



(19)
Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 603 10 980 T2** 2007.10.11

(12)

Übersetzung der europäischen Patentschrift

(97) **EP 1 556 706 B1**

(51) Int Cl.⁸: **G01P 3/48** (2006.01)

(21) Deutsches Aktenzeichen: **603 10 980.2**

(86) PCT-Aktenzeichen: **PCT/US03/23901**

(96) Europäisches Aktenzeichen: **03 748 989.5**

(87) PCT-Veröffentlichungs-Nr.: **WO 2004/029634**

(86) PCT-Anmeldetag: **31.07.2003**

(87) Veröffentlichungstag

der PCT-Anmeldung: **08.04.2004**

(97) Erstveröffentlichung durch das EPA: **27.07.2005**

(97) Veröffentlichungstag

der Patenterteilung beim EPA: **03.01.2007**

(47) Veröffentlichungstag im Patentblatt: **11.10.2007**

(30) Unionspriorität:

255435 26.09.2002 US

(73) Patentinhaber:

3M Innovative Properties Co., St. Paul, Minn., US

(74) Vertreter:

derzeit kein Vertreter bestellt

(84) Benannte Vertragsstaaten:

**AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB,
GR, HU, IE, IT, LI, LU, MC, NL, PT, RO, SE, SI, SK,
TR**

(72) Erfinder:

**CARLSON, H., Daniel, Saint Paul, MN 55133-3427,
US**

(54) Bezeichnung: **ADAPTIVES RÄUMLICHES NOTCH-FILTER**

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach der Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents kann jedermann beim Europäischen Patentamt gegen das erteilte europäische Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch ist schriftlich einzureichen und zu begründen. Er gilt erst als eingelegt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist (Art. 99 (1) Europäisches Patentübereinkommen).

Die Übersetzung ist gemäß Artikel II § 3 Abs. 1 IntPatÜG 1991 vom Patentinhaber eingereicht worden. Sie wurde vom Deutschen Patent- und Markenamt inhaltlich nicht geprüft.

Beschreibung**GEBIET DER ERFINDUNG**

[0001] Die Erfindung betrifft Regelsysteme mit Rückführung, wie zum Beispiel Systeme zum Regeln von Herstellungsprozessen.

STAND DER TECHNIK

[0002] Herstellungssysteme mit kontinuierlicher Zufuhr, wie zum Beispiel Herstellungssysteme, die zum Herstellen von Papier, Film, Band und dergleichen verwendet werden, umfassen oft eine oder mehrere motorgetriebene Rollen. Diese Systeme umfassen oft elektronische Controller, die Steuersignale zum Einkuppeln der Motoren und Steuern der Motoren mit festgelegten Drehzahlen ausgeben. Ein typischer Controller überwacht oft die Drehzahl des Motors, der Rolle oder beider mit einer Rückführungsschaltung und stellt das Steuersignal so ein, daß für jeden festgestellten Fehler eine Winkelgeschwindigkeit ausgeglichen wird.

[0003] Die Rückführungssignale können zusätzlich zur Übermittlung von Informationen über das Verhalten der Systemkomponenten auch Rauschen umfassen. Im allgemeinen ist Rauschen nutzlose Information und steht nicht in Beziehung zur wahren Leistung der Komponenten des Systems.

[0004] In EP 469 617 A1 wird ein Regelungssystem mit Rückführung zum Regeln des Betriebs einer Last offenbart. Ein reales Betriebssignal wird von einem Bezugsbetriebssignal subtrahiert, um ein resultierendes Signal zu erzeugen, das zum Regeln des Betriebs der Last verwendet wird. Eine Filtereinheit, wie zum Beispiel ein Sperrfilter, arbeitet so, daß alle Maschinenresonanzfrequenzen, die im Betriebssignal auf Grund von Lastschwankungen, Maschinenveränderungen, Änderungen der Betriebsumgebung, Qualitätsverschlechterung mit dem Alter usw. festgestellt werden, unterdrückt werden. Ein Filterkoeffizient der Filtereinheit wird so eingestellt, daß alle Schwankungen in der Resonanzfrequenz wirksam unterdrückt werden können.

KURZDARSTELLUNG

[0005] Allgemein betrifft die Erfindung das Regeln eines Sperrfilters als Funktion einer Winkelgeschwindigkeit von einer oder mehreren Komponenten des Systems. Eine Mittenfrequenz eines Sperrfilters kann zum Beispiel dynamisch als Winkelgeschwindigkeit eines Motors bei Änderungen der Herstellungsumgebung geregelt werden. Das Sperrfilter kann Rauschen, das ein Frequenzband in einem Rückführungssignal belegt, dämpfen.

[0006] In einem Rückführungssystem, wie zum Beispiel einem System in einer Herstellungsumgebung oder einem System, das die Geschwindigkeit von einem oder mehreren Komponenten genau regelt, überwachen Sensoren den Betrieb der Komponenten des Systems. Die Sensoren erzeugen ein oder mehrere Rückführungssignale, die das Verhalten der Komponenten widerspiegeln, und ein Controller regelt den Betrieb des Systems als Reaktion auf die Rückführungssignale. In einem als Beispiel dienenden System, das unten diskutiert wird, regelt ein Controller die Winkelgeschwindigkeit eines Motors, der wiederum eine weitere Komponente, wie zum Beispiel eine Rolle, antreibt. Sensoren überwachen die Winkelgeschwindigkeiten von Motor, Rolle oder beiden und erzeugen Rückführungssignale, die die Winkelgeschwindigkeiten widerspiegeln.

[0007] Ein Rückführungssignal umfaßt Daten, die das Verhalten der Komponente widerspiegeln, wie zum Beispiel die Winkelgeschwindigkeit einer überwachten Komponente. Ein Rückführungssignal kann auch fehlerhafte Daten umfassen, die nicht das Verhalten der Komponente widerspiegeln. Einige fehlerhafte Daten oder Rauschen betreffen die Geometrie von Komponenten des Systems. Mit anderen Worten, sind einige Rauschstörungen mit physischen Merkmalen des Systems korreliert und zeigen keine wirklichen Störungen im Verhalten von Komponenten an. Die physischen Merkmale des Systems, das die Rauschstörungen erzeugt, sind räumlich und nicht zeitlich verteilt. Obwohl die physischen Merkmale sich mit der Zeit verschieben können, bewegen sie sich nicht räumlich relativ zu anderen Komponenten im System.

[0008] Rauschen kann zum Beispiel durch physische Störungen verursacht werden, die räumlich auf einer Motorwelle verteilt sind, welche von einem Sensor überwacht wird. Während sich der Motor dreht, dreht sich auch die Welle mit den Störungen. Die Störungen können ein Rückführungssignal beeinträchtigen, das vom Sensor erzeugt wird, der die Lage oder Drehzahl der Welle erfaßt, und dadurch Rauschen in das Rückführungssignal einbringen. Der Sensor stellt die physischen Störungen der Welle fest und interpretiert die Störungen als Schwankungen in der Lage oder Winkelgeschwindigkeit der Welle. Im Ergebnis dessen umfaßt das Rückführungssignal Rauschen, das Schwankungen in der Lage oder Winkelgeschwindigkeit der Welle an-

zeigt, obwohl tatsächlich keine Schwankungen in der Lage oder Winkelgeschwindigkeit der Welle vorhanden sind. Dieses Rauschen widerspiegelt nicht genau die wahre Lage oder Winkelgeschwindigkeit der Welle.

[0009] Andere physische Merkmale im System können ebenfalls zum Rauschen im Rückführungssignal beitragen. Physische Merkmale des Sensors können zum Beispiel zu periodischem Rauschen beitragen, das Schwankungen in der Lage oder Winkelgeschwindigkeit anzeigt, obwohl solche Schwankungen nicht wirklich vorhanden sind.

[0010] Rauschen, das von physischen Merkmalen verursacht wird, die im System räumlich verteilt sind, ist periodisch und zeigt sich in einem Frequenzband im Rückführungssignal. Die Frequenz des Rauschens ist eine Funktion der räumlichen Verteilung der Merkmale und der Winkelgeschwindigkeit rotierender Komponenten. Wenn sich zum Beispiel die Winkelgeschwindigkeit eines Motors ändert, ändert sich die Winkelgeschwindigkeit der Welle ebenfalls, und Sensoren stoßen häufiger auf die physischen Störungen in der Welle. Dementsprechend ändert sich auch die Frequenz des Rauschens, das von Störungen verursacht wird, ebenfalls. Insbesondere ändert sich die Mittenfrequenz des Rauschfrequenzbandes mit der Winkelgeschwindigkeit der rotierenden Komponenten. Außerdem kann sich die Mittenfrequenz des Rauschfrequenzbandes linear mit den Änderungen der Winkelgeschwindigkeit ändern.

[0011] Ein Controller reguliert die Winkelgeschwindigkeit von einer oder mehreren dieser Komponenten. Das Rauschen kann den Betrieb des Controllers stören. Insbesondere kann das Rauschen den Controller veranlassen, Korrekturen für Bedingungen vorzunehmen, wie zum Beispiel Schwankungen in der Winkelgeschwindigkeit, die nicht wirklich auftreten. Dementsprechend stellt die Erfindung ein Sperrfilter bereit, das das Rauschen dämpft, welches durch räumlich verteilte physische Merkmale erzeugt wird.

[0012] Das Sperrfilter, das ein digitales Filter sein kann, welches durch einen digitalen Prozessor implementiert wird, umfaßt eine anpaßbare Mittenfrequenz. Wenn sich die Winkelgeschwindigkeit einer rotierenden Komponente des Systems ändert, ändert sich die Frequenz des Rauschens, das von räumlich verteilten physischen Merkmalen erzeugt wird, linear mit der Winkelgeschwindigkeit. Dementsprechend ändert sich auch die Mittenfrequenz des Sperrfilters linear mit der Winkelgeschwindigkeit. Auf diese Weise wird die Mittenfrequenz des Sperrfilters dem Rauschen nachgeführt, wenn sich die Rauschfrequenz ändert, und das Rauschen wird auch weiterhin unterdrückt.

[0013] Unter einigen Bedingungen kann ein Signal Rauschen in zwei oder mehr Frequenzbändern umfassen. Zwei oder mehr Sperrfilter können mit unterschiedlichen Mittenfrequenzen so geregelt werden, daß die unterschiedlichen Rauschfrequenzen unterdrückt werden. Jede der Sperrfilter-Mittenfrequenzen ist an Änderungen bei der Winkelgeschwindigkeit anpaßbar.

[0014] In einer Ausführungsform richtet sich die Erfindung auf ein Verfahren, das das Erhalten eines Geschwindigkeitssignals, welches eine Winkelgeschwindigkeit repräsentiert, und das Dämpfen eines Frequenzbandes eines Rückführungssignals als Funktion der Winkelgeschwindigkeit umfaßt. Die Winkelgeschwindigkeit kann zum Beispiel eine Zielwinkelgeschwindigkeit sein, die in einem Bezugssignal enthalten ist. Das Geschwindigkeitssignal kann die Winkelgeschwindigkeit repräsentieren, indem es die Winkelgeschwindigkeit selbst repräsentiert oder eine Größe, die eine Funktion der Winkelgeschwindigkeit ist, wie zum Beispiel die Drehposition oder Winkelbeschleunigung.

[0015] In einer weiteren Ausführungsform richtet sich die Erfindung auf ein System, das einen Motor, der eine rotierende Komponente als Reaktion auf ein Motorsteuersignal antreiben kann, und einen Sensor zum Erzeugen eines Rückführungssignals umfaßt, das eine Messung der rotierenden Komponente repräsentiert. Das System umfaßt ferner ein Filter, das das Rückführungssignal empfängt und ein Frequenzband des Rückführungssignals als Funktion einer Winkelgeschwindigkeit dämpft. Die Winkelgeschwindigkeit kann eine Zielwinkelgeschwindigkeit sein. Das System kann auch einen Controller umfassen, der ein Motorregelsignal als Funktion des gefilterten Rückführungssignals erzeugt.

[0016] In einer weiteren Ausführungsform stellt die Erfindung ein Verfahren bereit, das das Drehen einer Komponente mit einer Winkelgeschwindigkeit, Ändern der Winkelgeschwindigkeit und, in einem Rückführungssignal, das auf die Drehung reagiert, Feststellen mindestens einer Frequenz eines periodischen Signals, das sich linear mit der Änderung der Winkelgeschwindigkeit ändert. Das festgestellte periodische Signal kann nützliche Informationen oder nutzloses Rauschen codieren, und das Verfahren kann auch Verfahren zur Unterscheidung von nützlichen Informationen vom Rauschen umfassen. Ein Sperrfilter kann ausgewählt werden, um das periodische Signal zu unterdrücken, und das Verfahren kann auch das lineare Ändern der Mittenfrequenz des

Sperrfilters mit der Änderung der Winkelgeschwindigkeit umfassen.

