



(12) Wirtschaftspatent

Erteilt gemäß § 18 Absatz 2 Patentgesetz

(19) DD (11) 248 036 A3

4(51) G 01 M 13/00

AMT FÜR ERFINDUNGS- UND PATENTWESEN

(21) WP G 01 M / 268 505 1

(22) 18.10.84

(45) 29.07.87

(71) Ingenieurhochschule Zittau, 8800 Zittau, Theodor-Körner-Allee 16, DD

(72) Sturm, Adolf, Prof. Dr. sc. techn.; Bode, Manfred, Dipl.-Ing.; Kinsky, Dieter, Dr.-Ing.; Rosch, Dietmar, Dipl.-Ing.; Uhlemann, Stephan, Dipl.-Ing., DD

(54) Verfahren und Vorrichtung zur Maschinenelementezustandsbestimmung

(57) Die Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Anordnung zur Zustandsbestimmung von Maschinenelementen, die es ermöglichen, auf ökonomische Weise den Betriebszustand von Maschinenelementen zu ermitteln, der durch Parameter der Beanspruchung und Schädigung charakterisiert ist. Erfindungsgemäß werden die in elektrische Impulse umgewandelten Bauteilschwingungen objektiv bewertet und ermöglichen bei laufendem Betrieb und durch Einsatz geringer gerätetechnischer Aufwendungen die Ermittlung von Beanspruchungen durch Reibungs- und sonstige Schadensdiagnose. Die Erfindung ist in der gesamten Maschinenbautechnik, insbesondere an kinematischen Paarungen wie z. B. Wälz- und Gleitlagern oder Getrieben anwendbar.

Erfindungsansprüche:

1. Verfahren zur Maschinenelementzustandsbestimmung, bei dem mittels bekannter Verfahren der Schallemissionsanalyse die Dichte hochfrequenter Schallimpulse im Frequenzbereich $f > 20 \text{ kHz}$ verwendet wird, **gekennzeichnet dadurch**, daß aus den Veränderungen von Frequenz und Amplitude schneller periodischer Schwankungen der Impulsdichte eine Signalkenngröße zu bilden ist und allein deren zeitliche Entwicklung ein Maß für den Schädigungszustand ist.
2. Verfahren zur Maschinenelementzustandsbestimmung nach Punkt 1, **gekennzeichnet dadurch**, daß ein Impulsdichtemesser mit geringer Zeitkonstante zu verwenden ist, dessen Ausgangsinformation schnelle zeitliche Veränderungen der Impulsdichte beinhaltet.
3. Verfahren zur Maschinenelementzustandsbestimmung nach Punkt 1 und 2, **gekennzeichnet dadurch**, daß mit Signalanalyseverfahren im Zeit-, Frequenz- und Wahrscheinlichkeitsbereich Frequenz und Amplitude periodischer Veränderungen der Impulsdichte ermittelt werden.
4. Verfahren zur Maschinenelementzustandsbestimmung nach Punkt 1 bis 3, **gekennzeichnet dadurch**, daß Frequenz und Amplitude auftretender periodischer Impulsdichteschwankungen auf einen vorzugebenden bzw. aus dem Betriebsprozeß zu gewinnenden Parameter zu beziehen sind.
5. Anordnung zur Realisierung des Verfahrens nach Punkt 1, wobei ein an zugänglichen Teilen von Maschinenelementen angeordneter Aufnehmer mit dem Eingang eines Verstärkers verbunden ist, dessen Ausgangssignal einem Hochpaßfilter zugeführt wird, **gekennzeichnet dadurch**, daß am Ausgang des Filters ein Impulsdichtemesser geringer Zeitkonstante angeschlossen ist, dessen Ausgangssignal einer Analyseinheit zugeführt wird und deren Ausgang mit einer Bewertungslogik verbunden ist.

Hierzu 2 Seiten Zeichnungen

Anwendungsgebiet der Erfindung

Die Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Anordnung zur Diagnose von Maschinenelementen. Verfahren und Anordnung sind in der gesamten Maschinenbautechnik, insbesondere an kinematischen Paarungen wie z. B. Wälz- und Gleitlagern oder Getrieben anwendbar.

Das Verfahren kann Anwendung finden in der Qualitätskontrolle allgemein, der Fertigungskontrolle, der Montagekontrolle und der Zustandsbewertung während des laufenden Betriebes.

Charakteristik der bekannten technischen Lösungen

Durch erhöhte Zuverlässigkeitsanforderungen an technischen Anlagen ergibt sich die Notwendigkeit, eine Zustandsbewertung immer stärker mit Aussagen über die Restfunktionsdauer von Maschinenelementen zu verbinden.

