



(19)
Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 197 10 359 B4 2006.05.11**

(12)

Patentschrift

(21) Aktenzeichen: **197 10 359.6**
 (22) Anmeldetag: **13.03.1997**
 (43) Offenlegungstag: **17.09.1998**
 (45) Veröffentlichungstag
 der Patenterteilung: **11.05.2006**

(51) Int Cl.⁸: **G01D 5/14 (2006.01)**
G01D 18/00 (2006.01)
G01P 9/00 (2006.01)
G01P 21/00 (2006.01)

Innerhalb von drei Monaten nach Veröffentlichung der Patenterteilung kann nach § 59 Patentgesetz gegen das Patent Einspruch erhoben werden. Der Einspruch ist schriftlich zu erklären und zu begründen. Innerhalb der Einspruchsfrist ist eine Einspruchsgebühr in Höhe von 200 Euro zu entrichten (§ 6 Patentkostengesetz in Verbindung mit der Anlage zu § 2 Abs. 2 Patentkostengesetz).

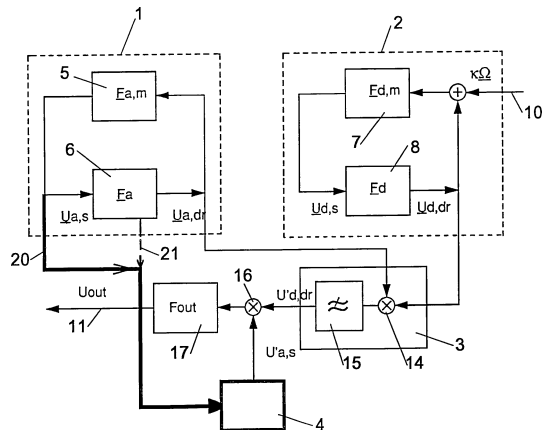
(73) Patentinhaber:
Robert Bosch GmbH, 70469 Stuttgart, DE

(72) Erfinder:
Artzner, Johannes, 72764 Reutlingen, DE; Bauer, Wolfram, 72074 Tübingen, DE

(56) Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht
 gezogene Druckschriften:
DE 44 47 005 A1
DE 693 11 196 T2
DE 691 13 597 T2
EP 05 92 171 A1

(54) Bezeichnung: **Vorrichtung zur Ermittlung einer Bewegungsgröße mit automatischer Schalenfaktornachführung**

(57) Hauptanspruch: Vorrichtung zur Ermittlung einer Drehrate mit einem Sensor, der mehrere miteinander mechanisch und/oder elektrisch gekoppelte Sensorelemente aufweist, mit einer Anregeschleife (1), mit der über wenigstens eines der Sensorelemente der Sensor mittels eines Anregesignals mit konstanter Amplitude ($U_{a,dr}$) in einen Anregungszustand versetzbar ist, mit einer Detektorschleife (2), die mit dem wenigstens einen oder einem weiteren Sensorelement in Verbindung steht und die ein mit der zu ermittelnden Drehrate korreliertes Meßsignal ($U_{d,dr}$) abgibt, mit Auswertemitteln (3, 17) zur Gewinnung einer die Drehrate repräsentierenden Ausgangsspannung (U_{out}) aus dem Meßsignal, dadurch gekennzeichnet, daß die Anregeschleife eine Sensiergröße ($U_{a,s}$) erzeugt, welche ein Maß für die Reaktion des Sensors auf das Anregesignal ist, und daß Korrekturmittel (20 bzw. 21; 4, 16) zur Konstanthaltung der Korrelation zwischen Ausgangsspannung und Drehrate vorgesehen sind, die aus der Sensiergröße ein Korrektursignal erzeugen und die über ein Schaltmittel (16) das Korrektursignal ($U'_{a,s}$) in die Auswertung durch die Auswertemittel (3, 17) einkoppeln.