[0017] In einer weiteren Ausführungsform richtet sich die Erfindung auf ein Verfahren, das in einem Signal das Feststellen von mindestens einem Frequenzband des Rauschens, welches von einem oder mehreren verteilten physischen Merkmalen auf mindestens einer rotierenden Komponente erzeugt wird, die eine Winkelgeschwindigkeit hat, und das Berechnen einer Mittenfrequenz für ein Sperrfilter als Funktion der Winkelgeschwindigkeit umfaßt.

[0018] In einer weiteren Ausführungsform stellt die Erfindung eine Vorrichtung bereit, die eine Vorverarbeitungseinheit, welche ein Rückführungssignal empfängt und abtastet, und einen Prozessor umfaßt, der ein Bezugssignal empfängt, welches eine Zielwinkelgeschwindigkeit anzeigt, und das abgetastete Rückführungssignal mit einem Sperrfilter filtert. Eine Mittenfrequenz des Sperrfilters ist eine Funktion der Zielwinkelgeschwindigkeit. Die Vorrichtung kann auch einen Stromtreiber umfassen, der vom Prozessor als Funktion der Zielwinkelgeschwindigkeit und des gefilterten Rückführungssignals gesteuert wird.

[0019] In einer weiteren Ausführungsform richtet sich die Erfindung auf ein Verfahren zum Einstellen einer Abtastfrequenz. Das Verfahren umfaßt das Feststellen einer Grundfrequenz als Funktion einer Winkelgeschwindigkeit, Feststellen einer Harmonischen der Grundfrequenz und Einstellen einer Abtastfrequenz zum Abtasten eines Rückführungssignals als Funktion der Grundfrequenz und der Harmonischen. Dieses Verfahren kann dazu verwendet werden, ein Sperrfilter abzustimmen.

[0020] In einer weiteren Ausführungsform richtet sich die Erfindung auf ein Gerät, das einen Sensor zum Erzeugen eines Signals, das eine Messung einer rotierenden Komponente repräsentiert, und ein Filter umfaßt, das ein Frequenzband des Signals als Funktion der Winkelgeschwindigkeit dämpft. Das Gerät kann zum Beispiel als unabhängiger Sensor implementiert werden, der ein Signal als Funktion einer Messung einer rotierenden Komponente erzeugt und das Signal als Funktion der Winkelgeschwindigkeit der rotierenden Komponente filtert.

[0021] Die Erfindung bietet eine Reihe von Vorteilen. Das adaptive Sperrfilter ist für die Unterdrückung von Rauschen auf Grund der physischen Merkmale im System gut geeignet und ist besonders nützlich beim Sperren einiger Arten von Rauschen, die auf die räumlichen Störungen zurückzuführen sind und die nicht die tatsächliche Leistung von Systemkomponenten widerspiegeln. Wenn sich die Mittenfrequenz des Rauschens mit der Winkelgeschwindigkeit ändert, ändert sich das Frequenzband, das von einem Sperrfilter gesperrt wird, ebenfalls mit der Winkelgeschwindigkeit. Das Sperrfilter wird dem Rauschen nachgeführt und unterdrückt dieses auch weiterhin. Außerdem wird das Rauschen ohne Rücksicht auf die Phase des Rauschens unterdrückt.

[0022] Mit dem adaptiven Sperrfilter kann der Controller sehr reaktionsfähig auf die Rückführungssignale gemacht werden. Weil das Rauschen, das von räumlich verteilten Merkmalen erzeugt wird, durch das Sperrfilter gedämpft wird, reagiert der Controller nicht auf das Rauschen. Dementsprechend kann der Controller schnell auf Signale reagieren, die ein tatsächliches Komponentenverhalten widerspiegeln, mit einem geringeren Risiko, auf Signale zu reagieren, die das tatsächliche Komponentenverhalten nicht widerspiegeln. Das adaptive Sperrfilter kann auch schneller und effizienter als viele andere Verfahren zur Rauschunterdrückung sein.

[0023] Die Details von einer oder mehreren Ausführungsformen der Erfindung werden in den begleitenden Zeichnungen und der Beschreibung unten dargelegt. Andere Merkmale, Ziele und Vorteile der Erfindung werden aus der Beschreibung und den Zeichnungen und aus den Ansprüchen erkennbar.

KURZBESCHREIBUNG DER ZEICHNUNGEN

[0024] [Fig. 1](#) ist ein Blockdiagramm, das ein als Beispiel dienendes System illustriert, in dem ein Controller eine Rolle steuert.

[0025] [Fig. 2](#) ist ein Flußdiagramm, das einen Überblick über den Betrieb eines anpaßbaren Sperrfilters bietet.

[0026] [Fig. 3](#) ist ein Blockdiagramm, das ein Rückführungssystem mit in Reihe geschalteten Sperrfiltern illustriert.

[0027] [Fig. 4](#) ist eine grafische Darstellung, die ein als Beispiel dienendes Rückführungssignal innerhalb eines Frequenzbereichs illustriert, das Rauschen in zwei Frequenzbändern umfaßt.

[0028] [Fig. 5](#) ist eine grafische Darstellung, die das als Beispiel dienende Rückführungssignal von [Fig. 4](#) nach Filtern durch Sperrfilter illustriert.

[0029] [Fig. 6](#) ist ein Blockdiagramm, das eine als Beispiel dienende Ausführungsform des Controllers detaillierter illustriert.

[0030] [Fig. 7](#) ist ein Flußdiagramm, das Verfahren zum Feststellen von Rauschquellen illustriert.

[0031] [Fig. 8](#) ist ein Flußdiagramm, das ein Verfahren zum Auswählen von Parametern zum Abtasten eines Rückführungssignals illustriert.

AUSFÜHRLICHE BESCHREIBUNG

[0032] [Fig. 1](#) ist ein Blockdiagramm, das ein als Beispiel dienendes System **10** illustriert, bei dem ein Controller **12** die Winkelgeschwindigkeit einer rotierenden Komponente, wie zum Beispiel einer Rolle **14**, regelt. System **10** kann in einer Vielzahl von Anwendungen verwendet werden, einschließlich einer Herstellungsumgebung für kontinuierliche Zufuhr, um Papier, Film, Band und dergleichen herzustellen. Rolle **14** kann zum Beispiel eine Rolle zur Präzisionsbahnhandhabung innerhalb einer Herstellungsumgebung sein.

[0033] Controller **12** gibt Motorregelsignale **16** an Motor **18** aus, der die Rolle **14** antreibt. Die Motorregelsignale **16** können ein oder mehrere Stromsignale sein, die von einem Stromtreiber (in [Fig. 1](#) nicht dargestellt) unter der Kontrolle von Controller **12** erzeugt werden. Motor **18** treibt Welle **20** als Reaktion auf die Motorregelsignale **16** an. Welle **20** ist mechanisch mit dem Getriebe **22** über die Kupplung **24** verbunden. Getriebe **22** wiederum treibt die Welle **26** an, die mechanisch mit der Rolle **14** über die Kupplung **28** verbunden ist. Getriebe **22** kann eine Reihe von Zahnrädern aufweisen, um für ein geeignetes Übersetzungsverhältnis beim Antrieb von Rolle **14** zu sorgen. Getriebe **22** ist ein als Beispiel dienendes Teilsystem zur Übertragung von Energie und ist nicht auf Zahnräder beschränkt, sondern kann Komponenten, wie zum Beispiel Riemenantriebe, umfassen.

[0034] Controller **12** empfängt das Motordrehzahlsignal **30**, das ein Maß für die Winkelgeschwindigkeit von Welle **20** ist. Das Motordrehzahlsignal **30** kann einem Sensor **32** zugeführt werden, der ein Signal als Funktion der Winkelgeschwindigkeit von Welle **20**, die mit dem Motor **18** verbunden ist, erzeugt. Außerdem empfängt Controller **12** von Sensor **34** ein Rollendrehzahlsignal **36**, das eine Funktion der Winkelgeschwindigkeit von Welle **38** ist, die mit der Rolle **14** verbunden ist. Die Sensoren **32** und **34** können zum Beispiel Sinuscodierer aufweisen, die auf Welle **20** von Motor **18** bzw. auf Welle **38** von Rolle **14** montiert sind. Die Sensoren **32** und **34** können Lagegeber-Motor- und Rollendrehzahlsignale **30**, **36** dem Controller **12** zuführen.

[0035] Die Erfindung ist weder auf Sinuscodiersensoren beschränkt, noch ist die Erfindung auf Systeme beschränkt, die Sensoren umfassen, welche die Drehposition erfassen. Die Erfindung kann mit Sensoren implementiert werden, die jede Größe oder Größen messen, welche eine Winkelgeschwindigkeit repräsentieren können. Die Winkelgeschwindigkeit kann zum Beispiel aus der Drehposition durch Differenzieren oder aus der Winkelbeschleunigung durch Integrieren abgeleitet werden. Die Erfindung umfaßt auch Sensoren, die andere Größen erfassen, welche eine Winkelgeschwindigkeit repräsentieren können, wie zum Beispiel einen Drucksensor, der eine Druckableitung mißt.

[0036] Rückführungssignale **30**, **36** können periodische Signale umfassen, die durch physische Merkmale von System **10** verursacht werden. Die physischen Merkmale, die die periodischen Signale erzeugen, können physische Störungen umfassen, die räumlich, und nicht zeitlich, in System **10** verteilt sind. Die periodischen Signale können zum Beispiel durch physische Störungen von Systemkomponenten verursacht werden, wie zum Beispiel Motor **18** oder Welle **20**.

[0037] Einige der periodischen Signale können nützlich sein. Eine physische Störung in Motor **18** kann zum Beispiel einige Schwankungen in der Winkelgeschwindigkeit von Motor **18** verursachen. Die Schwankungen können durch Sensor **32** festgestellt werden und können in das Motordrehzahlsignal **30** zurückgespeist werden.

[0038] Andere periodische Signale, die durch physische Störungen von Systemkomponenten verursacht werden, können jedoch nutzloses Rauschen sein. Störungen, die räumlich auf Welle **20** verteilt sind, können zum Beispiel die Fähigkeit von Sensor **32** beeinträchtigen, ein Motordrehzahlsignal **30** zu erzeugen, das die Winkelgeschwindigkeit von Welle **20** genau widerspiegelt. Sensor **32** kann die Störungen in Welle **20** als Schwankungen der Drehzahl von Welle **20** interpretieren und nicht als Schwankungen im physischen Aufbau von Welle

20. Im Ergebnis dessen kann das Motordrehzahlsignal **30** ein nutzloses periodisches Signal umfassen, das anzeigt, daß die Winkelgeschwindigkeit von Welle **20** zeitlich veränderlich ist, wenn tatsächlich die Winkelgeschwindigkeit von Welle **20** konstant ist. Dieses nutzlose periodische Signal kann den Betrieb von System **10** negativ beeinflussen, weil Controller **12** Änderungen in der Winkelgeschwindigkeit auf der Grundlage von Motordrehzahlsignal **30** kompensieren kann und daher Änderungen in der Winkelgeschwindigkeit kompensieren kann, die nicht wirklich auftreten.

[0039] Rauschen, das von physischen Merkmalen verursacht wird, die im System räumlich verteilt sind, ist periodisch im Gegensatz zu aperiodischem Rauschen, wie zum Beispiel weißem Rauschen. Infolgedessen konzentriert das betreffende Rauschen tendenziell Energie in einem schmalen Frequenzband im Rückführungssignal. Rauschen in einem schmalen Frequenzband ist oft charakteristisch für Sensoren, wie zum Beispiel optische Codierer, magnetische Sensoren und Tachometer, die Signale erzeugen, welche die Lage von Wellen anzeigen.

[0040] Die Frequenz des Rauschens ist eine Funktion der räumlichen Verteilung der Merkmale und der Winkelgeschwindigkeit rotierender Komponenten. Wenn sich zum Beispiel die Winkelgeschwindigkeit von Welle **20** ändert, stoßen Sensoren **32** häufiger auf die physischen Störungen in Welle **20**, und die Frequenz des Rauschens, das von den Störungen verursacht wird, ändert sich ebenfalls. Die Mittenfrequenz des Rauschfrequenzbandes kann sich linear wie die Änderungen der Winkelgeschwindigkeit ändern.

[0041] Controller **12** regelt die Winkelgeschwindigkeit von Motor **18** und regelt damit die Winkelgeschwindigkeit anderer rotierender Komponenten, die von Motor **18** angetrieben werden, wie zum Beispiel Rolle **14** oder Welle **20**. Controller **12** empfängt ein Bezugssignal **40**, das einen Zielbezug für den Antriebsmotor **18** oder Rolle **14** bereitstellt. Eine Prozeßregeleinheit oder ein anderes Gerät (nicht dargestellt) kann zum Beispiel ein Bezugssignal **40** gemäß einem Herstellungsmodell bereitstellen. Das Bezugssignal **40** kann ein Motordrehzahlbezugssignal, ein Rollendrehzahlbezugssignal, ein Motordrehmomenten-Bezugssignal oder ein Motorpositionsbezugssignal oder dergleichen aufweisen. Auf der Grundlage von Rollendrehzahlsignal **36**, Bezugssignal **40**, Motordrehzahlsignal **30** oder Kombinationen derselben regelt Controller **12** den Motor **18**, um die Winkelgeschwindigkeiten von Motor **18** sowie der Komponenten, die von Motor **18** angetrieben werden, zu regulieren.

