

Wirbelstrommessketten speziell für Magnetlager

L. Hoffmann

Elektrische Automatisierungs- und Antriebstechnik

EAAT GmbH Chemnitz

Annaberger Str.231

D-09120 Chemnitz

Tel. +49 371 5301911, Fax: +49 3715301913

Email: eaatgmbh@eaat.de

Kurzfassung

Die Anwendung von Magnetlagern sind vielfältig, so werden diese unter anderem im Werkzeugmaschinenbau eingesetzt. Anwendungsbeispiele sind dabei Fräsen, Schleifen, Bohren, Zentrifugen und Pumpen. Weiterhin eignen sich Magnetlager auch für Bearbeitungsspindeln für das Polieren von Oberflächen. Um eine sichere Regelung zu realisieren, werden hochauflösende und hochdynamische Messsysteme zur exakten Lagebestimmung eingesetzt. Hierfür werden oftmals Wirbelstrommesssysteme verwendet, da diese unempfindlich gegenüber Staub, Öl und weiteren Umgebungseinflüssen sind.

Besondere Vorteile von Wirbelstromsensoren sind deren verhältnismäßig niedrige Preis und die Synchronisierbarkeit bei Wellendurchmessern unter 25 mm.

Gegenwärtig werden in der EAAT u.a. Untersuchungen zur Herstellung eigener Wirbelstromsensoren durchgeführt. Hierzu werden neben den geeigneten Materialien für die Sensoren, deren notwendige Induktivität, der Einfluss verschiedener Sensorkopfdurchmesser etc. ermittelt. Grundlegende Schwerpunkte bilden geeignete Speisekabel und das Temperaturdriftverhalten, da Magnetlager auch für höhere Temperaturen einsetzbar sind.

Die bevorzugten Baugrößen der Wirbelstromsensoren belaufen sich auf (6 und 8) mm Durchmesser. Das Fanglagerspiel und der kleinste Wellendurchmesser bestimmten dabei diese Baugrößen.

Um Untersuchungen der Sensoren durchführen zu können, bedarf es einer geeigneten Auswerteelektronik. Die Anforderungen an diese Elektronik liegt in deren Universalität, d.h. es sollen nach Möglichkeit nicht nur eigens hergestellte Sensoren angeschlossen werden

können, sondern ebenso auch Sensoren von Fremdherstellern. Dabei wird eine kostengünstige Auswerteelektronik angestrebt, welche zwischen Spannungs- und Stromcharakteristik umschaltbar ist. Bei Bedarf ist eine Linearisierung der Wirbelstrommesssignale möglich.

Im Beitrag wird die Low-Cost Auswerteelektronik mit verschiedenen Linearisierungsvorschlägen der Sensorsignale als auch deren Universalität vorgestellt.

1 Einleitung

Die Auswertung von Wirbelstromsignalen erfordern häufig hochgenaue Messelektroniken, um den reibungslosen Betrieb zu ermöglichen. Solche geeigneten Auswerteelektroniken, welche für den Einsatz von Sensoren an kleinen Wellendurchmessern z.B. (15 bis 20) mm dienen, sind zumeist nur für die eigenen Sensoren verwendbar. Auch deren Universalität, welche beispielsweise eine Umschaltung zwischen symmetrischen und unsymmetrischen Ausgang ermöglicht, sind entweder nicht vorgesehen oder nur gegen einen entsprechenden Aufpreis erhältlich. Tabelle 1 (siehe [1], [2]) stellt einige wesentliche Parameter für Wirbelstrommesssysteme dar.

