(19) DEUTSCHE DEMOKRATISCHE REPUBLIK

PATENTSCHRIFT

Wirtschaftspatent

ISSN 0433-6461 (11) 205 998

Erteilt gemaeß § 5 Absatz 1 des Aenderungsgesetzes zum Patentgesetz

Int.Cl.³ 3(51) G 01 M 15/00

AMT FUER ERFINDUNGS- UND PATENTWESEN

In der vom Anmelder eingereichten Fassung veroeffentlicht

(21) WP G 01 M/ 2410 211 (22) 24.06.82 (44) 11.01.84

(71) ERNST-MORITZ-ARNDT UNIVERSITAET GREIFSWALD:DD;
(72) Heymel, Gerhard, Dr.rer.nat. Dipl.-Phys.; Unger, Horst, Dr.sc.nat. Dipl.-Phys.; Guder, Volker, Dr.rer.nat. Dipl.-Phys.; LUBENOW, HERMANN,DIPL.-PHYS.;DD;
BALZER, HANS-ULRICH,DIPL.-PHYS.;HERRMANN, DIETHARD, DR.SC.NAT. DIPL.-PHYS.;
GLAUSER, HORST,DIPL.-PHYS.;KUNZE, ULRICH,DR.-ING.;DD;
KOTTWITZ, RALPH,DIPL.-ING.;STREICH, MANFRED,DIPL.-MATH.;PFEIFFER, GUENTER,DR.-ING.;DD;
(73) siehe (72)
(74) E.-M.-ARNDT-UNIVERS. DIR. F. FORSCHUNG BFN/S 2200 GREIFSWALD R.-PETERSHAGEN-ALLEE

(54) VERFAHREN UND ANORDNUNG ZUR TECHNISCHEN DIAGNOSTIK VON MASCHINEN

(57) Die Erfindung betrifft die Betriebsüberwachung und Schadenfrüherkennung an rotierenden Maschinen. Ziel und Aufgabe ist es, einen Algorithmus zur Echtzeitsignalverarbeitung bei rotierenden Maschinen anzugeben, der bei minimiertem Aufwand und hoher Zuverlässigkeit gestattet, abgeleitete Größen anzugeben, die sich im wesentlichen nur noch durch Schadensprozesse ändern, um exakte Voraussetzungen zur Klassifizierung von Schäden zu schaffen. Dies wird dadurch erreicht, daß durch multiplikative oder additive Korrekturfunktionen insbesondere aus dem mittleren Betrag des stochastischen Signalanteiles der an der Maschine gemessenen Schwingungssignale der durch Betriebs- und Umweltparameter bedingte Einfluß eliminiert wird. Die Korrekturfunktionen sind Differenzengleichungen, deren Koeffizienten nach einem Suchalgorithmus schrittweise bei intakter Maschine variiert werden, bis zwischen korrigierter Größe und den Betriebs- und Umweltparametern keine statistische Abhängigkeit mehr festgestellt werden kann. Das Anwendungsgebiet der Erfindung ist die Meßtechnik. Fig. 2

Titel der Erfindung

Verfahren und Anordnung zur technischen Diagnostik von Maschinen

Anwendungsgebiet der Erfindung

Die Erfindung betrifft das Gebiet der technischen Diagnostik von Maschinen, insbesondere von Kraftwerksmaschinen, wie Turbinen und Pumpen.

Charakteristik der bekannten technischen Lösungen

Zur Betriebsüberwachung und zur technischen Diagnostik von Maschinen werden vorzugsweise Schwingungssignale, wie z. B. Lagerbockschwingungen und Wellenschwingungen und Temperaturen, wie z. B. Lager- und Öltemperaturen, gemessen und registriert. Die Auswertung erfolgt durch Feststellen von Grenzwertüberschreitungen im Frequenzbereich und im Zeitbereich. Entsprechende Verfahren und Anordnungen sind in den Patentschriften DE-OS 215 2848 und DD-WP 105 068 und in den Firmenschriften der Firma Carl Schenk AG, Darmstadt: Vibrocontrol 2000 und Vibrologger dargestellt. Verfahren und Geräte zur Bildung von Mittelfunktionen, von durch FFT und Digitalfilter gewonnene Spektren wurden in Brüel & Kjaer Technical Review 2-1975, 3-1975, 1-1978, 1-1979, 2-1980 bekannt gemacht.
In der Betriebsdokumentation des stochastischen Analysators NSA 1000 von EMG Budapest wird verfahrensmäßig und gerätetechnisch die Bildung von Mittelfunktionen von Auto- und Kreuzkorrelationsfunktionen beschrieben.