Unterschiedliche Schädigungsarten und unterschiedliche Beanspruchungen bewirken wesentlich voneinander abweichende Zeitverläufe der Schadensentwicklung bis zum Ausfall einer Anlage. International bekannte Diagnoseverfahren für kinematische Paarungen und auf deren Basis entwickelte Anordnungen sind meist „Ein-Parameter“-Systeme zur globalen Momentan-Zustandsbewertung. Diese erlauben keine Separation der konkreten Schädigungsprozesse ohne genaue Kenntnis der wirkenden Beanspruchungen (US-Patent 3554012, SU-Patent 838493, DD-Patent 208497).

Bekannt sind weiterhin Vorschläge für mehrparametrische Diagnosesysteme, die eine Schadensseparation erlauben. Diese Systeme bedingen allerdings einen hohen gerätetechnischen Aufwand (Hippmann, N.: Technische Diagnostik mit Methoden der Signalanalyse und Mustererkennung am Beispiel einer Kreiselpumpe, Dissertation, IH Zittau 1982).

Von besonderer Bedeutung ist der Nachweis periodischer Schädigungsprozesse (z. B. periodische Anstreifvorgänge in Gleitlagern, Überrollung von Schädstellen in Wälzlagern), da diese einen stark progressiven zeitlichen Verlauf zeigen und schnell zum Ausfall der Baugruppe führen können.

Mit bisherigen Verfahren der Schwingungsanalyse konnten solche Informationen nicht gewonnen werden.

Auch bekannte Verfahren und Anordnungen zur Schallemissionsanalyse brachten kaum Ergebnisse, da nur klassische Impulsbewertungsverfahren eingesetzt wurden (Energieinhalt und -verteilung, Impulsrate und -dichte, Höhen-, Längen- und Abstandsverteilungen). Bekannt ist lediglich ein Verfahren zur Zustandsbestimmung von Wälzlagern auf der Basis der Bestimmung der Höhe von Schallimpulsen, welches aber wiederum nur ein globales Diagnoseverfahren darstellt (US-Patent 3554012).

Vielfach war ein Einsatz hochempfindlicher Schallemissionsanalysetechnik an realen Anlagen nicht möglich, da Störanteile meist nutzbare Informationen überdecken und durch eine Pegelbewertung bzw. Frequenzselektion nicht vom Nutzsignal zu trennen sind oder die Bewertungsparameter stark von äußeren Einflüssen abhängig sind.

Trotz langjähriger (ca. 20 Jahre) weltweiter Bestrebungen, den Schädigungsprozeß in Art, Ort und zeitlicher Entwicklung mittels Schallemissionsanalysetechnik erfassen und objektiv bewerten zu können, werden deshalb technische akzeptable, den praktischen Einsatzbedingungen und Anforderungen gerecht werdende Verfahrens- und Anwendungslösungen bisher nicht angeboten.

Ziel der Erfindung

Ziel der Erfindung ist es, ein Verfahren und eine diesbezügliche Anordnung darzustellen, die es ermöglichen, Ort, Art und zeitliche Entwicklung von Schädigungsvorgängen in realen Anlagen während des Betriebes mit möglichst geringem technischen Aufwand nachzuweisen und objektiv zu bewerten.

Letztendlich können dadurch eine Erhöhung der Anlagenverfügbarkeit, die Vermeidung von Anlagenausfällen und Folgeschäden, eine bessere Ausnutzung der Abnutzungsreserve und die Verringerung des Instandhaltungsaufwandes erreicht werden.

Darlegung des Wesens der Erfindung

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren und eine Anordnung zu entwickeln, so daß hochfrequente Schallimpulse aus Maschinenelementen so verarbeitet und bewertet werden, daß Informationen über Art, Ort und Größe eines Schadens gewonnen werden können, was Aussage über dessen zeitlichen Fortschritt ermöglicht. Verfahren und Anordnung sind im laufenden Betrieb anwendbar.

Diese Aufgabe ist nach der Erfindung durch ein Verfahren gelöst, bei dem schnelle periodische Schwankungen der Dichte hochfrequente Schallimpulse zu erfassen sind, wobei die zeitliche Veränderung von Frequenz und Amplitude dieser Schwankungen ein Maß für den Schädigungszustand des zu beurteilenden Maschinenelementes darstellen.

