

Umlaufbiegevorrichtung mit Resonanzverstärkung und Rundlaufregelung

ATTILA ALT

Die Schwingfestigkeit von Wellen bei Umlaufbiegung und das Reibkorrosionsverhalten von Welle-Nabe-Verbindungen mit Polygonprofilen werden an der TU Berlin seit Jahren mit rotationssymmetrischen Prüfvorrichtungen untersucht, die auf eine Erfindung von Bahls bei VW zurückgehen. Hierbei werden ebene Biegeeigenschaften elektromagnetisch phasenverschoben angeregt, um den Prüfling umlaufend zu biegen. Bisher störten dabei abweichende und veränderliche Eigenfrequenzen oder Dämpfungen der erregten Schwingungen den Rundlauf, da dieser nur zu Beginn eines Versuches mit Ausgleichsgewichten von Hand eingestellt wurde. Der Beitrag beschreibt die Prüfvorrichtung von Bahls sowie neue Varianten. Des Weiteren werden zwei Regelungen vorgestellt, mit denen der Rundlauf automatisch geregelt werden kann.

1 Einleitung

Der Rundlauf der Umlaufbiegeprüfvorrichtung nach Bahls beruht auf deren rotationssymmetrischen Struktureigenschaften. Fertigungs- und montagebedingt oder bei nicht kreisrunden Querschnitten des Prüflings ist die Vorrichtung nicht genau rotationssymmetrisch und schwingt in ihren Rotationsebenen und im Verlauf eines Versuches erfahrungsgemäß ungleich gedämpft. Bei der Anregung mit gleicher Frequenz von Schwingungen unterschiedlicher Eigenfrequenz und veränderlicher Dämpfung muss daher der Rundlauf geregelt werden.

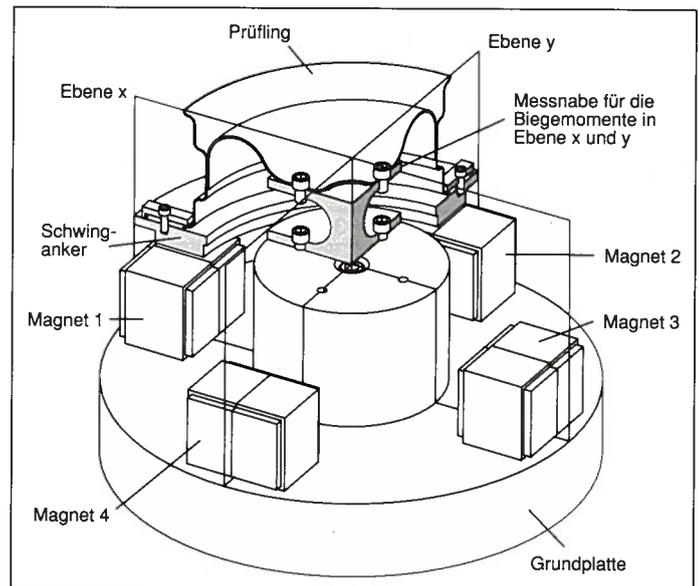
Im Folgenden werden die Prüfvorrichtung von Bahls und neue Varianten hiervon beschrieben und das Umlaufverhalten mathematisch formuliert, um die Stellgrößen für den Rundlauf abzuleiten. Zwei verschiedene Rundlaufregelungen werden vorgestellt und Vereinfachungen im Aufbau der Vorrichtung und ihres Antriebs vorgeschlagen.

2 Umlaufbiegeprüfvorrichtung von Bahls

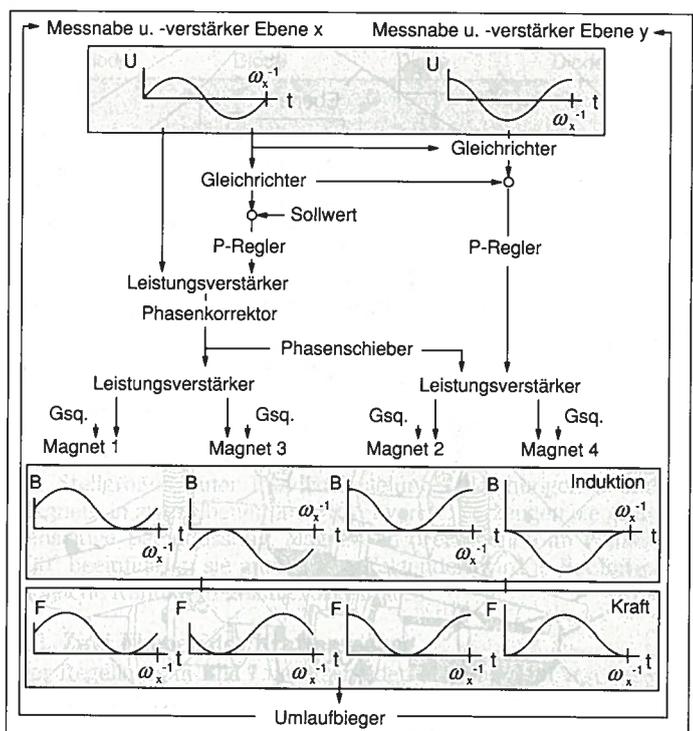
Für die Umlaufbiegeprüfung einer Kfz-Stahlfelge (Bild 1) und der zugehörigen Nabe fand Bahls ein Prinzip, das sich für alle möglichen rotationssymmetrischen Bauteile oder Bauteilverbindungen eignet.