Beschreibung

Stand der Technik

[0001] Die Erfindung geht aus von einer Vorrichtung zur Ermittlung einer Bewegungsgröße nach der Gattung des Hauptanspruchs. Aus der DE 44 47 005 ist schon eine Vorrichtung zur Ermittlung einer Drehrate bekannt, bei der ein Sensor über eine Anregeschleife in einen konstanten Anregungszustand versetzt wird. Ferner weist die Vorrichtung eine Detektorschleife zur Erfassung einer Bewegungsgröße auf, sowie einen Auswerteschaltkreis zur Gewinnung einer der Drehrate proportionalen Ausgangsspannung. Ein als Verhältnis von gewonnener Ausgangsspannung zu zu messender Drehrate definierter externer Skalenfaktor ist zeitlichen Änderungen unterworfen, da die Empfindlichkeit des Sensors sich beispielsweise mit der Temperatur oder mit zunehmendem Alter ändern kann.

[0002] In der Druckschrift DE 691 13 597 T2 ist ein piezoelektrischer Drehratensensor beschrieben. Zur Ermittlung einer Drehrate, bei der ein Sensorelement in einen Anregungszustand versetzt wird, wird das hierfür erforderliche Anregesignal so variiert, dass die Schwingung stets mit konstanter Amplitude erfolgt. Diese Art der Antriebsregelung des Sensorelements birgt den Nachteil, dass sie relativ schwerfällig ist. Durch das Konstanthalten der Amplitude der Schwingung weist die gesamte Vorrichtung eine durch die Mechanik bestimmte Regelkreiszeitkonstante auf, die bei Schwingungssystemen hoher Güte sehr groß ist.

Aufgabenstellung

Vorteile der Erfindung

[0003] Die erfindungsgemäße Vorrichtung mit den kennzeichnenden Merkmalen des Hauptanspruchs hat dem gegenüber den Vorteil, den Temperaturgang oder den Alterungsprozeß des Sensors bezüglich des Sensorausgangssignals, das für eine bestimmte physikalische Bewegungsgröße gemessen wird, zu kompensieren.

[0004] Es ist kein aufwendiger Empfindlichkeitsabgleich am Bandende mehr erforderlich, der beispielsweise das Aufbringen einer physikalischen Meßgröße über der Temperatur, nachfolgendes Messen des Ausgangssignales sowie Einstellen der gewünschten Empfindlichkeit über der Temperatur erfordert, wobei dieses Einstellen beispielsweise durch Abspeichern von Koeffizienten von Polynomen n'ter Ordnung erfolgen muß, die beispielsweise in EEPROMs abgelegt werden oder durch Zener-Zapping, Thyristor-Zapping oder über Potentiometer-Einstellungen gespeichert werden (Chipflächenersparnis).

[0005] Ferner wird die Verfügbarkeit des Sensors und die Betriebssicherheit erhöht.

[0006] Durch die in den abhängigen Ansprüchen aufgeführten Maßnahmen sind vorteilhafte Weiterbildungen und Verbesserungen der im Hauptanspruch angegebenen Vorrichtung möglich.

[0007] In einfacher Weise geschieht dies dadurch, indem man einem Kalibrierungsschaltkreis eine Sensiergröße zuführt, die mit einem internen Skalenfaktor, der Temperaturgang sowie Alterung usw. reflektiert, korreliert.

[0008] Dabei kann in geeigneter Weise diese Sensiergröße aus der vorhandenen Anregeschleife entnommen werden.

[0009] Eine insbesondere einfache Ausführungsform ergibt sich, wenn ein Anregeschaltkreis, der einen Teil der Anregeschleife darstellt, eine konstante Anregespannung liefert. Dadurch wird das Signal, mit dem der Anregeschaltkreis in der Anregeschleife gesteuert wird, zu einer verwendbaren Sensiergröße.

[0010] Der Kalibrierungsschaltkreis kann in vorteilhafter Weise mit gängigen Schaltungsteilen realisiert werden, beispielsweise mit einem Dividierer.

[0011] Sieht man zusätzlich unmittelbar vor dem Signalausgang der Vorrichtung eine Ausgangsabgleichstufe vor, so kann die Vorrichtung in einfacher Weise bei der Herstellung am Bandende absolut abgeglichen werden. Mit der erfindungsgemäßen Vorrichtung ist beispielsweise über einen einfachen Widerstandsabgleich eine absolute Kalibrierung möglich.