Weiterhin ist eine Auswertung der Signale durch eine statistische Signalverarbeitung und Merkmalsbildung für charakteristische Schäden mittels Verfahren der Mustererkennung durch D. Barschdorf, Technische Diagnose an Maschinen mit rotierenden Teilen, in Wissenschaftliche Berichte der IHS Zittau, IHZ-WK-335-79 aufgezeigt worden. Ebenso schlägt das DD-WP 134 991 ein Verfahren zur Trennung von periodischen und stochastischen Signalanteilen vor.

Der gemeinsame Nachteil dieser bekannten Verfahren zur technischen Diagnostik besteht in ihrer geringen Zuverlässigkeit. Verfahren zur sicheren Erkennung von Schäden aus Meßergebnissen sind bisher unbekannt.

Ziel der Erfindung

Das Ziel der Erfindung ist die Entwicklung eines zuverlässigen Verfahrens und einer Anordnung zur Früherkennung von Schäden aus Signalen, die an rotierenden Maschinen gemessen werden, und deren Aufwand minimiert ist.

Darlegung des Wesens der Erfindung

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, einen Algorithmus für die Echtzeitsignalverarbeitung von an rotierenden Maschinen gemessenen Signalen und Vergleichsgrößen zur Bildung von abgeleiteten Größen anzugeben, die sich im wesentlichen nur noch durch Schadensprozesse ändern, und die Voraussetzungen zur Klassifizierung von Schäden zu schaffen.

Die Aufgabe der Erfindung wird dadurch gelöst, daß durch multiplikative oder additive Korrekturfunktionen aus den Funktionen bzw. den Mittelwerten der Signale oder aus daraus abgeleiteten Größen, insbesondere aus dem mittleren Betrag des stochastischen Signalanteiles von Schwingungssignalen oder aus spektralen Amplituden, der durch Betriebsparameter und durch Umweltparameter bedingte Einfluß eliminiert wird. Die Korrekturfunktionen sind insbesondere Differenzengleichungen, deren Koeffizienten erfindungsgemäß nach einem Suchalgorithmus

schrittweise bei intakter Maschine variiert werden, bis zwischen korrigierter Größe oder Funktion und den Betriebs- und Umweltparametern keine statistische Abhängigkeit mehr festgestellt werden kann. Dies wird durch das näherungsweise Null werden der Kreuzkorrelationsfunktionen zwischen Betriebs- bzw. Umweltparametern und korrigierter Größe ermittelt. Nach einem derartigen Koeffizientenabgleich kann in eindeutiger Weise eine Aussage über einen Maschinenschaden durch Grenzwertüberschreitung der korrigierten Größen getroffen werden.

Das beschriebene Verfahren kann durch Analog-, Digital- und Hybridrechner und durch eine Zusammenschaltung von konventionellen Meßgeräten mit speziellen Schaltungen oder auch Mikrorechnern realisiert werden.

Die erfindungsgemäßen Anordnungen zur Durchführung dieses Verfahrens sind dadurch charakterisiert, daß sie fest verdrahtet oder durch Programmierung Algorithmen zur Realisierung einer Korrekturfunktion, insbesondere mittels eines Digitalfilters, Algorithmen zur Subtraktion für die Ausgangsgröße der Korrekturfunktion und die zu korrigierende Eingangsgröße, einen Kreuzkorrelationsalgorithmus für die korrigierte Größe und Betriebs- und/oder Umweltparameter, ein Schalternetzwerk oder einen Algorithmus zur Auswahl jeweils eines Betriebs- oder Umweltparameters als Eingangsgröße des Korrelators und einen Algorithmus zur schrittweisen Änderung der Koeffizienten des Korrekturalgorithmus enthalten.