2.1 Funktionsprinzip, Strukturmodell und Aufbau

Bei der Umlaufbiegevorrichtung nach Bahls rotiert anstelle des Prüflings die Belastung. Sie entsteht durch die phasenverschoben erregten Biegeeigenschaften der Prüfvorrichtung in Rotationsebenen. Die Arbeit der Schwingungsdämpfung und der jeweils ersten Auslenkung mit dem Sollwert der Amplitude verrichten Elektromagnete.



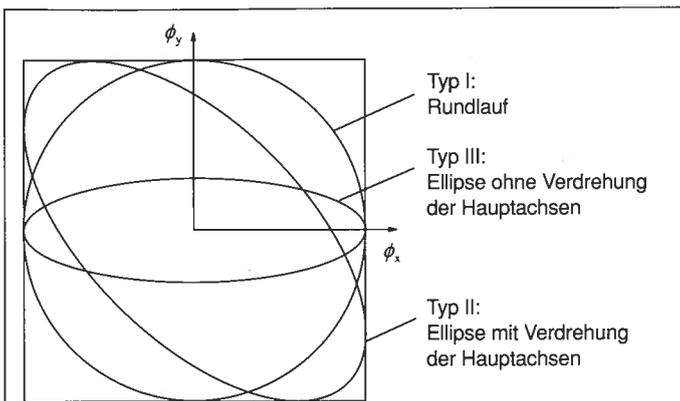
1: Umlaufbiege-Prüfvorrichtung von Bahls



2: Regelkreis der Umlaufbiege-Prüfvorrichtung von Bahls

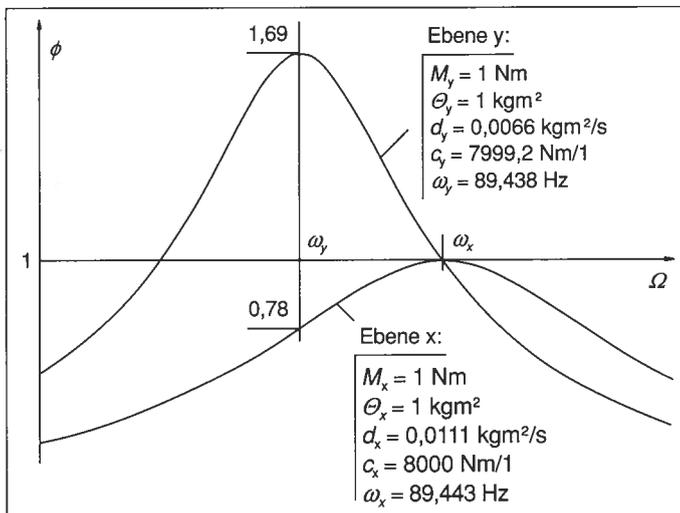
Das gleiche Modell eines gedämpften Einmassenschwingers beschreibt die Struktur der Prüfvorrichtung in Bild 1 und deren Eigenschwingungen in allen Rotationsebenen. Der Prüfling wird in der Funktion der Feder beansprucht. Er verbindet die Grundplatte über eine vergleichsweise steife Messnabe mit einem Schwinganker in der Funktion des Trägheitskörpers. Die Elektro-

Dipl.-Ing. Attila Alt ist wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Konstruktionstechnik und Entwicklungsmethodik der TU Berlin in 10623 Berlin