Parameter	TQ401	TQ412
Baugröße Ø	5 mm	8 mm
Messbereich	0 – 2 mm	0 – 4 mm
Gewinde	M6 x 0,75	M8 x 0,25
maximale Kabellänge	bis 5 m	bis 5 m
Empfindlichkeit	8 mV/µm	4 mV/µm
Grenzfrequenz	DC ≤ 20 KHz	DC ≤ 20 KHz
Linearitätsabweichung	< ±2 %	< ±3 %
Temperaturdrift	< 0,023 %/K	< 0,023 %/K

Tab. 1: Parameter Wirbelstrommesssysteme

Anhand der in Tabelle 1 aufgeführten Parameter lässt sich u.a. erkennen, dass die Auswerteeinheit eine hohe Dynamik aufweist und hohe Empfindlichkeiten gewährleistet. Die Motivation zur Entwicklung von Wirbelstrommesssystemen bestehen demnach neben den Sensoren ebenso in der Entwicklung einer universellen Low-Cost-Auswerteelektronik, die gleiche oder bessere Parameter als die oben aufgeführten Systeme besitzen. Verschiedene Arten an Spannungsausgängen, wie eine Umschaltung zwischen symmetrischen und unsymmetrischen Spannungsausgang werden ermöglicht. Dabei liegt der Fokus auf den geringen Herstellungskosten.

2 Low-Cost-Auswerteelektronik

In Abb.1 zeigt das Blockschaltbild entwickelten Auswerteelektronik auf.

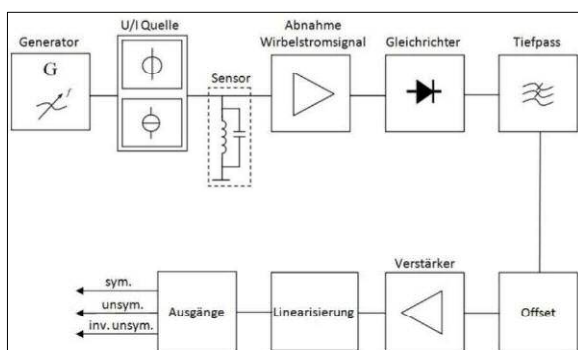


Abb. 1: Blockschaltbild Auswerteelektronik

Mittels einem Generator, welcher frequenzvariabel ist, können verschiedene Sensoren auf beliebige Arbeitsfrequenzen eingestellt werden. Weiterhin ist es möglich zwischen einer Spannungs- und Stromquelle

für den Betrieb der Sensoren zu wechseln. Das Wirbelstromsignal wird zunächst abgenommen und nachfolgend gleichgerichtet. Anschließend wird das gleichgerichtete Signal zum Tiefpass geführt, welcher eine hohe Grenzfrequenz von ≥ 40 KHz aufweist. Dem erzeugten Gleichspannungssignal wird im nächsten Schritt eine Offsetspannung hinzugefügt, um einen elektrischen und mechanischen Nullabgleich zu ermöglichen. Die Verstärkerstufe dient der Normierung des Wirbelstromsignals bei einem im Messbereich frei wählbarem Abstand. Das normierte Wirbelstromsignal wird anschließend linearisiert. Mithilfe der Ausgangsstufe können die Sensoren einzeln entweder unsymmetrisch z.B. (0 bis +5)V oder invertierend unsymmetrisch (0 bis -5)V genutzt werden. Auch ein symmetrischer Ausgang bei Verwendung von zwei Sensoren im Differenzbetrieb ist realisierbar. Durch den symmetrischen Ausgang reduzieren sich die Störungen auf das Messsignal bei Magnetlagern erheblich.

2.1 Betrieb der Sensoren

Für die Ansteuerung von Wirbelstromsensoren können Konstantspannungsquellen oder Konstantstromquellen eingesetzt werden.

Während Konstantspannungsquellen noch relativ einfach im Bereich zwischen (1 bis 2) MHz zu realisieren sind, erfordern Konstantstromquellen einen erheblich höheren Entwicklungsaufwand. Die Auswahl der Bauelemente, der Aufbau der Versuchsschaltungen und das anschließende Layout erfordern viel Fachwissen und Erfahrung, um zu einer sicher funktionierenden Konstantstromquelle zu gelangen.

Für Wirbelstromsensoren ist es durchaus sinnvoll, auch die Eigenschaft der Quelle variieren zu können. Dies ist besonders dann relevant, wenn der Einsatz der Sensoren auf viele verschiedene Materialien zur Anwendung kommt. Bei Werkstoffen mit hoher Leitfähigkeit (z.B. Aluminium) eignen sich Konstantspannungsquellen. Bei Messspuren aus Metallen mit niedriger

Leitfähigkeit (z.B. Stahl) sind Konstantstromquellen zu bevorzugen.