Weiterhin weisen sie einen Klassifikator auf, der aus den Koeffizientensätzen der Korrekturfunktion, die bei statistischer Unabhängigkeit gewonnen werden, Schäden feststellt und klassifiziert.

Ausführungsbeispiel

Die Erfindung soll anhand eines Ausführungsbeispiels mittels Fig. 1 und Fig. 2 näher beschrieben werden.

Es zeigen

241021 1

Fig. 1 die abgetasteten Zeitfunktionen für ein aktuelles Zeitsignal X_n und eine Mittelfunktion bzw. das quasiperiodische Signal Y_{n-1} einer gemessenen Schwingung während der n-ten Rotorumdrehung der Maschine

Fig. 2 die erfindungsgemäße Anordnung zur Schadenfrüherkennung an rotierenden Maschinen

Das erfindungsgemäße Verfahren zur technischen Diagnostik an Maschinen sieht vor, daß aus dem aktuellen Schwingungssignal X, das an der rotierenden Maschine gemessen wird, durch Vorverarbeitung der mittlere Betrag des stochastischen Signalanteiles $\bar{S}_n$ gemäß der Gleichung

$$\bar{S}_n = \left(\left|S_n^m\right| - \bar{S}_{n-1} \right) a_1 + \bar{S}_{n-1} ,$$

wobei $S_n^m = X_n^m - Y_n^m \approx X_{n-1}^m - Y_{n-1}^m$

und $Y_n^m = (X_n^m - Y_{n-1}^m) a_2 + Y_{n-1}^m$

mit den Mittlungskoeffizienten $a_1, a_2 \ll 1$ zu gewinnen ist. Dabei bedeuten $\left|S_n^m\right|$ der aktuelle Betrag des m-ten Wertes des stochastischen Signalanteiles während der n-ten Rotorumdrehung der Maschine, X_n^m der m-te Abtastwert des aktuellen Schwingungssignals X während der n-ten Rotorumdrehung und Y_n^m der m-te Wert der Mittenfunktion des Schwingungssignales während der n-ten Rotorumdrehung. Parallel dazu liefern die aktuellen Meßgrößen P_1, P_2, ... der Betriebs- und Umweltparameter der rotierenden Maschine die Korrekturfunktion oder -größe. Diese Korrekturfunktion oder -größe und der mittlere Betrag des stochastischen Signalanteiles $\bar{S}_n$ werden subtrahiert zur korrigierten Funktion oder Größe. Weiterhin sind durch schrittweise Änderung durch einen Optimierungsalgorithmus die Koeffizientenmatrizen $\vec{A}$, $\vec{B}$ des Korrekturalgorithmus so einzustellen, daß die Kreuzkorrelationsfunktion von korrigierter Funktion oder Größe und aktuellen Meßgrößen P_1, P_2, ... näherungsweise Null ist.

Durch eine nachfolgende Grenzwertüberwachung und Trendermittlung über die Autokorrelationsfunktion der korrigierten Funktion oder Größe S_k erfolgt die Schadenvorhersage bzw. Erkennung. Daneben erfolgt durch Analysierung der Koeffizientenmatrizen $\vec{A}$, $\vec{B}$ unter Zuhilfenahme von Schadensmustern SM mit Hilfe von Mustererkennungsverfahren die Klassifizierung der Schäden.