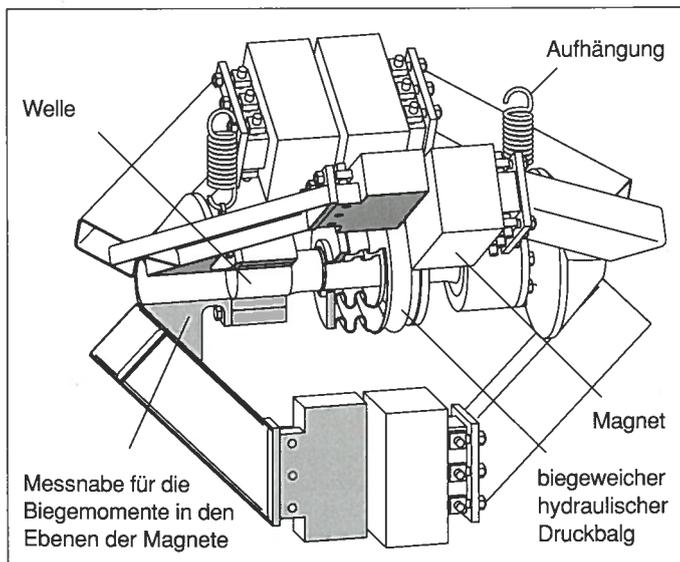


Typ	I	II	III
M_x / M_y	1 / 1	1 / 1	1 / 1
β_y	0°	0°	0°
Θ_x / Θ_y	1 / 1	1 / 1	1 / 1
c_x / c_y	8000 / 8000	8000 / 7999,2	8000 / 8000
d_x / d_y	0,0111 / 0,0111	0,0111 / 0,0066	0,0111 / 0,0375
ω_x / ω_y	89,443 / 98,443	89,443 / 98,438	89,443 / 98,443
ϕ_x / ϕ_y	1 / 1	1 / 1	1 / 0,3
Rundlauf bei:		$\beta_y = 54^\circ$	$M_x / M_y = 1 / 3,34$

3: Typische Formen der Umlaufbiegung mit Zahlenbeispielen



4: Amplituden des Zahlenbeispiels zu Typ II in Abhängigkeit von der Anregungsfrequenz Ω



5: Prüfvorrichtung für Umlaufbiegung und statischen Zug

magnete befinden sich mit einem Spalt gegenüber dem Schwinganker auf der Grundplatte. Die Dämpfung beinhaltet Reibung an Verbindungsstellen, Versetzungswanderungen im verformten Werkstoff des Prüflings und den Luftwiderstand. Reaktionskräfte im Fundament werden durch eine große Trägheit der Grundplatte und deren elastische Lagerung auf dem Fundament klein gehalten. Nach dem Modell des gedämpften Einmassenschwingers übernimmt die Grundplatte die Funktion der Einspannung.

Die Erfindung von Bahls basiert auf einer rechteckigen Anordnung von vier Magneten (Bild 1), die umlaufend 90° phasenverschoben mit Wechselstrom betrieben werden, und einer von drei Magneten im Winkel von 120° für den Betrieb mit Drehstrom. Für die Ausführung mit zwei Ebenen der Kraftanregung wird dabei der in Folgenden beschriebene Regelkreis empfohlen.

2.2 Regelkreis

Eine erste Eigenschwingung wird in Ebene x angestoßen. Sie wird mit Hilfe von Dehnmessstreifen elektrisch gemessen, um das Signal für den Betrieb der Magnete zu verarbeiten. Für die Magnete in Ebene x wird das Signal ohne zeitliche Verzögerung und für die in Ebene y mit einer Phasenverschiebung von 90° jeweils so leistungsverstärkt, dass die Vorrichtung in beiden Ebenen mit dem Sollwert der Amplitude schwingt (Bild 2). Eine zweite Wicklung der Magnete wird von einer Gleichstromquelle (Gs.) so versorgt, dass die Magnete 1 und 3 in Ebene x schwellend sinusförmige und die Magnete 2 und 4 in Ebene y schwellend cosinusförmige magnetische Induktionen entgegengesetzter Vorzeichen erzeugen. Eine auf die vier Magnete verteilte sinusförmig schwellende Kraft läuft um, weil der Schwinganker unabhängig vom Vorzeichen der Induktion angezogen wird.