[0042] In einer typischen Produktionsumgebung ist es oft wünschenswert, die Winkelgeschwindigkeit von Rolle **14** auf einem konstanten Wert zu halten. Wie oben beschrieben, führen die physischen Eigenschaften von System **10** leider periodische Signale in die Rückführungssignale **30**, **36** ein. Einige der periodischen Signale können aussagekräftige Signale sein, die wirklich das Verhalten von Komponenten anzeigen, und einige der periodischen Signale können nutzloses Rauschen sein. Das Rauschen kann die Aufrechterhaltung einer konstanten Winkelgeschwindigkeit von Rolle **14** stören. Sensor **34**, der die Rotation von Welle **36** überwacht, kann zum Beispiel eine oder mehrere Störungen an Welle **36** erfassen und kann das Rollendrehzahlsignal **36** als Ergebnis dessen einstellen. Selbst wenn Welle **38** gerade mit einer konstanten Winkelgeschwindigkeit rotiert, können die Störungen in Welle **38**, die vom Sensor **34** erfaßt werden, bewirken, daß das Rollendrehzahlsignal **36** eine Winkelgeschwindigkeit anzeigt, die zeitlich veränderlich ist.

[0043] Die Frequenz des Rauschens kann innerhalb der Bandbreite der aussagekräftigen Signale liegen, die in System **10** verwendet werden, und kann als ein aussagekräftiges Signal fehlinterpretiert werden. Das Rauschen kann den Betrieb von Controller **12** beeinträchtigen, der Motorregelsignale **16** als Funktion von einem oder mehreren Rückführungssignalen erzeugt. Im Ergebnis dessen kann Controller **12** die Motorregelsignale **16** so einstellen, daß ein Problem behoben wird, das nicht existiert.

[0044] Es ist nicht erwünscht, daß der Controller **12** Motorregelsignale **16** als Funktion des Rauschens erzeugt. Rauschen, das von Störungen in den Sensoren **32** und **34** erzeugt wird, reflektiert zum Beispiel nicht das tatsächliche Verhalten von Komponenten, wie zum Beispiel die wahre Winkelgeschwindigkeit der Wellen **20** und **38**. Weil das Rauschen kein Hinweis auf das tatsächliche Verhalten ist, ist es für den Controller **12** uneffizient, Motorregelsignale **16** zu erzeugen, um das Rauschen zu kompensieren. Das Kompensieren des Rauschens kann auch den Betrieb von System **10** behindern, da Controller **12** den Motor **18** langsamer oder schneller regeln kann, um nicht-vorhandene Drehzahlschwankungen auszugleichen. Das Kompensieren nicht-vorhandener Drehzahlschwankungen kann unerwünschte Drehzahlschwankungen einführen, wo vorher keine vorhanden waren.

[0045] Das Rauschen kann durch eine Reihe von verschiedenen Quellen verursacht werden. Folglich können mehrere Rauschfrequenzbänder in System **10** vorhanden sein. Die Rauschfrequenzbänder für Rückführungssignale, die von den Sensoren **32** und **34** erzeugt werden, können sich unterscheiden.

[0046] Der Durchlauf von Rückführungssignalen von den Sensoren **32, 34** durch die Sperrfilter **42, 44** entfernt einen beträchtlichen Teil des Rauschens. Die Sperrfilter **42, 44** sind, wie unten beschrieben, wie Bandsperren ausgelegt, die das Frequenzband, das das Rauschen mit sich bringt, unterdrücken. Dementsprechend läuft das Motordrehzahlsignal **30** durch Sperrfilter **42**, und das Rollendrehzahlsignal **36** läuft durch Sperrfilter **44**, und die Sperrfilter **42, 44** unterdrücken Rauschen in bestimmten Frequenzbändern.

[0047] Die Sperrfilter **42** und **44** können als Digitalfilter implementiert sein, wie unten detailliert beschrieben wird. Obwohl als Teil des Controllers **12** gezeigt, können die Sperrfilter **42** und **44** durch einen oder mehrere digitale Prozessoren, die vom Controller **12** getrennt sind, implementiert werden. Controller **12** verwendet gefilterte Rückführungssignale, um die Motordrehzahlsignale **16** zu regulieren, die wiederum Motor **18** steuern. Die gefilterten Rückführungssignale sind eine bessere Widerspiegelung des tatsächlichen Verhaltens der Komponenten in System **10**.

[0048] Ein Sperrfilter bestimmt einen Bereich von Frequenzen, die unterdrückt werden sollen, durch den Bereich, der um eine Mittenfrequenz herum angeordnet ist. Die Erfindung umfaßt Verfahren zur Anpassung von einem oder mehreren Sperrfiltern als Funktion einer Winkelgeschwindigkeit. Insbesondere kann die Mittenfrequenz, die durch Sperrfilter **42** gedämpft wird, als Funktion einer Winkelgeschwindigkeit ausgelegt werden, die von Bezugssignal **40** repräsentiert wird, oder als Funktion der tatsächlichen gemessenen Winkelgeschwindigkeit von Motor **18** oder Welle **20**. Analog kann die Mittenfrequenz von Sperrfilter **44** als Funktion von Bezugssignal **40** oder von der tatsächlichen Winkelgeschwindigkeit von Rolle **14** oder Welle **38** ausgelegt werden. Die Mittenfrequenz von Sperrfilter **44** kann auch als Funktion der Winkelgeschwindigkeit einer weiteren rotierenden Komponente ausgelegt werden.

[0049] Wenn die Sperrfilter **42, 44** das periodische Rauschen unterdrücken, kann der Controller **12** sehr reaktionsfreudig auf die Rückführungssignale **30, 36** gemacht werden. Da die Filter **42, 44** das Rauschen entfernt haben, kann der Controller **12** schnell auf Signale reagieren, die das tatsächliche Komponentenverhalten widerspiegeln, mit einem geringeren Risiko, auf Signale zu reagieren, die das tatsächliche Komponentenverhalten nicht widerspiegeln. Controller **12** kann zum Beispiel schnell auf aussagekräftige Signale reagieren, die wirklich Schwankungen in der Winkelgeschwindigkeit anzeigen, und Rauschen ignorieren, das fälschlicherweise Schwankungen in der Winkelgeschwindigkeit anzeigt.

[0050] Die Laplace-Transformation für die Filter **42** und **44** kann dargestellt werden als:

$$TF = \frac{Y(s)}{X(s)} = \frac{s^2 + \omega_n^2}{s^2 + 2\zeta\omega_n s + \omega_n^2} \quad (1)$$

dabei ist s die komplexe Laplace-Frequenzvariable, ω_n ist die Mittenfrequenz des Sperrfilters (d.h. die zu dämpfende Frequenz) in Radian pro Sekunde, und ζ ist das Dämpfungsverhältnis. Das Dämpfungsverhältnis bestimmt die Breite des Sperrbereichs. Im allgemeinen führt ein großes ζ zu einem breiten/flachen Sperrbereich, und ein kleines ζ führt zu einem schmalen Frequenzband mit hoher Dämpfung in diesem Band.

[0051] Ferner kann die Mittenfrequenz des zu dämpfenden Bandes ω_n ausgedrückt werden als:

$$\omega_n = \frac{2\pi \cdot RPM \cdot n}{60} \quad (2)$$

dabei wird die Zahl der Zyklen pro Zeiteinheit in Umdrehungen pro Minute (RPM) angegeben. RPM ist normalerweise eine bekannte oder typische Größe, die die Grundwinkelgeschwindigkeit einer rotierenden Komponente darstellt, welche angezeigt werden sollte, wenn System **10** einen Gleichgewichtszustand erreicht. RPM kann zum Beispiel im Bezugssignal **40** angegeben werden. RPM kann auch eine gemessene Winkelgeschwindigkeit sein. Der Faktor von $2\pi/60$ wandelt die Einheiten von ω_n in Radian pro Sekunde um.

[0052] Die Variable n repräsentiert einen Skalierungsfaktor, der die Mittenfrequenz in eine lineare Beziehung zur Winkelgeschwindigkeit setzt. Der Skalierungsfaktor n kann jeder positive Wert sein. In einigen Fällen kann n die Zahl der Störungen sein, die von einem Sensor während der Rotation einer rotierenden Komponente erfaßt werden. Wenn es zum Beispiel eine einzige Störung pro Umdrehung gibt, das ist $n = 1$. Bei einem 1.024-Zeilen-Sinuscodierer kann es auf Grund von Ungleichmäßigkeiten im Codiererherstellungsprozeß 1024 Störungen pro Umdrehung geben, und in diesem Fall ist $n = 1024$. Der Skalierungsfaktor n ist eine Ganzzahl bezüglich der rotierenden Komponente, die das Rauschen erzeugt, braucht aber in Bezug auf andere rotierenden Komponenten im System keine Ganzzahl zu sein.

[0053] Gleichung (2) setzt die Frequenz, die zu dämpfen ist, in Beziehung zu einer bekannten oder Zielwinkelgeschwindigkeit. Wenn die bekannte oder Zielwinkelgeschwindigkeit in Einheiten ausgedrückt wird, wie zum Beispiel Perioden pro Sekunde oder Radian pro Minute, können andere Umrechnungsfaktoren verwendet werden, um sicherzustellen, daß die Einheiten von ω_n Radian pro Sekunde sind.

[0054] Um die Sperrfilter **42** und **44** in einer digitalen Domäne zu implementieren, kann die Übertragungsfunktion von der s-Domäne zur z-Domäne konvertiert werden. Dies kann durch die Verwendung einer bilinearen Transformation erreicht werden, die s auf einen digitalen Verzögerungsoperator z folgendermaßen abbildet:

$$s = \left(\frac{2}{T} \right) \frac{z-1}{z+1} \quad (3)$$

dabei repräsentiert T die Abtastzeit. Mit dieser Abbildung kann die Gleichung verwendet werden, um s^2 auszudrücken:

$$s^2 = \left(\left(\frac{2}{T} \right) \frac{z-1}{z+1} \right)^2 = \frac{4}{T^2} \cdot \frac{z^2 - 2z + 1}{z^2 + 2z + 1} \quad (4)$$

[0055] Eine gewisse Verzerrung der Frequenzabbildung in Gleichung (3) und (4) kann aus Aliasing und langsamer Abtastung herrühren. Um die Genauigkeit der Abbildung zu verbessern, kann folgende Operation ausgeführt werden:

$$\omega_A = \frac{2}{T} \tan\left(\frac{\omega_D \cdot T}{2}\right) \quad (5)$$

dabei ist ω_A die Sperrfilter-Mittenfrequenz in der analogen Domäne und ω_D ist die Sperrfilter-Mittenfrequenz in der digitalen Domäne. Wenn die Abtastrate relativ zur Sperrfilter-Mittenfrequenz jedoch ausreichend hoch ist, ist die Operation, die in Gleichung (5) gezeigt wird, möglicherweise unnötig, da eine geringe Verzerrung zwischen der analogen und der digitalen Domäne auftritt.

[0056] Nimmt man die Abtastrate als ausreichend hoch an, kann die Übertragungsfunktion nun folgendermaßen gedrückt werden:

$$TF = \frac{\left(\frac{4}{T^2} \cdot \frac{z^2 - 2z + 1}{z^2 + 2z + 1} \right) + \left(\frac{\pi^2 \cdot RPM^2 \cdot n^2}{900} \right)}{\left(\frac{4}{T^2} \cdot \frac{z^2 - 2z + 1}{z^2 + 2z + 1} \right) + 2\zeta \left(\frac{\pi \cdot RPM \cdot n}{30} \right) \left(\frac{2}{T} \right) \left(\frac{z-1}{z+1} \right) + \left(\frac{\pi^2 \cdot RPM^2 \cdot n^2}{900} \right)} \quad (6)$$

[0057] Um die Übertragungsfunktion, die in Gleichung (6) gezeigt wird, zu implementieren, können die Terme folgendermaßen angeordnet werden:

$$Y \left(\left(\frac{4}{T^2} + \frac{4\zeta\omega_n}{T} + \omega_n^2 \right) + \left(\frac{-8}{T^2} + 2\omega_n^2 \right) z^{-1} + \left(\frac{4}{T^2} + \frac{-4\zeta\omega_n}{T} + \omega_n^2 \right) z^{-2} \right) = X \left(\left(\frac{4}{T^2} + \omega_n^2 \right) + \left(2\omega_n^2 - \frac{8}{T^2} \right) z^{-1} + \left(\frac{4}{T^2} + \omega_n^2 \right) z^{-2} \right) \quad (7)$$

dabei wird die Sperrfilter-Mittenfrequenz kompakt als ω_n dargestellt. Durch Umordnen von Termen und Umwandeln in die Zeitdomäne erhält man die folgende finite Differenzengleichung:

$$y(n) = \frac{\left[\left(\frac{8}{T^2} - 2\omega_n^2 \right) y(n-1) + \left(\frac{-4}{T^2} + \frac{4\zeta\omega_n}{T} - \omega_n^2 \right) y(n-2) + \left(\frac{4}{T^2} + \omega_n^2 \right) x(n) + \left(2\omega_n^2 - \frac{8}{T^2} \right) x(n-1) + \left(\frac{4}{T^2} + \omega_n^2 \right) x(n-2) \right]}{\left(\frac{4}{T^2} + \frac{4\zeta\omega_n}{T} + \omega_n^2 \right)} \quad (8)$$

die auf einem digitalen Prozessor, wie zum Beispiel einem Computer, implementiert werden kann. Controller

12 kann eine Ausführungsform eines solchen digitalen Prozessors sein. In Gleichung (8) wird die Sperrfilter-Mittenfrequenz kompakt als ω_n dargestellt, kann aber durch Ersetzen des Ausdrucks, der in Gleichung (2) gefunden wird, als Funktion einer bekannten oder Zielwinkelgeschwindigkeit ausgedrückt werden.