Die Erfindung kann wie folgt zweckmäßig ausgestaltet sein:

Es wird ein Impulsdichtemesser mit geringer Zeitkonstante verwendet, dessen Ausgangsinformation schnelle zeitliche Veränderungen der Impulsdichte beinhaltet. Mit Hilfe bekannter Signalanalyseverfahren im Zeit-, Frequenz- oder Wahrscheinlichkeitsbereich werden Frequenz und Amplitude periodischer Schwankungen der Impulsdichte ermittelt und auf einen vorzuziehenden bzw. aus dem Betriebsprozeß zu gewinnenden Parameter bezogen.

Veränderungen von Amplitude oder Frequenz stellen ein Maß für den Schädigungszustand des zu beurteilenden Maschinenelementes dar.

Die Aufgabe ist nach der Erfindung weiterhin durch eine Anordnung gelöst, bei der am Ausgang des Filters ein Impulsdichtemesser geringer Zeitkonstante liegt, dessen Ausgangssignal einer Analysiereinheit zugeführt wird und deren Ausgang mit einer Bewertungslogik verbunden ist.

Die Erfindung kann dadurch zweckmäßig ausgeschaltet sein, daß die praktische Realisierung sowohl mit digitalen als auch mit analogen Baugruppen erfolgt.

Erfindungsgemäß wird folgende technische Fortschrittlichkeit erreicht:

1. Möglichkeit der Separation verschiedener Schädigungsprozesse mit verhältnismäßig einfachen gerätetechnischen Mitteln und damit genauere Aussagen über die Restfunktionsdauer.
2. Möglichkeit der Detektion von durch Störsignale überdeckten periodischen Impulsgruppen an realen Maschinenelementen während des laufenden Betriebes.
3. Universelle Einsetzbarkeit an einer großen Anzahl von Maschinenelementen.
4. Verfahren und Anordnung können in ihrer gerätetechnischen Realisierung unter Erfassung lediglich einer Meßgröße unterschiedlichsten praktischen Anforderungen (Handhabbarkeit, Anwenderfreundlichkeit, geringe Qualifikationsanforderungen) gerecht werden.
5. Anwendbarkeit bei Fertigungskontrolle, Montagekontrolle, Qualitätskontrolle und Zustandsüberwachung.

Ausführungsbeispiel

Die Erfindung ist nachstehend an zwei Ausführungsbeispielen näher erläutert.

In den zugehörigen Zeichnungen zeigen:

Fig. 1: Meßsignalumwandlung zur Detektion periodischer Impulsgruppen

Fig. 2: Leistungsdichtespektrum der Impulsdichte für ein ungeschädigtes (a) und ein definiert geschädigtes (b) Wälzlager

Fig. 3: Ausführungsbeispiel der Anordnung

Beispiel 1:

Die in einem Maschinenelement entstehenden hochfrequenten Schallimpulse werden in einem Geber in elektrische Signale gewandelt und in entsprechenden Verstärkern und Hochpaßfilter verstärkt und von niederfrequenten Störanteilen getrennt. Die so erhaltene Impulsfolge stellt im Falle des Auftretens eines periodischen Schädigungsprozesses eine Überlagerung einer periodischen Impulsgruppenfolge aus dem Schädigungsprozeß (Fig. 1 a) mit einer in ihren Eigenschaften nicht bekannten Störimpulsfolge (Fig. 1 b) dar.

Besteht die periodische Impulsgruppe im Vergleich zur Störimpulsfolge aus relativ wenigen und energiearmen Impulsen, kommt es bei der Bildung bekannter Impulsbewertungsgrößen wie Energieinhalt, Häufigkeit, Höhen- und Längenverteilungen zur Überdeckung der periodischen Impulsgruppen (Fig. 1 c).

Bestimmt man jedoch mit einem genügend schnellen Impulsdichtemesser die zeitliche Impulsdichteverteilung, ergeben sich unabhängig von Größe und Charakter des Störsignals periodische Veränderungen der Impulsdichte, die durch die periodischen Impulsgruppen hervorgerufen werden (Fig. 1 d).

Mit Hilfe von Signalanalyseverfahren wie z. B. Autokorrelationsanalyse (Fig. 1 e) und Fouriertransformation (Fig. 1 f) werden Frequenz und Amplitude dieser Schwankungen bzw. einzelne Schwankungsanteile bestimmt.