2.3 Umlaufverhalten

In senkrecht zueinander stehenden Ebenen beeinflussen sich die Biegeeigenschwingungen der Vorrichtung und ihre anregenden Momente nicht. Ihre Struktureigenschaften lassen sich auf zwei Ebenen eines kartesischen Koordinatensystems beziehen. Zwei gedämpfte Einmassenschwinger mit diesen Eigenschaften sind das Strukturmodell der Vorrichtung. Wenn die Vorrichtung nicht genau rotationssymmetrisch ist, unterscheiden sich die Eigenschaften der Teilmodelle. Ihre Schwingungen stehen nur durch die gleiche Frequenz ihrer Momentenanregung in Verbindung:

$$\Theta_x \cdot \ddot{\phi}_x + d_x \cdot \dot{\phi}_x + c_x \cdot \phi_x = M_x \cdot \sin(\omega_x \cdot t) \quad (1)$$

$$\Theta_y \cdot \ddot{\phi}_y + d_y \cdot \dot{\phi}_y + c_y \cdot \phi_y = M_y \cdot \cos(\omega_x \cdot t + \beta_y) \quad (2)$$

Gleichung 1 beschreibt die Neigung ϕ_x in der Ebene x des Schwingankers bei einer sinusförmigen Anregung mit dem Moment M_x und der Eigenfrequenz ω_x , Gleichung 2 die Neigung ϕ_y in der Ebene y bei einer cosinusförmigen Anregung mit dem Moment M_y , der Eigenfrequenz ω_x und dem Nullphasenwinkel β_y . Die Trägheitsmomente Θ , Steifigkeiten c und Dämpfungen d sind den Ebenen zugeordnet indiziert.

Die Eigenschwingungen als homogene Lösungen der Differenzialgleichungen zu Anfangsbedingungen klingen gedämpft ab. Die inhomogenen Lösungen beschreiben den eingeschwungenen Zustand der erregten Schwingungen. Die Zeitverläufe von ϕ_x und ϕ_y berechnen sich nach [2] gemäß den Gleichungen 3 und 4:

$$|\phi_x| = \frac{|M_x|}{\sqrt{(c_x - \omega_x^2 \cdot \Theta_x)^2 + (\omega_x \cdot d_x)^2}} \cdot \sin(\omega_x \cdot t - \gamma_x) \quad (3)$$

$$|\phi_y| = \frac{|M_y|}{\sqrt{(c_y - \omega_x^2 \cdot \Theta_y)^2 + (\omega_x \cdot d_y)^2}} \cdot \cos(\omega_x \cdot t - \gamma_y + \beta_y) \quad (4)$$

ϕ_x und ϕ_y setzen sich aus einer Amplituden- und einer Zeitfunktion zusammen. Bei gleichen Amplituden und Phasenwinkeln beschreibt die rechtwinklige Darstellung von ϕ_y über ϕ_x den kreisförmig mit ω_x wiederkehrenden Umlauf der Neigung des Schwingankers (Bild 3). Neben diesem Rundlauf (Typ I) gibt es zwei typische elliptische Abweichungen. Die Hauptachsen der Ellipse fallen entweder mit den Ebenen der Momentenanregung zusammen (Typ III) oder sind verdreht dazu (Typ II). Eine Ellipse entsteht bei unterschiedlichen Amplituden von ϕ_x und ϕ_y , die Neigung ihrer Hauptachsen bei verschiedenen Phasenwinkeln.

Wenn die Eigenfrequenz in Ebene y von der in Ebene x wegen unterschiedlicher Struktureigenschaften abweicht, treibt das Moment die Schwingung in dieser Ebene nicht mit der vollen Resonanzverstärkung an (Bild 4). Dämpfungen verzögern die Schwingungen um die Nacheilwinkel zur Anregung. Wenn sich die Hauptachsen der elliptisch umlaufenden Biegung wegen verschiedener Phasenwinkel verdrehen (Typ II), messen die Dehnmessstreifen zu kleine Amplituden. Die Regelung von Bahls gleicht unterschiedliche Amplituden an, unterschiedliche Phasenwinkel nicht. Elliptisch umlaufende Biegungen mit verdrehten Hauptachsen werden über den Sollwert hinaus geregelt.

In Abschnitt 4.1 wird eine Regelung beschrieben, die den Nullphasenwinkel β_y der Momentenanregung in Ebene y so einstellt, dass Differenzen der Phasenwinkel in den Gleichungen 3 und 4 verschwinden. Zahlenbeispiele für beide Typen der elliptischen Umlaufbiegung und Maßnahmen zur Überführung in den Rundlauf gibt Bild 3.

3 Varianten zur Prüfvorrichtung von Bahls

Für die Umlaufbiegeprüfung von Wellen und Welle-Nabe-Verbindungen entstanden Varianten zu der Prüfvorrichtung von Bahls. Sie besitzen Vorteile im Aufbau, aber Nachteile im Antrieb. Eine neue Variante verbindet die Vorteile und besitzt eine Rundlaufregelung.