[0058] Wie in Gleichung (2) gezeigt, steht die Rauschmittenfrequenz in einer linearen Beziehung zur Winkelgeschwindigkeit einer rotierenden Komponente. Dementsprechend verursacht eine Änderung in der Winkelgeschwindigkeit der rotierenden Komponente eine lineare Änderung in der Rauschmittenfrequenz. Mit anderen Worten, verschieben sich die Frequenzen des Rauschens im Frequenzspektrum nach oben oder unten, wenn die Winkelgeschwindigkeit größer oder kleiner wird. Die Rauschfrequenz kann unter Verwendung von Gleichung (2) auf eine Sperrfilter-Mittenfrequenz abgebildet werden. Insbesondere kann man n durch Untersuchung feststellen, wie unten beschrieben wird. Außerdem ist der Wert von RPM, d.h. der Grundwinkelgeschwindigkeit in Umdrehungen pro Zeiteinheit, eine bekannte oder Zielwinkelgeschwindigkeit. Dementsprechend ist es durch Gleichung (2) möglich, die Frequenzbänder des Rauschens vorherzusagen, wenn das System einen stationären Zustand erreicht.

[0059] Außerdem führt nach Gleichung (2) das Erhöhen oder Verringern der Grundwinkelgeschwindigkeit RPM um ein bekanntes Maß zu einer Erhöhung bzw. Verringerung der Sperrfrequenz ω_n um dasselbe Maß. Wenn ω_n bekannt ist, kann ein digitales Filter implementiert werden, wie in Gleichung (8) gezeigt. Auf diese Weise paßt sich das Sperrfilter an Änderungen in der Winkelgeschwindigkeit an und unterdrückt Rauschfrequenzen als Funktion der Winkelgeschwindigkeit.

[0060] [Fig. 2](#) ist ein Flußdiagramm, das die Arbeit eines digitalen Prozessors, wie zum Beispiel eines Controllers **12**, beschreibt, der ein anpassungsfähiges Sperrfilter implementiert. Der digitale Prozessor empfängt ein Signal, das eine Winkelgeschwindigkeit einer rotierenden Komponente repräsentiert, wie zum Beispiel Motor **18** oder Rolle **14** (**50**). Das Signal kann ein Bezugssignal **40** sein, das zum Beispiel eine Grund- oder Zielwinkelgeschwindigkeit repräsentiert, oder ein Rückführungssignal, das eine gemessene Winkelgeschwindigkeit repräsentiert. Das Signal kann eine Winkelgeschwindigkeit repräsentieren, indem es eine beliebige Größe repräsentiert, die eine Funktion der Winkelgeschwindigkeit ist, wie zum Beispiel die Drehposition. In einem solchen Fall kann der digitale Prozessor eine Winkelgeschwindigkeit ableiten, zum Beispiel durch Bilden der Ableitung der Drehposition.

[0061] Der Prozessor dämpft oder unterdrückt ein Frequenzband als Funktion der Winkelgeschwindigkeit (**52**). Der Prozessor kann ein digitales Sperrfilter wie oben implementieren, wobei er die Mittenfrequenz als Funktion der Winkelgeschwindigkeit steuert. Die Sperrfilter-Mittenfrequenz ist auch eine Funktion des Skalierungsfaktors n und des Dämpfungsverhältnisses ζ , das durch Untersuchung bestimmt und von einem Systemkonstrukteur ausgewählt wird.

[0062] Wenn der Prozessor ein Signal empfängt, das eine Änderung der Winkelgeschwindigkeit (**54**) anzeigt, dämpft oder unterdrückt der Prozessor ein neues Frequenzband als Funktion der neuen Winkelgeschwindigkeit (**56**). Die Änderung der Winkelgeschwindigkeit kann zum Beispiel durch eine Änderung des Bezugssignals **40** verursacht sein oder kann eine gemessene Änderung der Winkelgeschwindigkeit einer Systemkomponente sein.

[0063] Genauer gesagt, ändert sich die Mittenfrequenz des Rauschens, das von räumlichen Störungen verursacht wird, oft linear mit der Winkelgeschwindigkeit. Der Prozessor steuert die Mittenfrequenz des Sperrfilters, um so der Änderung der Mittenfrequenz des Rauschens zu folgen, wodurch adaptiv das Sperrfilter so gesteuert wird, daß es das Rauschen unterdrückt. Insbesondere kann der Prozessor einen neuen Wert von ω_n gemäß Gleichung (2) berechnen (die Faktoren n und ζ bleiben unverändert) und kann den neuen Wert für ω_n in Gleichung (8) ersetzen. Auf diese Weise sperrt der digitale Prozessor Rauschen in einem Frequenzband als Funktion der Winkelgeschwindigkeit und sperrt das Rauschen weiter, selbst wenn sich das Frequenzband ändert. Auf diese Weise kann der Prozessor kontinuierlich ein oder mehrere Drehzahlsignale abtasten, die Winkelgeschwindigkeiten von einer oder mehreren rotierenden Komponenten repräsentieren, und adaptiv ein oder mehrere Sperrfilter auf der Basis der Signale steuern.

[0064] [Fig. 3](#) ist ein Blockdiagramm, das ein Modell **60** eines Rückführungssystems mit Sperrfiltern **62** und **64** illustriert. Das Rückführungssystemmodell **60** empfängt ein Bezugssignal **66**. Das Bezugssignal **66** wird einem Controller **68** zugeleitet, und Controller **68** steuert das Herstellungssystem **70** als Funktion von Bezugssignal **66**. Die Ausgabe **72** des Herstellungssystems **70** ist eine Funktion der Winkelgeschwindigkeit, wie zum Beispiel der Drehposition, Winkelgeschwindigkeit oder Winkelbeschleunigung. Der Sensor **74** erfaßt das Ausgabesignal **72**. Sensor **74** erzeugt ein Rückführungssignal **76**, das von den Sperrfiltern **62** und **64** gefiltert und

dem Controller **68** zugeleitet wird. Im Rückführungssystemmodell **60** wird das gefilterte Rückführungssignal **78** vom Bezugssignal **66** subtrahiert **80**.

[0065] Das Rückführungssystemmodell **60** kann als Modell für viele Systeme dienen, die eine Geschwindigkeitsregelung verwenden, wie zum Beispiel System **10**, das in [Fig. 1](#) gezeigt wird. Das Rückführungssystemmodell **60** braucht nicht Element für Element mit System **10** korreliert zu werden. Das Herstellungssystem **70** kann zum Beispiel Motor **18**, Welle **20**, Rolle **14**, Welle **38** oder einer Kombination derselben oder anderen Komponenten von System **10** entsprechen. Controller **12** in dem als Beispiel dienenden System **10** kann die Funktionen von Controller **68** und Subtraktionselement **80** im Rückführungssystemmodell **60** ausführen.

[0066] In Rückführungssystemmodell **60** sind zwei Frequenzbänder festgestellt worden, die Rauschen enthalten. Das Rauschen in diesen Frequenzbändern ist möglicherweise kein Hinweis auf das tatsächliche Verhalten der erfaßten Komponenten und kann, wenn es nicht gefiltert wird, den Betrieb von Controller **68** beeinträchtigen. Das Rauschen in diesen Frequenzbändern kann aus verschiedenen Quellen stammen. Die Quellen können zu einer unterschiedlichen Zahl von Störungen pro Zyklus führen. Mit anderen Worten, kann eine erste Rauschquelle aus Merkmalen resultieren, die n_1 Störungen pro Zyklus verursachen, und eine zweite Rauschquelle kann aus Merkmalen resultieren, die n_2 Störungen pro Zyklus verursachen. Nach Gleichung (2) erzeugt daher die erste Rauschquelle Rauschen bei der Mittenfrequenz ω_1 , und die zweite Rauschquelle erzeugt Rauschen bei der Mittenfrequenz ω_2 .

[0067] [Fig. 4](#) ist eine grafische Darstellung, die ein als Beispiel dienendes Rückführungssignal **76** von [Fig. 3](#) in der Frequenzdomäne illustriert. Das ungefilterte Rückführungssignal **76** umfaßt ein Breitbandsignal mit einem ersten Rauschsignal **90** in der Nähe der Frequenz ω_1 , und ein zweites Rauschsignal **92** in der Nähe der Frequenz ω_2 . Controller **68** verwendet normalerweise das Breitbandsignal zur Steuerung des Herstellungssystems **70**. Die Rauschsignale **90** und **92** können jedoch den Betrieb von Controller **68** beeinträchtigen und können bewirken, daß Controller **68** Fehler im Verhalten von Komponenten kompensiert, die nicht wirklich existieren.

[0068] [Fig. 5](#) ist eine grafische Darstellung, die ein gefiltertes Rückführungssignal **78** von [Fig. 3](#) in der Frequenzdomäne illustriert. Die Sperrfilter **62** und **64** haben das Rauschen entfernt, das Mittenfrequenzen von ω_1 bzw. ω_2 aufweist, und haben Signale in anderen Frequenzbändern durchgelassen. Folglich umfaßt das gefilterte Rückführungssignal **78** ein erstes gedämpftes Frequenzband **94** in der Nähe der Frequenz ω_1 und ein zweites gedämpftes Frequenzband **96** in der Nähe der Frequenz ω_2 . Die Rauschsignale **90** und **92** sind aus dem Breitbandsignal herausgefiltert worden.

[0069] Das ungefilterte Rückführungssignal **76** in [Fig. 4](#) und das gefilterte Rückführungssignal **78** in [Fig. 5](#) umfassen ein drittes Signal **98** in einem schmalen Frequenzband in der Nähe der Frequenz ω_3 . Das dritte Signal **98** repräsentiert ein aussagekräftiges Signal, das das wahre Verhalten einer Systemkomponente widerspiegelt. Wie die Rauschsignale **92** und **94**, kann das dritte Signal **98** ein schmales Frequenzband belegen. In einigen Fällen kann sich die Mittenfrequenz des dritten Signals **98** linear mit der Winkelgeschwindigkeit einer rotierenden Komponente ändern, wie die Rauschsignale **92** und **94**. Das dritte Signal **98** kann zum Beispiel eine Störung in einem Motor repräsentieren, die eine tatsächliche Änderung der Winkelgeschwindigkeit des Motors ein- oder mehrmals pro Umdrehung ändert. Wie in [Fig. 5](#) gezeigt, haben die Sperrfilter **62** und **64** das Breitbandsignal in der Nähe von ω_3 nicht gedämpft.

[0070] Die Sperrfilter **62** und **64** können unter Verwendung der Verfahren realisiert werden, die oben beschrieben werden. Insbesondere können die Mittenfrequenzen, die gesperrt werden sollen, durch Anwenden von Gleichung (2) bestimmt werden, und ein digitales Sperrfilter kann für jede Mittenfrequenz implementiert werden, wie in Gleichung (8) gezeigt. Jedes Sperrfilter paßt sich an Änderungen in der Winkelgeschwindigkeit an und unterdrückt Rauschfrequenzen als Funktion der Winkelgeschwindigkeit. So wie sich die Mittenfrequenzen ω_1 und ω_2 mit der Winkelgeschwindigkeit ändern, ändern sich die Mittenfrequenzen der Sperrfilter **62** und **64** ebenfalls mit der Winkelgeschwindigkeit, wobei sie den Rauschsignalen **90**, **92** folgen und diese unterdrücken.

