

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum
Internationales Büro



(43) Internationales Veröffentlichungsdatum
4. Dezember 2003 (04.12.2003)

PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 03/100743 A2

(51) Internationale Patentklassifikation⁷: G08C 17/00

FAG KUGELFISCHER GEORG SCHAEFER AG
[DE/DE]; Georg-Schaefer-Strasse 30, 97421 Schweinfurt (DE).

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/DE03/01664

(22) Internationales Anmeldedatum:
23. Mai 2003 (23.05.2003)

(72) Erfinder; und
(75) Erfinder/Anmelder (nur für US): **BERNHARD, Josef** [DE/DE]; Mozartstrasse 71, 91052 Erlangen (DE). **WANSCH, Rainer** [DE/DE]; Starenweg 9, 91056 Erlangen (DE). **GEMPPER, Sven** [DE/DE]; In den Boeden 17, 97332 Volkach (DE). **HERING, Joachim** [DE/DE]; Hessenstrasse 49, 97078 Wuerzburg (DE). **PECHER, Alfred** [DE/DE]; c/o FAG Kugelfischer Georg Schäfer AG, Georg-Schäfer-Strasse 30, 97421 Schweinfurt (DE). **GLUECK, Stefan** [DE/DE]; c/o FAG Kugelfischer Georg Schäfer AG, Georg-Schäfer-Strasse 30, 97421 Schweinfurt (DE).

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
102 23 378.0 25. Mai 2002 (25.05.2002) DE
103 04 937.1 6. Februar 2003 (06.02.2003) DE

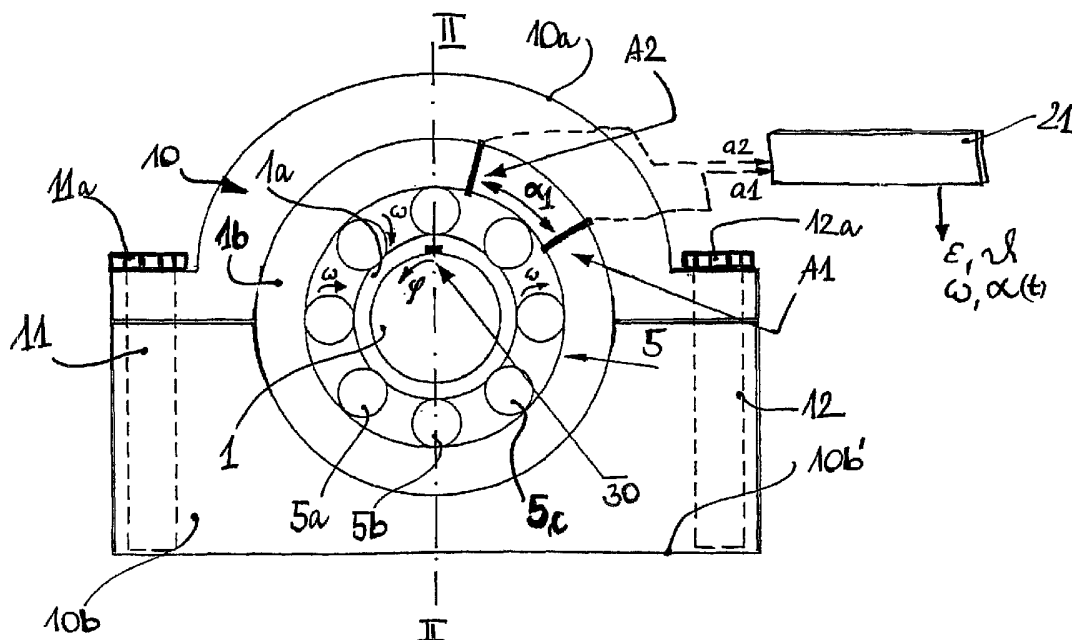
(71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von US): **FRAUNHOFER-GESELLSCHAFT ZUR FORDERUNG DER ANGEWANDTEN FORSCHUNG E.V.** [DE/DE]; Leonrodstrasse 54, 80636 Muenchen (DE).

(74) Anwälte: **LEONHARD, Reimund** usw.; Leonhard Olge-moeller Fricke, Postfach 10 09 62, 80083 Muenchen (DE).