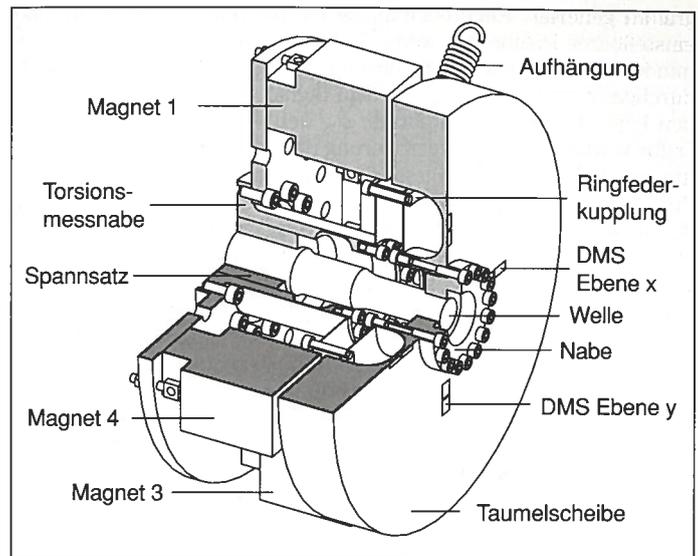
In [3] wurde die in Bild 5 dargestellte Prüfvorrichtung für die Untersuchung der Einflüsse von Werkstoff und Kerbform auf die Schwingfestigkeit von Wellen mit Nut und Sicherungsring eines Durchmessers von 80 mm bei Umlaufbiegung und konstanter Axiallast vorgestellt. In [4] wurde diese Prüfvorrichtung für die Untersuchung der weiteren Einflüsse von mechanischen, chemischen und thermischen Nachbehandlungen der Welle verwendet.

Die Prüfvorrichtung besitzt durch je ein Magnetenpaar drei im Winkel von 120° versetzte Ebenen der Kraftanregung. In diesen Ebenen hat ihre Biegeschwingung eine Eigenfrequenz von 30 Hz. In axialer Richtung ist die Vorrichtung symmetrisch. Die Symmetriehälften schwingen gegengerichtet phasengleich umlaufend. Die Vorrichtung ist federnd in der Nähe der Knotenpunkte ihrer Umlaufbiegung aufgehängt. Da die schwingenden Reaktionskräfte so klein sind, ist eine träge Grundplatte überflüssig. Die Axiallast wird mit Hilfe eines biegeweichen hydraulischen Druckbalges erzeugt und in den Sicherungsring auf der einen Seite und einen Absatz oder einen Sicherungsring auf der anderen in die Welle eingeleitet.

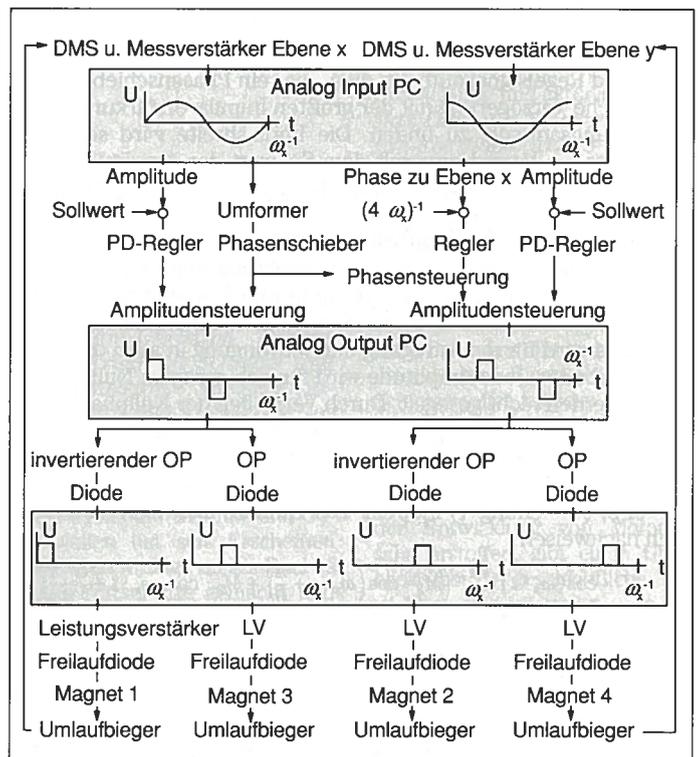
Die Magnete werden mit einem Mikroverter für den Betrieb von Asynchronmotoren angesteuert, dessen Ausgangsfrequenz und -spannung entkoppelt sind. Die Ausgangsfrequenz wird oberhalb der Eigenfrequenzen der drei Ebenen fest eingestellt, die Ausgangsspannung regelt den Mittelwert der drei Amplituden der umlaufenden Biegung. Der Rundlauf wird dadurch nicht sichergestellt. Auf Kosten einer großen Antriebsleistung wird eine volle Resonanzverstärkung zu Beginn des Versuches oder ein Durchlaufen der Resonanzfrequenz bei erfahrungsgemäß abnehmender Eigenfrequenz im Verlauf eines Versuches vermieden, weil die Schwingungsamplitude mit zunehmender Entfernung von der Resonanzfrequenz bei deren Änderung leichter zu regeln ist (Bild 4).