[0071] Die Reihenanzordnung der Sperrfilter **62** und **64**, die in [Fig. 3](#) gezeigt werden, dient als Beispiel. Es kann jede Zahl von Filtern verwendet werden, und die Filter brauchen nicht wie gezeigt angeordnet zu werden. Im Fall von unabhängigen Rückführungssignalen, wie in [Fig. 1](#) abgebildet, können zum Beispiel ein oder mehrere Sperrfilter jedes Rückführungssignal filtern. Weiterhin können Sperrfilter mit unterschiedlichen Parametern implementiert werden, wie zum Beispiel unterschiedliche ζ -Werte.

[0072] [Fig. 6](#) ist ein Blockdiagramm, das eine als Beispiel dienende Ausführungsform eines Controllers **12** in

Fig. 1 illustriert. Controller **12** umfaßt einen Stromtreiber **100** zur Ausgabe von Motordrehzahlensignalen **16**, die auf Bezugssignal **40** und einem Rückführungssignal basieren, wie zum Beispiel Rollendrehzahlensignal **36** von Sensor **34**. In der folgenden Diskussion wird angenommen, daß das Rollendrehzahlensignal **36** die Drehposition von Rolle **14** codiert.

[0073] Eine Vorverarbeitungseinheit **102** bereitet das Rollendrehzahlensignal **36** auf und verstärkt es und wandelt das Rückführungssignal aus analogen Signalen in digitale Signale um. Mit anderen Worten, tastet die Vorverarbeitungseinheit **102** das Rollendrehzahlensignal **36** für die digitale Verarbeitung ab. Die Vorverarbeitungseinheit **102** kann auch ein analoges Filter vor der Abtastung anwenden. Ein analoges Filter, wie zum Beispiel ein Bandpaßfilter, kann zum Beispiel Rauschen außerhalb der Bandbreite aussagekräftiger Signale sperren und kann dabei helfen, Aliasing während der Abtastung zu vermeiden. Für Zwecke der folgenden Diskussion wird angenommen, daß das analoge Filter das Rauschen in einigen Frequenzbändern innerhalb der Bandbreite aussagekräftiger Signale nicht stoppt.

[0074] Nach der Umwandlung des Rückführungssignals in ein digitales Signal wird das digitale Signal an einen digitalen Prozessor **106** zur Verarbeitung weitergeleitet. Prozessor **106** kann einen eingebetteten Mikroprozessor, herkömmlichen Mikroprozessor, einen digitalen Signalprozessor (DSP), reservierte Rechenhardware und dergleichen aufweisen.

[0075] Die digitale Verarbeitung umfaßt das digitale Filtern des Rückführungssignals mit einem digitalen Sperrfilter **108** unter Verwendung der Verfahren, die oben beschrieben werden. Prozessor **106** erzeugt auch eine hochauflösende Impulszählung, wie zum Beispiel 3.600.00 Impulse pro Umdrehung, die auf den Zeilenimpulsen des Rollendrehzahlensignals **36** beruht. Auf der Grundlage der Impulszählung berechnet Prozessor **106** eine momentane Winkelgeschwindigkeit von Rolle **14** und erzeugt einen Satz von Datenelementen **110**, die den Geschwindigkeitsfehler von Rolle **14** in Beziehung zur Winkelposition von Rolle **14** setzt. Prozessor **106** kann zum Beispiel die Winkelgeschwindigkeit vom Bezugssignal **40** subtrahieren, um einen Winkelgeschwindigkeitsfehler zu bestimmen. Die Rauschbänder, die durch das digitale Filtern **108** beseitigt wurden, beeinträchtigen nicht die Erzeugung der Datenelemente **110**.

[0076] Prozessor **106** kann den Satz von Datenelementen **110** im Speichermedium speichern, wie zum Beispiel in einem nicht-flüchtigen Direktzugriffsspeicher (NVRAM), FLASH-Speicher oder dergleichen. Das Speichermedium kann für den Prozessor intern oder extern sein. Prozessor **106** kann auch anderen Speicher, wie zum Beispiel flüchtigen Direktzugriffsspeicher, für Zwecke umfassen, wie zum Beispiel das Implementieren des Filterprozesses von Gleichung (8).

[0077] Prozessor **106** erzeugt ein Signal **112**, das auf Datenelementen **110** beruht, um den Geschwindigkeitsfehler als Funktion der Winkelposition von Rolle **14** darzustellen. Signal **112** steuert den Stromtreiber **100**.

[0078] Wenn sich die Winkelgeschwindigkeit von Rolle **14** ändert, wie zum Beispiel als Reaktion auf eine Änderung im Bezugssignal **40**, konfiguriert Prozessor **106** das digitale Sperrfilter **108** so neu, daß eine neue Mittenfrequenz als Funktion der neuen Winkelgeschwindigkeit sperrt, wie oben beschrieben. Auf diese Weise sperrt das digitale Sperrfilter **108** Rauschen, selbst wenn die Mittenfrequenz des Rauschens sich mit der Winkelgeschwindigkeit ändert.

[0079] Obwohl nicht in **Fig. 6** dargestellt, kann Controller **12** auch andere Rückführungssignale empfangen und digital filtern, wie zum Beispiel Motordrehzahlensignal **30** von Sensor **32**, und kann den Stromtreiber **100** als Funktion anderer Rückführungssignale steuern. Die Konfiguration von Controller **12** kann auch auf andere Weise abgewandelt werden. Controller **12** kann zum Beispiel Steuerschaltungen umfassen, die das Steuersignal **112** weiter verfeinern.

[0080] Die Ausführungsform, die in **Fig. 6** abgebildet ist, dient als Beispiel. Die Funktionen, die in **Fig. 6** gezeigt werden, brauchen nicht von Controller **12** ausgeführt zu werden. In einer anderen Ausführungsform kann die Signalverarbeitung und das Filtern von einem Prozessor in einem Sensor ausgeführt werden. Mit anderen Worten, kann ein Sensor ein Signal als Funktion einer Messung einer rotierenden Komponente erzeugen und kann auch das Signal als Funktion der Winkelgeschwindigkeit der rotierenden Komponente filtern. Der Sensor kann einen digitalen Prozessor umfassen, der ein oder mehrere Sperrfilter zum Unterdrücken verrauschter Frequenzbänder auswählt und diese Bänder daran hindert, zum Prozessor weitergeleitet zu werden. Der Sensor kann gemessene Winkelgeschwindigkeiten der rotierenden Komponente zum Auswählen und Einstellen der Sperrfilter verwenden.

[0081] [Fig. 7](#) ist ein Flußdiagramm, das als Beispiele dienende Verfahren zum Feststellen von Rauschquellen illustriert und ein anpaßbares räumliches digitales Sperrfilter auswählt. Die räumlich verteilten physischen Merkmale, die zu Signalen in Frequenzbändern beitragen, können sich im allgemeinen zeigen, nachdem das System konstruiert wurde. Diese Quellen periodischer Signale können verschiedenartig und schwierig mit Genauigkeit festzustellen sein. Ein Signal kann als aus den räumlich verteilten physischen Merkmalen stammend festgestellt werden, wenn die Frequenz des Signals sich linear mit einer Änderung der Winkelgeschwindigkeit ändert.

[0082] Ein Verfahren zum Feststellen von räumlich verteilten physischen Merkmalen, die zu periodischen Signalen beitragen, umfaßt das Drehen einer Systemkomponente, wie zum Beispiel eines Motors, einer Rolle oder Welle, mit einer Winkelgeschwindigkeit (120) und Beobachten der Rückführungssignale (122). Die Rückführungssignale können Frequenzbänder mit aussagekräftigen Daten umfassen, ähnlich wie beim dritten Signal 98 in den [Fig. 4](#) und [Fig. 5](#), und können auch Frequenzbänder mit nutzlosem Rauschen umfassen.

[0083] In einigen Fällen können die Frequenzbänder mit nützlichen Daten ohne weiteres identifiziert werden. In anderen Fällen können die Frequenzbänder mit nützlichen Daten von den Rauschfrequenzbändern durch Einstellen der Verstärkung eines Controllers, wie zum Beispiel Controller 68 in [Fig. 3](#), unterschieden werden. Ein aussagekräftiges Signal und ein Rauschsignal reagieren auf Änderungen der Verstärkung unterschiedlich. Ein Anstieg der Controllerverstärkung macht den Controller normalerweise sehr ansprechbar für Signale, die das tatsächliche Verhalten von Komponenten widerspiegeln, daher können Signale, die das tatsächliche Verhalten von Komponenten widerspiegeln, bei einem Anstieg der Verstärkung kleiner werden. Ein Anstieg der Verstärkung kann jedoch auf Rauschsignale eine entgegengesetzte Wirkung haben, und die Rauschsignale können in der Größe ansteigen, wenn der Controller versucht, ein Problem zu beheben, das nicht existiert. Auf diese Weise können die Rauschfrequenzen, die von räumlich verteilten physischen Merkmalen verursacht werden, von einem Bediener des Systems identifiziert werden (124). Rauschen kann auch automatisch identifiziert werden, wie zum Beispiel durch das Ausführen von schnellen Fourier-Transformationen (FFT) an den Rückführungssignalen und durch das Beobachten, wie sich die Frequenzkomponenten als Reaktion auf Änderungen der Winkelgeschwindigkeit und der Verstärkung ändern.

[0084] Wenn das Rauschen auf Grund von räumlich verteilten physischen Merkmalen festgestellt ist, kann der Skalierungsfaktor n für jedes Frequenzband berechnet werden, das Rauschen enthält, welches durch räumlich verteilte physische Merkmale verursacht wird. Sobald n bekannt ist, kann ein Filter, wie zum Beispiel das digitale Sperrfilter, das in Gleichung (8) beschrieben wird, durch Festlegen von n (126) implementiert werden. Das Sperrfilter kann durch Betreiben des Systems bei unterschiedlichen Winkelgeschwindigkeiten und Beobachten, ob und in welchem Ausmaß Rauschen unterdrückt wird, feinabgestimmt werden (128).

[0085] Das Sperrfilter kann ferner feinabgestimmt werden, wenn Amplitude und Phase des Rauschens im Rückführungssignal bekannt sind. Leider können Amplituden- und Phasendaten durch den Abtastprozeß verzerrt werden. Die Erfindung stellt Verfahren zum Abtasten des Rückführungssignals bereit, um Amplituden- und Phasendaten ohne Verzerrung zu erhalten.

[0086] Ein Rückführungssignal $x(n)$ kann in einem Abtastfenster abgetastet werden, wobei N Abtastwerte mit einer Abtastrate von f_s Abtastwerten pro Sekunde ermittelt werden. Die Folge von n Abtastwerten kann in einer diskreten Fourier-Transformation (DFT) dargestellt werden als:

$$x(n) = \sum_{k=0}^{N-1} DFT(k) \cdot e^{\frac{j2\pi nk}{N}} \quad (9)$$

dabei ist $2\pi/N$ eine Grundfrequenz, k ist eine Ganzzahl, die die Harmonische oder Frequenzkomponente repräsentiert, und $DFT(k)$ ist der Koeffizient der Folge bei der k -ten Harmonischen. $DFT(k)$ für einen beliebigen Wert von k wird durch die Gleichung gefunden

$$DFT(k) = \sum_{n=0}^{N-1} x(n) \cdot e^{-\frac{j2\pi nk}{N}} \quad (10)$$

die einen komplexen Wert mit Größe und Phase ergibt.

[0087] Wenn die Vorverarbeitungseinheit 102 das Rückführungssignal für die Verarbeitung abtastet, tastet die Vorverarbeitungseinheit 102 das Rauschen ab. Wenn die Frequenz des Rauschens kein ganzzahliges Vielfaches der Grundfrequenz $2\pi/N$ ist, dann repräsentiert der $DFT(k)$ -Koeffizient für die Harmonische, die der Fre-

quenz des Rauschens am nächsten kommt, nicht die wahre Amplitude und Phase des Rauschens. Vielmehr umfassen zwei DFT (k)-Koeffizienten, die der Frequenz des Rauschens am nächsten liegen, eine Amplitude und Phase, und diese DFT(k)-Koeffizienten bieten eine verzerrte Repräsentation der Amplitude und Phase des Rauschens.

[0088] [Fig. 8](#) zeigt ein Verfahren zum Einstellen der Abtastparameter, um Amplituden- und Phasendaten ohne Verzerrung zu erhalten. Prozessor **106** wählt eine Abtastfrequenz f_s (oder in Einheiten von Radian, ω_s) als ganzzahliges Vielfaches einer Grundfrequenz aus. Die Grundfrequenz ist eine bekannte Prozeßfrequenz, f_p (oder in Einheiten von Radian, ω_p).