[0012] Vorteilhaft einsetzbar ist die Einrichtung insbesondere bei Drehratensensoren, bei denen der Sensor in einen konstanten Schwingungszustand versetzt wird und das elektrische Führungssignal als Maß für die gemessene Drehrate dient.

Zeichnung

[0013] Ein Ausführungsbeispiel der Erfindung ist in der Zeichnung dargestellt und in der nachfolgenden Beschreibung näher erläutert. Die einzige Figur zeigt eine als Drehratensensor ausgeführte Vorrichtung zur Ermittlung einer Bewegungsgröße mit automatischer Empfindlichkeitsnachführung.

Ausführungsbeispiel

Beschreibung der Ausführungsbeispiele

[0014] Die in der Figur gezeigte Vorrichtung weist eine Anregeschleife **1**, eine Detektorschleife **2** und einen Auswerteschaltkreis **3** auf. Der Aufbau und die

Funktionsweise dieser drei Teile können der DE 44 47 005 entnommen werden. Aufbau und Funktionsweise der genannten Teile sind in der einzigen Figur noch einmal schematisch dargestellt. Die Anregeschleife **1** weist einen Anregeschaltkreis **6** auf, der mit dem Sensor wechselwirkt. Diese Wechselwirkung ist als mechanische Kopplung **5** der Anregeschleife dargestellt. Der Anregeschaltkreis **6** liefert eine Anregespannung mit konstanter Amplitude $\underline{U}_{a,dr}$. Diese Anregespannung steuert Piezoelemente, die auf dem Sensor befestigt sind, an, wodurch der Sensor in konstante Schwingung versetzt wird. Weitere Sensorelemente, die als Piezoelemente ausgeführt sind, sensieren die Schwingung des Sensors. Ein Maß für diese Schwingung ist die Anrege-Sensierspannung mit Amplitude $\underline{U}_{a,s}$. Die Anrege-Sensierspannung wird in den Anregeschaltkreis **6** eingespeist und dient zur phasenrichtigen Ansteuerung des Anregeschaltkreises (Mitskopplung). Die mechanische Kopplung des Sensors mit den Piezoelementen ist durch die Anregeübertragungsfunktion $\underline{F}_{a,m}$ charakterisiert, die Funktion des Anregeschaltkreises **6** durch die Anregefunktion \underline{F}_a . Die Detektorschleife **2** weist einen Dämpfungsschaltkreis **8** auf, der über eine Dämpfungsspannung mit Amplitude $\underline{U}_{d,dr}$ eine durch den Corioliseffekt bei einer Drehbewegung erzeugte Schwingung des Drehratensensors dämpft. Schematisch in der Figur dargestellt ist das Eingangssignal **10**, das das elektrische Äquivalent der zu messenden Drehrate darstellt. In der schematischen Darstellung wird dieses Signal über einen Summationspunkt dem Sensor zugeführt. Es sind weitere Piezoelemente vorgesehen, die die aufgrund einer anliegenden Drehrate und der konstanten Anregeschwingung induzierte zusätzliche Bewegung des Sensors infolge des Corioliseffekts registrieren. Die mechanische Kopplung **7** der Detektorschleife weist dabei eine Auswerteübertragungsfunktion $\underline{U}_{d,m}$ auf. Die oben genannten weiteren Piezoelemente liefern eine Dämpfungs-Sensierspannung $\underline{U}_{d,s}$, die zur Ansteuerung des Dämpfungsschaltkreises **8** dient, der durch die Dämpfungsfunktion \underline{F}_d charakterisiert wird. Im Gegensatz zum Anregeschaltkreis **6** der Anregeschleife **1** ist der Dämpfungsschaltkreis **8** der Detektorschleife **2** in Gegenkopplung geschaltet. Es handelt sich also hierbei um eine Führungsregelung. Die Amplitude der Dämpfungsspannung $\underline{U}_{d,dr}$ dient als Maß für die gemessene Drehrate. Im Auswerteschaltkreis **3**, der einen Synchrondemodulator **14** und einen Tiefpaß **15** aufweist, wird $\underline{U}_{d,dr}$ unter Verarbeitung der Anregespannung $\underline{U}_{a,dr}$ demoduliert. Dabei werden die in der Demodulation entstehenden doppelten Frequenzen im Tiefpaß **15** herausgefiltert, so daß im Ausgang des Auswerteschaltkreises **3** ein Rohsignal $U'_{d,dr}$ anliegt, das proportional zur zu messenden Drehbewegung ist. In einem Multiplizierer **16** wird dieses Rohsignal mit einem Korrektursignal U'_{as} eines Kalibrierungsschaltkreises **4** multipliziert und in einer Ausgangsabweichstufe **17** beispielsweise während der Produktion am Bandende über einen Ausgangs-