In [5] wurde eine prinzipiell gleiche Prüfvorrichtung für Schwingfestigkeitsuntersuchungen an gekerbten Wellen mit einem Nenn-durchmessers von 30 mm bei einer Umlauffrequenz von 130 Hz beschrieben. In [6] und [7] wurde diese Vorrichtung für Reibkorrosionsuntersuchungen an Welle-Nabe-Verbindungen mit P3G- und P4C-Polygonprofil verwendet. Anstelle der statischen Zugbelastung wird der Umlaufbiegung des Prüflings eine statische Torsion überlagert. Er wird über eine biegeweiche torsionssteife Kupplung gegen die Grundplatte tordiert.

Eine Weiterentwicklung dieser Vorrichtung verspannt Welle und Nabe in kürzerer Verbindung über eine Torsionsmessnabe und eine Ringfederkupplung (Bild 6). Die Ringfederkupplung lässt sich zum Vorspannen in Umfangsrichtung verdrehen und dann feststellen. Die Vorrichtung ist an der Ringfederkupplung federnd aufgehängt. Vier Magnete befinden sich gegenüber einer Taumelscheibe, die zugleich Messnabe für die Biegemomente in den Ebenen der Kraftanregung ist. Wie in der Regelung von Bahls wird das Messsignal einer Eigenschwingung für den Betrieb aller Magnete verarbeitet. Darüber hinaus wird der Rundlauf nach der Beschreibung in Abschnitt 4.1 geregelt.



6: Prüfvorrichtung für Umlaufbiegung und statische Torsion



7: Regelkreis mit Rundlauf durch Phasenregelung

4 Rundlaufregelung

Die Antriebsmomente M_x und M_y und der Nullphasenwinkel β_y sind die Stellgrößen einer Rundlaufregelung (Gleichungen 3 und 4). Magnete in zwei Ebenen im Winkel von 90° erzeugen sie ohne gegenseitige Beeinflussung, Magnete in drei Ebenen im Winkel von 120° beeinflussen sie anteilig. Im Folgenden wird je Bauform eine mögliche Rundlaufregelung vorgestellt.

4.1 Zwei Ebenen der Kraftanregung

Der Regelkreis in Bild 7 unterscheidet sich von dem von Bahls im Wesentlichen nur durch die zusätzliche Regelung der Differenz der Phasenwinkel mit Hilfe des Nullphasenwinkels β_y und die digitalisierte Mess- und Regeldatenverarbeitung im PC. Die analogen messverstärkten Dehnmessstreifensignale der Biegeeigenschwingung in Ebene x und der Biegeschwingung in Ebene y werden auf einer Messkarte für die Verarbeitung im PC digitalisiert. Dort bestimmt ein spezielles Programm die Amplituden $\hat{\phi}_x$ und $\hat{\phi}_y$ beider Signale und die Amplitude $\hat{\phi}_{xy}$ ihrer überlagerten Darstellung. Wenn die Differenz der Phasenwinkel in den Gleichungen 3 und 4 verschwindet, beträgt sie $\sqrt{\hat{\phi}_x^2 + \hat{\phi}_y^2}$, bei Rundlauf $\sqrt{2} \cdot \hat{\phi}_x$. Das Pro-