[0089] Insbesondere identifiziert Prozessor **106** eine Grundfrequenz (**130**). Die Grundfrequenz ist eine Winkelgeschwindigkeit, wie zum Beispiel die Basiswinkelgeschwindigkeit in Gleichung (2). Die Frequenz des Rauschens auf Grund von Störungen, die von verteilten physischen Merkmalen verursacht werden, kann bei der Frequenz auftreten, mit der eine rotierende Komponente sich dreht, oder bei einer höheren Harmonischen. Die Harmonische des Rauschens kann, wie oben beschrieben (**132**), festgestellt werden. Die Abtastfrequenz, die durch die Vorverarbeitungseinheit **102** angewendet wird, kann dann von Prozessor **106** als Funktion der Grundfrequenz und der interessierenden Harmonischen (**134**) folgendermaßen eingestellt werden:

$$f_s = f_p \cdot \frac{N}{k} \quad (11)$$

oder in Einheiten von Radian,

$$\omega_s = \omega_p \cdot \frac{N}{k} \quad (12)$$

[0090] Die Zahl der Abtastwerte im Fenster, N, kann ebenfalls geändert werden. Für eine effiziente Ausführung einer DFT kann es jedoch vorteilhaft sein, N auf bestimmte Werte zu beschränken.

[0091] Die Vorverarbeitungseinheit **102** kann Rückführungssignale mit der Abtastfrequenz (**136**) abtasten. Die Auswahl der Abtastfrequenz als Funktion der Winkelgeschwindigkeit kann zu einer Verzerrung von Amplituden- und Phasendaten für Signale führen, die keine Vielfachen der Grundfrequenz sind. Weil jedoch das Ziel darin besteht, präzise Amplituden- und Phasendaten für Rauschsignale zu erhalten, ist die Verzerrung anderer Signale möglicherweise unwichtig.

[0092] Die Harmonische k kann ausgewählt werden, um genaue Werte der Amplitude und Phase von Koeffizienten bei der k-ten Harmonischen und auch anderen Harmonischen zu liefern. Durch das Auswählen einer Abtastfrequenz f_s , um genaue Amplituden- und Phasenwerte für die neunte Harmonische zu erhalten, kann man genaue Amplituden- und Phasenwerte auch für die dritte Harmonische erhalten. Falls es zwei interessierende Rauschfrequenzen gibt und die Harmonische der einen keine Harmonische der anderen ist, dann könnte eine Harmonische gewählt werden, die das kleinste gemeinsame Vielfache der zwei interessierenden Harmonischen ist, oder die Verfahren, die [Fig. 8](#) gezeigt werden, könnten für jede Harmonische getrennt wiederholt werden.

[0093] Wenn die Abtastfrequenz eingestellt ist, wie oben beschrieben, ergibt die DFT-Operation, die in Gleichung (10) gezeigt wird, einen Koeffizienten, der Größe und Phase des Rauschens genau repräsentiert. Wenn es ein Rauschsignal bei einer einzigen Harmonischen oder ein paar Rauschsignale bei ein paar Harmonischen gibt, kann das Ausführen einer DFT-Operation für die Harmonischen rechentechnisch effizienter sein als das Ausführen einer FFT. Wenn es mehrere Rauschsignale bei mehreren Harmonischen gibt, kann die FFT jedoch effizienter sein. In jedem Fall können die Koeffizienten, die die Größe und Phase des Rauschens repräsentieren, zum Feinabstimmen des digitalen Sperrfilters verwendet werden, um das Rauschen zu unterdrücken. Zum Beispiel kann das Dämpfungsverhältnis ζ so gewählt werden, daß ein schmaler Sperrbereich für eine verbesserte Filterung erzeugt wird.

[0094] Die Erfindung bietet eine Reihe von Vorteilen. Das adaptive Sperrfilter ist gut für die Sperrung von Rauschen auf Grund der physischen Merkmale im System geeignet und ist besonders nützlich beim Sperren einiger Arten von Rauschen, die auf die räumlichen Störungen zurückzuführen sind, welche nicht das Verhalten von Komponenten anzeigen. Wenn sich die Mittenfrequenz des Rauschens mit der Winkelgeschwindigkeit ändert, ändert sich das Frequenzband, das von einem Sperrfilter unterdrückt wird, mit der Winkelgeschwindigkeit ebenfalls. Das Sperrfilter unterdrückt das Rauschen weiterhin. Außerdem wird das Rauschen ohne Rücksicht

auf die Phase des Rauschens unterdrückt.

[0095] Mit dem adaptiven Sperrfilter kann der Controller sehr ansprechbar auf die Rückführungssignale gemacht werden. Weil das Rauschen, das von räumlich verteilten physischen Merkmalen erzeugt wird, durch das Sperrfilter gedämpft wird, reagiert der Controller nicht auf das Rauschen. Dementsprechend kann der Controller eine hohe Verstärkung implementieren, um schnell auf Signale zu reagieren, die das tatsächliche Verhalten widerspiegeln, bei einem kleineren Risiko, auf Rauschsignale zu reagieren. Das adaptive Sperrfilter kann auch schneller und effizienter als viele andere Verfahren zur Rauschunterdrückung sein, wie zum Beispiel das wiederholte Anwenden einer FFT auf ein oder mehrere Rückführungssignale, um unerwünschte Frequenzkomponenten zu identifizieren. Das Sperrfilter, das oben beschrieben wird, ist schneller und rechentechnisch weniger intensiv als das Ausführen von FFT-Operationen.

[0096] Es ist eine Reihe von Ausführungsformen der Erfindung beschrieben worden. Trotzdem können verschiedene Änderungen vorgenommen werden, ohne den Geltungsbereich der Erfindung zu verlassen. Zum Beispiel sind verschiedene rotierende Komponenten, die Winkelgeschwindigkeiten besitzen, in einem als Beispiel dienenden System, wie zum Beispiel System **10**, das in [Fig. 1](#) gezeigt wird, identifiziert worden. Rotierende Komponenten können Rolle **14**, Rolle **14** und Wellen **20**, **26** und **38** umfassen. Andere Komponenten in einem System können ebenfalls rotieren, und der Controller **12** kann die Mittenfrequenz, die von einem Sperrfilter als Funktion der Winkelgeschwindigkeit einer weiteren rotierenden Komponente gedämpft wird, anpassen.

[0097] Außerdem braucht das Dämpfungsverhältnis ζ , das die Breite und Dämpfung des Sperrbereichs bestimmt, nicht konstant zu sein. In Ausführungsformen, die mehrere Sperrfilter umfassen, kann sich ζ von Filter zu Filter unterscheiden. Außerdem kann das ζ eines einzelnen Filters eingestellt werden, um für eine gute Dämpfung des Rauschens zu sorgen.

[0098] Ferner ist die Übertragungsfunktion, die in Gleichung (1) gezeigt wird, die Übertragungsfunktion für ein Sperrfilter zweiter Ordnung; jedoch ist Erfindung ist nicht auf Filter zweiter Ordnung beschränkt. Es können auch verschiedene Übertragungsfunktionen für Sperrfilter verwendet werden.

[0099] Die Erfindung kann als Medium verkörpert werden, das einen oder mehrere Befehle speichert, welche bewirken, daß ein digitaler Prozessor die Verfahren, die oben beschrieben werden, implementiert. Solch ein Speichermedium kann zum Beispiel NVRAM, FLASH-Speicher oder magnetische oder optische Speichermedien umfassen. Das Speichermedium kann für den digitalen Prozessor intern oder extern sein. Diese und andere Ausführungsformen liegen innerhalb des Geltungsbereichs der folgenden Ansprüche.

Patentansprüche

1. Verfahren, aufweisend:

Aufnehmen eines Rückführungssignals, das eine Winkelgeschwindigkeit einer rotierenden Komponente (**14**, **20**) repräsentiert;
Auswählen einer Abtastfrequenz (f_s) als Funktion einer Grundfrequenz (f_p), die mit der rotierenden Komponente verknüpft ist;
Abtasten des Rückführungssignals gemäß der gewählten Abtastfrequenz, um ein abgetastetes Rückführungssignal zu erhalten;
Festlegen einer Mittenfrequenz eines digitalen Sperrfilters (**108**) als Funktion der Winkelgeschwindigkeit der rotierenden Komponente;
Anwenden des digitalen Sperrfilters (**108**) zum Dämpfen eines Frequenzbandes des abgetasteten Rückführungssignals; und
Ausgeben des Regelsignals zur Regelung der rotierenden Komponente auf der Basis des gedämpften Rückführungssignals.

2. Verfahren nach Anspruch 1, wobei das Auswählen einer Abtastfrequenz (f_s) das Auswählen einer Abtastfrequenz (f_s), die ein ganzzahliges Vielfaches der Grundfrequenz der rotierenden Komponente ist, aufweist.

3. Verfahren nach Anspruch 1, das ferner das dynamische Einstellen der Mittenfrequenz des digitalen Sperrfilters (**108**) als Funktion einer Änderung der Winkelgeschwindigkeit aufweist.

4. Verfahren nach Anspruch 1, wobei das Einstellen einer Abtastfrequenz (f_s) aufweist:

Auswählen einer Harmonischen (k) der Grundfrequenz (f_p); und
Festlegen der Abtastfrequenz (f_s) zum Abtasten des Rückführungssignals als Funktion der ausgewählten Har-

monischen der Grundfrequenz.

5. Verfahren nach Anspruch 1, ferner aufweisend:

Auswählen einer Harmonischen (k) der Grundfrequenz (f_p);

Berechnen einer Größe und einer Phase des Rückführungssignals bei der gewählten Harmonischen; und dynamisches Einstellen eines Parameters des digitalen Sperrfilters (**108**) als Funktion der berechneten Größe und Phase der gewählten Harmonischen.

6. Verfahren nach Anspruch 5, wobei das dynamische Einstellen eines Parameters das dynamische Einstellen eines Dämpfungsverhältnisses des digitalen Sperrfilters (**108**) als Funktion der berechneten Größe und Phase der gewählten Harmonischen (k) aufweist.

7. Verfahren nach Anspruch 1, ferner aufweisend:

Identifizieren im Rückführungssignal mindestens einer Frequenz eines periodischen Signals, die sich linear mit einer Änderung der Winkelgeschwindigkeit der rotierenden Komponente (**14**, **20**) ändert;

Berechnen eines Skalierungsfaktors als Funktion der Winkelgeschwindigkeit und der Frequenz des periodischen Signals; und

Einstellen des digitalen Sperrfilters (**108**) gemäß dem berechneten Skalierungsfaktor.

8. Verfahren nach Anspruch 7, wobei das Festlegen einer Mittenfrequenz das Auswählen der Mittenfrequenz etwa gleich der Frequenz des periodischen Signals aufweist.

9. Verfahren nach Anspruch 1, das ferner das Ändern der Mittenfrequenz des Sperrfilters (**108**) linear mit einer Änderung der Winkelgeschwindigkeit der rotierenden Komponente (**14**, **20**) aufweist.

10. Verfahren nach Anspruch 1, wobei das Festlegen einer Mittenfrequenz aufweist:

Identifizieren im Rückführungssignal mindestens eines Frequenzbands von Rauschen, das von einem oder mehreren räumlich verteilten physischen Merkmalen der rotierenden Komponente (**14**, **20**) erzeugt wird; und Berechnen der Mittenfrequenz für das digitale Sperrfilter (**108**) als Funktion des identifizierten Frequenzbandes des Rauschens.

11. Verfahren nach Anspruch 10, das ferner das Berechnen eines Skalierungsfaktors aufweist, der das identifizierte Frequenzband in Beziehung zur Winkelgeschwindigkeit setzt.

12. Verfahren nach Anspruch 10, das ferner das Dämpfen des Frequenzbandes des Rauschens mit dem digitalen Sperrfilter (**108**) aufweist.

13. System, aufweisend:

einen Motor (**18**), der zum Antrieb einer rotierenden Komponente (**14**, **20**) als Reaktion auf ein Motorregelsignal betrieben werden kann;

einen Sensor (**32**) zum Erzeugen eines Rückführungssignals, das eine Messung der rotierenden Komponente (**20**) repräsentiert;

eine Vorverarbeitungseinheit (**102**), die eine Abtastfrequenz (f_s) als Funktion einer Grundfrequenz (f_p) auswählt, die mit der rotierenden Komponente verknüpft ist, und das Rückführungssignal zur Ausgabe eines abgetasteten Rückführungssignals abtastet; und

einen Prozessor (**106**) zum Empfangen des abgetasteten Rückführungssignals und Anwenden eines digitalen Sperrfilters (**108**) zum Dämpfen eines Frequenzbandes des Rückführungssignals als Funktion einer Winkelgeschwindigkeit, um ein gefiltertes Rückführungssignal zu erzeugen.

14. System nach Anspruch 13, wobei die Vorverarbeitungseinheit (**102**) das Rückführungssystem bei einer Abtastfrequenz (f_s) abtastet, die ein ganzzahliges Vielfaches der Grundfrequenz (f_p) der rotierenden Komponente ist.

15. System nach Anspruch 13, wobei die Vorverarbeitungseinheit (**102**) das Rückführungssystem bei einer Abtastfrequenz (f_s) abtastet, die eine Funktion einer ausgewählten Harmonischen der Grundfrequenz (f_p) ist.