gleich F_{out} abgeglichen. Dieser Ausgangsabweichstufe **17** ist schließlich das Sensorausgangssignal **11** entnehmbar. Der Kalibrierungsschaltkreis **4**, vorzugsweise als Dividierer ausgeführt, wird von einem Kalibrierzweig **20** angesteuert, der dem Kalibrierungsschaltkreis **4** die Anrege-Sensierspannung $\underline{U}_{a,s}$ zufführt. Wahlweise kann ein alternativer Kalibrierzweig **21** vorgesehen sein, der ein entsprechend geeignetes Signal dem Anregeschaltkreis **6** entnimmt. Der Anregeschaltkreis **6** besteht aus einer gängigen Kombination von Operationsverstärkern und wahlweise Vollweggleichrichtern, aus der an geeigneter Stelle eine Regelspannung entnommen werden kann, die bereits umgekehrt proportional zur Anrege-Sensierspannung ist, so daß der Kalibrierungsschaltkreis **4** sich erheblich vereinfacht und kein Dividierer mehr benötigt wird. Das am alternativen Kalibrierzweig **21** anliegende Signal kann praktisch direkt dem Multiplizierer **16** zugeführt werden.

[0015] Wesentlich für die Funktionsweise des Kalibrierungsschaltkreises der erfindungsgemäßen Vorrichtung ist, daß diese eine Anregeschleife **1** aufweist, die getrennt ist von einer Detektorschleife **2**. Der interne Skalenfaktor (definiert als Quotient von Rohsignal $U'_{d,dr}$ zu zu messender Drehrate Ω) ist altersbedingten sowie temperaturbedingten oder sonstigen zeitlichen Änderungen unterworfen. Die erfindungsgemäße Vorrichtung bewirkt, daß der externe Skalenfaktor (also der Quotient von Sensorausgangssignal U_{out} (Bezugszeichen **11**) zu zu messender Drehrate Ω) unabhängig ist von Temperaturschwankungen oder Alterserscheinungen oder sonstigen Umwelteinflüssen. Die hierfür vorgesehene automatische Nachführung der Empfindlichkeit des Sensors in Abhängigkeit einer vom internen Skalenfaktor des Sensors bestimmten elektrischen Größe erfolgt über den Kalibrierungsschaltkreis **4**. Die Anregeschleife ist so konzipiert, daß sie auf der Resonanzfrequenz des Sensors arbeitet und mit konstanter Amplitude $\underline{U}_{a,dr}$ den Sensor zur Schwingung anregt. Im beschriebenen Ausführungsbeispiel arbeitet die Detektorschleife resonant auf der Frequenz der Anregeschleife. Jedoch sind auch Ausführungen möglich, bei denen die Detektorschleife nicht resonant arbeitet. In letzterem Fall kann unterschieden werden zwischen der Verwendung nur eines Sensors oder der Verwendung eines separaten Sensors zur Auswertung der Bewegungsgrößen.