Die erfindungsgemäße Anordnung zur Durchführung des Verfahrens entsprechend Fig. 2 sieht vor, daß die an der zu überwachenden rotierenden Maschine 1 gemessenen Betriebs- und Umweltparameter P1, P2, ... zur Realisierung der Korrekturfunktion der Korrekturschaltung 2, z. B. eines Digitalfilters, dessen Ausgang an den Plus-Eingang des nachfolgenden Subtrahierers 3 gekoppelt ist, zugeführt werden. Am Minus-Eingang des Subtrahierers 3 liegt der mittlere Betrag des stochastischen Signalanteils $\bar{S}_n$ an, der in der vorgeschalteten Vorverarbeitungseinheit 4 aus dem der rotierenden Maschine gemessenen Signal gewonnen wird. Der Ausgang des Subtrahierers 3 liefert die korrigierte Funktion oder Größe S_k des Signals und ist mit dem Eingang der nachfolgenden Grenzwertvergleichsschaltung 5 als auch mit dem X-Eingang des Korrelators 6 verbunden. Dem Y-Eingang des Korrelators 6 werden ebenfalls über ein Schalternetzwerk 7 die Betriebs- und Umweltparameter P_1, P_2, ... der zu überwachenden Maschine 1 zugeleitet. Die im Korrelator 6 erzeugten Kreuzkorrelationssignale KKF werden von dessen Ausgang dem Eingang der Optimierungsschaltung 8 zur schrittweisen Änderung der Koeffizienten A_i, B_i und zur Erkennung der statistischen Unabhängigkeit der korrigierten Größe oder Funktion von den Betriebsparametern P_1, P_2, ... geführt. Diese Optimierungsschaltung 8 steuert einerseits das Schalternetzwerk 7 und andererseits sind die Koeffizientenausgänge A_i, B_i mit den Koeffizienteneingängen der Korrekturschaltung 2 und mit dem einen Eingang der Klassifizierungsschaltung 9 verkoppelt.

Dem zweiten Eingang der Klassifizierungsschaltung 9 sind die Koeffizientensätze von Schadensbeispielen SM zugeführt. Diese erfindungsgemäße Anordnung zeichnet sich dadurch aus, daß unabhängig von den Betriebszuständen der zu überwachenden Maschine 1 zuverlässig das normale und abnormale Verhalten der Maschine erkannt werden kann. Des weiteren erlaubt die Erfindung erstmalig eine exakte Trendvoraussage und Schadenfrüherkennung bei rotierenden Maschinen. Die Korrekturschaltung 2, der Subtrahierer 3, der Korrelator 6 und die Optimierungsschaltung kann vorzugsweise durch Mikrorechner realisiert werden.

Erfindungsanspruch

1. Verfahren zur technischen Diagnostik von Maschinen, bei dem in bekannter Weise Mittelfunktionen, Mittelwerte, spektrale Amplituden, mittlere Rauschquadrate, mittlere Beträge des stochastischen Signalanteiles und Kreuzkorrelationsfunktionen gebildet werden, dadurch gekennzeichnet, daß aus der Zeitfunktion, aus der gemittelten Zeitfunktion bzw. aus der spektralen Amplitude eines Schwingungssignals bzw. aus einem Temperatursignal oder aus dem mittleren Quadrat bzw. dem mittleren Betrag des stochastischen Signalanteiles von Schwingungssignalen, die an der Maschine gemessen werden, der aus Betriebsparameteränderungen und Umwelteinflüssen der Maschine resultierende Anteil eliminiert ist, indem mit Hilfe von Kreuzkorrelationsmessungen zwischen korrigierter Funktion bzw. korrigiertem Wert und Betriebsparametern bzw. anderen Umweltgrößen die Koeffizienten einer multiplikativen Korrekturfunktion bzw. eines Korrekturfaktors oder einer additiven Korrekturfunktion bzw. einer Korrekturgröße insbesondere einer zeitabhängigen Differenzengleichung so eingestellt sind, daß die korrigierte Funktion bzw. die korrigierte Größe von den Betriebsparametern und Umweltgrößen unabhängig ist.

2. Verfahren zur technischen Diagnostik von Maschinen nach Punkt 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Koeffizienten der Korrekturfunktion bei intakter Maschine und die Entstehung eines Schadens durch Trendermittlung auch mittels der Autokorrelationsfunktion der korrigierten Größe oder Funktion und durch Grenzwertvergleich zu ermitteln sind.

3. Verfahren zur technischen Diagnostik von Maschinen nach Punkt 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Trendermittlung und Grenzwertvergleiche an den Koeffizienten der Korrekturfunktion erfolgt, die ständig der sich ändernden Eigenschaften der Maschine angepaßt sind und dadurch die Entstehung eines Schadens an der Maschine feststellbar ist.