Abb.2 und 3 zeigen eine Wirbelstromkennlinie mit einem Zielmaterial von Aluminium unter Verwendung einer Konstantspannungs- und Konstantstromquelle auf.

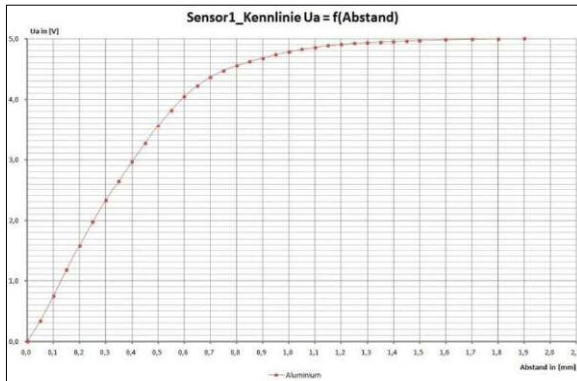


Abb. 2: Kennlinie Wirbelstromsensor unter Verwendung einer Konstantspannungsquelle

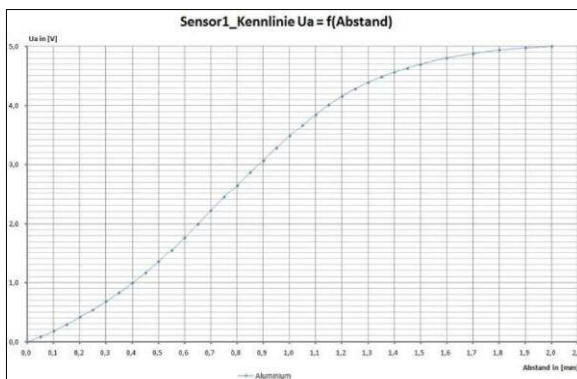


Abb. 3: Kennlinie Wirbelstromsensor unter Verwendung einer Konstantstromquelle

Ein weiteres wesentliches Kriterium besteht in der Arbeitsfrequenz. Um auch Wirbelstromsensoren von Fremdherstellern und eigens entwickelte gut nutzen zu können, ist ein möglichst großer Frequenzbereich zu realisieren. Der mögliche Frequenzbereich liegt hier zwischen (1 bis 2) MHz. Dazu wurde ein digitaler Sinusgenerator entwickelt, der ein nahezu sinusförmiges spannungsstabiles Ausgangssignal bereitstellt. Durch den Einsatz eines Schwingquarzes wird die erforderliche Frequenzstabilität gewährleistet. Die Frequenzstabilität des Generators sichert ein eingesetzter 70 MHz Schwingquarz. Besonders hervorzuheben ist die mögliche Einstellung der Frequenzen im

Bereich zwischen (1 bis 2) MHz in 4 Hz Schritten.

2.2 Linearisierungsmöglichkeiten

Grundsätzlich kann man die Linearisierung analog oder digital vornehmen. Ein klarer Vorteil der analogen Linearisierung liegt darin, dass man für jeden Zeitpunkt einen zugehörigen Messwert hat und somit unendlich viele Messwerte besitzt, weshalb sich diese Methode hier durchgesetzt hat. Eine mögliche Variante der analogen Linearisierung besteht in der Anstiegszerlegung der Wirbelstromkennlinie mittels Dioden. Hierbei wird die Sensorkennlinie in verschiedene Teilbereiche zerlegt und diese anschließend so angepasst und zusammengefügt, dass die gewünschte Linearisierungskennlinie entsteht (siehe Abb.4 [3]).