[0016] In der Detektorschleife wird ein der physikalischen Eingangsgröße (Drehrate Ω) entsprechendes gegenphasiges Signal $\underline{U}_{d,dr}$ erzeugt, das bis auf die endliche Rechengenauigkeit (Schleifenverstärkung) dem Eingang entspricht. Es gilt (im Folgenden wird auf die auf die Beschreibung des Ausführungsbeispiels folgende Symbolliste verwiesen):

$$\underline{U}_{d,dr} = \underline{F}_{d,m} \times \underline{F}_d / (1 - \underline{F}_{d,m} \times \underline{F}_d) \times K\Omega \approx -K\Omega$$

(für $E_{d,m} \times E_d \gg 1$; $\arccos(E_{d,m}) + \arccos(E_d) \cong -180^\circ$)

[0017] Es sei darauf hingewiesen, daß eine closed loop Anordnung, wie sie hier beschrieben wird, keine Voraussetzung für die erfindungsgemäße Lösung der Aufgabe darstellt, solange nur gilt $E_{a,m} = E_{d,m}$. In diesem Fall gilt Gesagtes auch für eine open loop Anordnung.

[0018] In den internen Skalenfaktor geht die Meßwertgebereigenschaft, also die Anrege-Übertragungsfunktion $E_{a,m}$, der Anreageschleife ein, d. h. $K = f(E_{a,m}; U_{a,dr}) = k_0 \times E_{a,m} \times U_{a,dr}$.

[0019] Die Anrege-Sensierspannung $U_{a,s}$ ist ebenfalls von $E_{a,m}$ abhängig, d. h. es gilt:

$$U_{a,s} = E_{a,m} \times U_{a,dr}$$

[0020] Somit ist $U_{a,s}$ ein Maß für den internen Skalenfaktor.

[0021] Da in der Anreageschleife sichergestellt ist, daß gilt:

$$\arccos(E_{a,m}) + \arccos(E_a) = 0^\circ \text{ (Schwingbedingung)}$$

kann auch geschrieben werden:

$$U_{a,s} = F_{a,m} \times U_{a,dr}$$

[0022] Wird nun $U_{a,s}$ in dem Kalibrierungsschaltkreis 4 in der Form aufbereitet, daß gilt:

$$U'_{a,s} = k_{10} \times 1 / (F_{a,m} \times U_{a,dr})$$

(wobei es sich bereits um eine Gleichspannung handelt), so folgt mit:

$$U'_{d,dr} = k_{20} \times U_{d,dr}$$

$$U_{out} = F_{out} \times U'_{a,s} \times U'_{d,dr} \\ = -F_{out} \times k_{10} \times k_{20} \times k_0 \times \Omega \neq f(E_{a,m}; U_{a,dr})$$

[0023] Die Realisierung des Kalibrierungsschaltkreises 4 kann außer über eine Synchronmodulation auch über eine Gleichrichtung von $U_{a,s}$ erfolgen. K_{10} bezeichnet einen dem Kalibrierungsschaltkreis 4 zugeordneten konstanten Faktor. In jedem Fall muß der Kehrwert von $U_{a,s}$ gebildet werden.

[0024] Der Anreageschaltkreis 6 wird im Ausführungsbeispiel so ausgeführt, daß er einen AFC-Teil (AFC = Automatic Frequency Control) aufweist, der die zur Mitkopplung erforderliche Phasenlage der Anreagespannung $U_{a,dr}$ regelt. Außerdem weist der Anreageschaltkreis 6 einen AGC-Teil (AGC = Automatic Gain Control) auf, der für die konstante Amplitude der Anreagespannung sorgt. Die Anreageschleife 1 ist somit ein Schaltungsteil, der sich selbst erregt, also kei-

nen Oszillator aufweist. Die Anreagespannung mit konstanter Amplitude ($U_{a,dr}$) stellt sich ein mit einer Frequenz, die der Resonanzfrequenz des Sensors entspricht, also beispielsweise im Kilohertz-Bereich. Der AGC-Schaltungsteil kann so realisiert werden, daß eine interne Regelspannung, die zur Konstanthaltung der Amplitude der Anreagespannung $U_{a,dr}$ benötigt wird, bereits umgekehrt proportional zur Anrege-Sensierspannung $U_{a,s}$ ist. Somit entfällt dann die Notwendigkeit eines Dividierers im Kalibrierungsschaltkreis 4, wie bereits eingangs erwähnt. In diesem Falle muß lediglich ein konstanter Verstärkungsfaktor im Kalibrierungsschaltkreis 4 realisiert werden. Diese alternative Ausführung des Kalibrierungsschaltkreises 4 ist in der Figur durch den alternativen Kalibrierzweig 21 schematisch dargestellt, der den Kalibrierzweig 20 ersetzt.