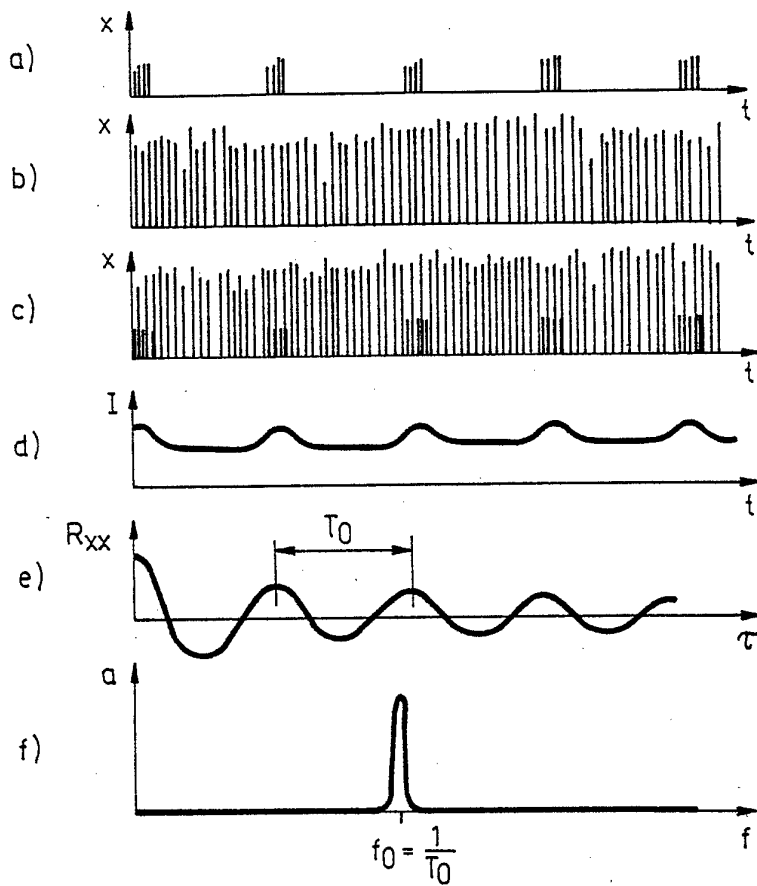
Diese Frequenzen und Amplituden werden auf feste oder vom konkreten Prozeß abhängige Bezugswerte normiert.

Die Veränderung dieser normierten Werte stellt ein Maß für den Charakter sowie die Intensität und den zeitlichen Fortschritt eines Schädigungsprozesses dar. Mit Hilfe vorzugebender Grenzwerte erfolgt eine Einteilung in verschiedene Klassen nach Schädigungsart, -ort und -intensität.

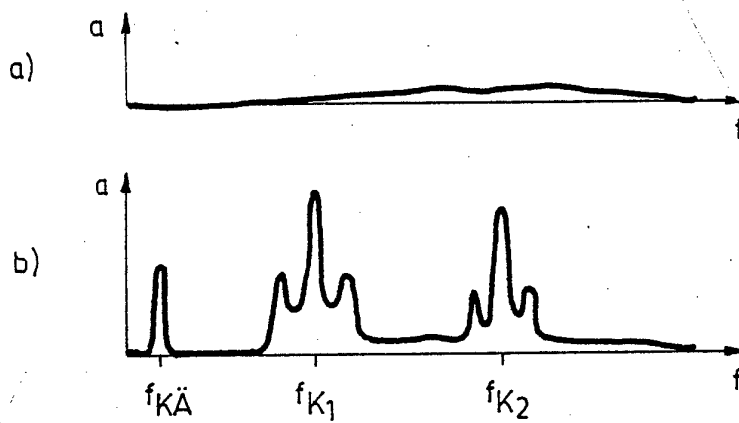
Mit diesem Verfahren lassen sich z. B. bei einem Oberflächenschaden (Ausbruch) in einem laufenden Wälzlager Spektralanteile im Schwankungsanteil der Impulsdichte nachweisen, die eindeutig auf Art, Größe und Ort des Schadens schließen lassen. Bei einem Defekt der Wälzkörperoberfläche kommt es beispielsweise zur Ausbildung der charakteristischen Wechselwirkungsfrequenzen eines solchen Schadens mit den Laufbahnen der Ringe (F_K) sowie zur Ausbildung der Käfigwechselwirkungsfrequenz (f_{KA}), die durch erhöhte Käfigbeanspruchung entsteht (Fig. 2). Solche Informationen können mit bisherigen Verfahren nicht gewonnen werden.

