>5.2</b>	<b>Übertragbarkeit der Berechnungen von <math>d_{33}</math>- auf <math>d_{31}</math>-Aktoren</b>	<b>136</b>
5.2.1	Verhalten der Einzelaktoren	136
5.2.2	Systemverhalten	138
<b>5.3</b>	<b>Anwendungsbeispiel: Vorspannungsvariation im Kugelgewindetrieb</b>	<b>138</b>
5.3.1	Ausgangssituation	138
5.3.2	Entwurf und Modellierung des Teilsystems Federhülse mit Aktoren	140
5.3.3	Experimentelle Analyse des Systems	142
<b>6</b>	<b>Zusammenfassung und Ausblick</b>	<b>145</b>
	<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>149</b>
	<b>Anlagen</b>	<b>159</b>
	<b>Kenn- und Materialdaten piezoelektrischer Aktoren</b>	<b>159</b>
	A 1 Typ I: Kommerzieller Stapelaktor	159
	A 2 Typ Ia: Kommerzieller Stapelaktor	160
	A 3 Typ II: Kommerzieller Stapelaktor	161
	A 4 Typ III: Formkomposit-Aktor auf Plattenbasis (Labormuster)	162