4. Verfahren zur technischen Diagnostik von Maschinen nach Punkt 1, 2 und 3, dadurch gekennzeichnet, daß auf der Basis von Beobachtungen von Schäden Koeffizientenklassen gebildet sind, die unter Zuhilfenahme von Mustererkennungsmethoden zur Klassifizierung von Schäden dienen.

5. Anordnung zur Durchführung des Verfahrens nach Punkt 1 und 2, dadurch gekennzeichnet, daß mit dem Plus-Eingang eines die korrigierte Größe oder Funktion (S_K) liefernden Subtrahierers (3) die zu korrigierende Größe oder Funktion ($\bar{S}$) und der Ausgang einer Korrekturschaltung (2), insbesondere eines Digitalfilters, verbunden ist, an deren Signaleingängen die Betriebs- und Umweltparameter (P_1, P_2, ...) der zu überwachenden Maschine (1) angeschaltet sind und deren Koeffizienteneingänge mit den Koeffizientenausgängen (A_i, B_i) einer Optimierungsschaltung (8) zur schrittweisen Änderung der Koeffizienten verbunden sind, daß der Minus-Eingang des Subtrahierers über eine Vorverarbeitungseinheit (4), die den mittleren Betrag des stochastischen Signalanteils ($\bar{S}_n$) aus dem an der Maschine gemessenen Signals liefert, mit der Maschine verkoppelt ist, daß der Eingang der Optimierungsschaltung zum Ausgang eines Korrelators (6) führt, dessen X-Eingang mit dem Ausgang des Subtrahierers und dessen Y-Eingang über ein von der Optimierungsschaltung gesteuertes Schalternetzwerk (7) mit der Aufnahmevorrichtung der Betriebs- und Umweltparameter der Maschine verbunden sind und daß an den einen Eingang einer Klassifizierungsschaltung (9) die Koeffizientenausgänge (A_i, B_i) der Optimierungsschaltung und an den anderen Eingang der Klassifizierungsschaltung die Koeffizientensätze von Schadensbeispielen (SM) angeschlossen sind.

6. Anordnung zur Durchführung des Verfahrens nach Punkt 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, daß die Korrekturschaltung, der Subtrahierer, der Korrelator und die Optimierungsschaltung zur schrittweisen Änderung der Koeffizienten durch Digitalrechner, insbesondere Mikrorechner, realisiert sind.