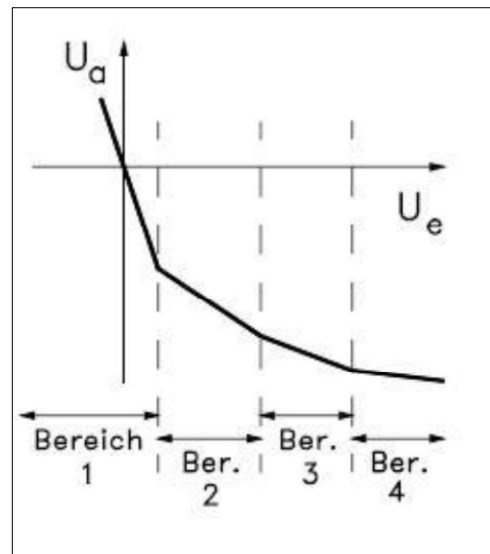


Abb.4: Verfahren der Anstiegszerlegung

Dieses Verfahren birgt jedoch einige Nachteile. Zum einen muss die Kennlinie hinreichend genau fest sein um die Teilbereiche entsprechend festlegen zu können, zum anderen ist das Verfahren aufwändig, sodass es in der Praxis nicht empfehlenswert ist. Eine andere Variante besteht in der Verwendung von Multiplizierern, welche hier für die Linearisierung verwendet werden. Dabei dient der Multiplizierer als Korrekturglied. Es wird hierbei der Spannungsanteil des Multiplizierers zum eigentlichen Messsignal

hinzu addiert. Abb.5 verdeutlicht den Sachverhalt.

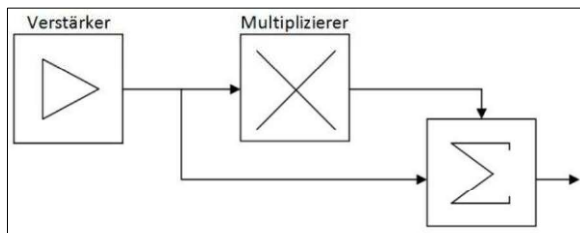


Abb. 5: Linearisierung mit Multiplizierer

Diese Methode hat den großen Vorteil, dass die Kennlinie eben nicht wie im Verfahren der Anstiegszerlegung hinreichend fest sein muss. Zudem ist auch kein Abgleich für die einzelnen Teilbereiche notwendig. Die gesamte Kennlinie wird ohne nachträgliche Einstellung linearisiert.

Ein Nachteil besteht in der zu messenden Wegstrecke. Zwar können die Wirbelstromkennlinien weitgehend variieren, jedoch kann durch die Linearisierung mittels Multiplizierer eine Verkürzung des Messbereichs auftreten.

Ebenso ist die Linearisierung auf digitalem Wege realisierbar. Hierfür kann eine Kennlinienhinterlegung des Wirbelstromsignals sinnvoll sein. Da die Möglichkeit der digitalen Linearisierung hier nicht zur Anwendung kommt, sei es zur Vollständigkeit nur erwähnt.

2.3 Der Generator

Ein Vorteil der Auswertelektronik besteht weiterhin darin, dass nur ein Generator für alle Wirbelstromsensoren benötigt wird. Gerade bei Wellen mit kleinen Durchmessern z.B. (15 bis 20) mm bei denen die Sensoren nah beieinander liegen, können Störungen im Sinne von Schwebungen auftreten, wenn die einzelnen Sensoren von verschiedenen Generatoren betrieben werden. Durch den Einsatz von nur einem Generator ist eine Beeinflussung der Wirbelstromsensoren untereinander aufgrund mehrerer leicht unterschiedlicher Frequenzen der Generatoren damit unterbunden.

Zudem können verschiedene Arbeitsfrequenzen für die Sensoren eingestellt werden.

3 Universalität der Auswertelektronik

Die Ausgänge der Auswertelektronik sind hier analog und können einfach beispielsweise an einen μ Controller weiter gegeben werden. Magnetlager werden in der Regel mit fünf Sensoren betrieben. Dabei dienen zweimal zwei Sensoren der Erfassung der x-y-Achse auf jeder Seite. Die z-Achse wird mit dem fünften Wirbelstromsensor ermittelt. Das Prinzip stellt Abb.6 dar.