Symbolliste:

Ω	= Drehrate
K	= interner Skalenfaktor
$E_{a,m}$	= Anrege-Übertragungsfunktion
E_a	= Anregefunktion
$U_{a,s}$	= Amplitude der Anrege-Sensierspannung
$U_{a,dr}$	= konstante Amplitude der Anreagespannung
$E_{d,m}$	= Auswerte-Übertragungsfunktion
E_d	= Dämpfungsfunktion
$U_{d,s}$	= Amplitude der Dämpfung-Sensierspannung
$U_{d,dr}$	= Amplitude der Dämpfungsspannung
k_{20}	= Verstärkungsfaktor (Auswerteschaltkreis 3)
$U'_{d,dr}$	= Rohsignal
$U'_{a,s}$	= Korrektursignal
k_{10}	= Verstärkungsfaktor (Kalibrierungsschaltkreis 4)
F_{out}	= Ausgangsabgleich
U_{out}	= Sensor-Ausgangssignal
k_0	= Konstante

Patentansprüche

1. Vorrichtung zur Ermittlung einer Drehrate mit einem Sensor, der mehrere miteinander mechanisch und/oder elektrisch gekoppelte Sensorelemente aufweist, mit einer Anreageschleife (1), mit der über wenigstens eines der Sensorelemente der Sensor mittels eines Anreagesignals mit konstanter Amplitude ($U_{a,dr}$) in einen Anregungszustand versetzbar ist, mit einer Detektorschleife (2), die mit dem wenigstens einen oder einem weiteren Sensorelement in Verbindung steht und die ein mit der zu ermittelnden Drehrate korreliertes Meßsignal ($U_{d,dr}$) abgibt, mit Auswertemitteln (3, 17) zur Gewinnung einer die Drehrate repräsentierenden Ausgangsspannung (U_{out}) aus dem Meßsignal, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Anreageschleife eine Sensiergröße ($U_{a,s}$) erzeugt, welche ein Maß für die Reaktion des Sensors auf das Anreagesignal ist, und daß Korrekturmittel (20 bzw.

21; 4, 16) zur Konstanthaltung der Korrelation zwischen Ausgangsspannung und Drehrate vorgesehen sind, die aus der Sensiergröße ein Korrektursignal erzeugen und die über ein Schaltmittel (**16**) das Korrektursignal (U'a,s) in die Auswertung durch die Auswertemittel (**3, 17**) einkoppeln.

2. Vorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Korrekturmittel einen Kalibrierungsschaltkreis (**4**) aufweisen, dem über einen Kalibrierzweig (**20** oder **21**) die Sensiergröße zuführbar ist.

3. Vorrichtung nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß die Anregeschleife (**1**) einen das Anregesignal liefernden Anregeschaltkreis (**6**) aufweist, wobei der Anregeschaltkreis (**6**) phasenge-regelt ist und die als Anrege-Sensierspannung bezeichnete Eingangsgröße des Anregeschaltkreises (**6**) die Sensiergröße ist.

4. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 2 oder 3, dadurch gekennzeichnet, daß der Kalibrierungsschaltkreis (**4**) einen Synchrondemodulator oder einen Gleichrichter und einen Dividierer aufweist.

5. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß ein Auswerteschaltkreis (**3**) vorgesehen ist, der das Meßsignal aufbereitet, und daß das Schaltmittel (**16**) das Korrektursignal mit dem Ausgangssignal des Auswerteschaltkreises (**3**) multipliziert.

6. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß das Ausgangssignal des Schaltmittels (**16**) in einer Ausgangsabgleich-Stufe (**17**) elektrisch abgleichbar ist.

7. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß der Anregungszustand eine Schwingung ist.

8. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Bewegungsgröße eine Drehrate ist.

Es folgt ein Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