Hierzu 1 Seite Zeichnungen

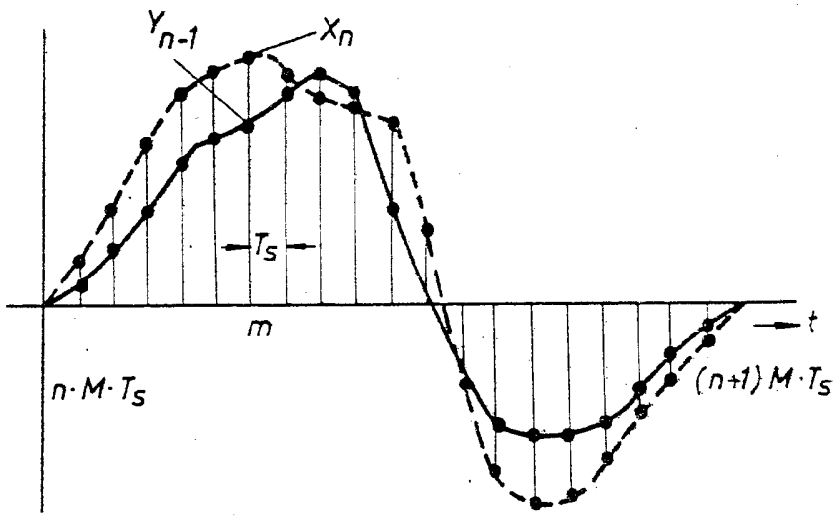

Y_{n-1}
X_n
T_s
m
t
$n \cdot M \cdot T_s$
$(n+1)\,M \cdot T_s$

Fig.1

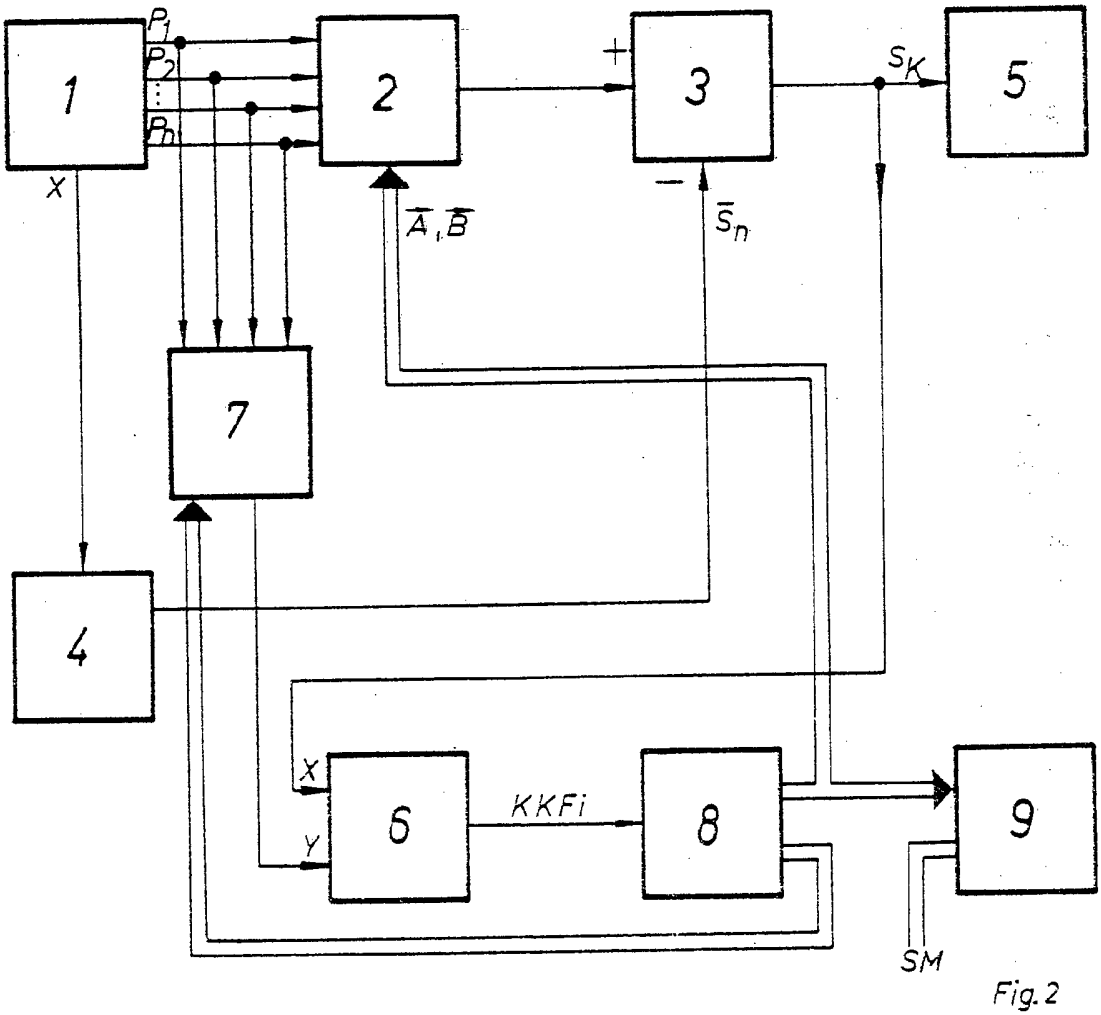

1
2
3
5
4
6
7
8
9
P_1
P_2
P_n
X
$\overline{A}, \overline{B}$
$\overline{S}_n$
S_K
+
−
KKFi
Y
SM

Fig. 2