gramm generiert Rechteckimpulse wechselnden Vorzeichens und einstellbarer Pulsbreite, wenn das um seine Mittelspannung verminderte Messsignal der Eigenschwingung in Ebene x einen Nulldurchgang hat. Das impulsförmige Signal wird so phasenverschoben kopiert, dass die Amplitude $\hat{\phi}_{xy}$ den Wert $\sqrt{\hat{\phi}_x^2 + \hat{\phi}_y^2}$ erreicht. Dafür wird die zeitliche Verzögerung des kopierten Impulsverlaufes um einen Diskretisierungsschritt der Signalverarbeitung vergrößert, wenn die Amplitude zu groß ist, und einen verkleinert, wenn sie zu klein ist. Die Abfrage der Amplitude und Korrektur der zeitlichen Verzögerung wiederholen sich nach einer einstellbaren Anzahl von Programmdurchläufen. Bild 7 stellt diese Phasenregelung vereinfacht dar. Die Amplituden des originalen und kopierten Impulsverlaufes werden mit PD-Verhalten jeweils so verstärkt, dass die Amplituden der Schwingungen in beiden Ebenen den Sollwert erreichen. Diese Impulsverläufe werden auf der Messkarte analogisiert und für die Ansteuerung der Magnete einer Ebene getrennt ausgegeben. Jedes Signal wird in gleicher Weise in der dargestellten elektronischen Schaltung von Operationsverstärker (OP), invertierendem Operationsverstärker und Dioden so invertiert und aufgespalten, dass je Schwingungsebene zwei 180° phasenverschobene Impulse gleicher Amplitude zur Verfügung stehen. Sie betreiben die Magnete leistungsverstärkt.

Ein für den originalen und kopierten Impulsverlauf gleicher Phasenwinkel und eine gleiche Impulsbreite sind einstellbar. Während der Phasenkorrektur in Bild 2 eine zeitliche Verzögerung zwischen Mess- und Regelsignal aufhebt, dient hier ein Phasenschieber dazu, die zeitliche Verzögerung mit der größten Impulsverstärkung in der Schwingungsantwort zu finden. Die Impulsbreite wird so eingestellt, dass die Vorrichtung mit dem Sollwert der Amplitude in einem günstigen Regelbereich für die Leistungsverstärkung liegt.

4.2 Drei Ebenen der Kraftanregung

Die Ansteuerung der Magnete der Vorrichtung in Bild 5 wurde mit wenigen Änderungen auf das Prinzip in Bild 7 umgestellt. Das Signal der Eigenschwingung in der festgelegten Ebene eines Magnetenpaares wird für die Anregung der Schwingung in allen drei Ebenen verarbeitet. Jede Amplitude wird für sich geregelt. Nullphasenwinkel werden nicht geregelt. Durch Verstellen der Nullphasenwinkel können die antreibenden Momente bei Rundlauf angeglichen werden, um die Antriebsleistung zu minimieren. Die antreibenden Momente regeln den für den Rundlauf erforderlichen Nullphasenwinkel β_y (Gleichung 4) indirekt. Der Einfluss lässt sich mathematisch nachweisen:

$$M_x = M_1 \cdot \cos(\omega_x \cdot t) + \frac{1}{2} \cdot \left(M_2 \cdot \cos\left(\omega_x \cdot t + \frac{\pi}{6}\right) + M_3 \cdot \cos\left(\omega_x \cdot t + \frac{5 \cdot \pi}{6}\right) \right) \quad (5)$$

$$M_y = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot \left(M_2 \cdot \sin\left(\omega_x \cdot t + \frac{\pi}{3}\right) + M_3 \cdot \sin\left(\omega_x \cdot t + \frac{2 \cdot \pi}{3}\right) \right) \quad (6)$$

Gleichung 5 beschreibt das anregende Moment in Ebene x und Gleichung 6 das in Ebene y, wenn M_1 nur in Ebene x wirkt und sich die Phasenwinkel der Anregungen der 120°-Winkelstellung der Ebenen entsprechend um $2 \cdot \pi / 3$ unterscheiden.

Beide Anregungen lassen sich mit Hilfe eines Vektordiagramms zu den allgemein formulierten Gleichungen 7 und 8 vereinfachen. Die Differenz der Nullphasenwinkel von Gleichung 7 und 8 ent-

spricht dem Nullphasenwinkel β_y aus Gleichung 2. Die Momente in den drei Ebenen beeinflussen sowohl die Amplituden als auch die Nullphasenwinkel der auf die Ebenen x und y bezogenen Momente:

$$M_x = f(M_1, M_2, M_3) \cdot \cos(\omega_x \cdot t + f(M_1, M_2, M_3)) \quad (7)$$