16. System nach Anspruch 13, wobei der Prozessor (**106**) eine Mittenfrequenz des digitalen Sperrfilters (**108**) als Funktion einer Änderung der Winkelgeschwindigkeit dynamisch einstellt.

17. System nach Anspruch 13, wobei der Prozessor (**106**) das digitale Sperrfilter (**108**) als Funktion einer

Größe und einer Phase des Rückführungssignals für eine Harmonische der Grundfrequenz (f_p) dynamisch einstellt.

18. System nach Anspruch 17, wobei der Prozessor (**106**) ein Dämpfungsverhältnis des digitalen Sperrfilters (**108**) als Funktion der Größe und Phase der ausgewählten Harmonischen (k) dynamisch einstellt.

19. System nach Anspruch 13, wobei der Prozessor (**106**):
im Rückführungssignal mindestens eine Frequenz eines periodischen Signals identifiziert, die sich linear mit einer Änderung in der Winkelgeschwindigkeit der rotierenden Komponente (**14**, **20**) ändert;
einen Skalierungsfaktor als Funktion der Winkelgeschwindigkeit und der Frequenz des periodischen Signals berechnet; und
das digitale Sperrfilter (**108**) gemäß dem berechneten Skalierungsfaktor einstellt, um die Mittenfrequenz festzulegen, wobei die Mittenfrequenz angenähert gleich der Frequenz des periodischen Signals ausgewählt ist.

20. System nach Anspruch 13, wobei die Messung eine Position oder eine Winkelgeschwindigkeit der rotierenden Komponente (**14**, **20**) aufweist.

21. System nach Anspruch 13, das ferner einen Controller (**12**) zum Erzeugen des Motorregelsignals als Funktion des gefilterten Rückführungssignals aufweist.

22. System nach Anspruch 13, ferner eine Rolle (**14**) aufweisend, die mit dem Motor (**18**) verbunden ist.

23. System nach Anspruch 22, wobei der Sensor (**34**) auf einer Welle (**38**) der Rolle (**14**) montiert ist.

24. System nach Anspruch 22, wobei der Sensor (**32**) auf einer Welle (**20**) des Motors (**18**) montiert ist.

25. System nach Anspruch 13, wobei der Sensor (**32**, **34**) ein lagecodiertes Geschwindigkeitssignal (**30**, **36**) ausgibt.

26. Computerlesbares Medium, das Anweisungen aufweist, die einen programmierbaren Prozessor (**106**) veranlassen,
ein Rückführungssignal, das eine Winkelgeschwindigkeit einer rotierenden Komponente repräsentiert, zu empfangen;
eine Abtastfrequenz als Funktion einer Grundfrequenz auszuwählen, die mit der rotierenden Komponente verbunden ist, wobei eine Harmonische der Grundfrequenz, die mit der rotierenden Komponente verbunden ist, ausgewählt wird;
das Rückführungssignal gemäß der ausgewählten Abtastfrequenz abzutasten, um ein Abtastrückführungssignal zu erzeugen;
eine Größe und eine Phase des Rückführungssignals bei der ausgewählten Harmonischen (k) zu berechnen;
einen Parameter eines digitalen Sperrfilters (**108**) als Funktion der berechneten Größe und Phase der gewählten Harmonischen dynamisch festzulegen;
das digitale Sperrfilter (**108**) anzuwenden, um ein Frequenzband des Rückführungssignals zu dämpfen; und
ein Regelsignal auszugeben, um die rotierende Komponente (**14**, **20**) auf der Basis des gedämpften Rückführungssignals zu regeln.

27. Computerlesbares Medium nach Anspruch 26, wobei die Anweisungen den programmierbaren Prozessor (**106**) veranlassen, ein Dämpfungsverhältnis des digitalen Sperrfilters (**108**) als Funktion der berechneten Größe und Phase der ausgewählten Harmonischen (k) dynamisch einzustellen.

28. Computerlesbares Medium nach Anspruch 26, wobei die Anweisungen den programmierbaren Prozessor (**106**) veranlassen, eine Mittenfrequenz des digitalen Sperrfilters (**108**) als Funktion der Winkelgeschwindigkeit der rotierenden Komponente (**14**, **20**) festzulegen.

29. Computerlesbares Medium nach Anspruch 26, wobei die Anweisungen den programmierbaren Prozessor (**106**) veranlassen, eine Abtastfrequenz festzulegen, die ein ganzzahliges Vielfaches der Grundfrequenz (f_p) der rotierenden Komponente (**14**, **20**) ist.

30. Computerlesbares Medium nach Anspruch 26, wobei die Anweisungen den programmierbaren Prozessor (**106**) veranlassen, die Mittenfrequenz des digitalen Sperrfilters (**108**) als Funktion einer Änderung der Winkelgeschwindigkeit dynamisch einzustellen.

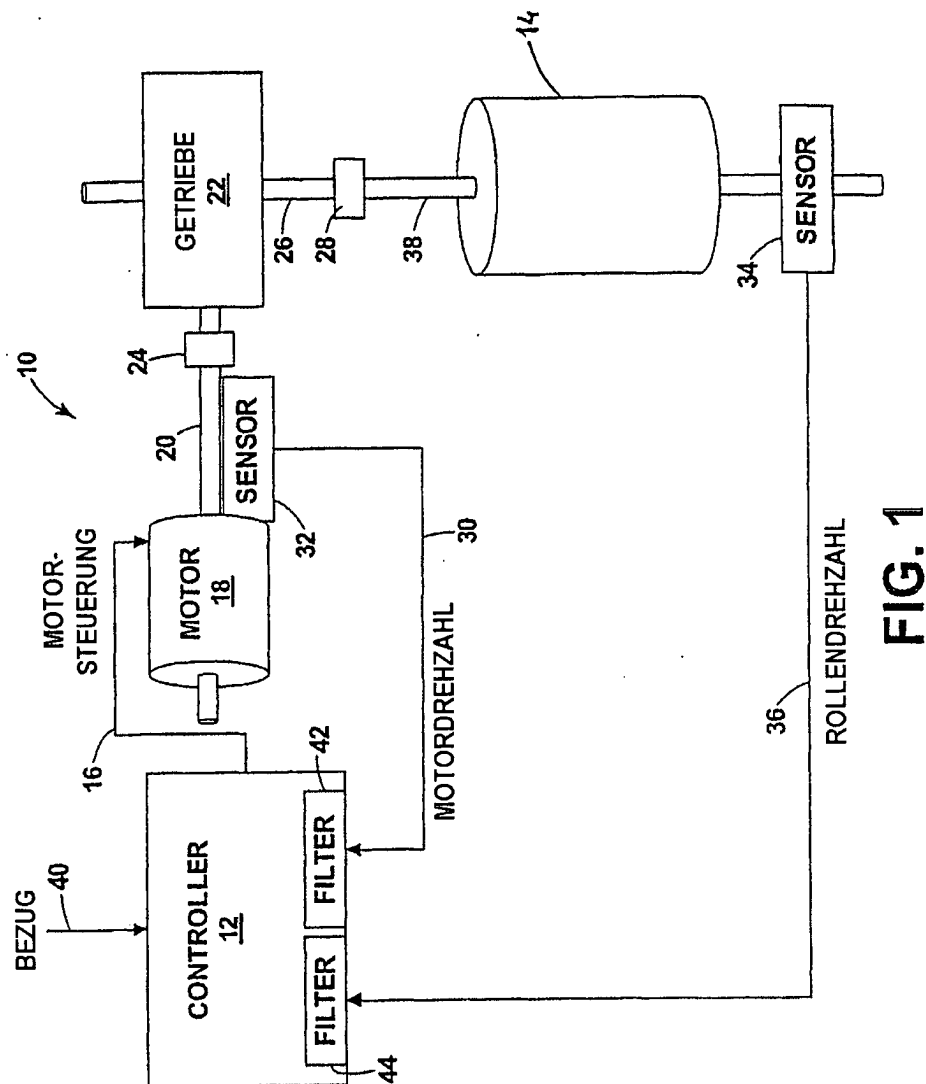
31. Computerlesbares Medium nach Anspruch 26, wobei die Anweisungen den programmierbaren Prozessor **(106)** veranlassen, im Rückführungssignal mindestens eine Frequenz eines periodischen Signals zu identifizieren, die sich linear mit einer Änderung in der Winkelgeschwindigkeit der rotierenden Komponente **(14, 20)** ändert; einen Skalierungsfaktor als Funktion der Winkelgeschwindigkeit und der Frequenz des periodischen Signals zu berechnen; und das digitale Sperrfilter **(108)** gemäß dem berechneten Skalierungsfaktor einzustellen.

32. Computerlesbares Medium nach Anspruch 31, wobei die Anweisungen den programmierbaren Prozessor **(106)** veranlassen, die Mittenfrequenz ungefähr gleich der Frequenz des periodischen Signals zu wählen.

33. Computerlesbares Medium nach Anspruch 26, wobei die Anweisungen den programmierbaren Prozessor **(106)** veranlassen, die Mittenfrequenz des Sperrfilters **(108)** linear mit einer Änderung der Winkelgeschwindigkeit der rotierenden Komponente **(14, 20)** zu ändern.

34. Computerlesbares Medium nach Anspruch 26, wobei die Anweisungen den programmierbaren Prozessor **(106)** veranlassen, im Rückführungssignal mindestens ein Frequenzband von Rauschen zu identifizieren, das von einem oder mehreren räumlich verteilten physischen Merkmalen der rotierenden Komponente **(14, 20)** erzeugt wird; und die Mittenfrequenz für das digitale Sperrfilter **(108)** als Funktion des identifizierten Frequenzbandes des Rauschens zu berechnen.