Beispiel 2 (Fig. 3):

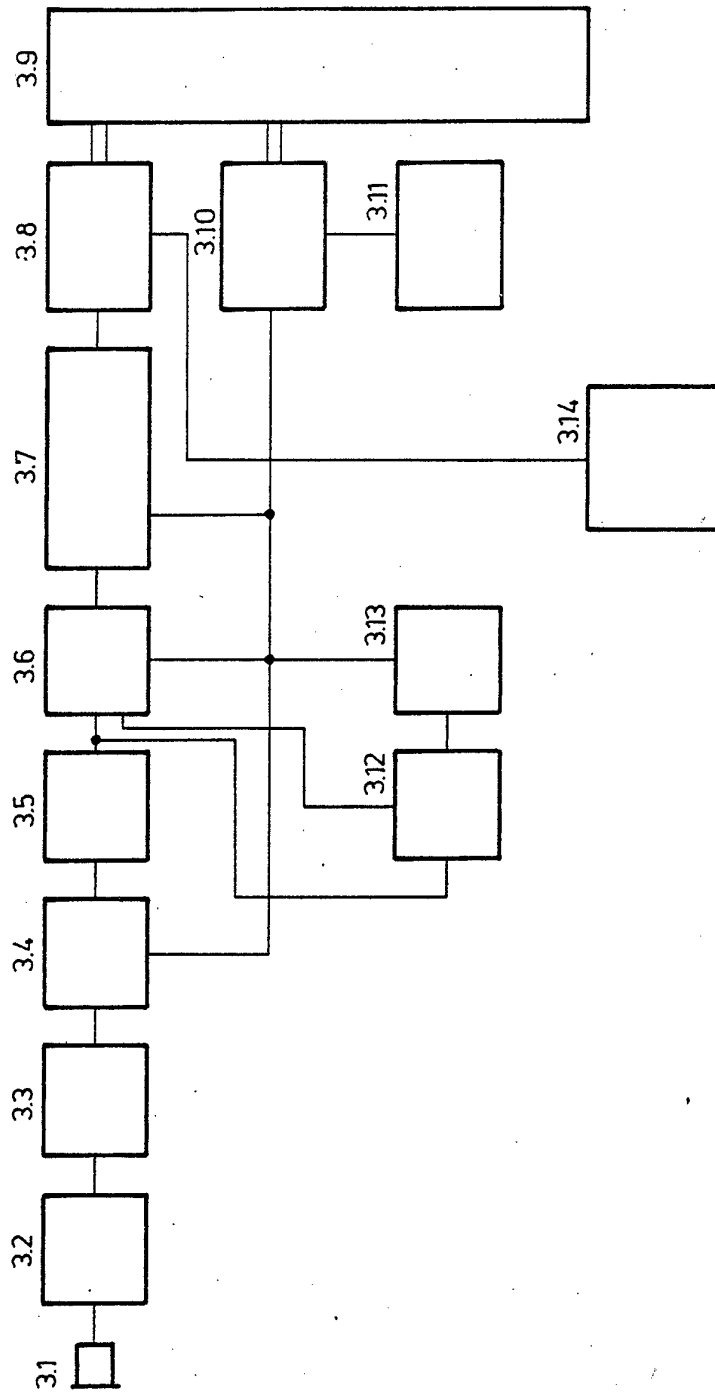
Das im Aufnehmer (3.1.), der an geeigneter Stelle am Meßobjekt installiert ist, induzierte Signal, wird über einen Vorverstärker (3.2.), der bereits eine Hochpaßfunktion besitzt, einen weiteren Filter (3.3.) zugeführt. In diesem Filter werden die niederfrequenten Anteile ($f < 20 \text{ kHz}$) eliminiert, so daß nur noch die durch stoßförmige Anregung in den Aufnehmerresonanzstellen entstehenden Impulse ausgangsseitig des Filters vorhanden sind. Diese werden in einem weiteren Verstärker (3.4.) verstärkt. Über eine Normierung der zeitlichen Länge (3.5.) werden diese Impulse einem Zähler (3.7.) bzw. einem Diskriminator (3.12.) zugeführt. Der Zähler zählt sowohl direkt die ankommenden Impulse als auch die am Ausgang des Diskriminators anliegenden, wobei die Eingangsumschaltung steuerbar von einem Umschalter (3.6) ausgeführt wird. Der Inhalt des Zählers kann über die Eingabeschnittstelle (3.8.) in den Rechner (3.9.) eingelesen werden. Über die Ausgabeschnittstelle (3.10) erfolgt sowohl die Steuerung der internen Funktionen wie, Verstärkung, Eingangsumschaltung und Zeitsteuerung des Zählers, Steuerung der Diskriminatorschwelle über DAU (3.13.) als auch die Ausgabe der Meßgrößen auf die Anzeige (3.11.). Eine Tastatur (3.14.) ermöglicht die Bedienung sowie die Eingabe von speziellen Informationen über die Eingabeschnittstelle in den Rechner.



Figur 1



Figur 2



Figur 3