$$M_y = f(M_2, M_3) \cdot \sin(\omega_x \cdot t + f(M_2, M_3)) \quad (8)$$

5 Optimierungen

Je nach Anforderung besitzen die beschriebenen Prüfvorrichtungen verschiedene Vorteile. Die Prüflast lässt sich weiter vergrößern, die Anzahl von analogen Ausgängen der Mess- und Regelkarte oder von Magneten verkleinern. Die Prüflast steigt mit der Anzahl der antreibenden Magnete. Die Anzahl symmetrischer Schwingungsebenen mit Kraftanregung ist nur durch den Platzbedarf der Magnete begrenzt. Die Leistung eines Magnetenpaares ist größer als die der Paarung von Magnet und Schwinganker bzw. Taumelscheibe. Sie erhöht sich, wenn die Magnete nicht nur mit einer Sinushalbwelle, sondern mit einer vollständigen Sinusspannung versorgt werden. Sie vergrößert sich weiter, wenn der Sinusverlauf durch Rechteckimpulse wechselnder Vorzeichen ersetzt wird. Die höheren Frequenzanteile des Rechteckverlaufes erreichen den Prüfling kaum, da sie keine Eigenfrequenzen treffen, stärker gedämpft werden und die Magnete je Schwingung nur die Arbeit des Dämpfungsverlustes der freien gedämpften Schwingung leisten. Zuletzt lässt sich die Amplitude durch die optimale Wahl der Antriebsfrequenz vergrößern. Wenn die Struktur des Zahlenbeispiels zu Typ II (Bild 4) mit der Eigenfrequenz der Vorrichtung in Ebene y anstelle mit der in Ebene x angeregt wird, vergrößert sich der Mittelwert beider Schwingungsamplituden. Der Rundlauf stellt sich dann bei einem Momentenverhältnis von M_x/M_y von 1,28/0,59 und einem Nullphasenwinkel der Antriebskräfte β_y von 39° ein, so dass das mittlere Antriebsmoment 6,5 % geringer ist. Die optimale Antriebsfrequenz liegt zwischen den beiden Eigenfrequenzen in unmittelbarer Nähe von ω_y . Wenn die Dämpfung klein ist oder kleine Schwingungsamplituden ausreichen, kann die Anzahl von Magneten auf zwei und die der analogen Ausgänge auf einen reduziert werden, indem die Magnete mit einem Schwinganker bzw. einer Taumelscheibe gepaart werden und je Umlauf der Biegung nur ein Impuls anstelle von zweien gegeben wird.

Literaturhinweise:

- [1] Offenlegungsschrift 2244630, angemeldet von VW und Bahls, H. J. als Erfinder benannt: Umlaufbiegeprüfvorrichtung. Offenlegungstag 28. 03. 1974
- [2] Gasch, R.; Knothe, K.: Strukturmechanik. Springer-Verlag, Berlin 1987
- [3] Pfeiffer, B.: Wellennut/Sicherungsverbindungen. Forschungsheft Forschungsvereinigung Antriebstechnik e. V., Nr. 182, 1985
- [4] Meyer-Eschenbach, A.: Axialkraftbelastete Wellenkerben. Forschungsheft Forschungsvereinigung Antriebstechnik e. V., Nr. 373, 1992
- [5] Klamka, H.; Weltz, R.: Ein neues Prüfmaschinenprinzip für Umlaufbiegebelastungen von Welle-Nabe-Verbindungen. Konstruktion 41, 1989
- [6] Reinholz, R.: Tragfähigkeit von P3G-Welle-Nabe-Verbindungen bei reiner Dauerschwingbeanspruchung. Dissertation, TU-Berlin 1994
- [7] Winterfeld, J.; Ziaei, M.; Frank, A.; Pflanzl, M.; Beitz, W.; Leidich, E.: Welle-Nabe-Verbindungen mit dem Polygonprofil P4C. Antriebstechnik (1999), Nr. 5, S. 66-70



Zertifiziert nach ISO 9001

e-mail: mail@antriebtech.ch
<http://www.antriebtech.ch>

Rüetschi AG, Elektromotoren: Ihr Partner im Spezialmotorenbau

- Spezialmotorenbau nach Kundenspezifikationen
- Entwicklung und Herstellung von Spezialmotoren und Motorkomponenten
- Entwicklung und Herstellung von luft- und wassergekühlten Spaltröhrenmotoren
- Integration von Antriebskomponenten in Kundenprodukte

Unsere Anschrift: Feldackerstrasse 2, CH-5040 Schöffland
Tel. +41 62 739 20 60, Fax +41 62 739 20 71

Weitere Informationen 143



RHEINTACHO Messtechnik GmbH • Waltershofener Straße 1 • D-79111 Freiburg • Fon: 0761 45 13-0 • Fax: 0761 44 52 74 • info@rheintacho.de

.....die erste Adresse für die Drehzahlmessung

WWW.  .DE