Es folgen 7 Blatt Zeichnungen

**FIG. 1**

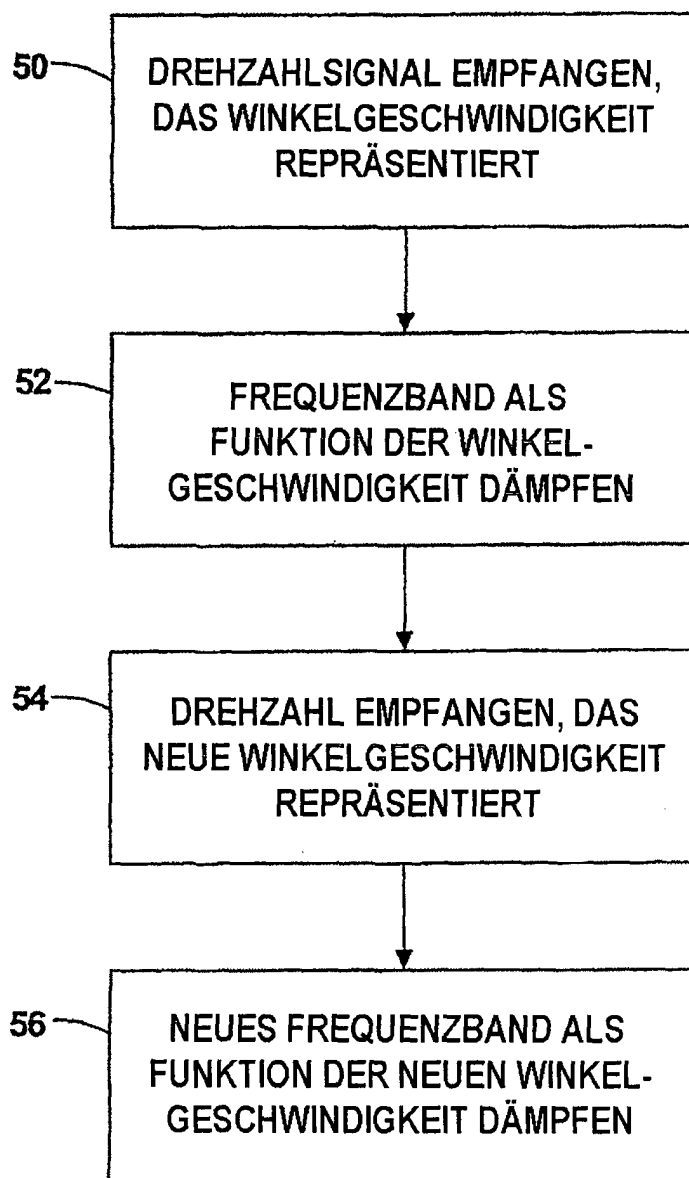


FIG. 2

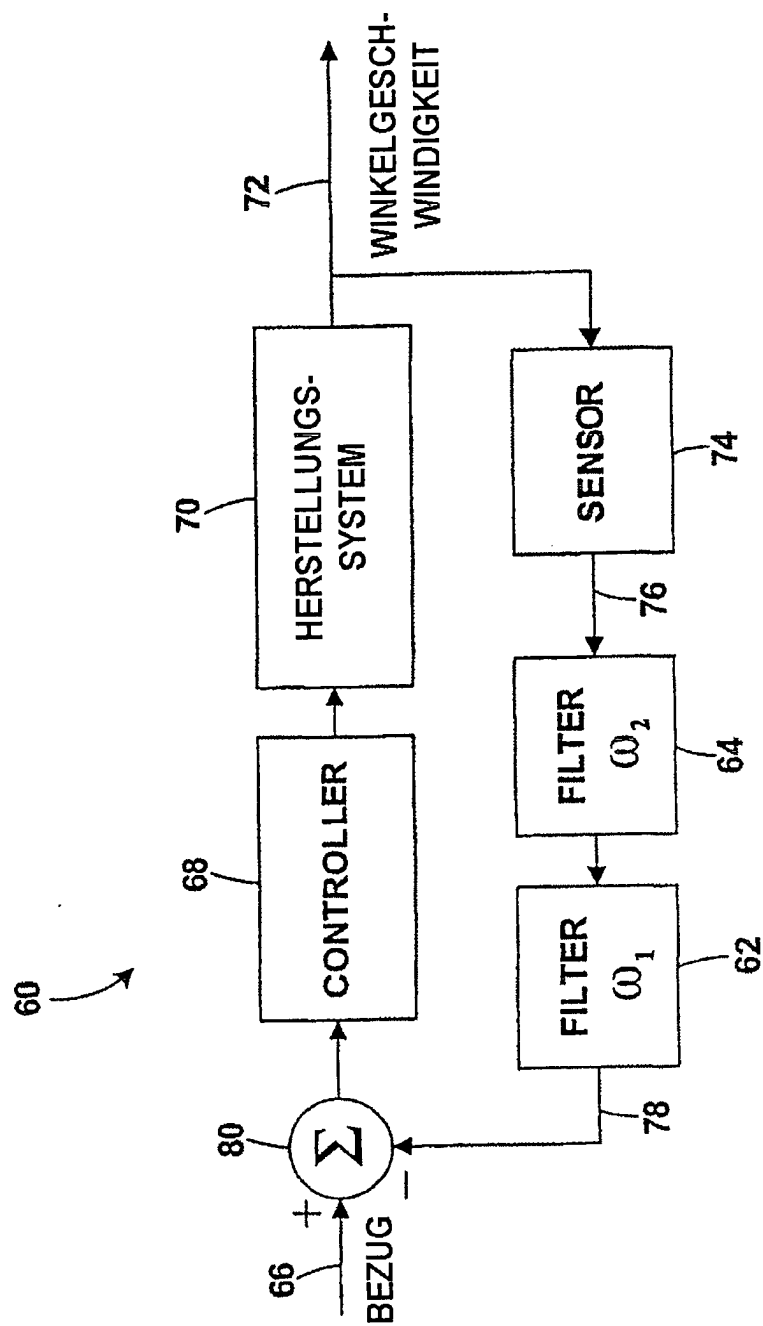


FIG. 3

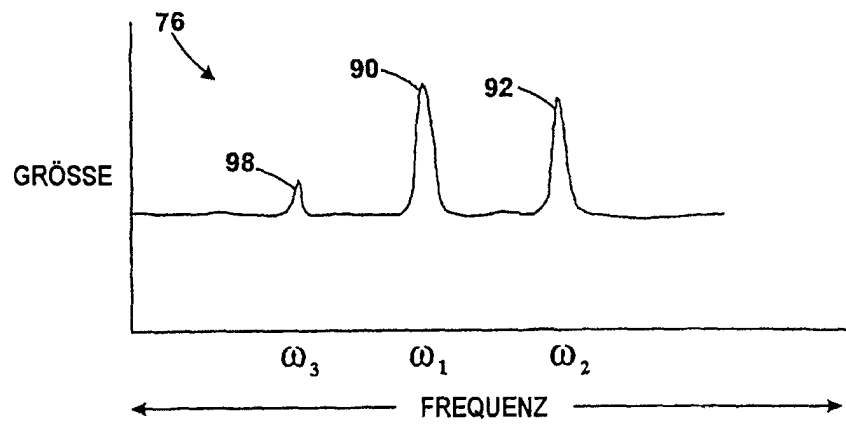


FIG. 4

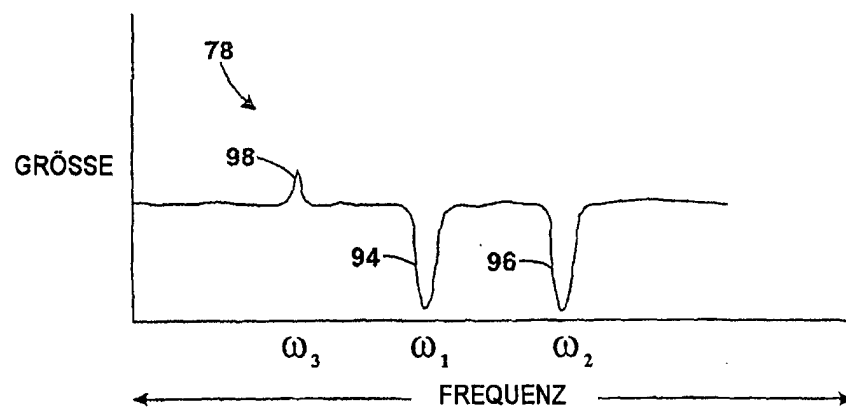


FIG. 5

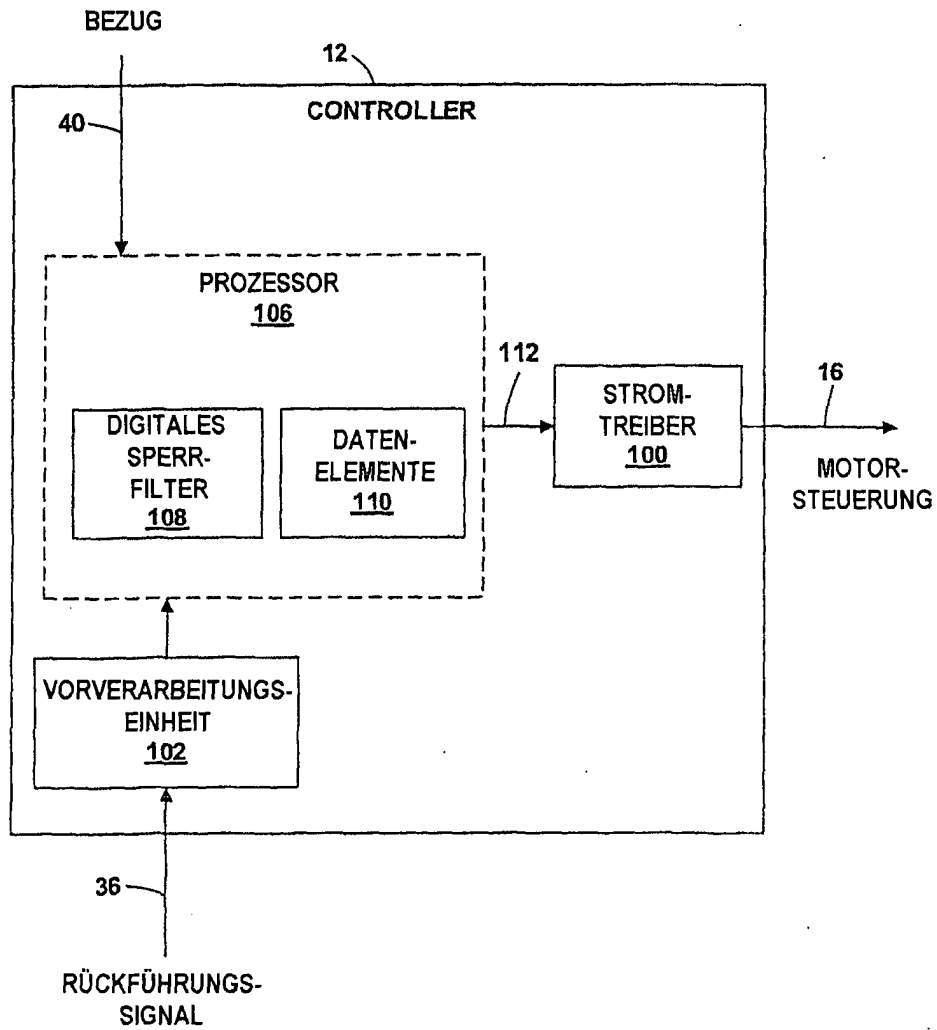


FIG. 6

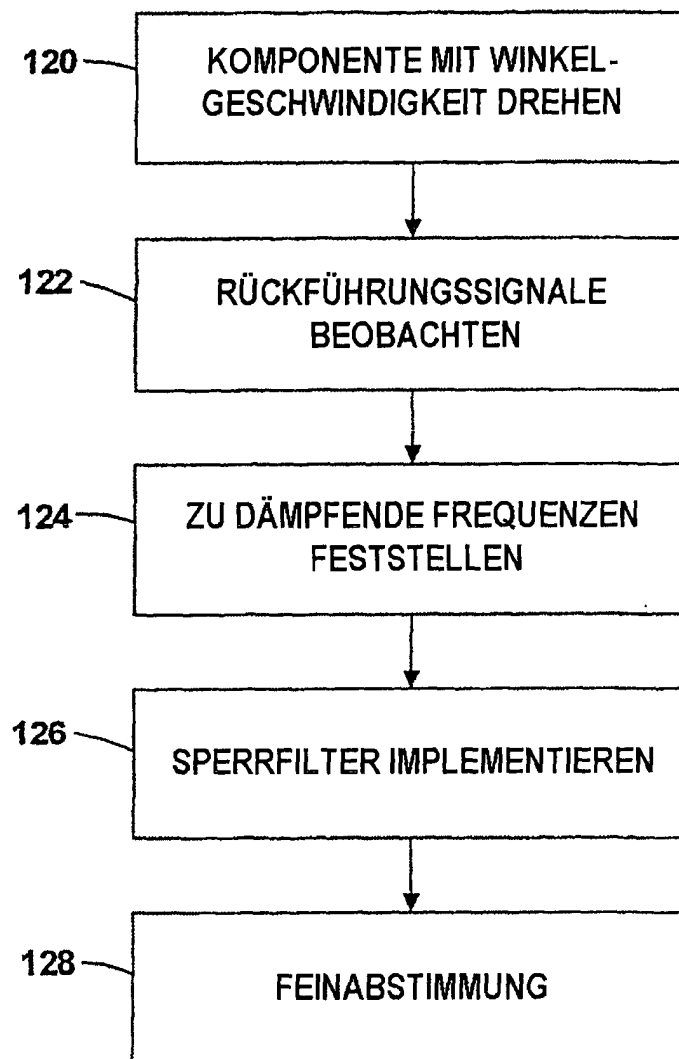


FIG. 7

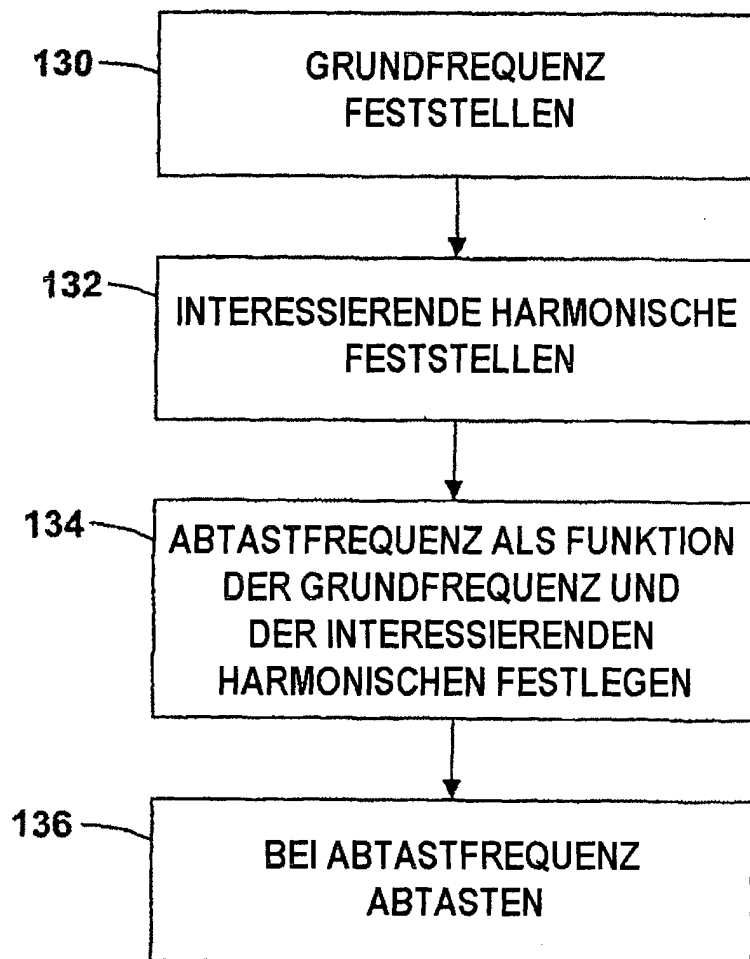


FIG. 8