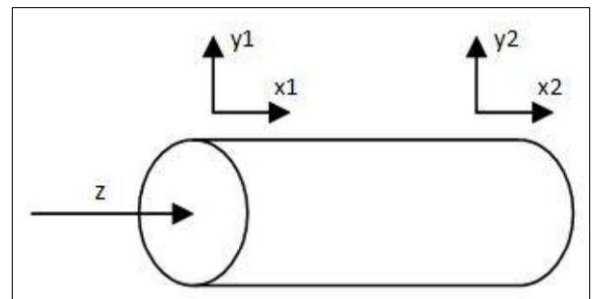


Abb.6: 5 Freiheitsgrade einer Welle

Mithilfe der Auswertelektronik können alle Sensoren einzeln betrieben werden. Für den einzelnen Betrieb kann ein z.B. (0 bis +5)V unsymmetrischer Ausgang nicht invertierend oder ein Ausgang invertierend beispielsweise (0 bis -5)V gewählt werden. Weiterhin steht ein symmetrischer Ausgang für jeden einzelnen Sensor zur Verfügung. Ebenso sind jeweils zwei Sensoren im Differenzbetrieb nutzbar. Wirbelstromsensoren von ausgewählten Fremdherstellern sind ebenfalls anschließbar. Auch die Stromversorgung der Auswertelektronik stellt kein Problem dar, da der Industriestandard von 24V-Stromversorgung abgedeckt ist.

Die Temperaturdrift wird am Sensor durch geeignete Maßnahmen reduziert.

4 Sicherstellung der Ausfallsicherheit des Messsystems

Nach Industriestandards muss jeder Sensor einen eigenen Generator besitzen, um für Ausfallsicherheit zu sorgen. Da bei Magnetlagern schon der Ausfall eines

Sensoren für den kompletten Absturz der Welle führt, werden häufig mindestens zwei Generatoren für jeden Sensor verwendet. Das bedeutet, dass bei Benutzung von fünf Wirbelstromsensoren insgesamt zehn Generatoren benötigt würden. Dieser Weg wird hier umgangen, da die Auswerteelektronik zwei Generatoren für alle Sensoren bietet. Wenn bei laufendem Betrieb ein Generator ausfällt, wird ohne Unterbrechung automatisch zum zweiten Generator umgeschaltet. Damit wird die Ausfallsicherheit des Messsystem sichergestellt.

5 Bisherige erreichte Ergebnisse und Ausblick

Folgende Ergebnisse sind erreicht worden:

Parameter	TQ401	EAAT
Baugröße Ø	5 mm	6 mm
Messbereich	0 – 2 mm	0 – 2 mm
Gewinde	M6 x 0,75	M6 x 0,75
maximale Kabellänge	bis 5 m	bis 5 m
Empfindlichkeit	8 mV/µm	bis 5 mV/µm
Grenzfrequenz	DC ≤ 20 KHz	DC ≤ 40 KHz
Linearitätsabweichung	< ±2 %	< ±2 %
Temperaturdrift	< 0,023 %/K	< 0,01 %/K

Tab. 2: Vergleich der Parameter

Tabelle 2 zeigt auf, dass ähnliche Werte mit der einfachen Low-Cost-Auswerteelektronik erzielt werden konnten. In einigen Parametern wurden bessere Werte erreicht.

Für die weitere Entwicklung der Elektronik sind zunächst Wirbelstromsensoren mit einer Baugröße von 8 mm herzustellen. Zusammen mit Sensoren von ausgewählten Fremdherstellern müssen anschließende Untersuchungen durchgeführt werden, um die Kosten für die Auswerteelektronik weiter zu reduzieren.

Quellen

- [1] http://www.tsisl.es/TSIWEB/datos/instrumentacion/modelos/DS_TQ401_EA401_IQS450-en12.pdf
- [2] http://www.raien.com.ar/manuales/TQ402_Meggitt_raien.pdf
- [3] <http://w3-o.hm.edu/home/fb/fb05/akrt/Messtechnik/hp/kap7.pdf>