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: CONTACTLESS POSITION MEASUREMENT OF ROTATING ELEMENTS

(54) Bezeichnung: BERUEHRUNGSLOSES LAGEMESSEN VON ROTIERENDEN TEILEN



(57) Abstract: The invention relates to an arrangement for measuring the position or rotational speed or rotational direction in a bearing for a shaft element (1, 1a). Said bearing comprises a stationary section (10) on which the shaft element (1, 1a) is rotatably supported, and the shaft element comprises at least one sensor (30) which can rotate with the shaft element (1) and is fixed thereto. Antenna rings (41, 40) are respectively provided on the stationary section (10) and on the shaft element (1, 1a), said antenna rings being connected by capacitive signal coupling.

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]



WO 03/100743 A2



(81) **Bestimmungsstaaten** (*national*): AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NI, NO, NZ, OM, PH, PL, PT, RO, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, YU, ZA, ZM, ZW.

(84) **Bestimmungsstaaten** (*regional*): ARIPO-Patent (GH, GM, KE, LS, MW, MZ, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches Patent (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), europäisches Patent (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE,

DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IT, LU, MC, NL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI-Patent (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Veröffentlicht:

— *ohne internationalen Recherchenbericht und erneut zu veröffentlichen nach Erhalt des Berichts*

Zur Erklärung der Zweibuchstaben-Codes und der anderen Abkürzungen wird auf die Erklärungen ("Guidance Notes on Codes and Abbreviations") am Anfang jeder regulären Ausgabe der PCT-Gazette verwiesen.

(57) **Zusammenfassung:** Die Erfindung beschreibt eine Anordnung zur Messung der Lage (Position) oder Drehzahl oder Drehrichtung in einem Lager für einen Wellenteil (1, 1a), wobei das Lager einen stationären Abschnitt (10) aufweist, auf dem das Wellenteil (1, 1 a) drehbar gestützt ist, und dieses Wellenteil zumindest einen, mit dem Wellenteil (1) drehbaren und auf ihm fixierten Sensor (30) aufweist, und wobei auf dem stationären Abschnitt (10) und dem Wellenteil (1, 1a) jeweils ein Antennenring (41, 40) vorgesehen sind, welche in kapazitiver Signalkopplung stehen.

Berührungsloses Lagemessen von rotierenden Teilen

Die Erfindung befaßt sich mit einem Verfahren zur Messung von Betriebszuständen eines rotierenden Teils, das zumindest teilweise in einem im wesentlichen geschlossenen metallischen Gehäuse gelagert sein kann. Bevorzugt werden solche rotierenden Teile angesprochen, die auf einem Wälzlager gelagert sind, beispielsweise Wellen. Die Erfindung befaßt sich auch mit einer Vorrichtung, mit der eine solche Messung möglich ist, wobei ein vom mit der Welle drehenden Sensor (beispielsweise passiver SAW-Sensor) reflektiertes Reflektionssignal von einer Antenne empfangen wird, die es in ein Empfangssignal umsetzt, das zur Erfassung oder Bestimmung (Messung) der auf dem drehbaren Teil herrschenden Betriebssituation ausgewertet wird.

Die Erfindung befaßt sich auch mit der Messung von Drehzuständen, unter welchen Drehzuständen nicht die Belastung (mechanisch oder thermisch) verstanden wird, sondern solche Drehzustände, die beispielsweise bei einer Antriebsregelung Einsatz finden, wie die Drehzahl, die Drehlage (Winkelposition) und/oder das Vorzeichen der Drehrichtung. Auch diese Messung soll entweder alleine, oder in Kombination mit den zuvor angesprochenen thermischen und mechanischen Belastungsmessungen im Rahmen des mitdrehenden Sensors berührungslos durchgeführt werden. Auch hier liegt ein spezielles Augenmerk der Anwendung im Wälzlager und speziell in Kombination mit Lagergehäusen, welche im wesentlichen vollständig geschlossen sind.

Oberflächenwellen-Sensoren, z.B. sogenannte SAW-Sensoren, können als Meßgeber auf dem rotierenden Teil aufgebracht werden, beispielsweise einem Wälzlager. Wälzlager selbst sind meist in im wesentlichen geschlossenen Lagergehäusen eingebaut und somit vollständig oder praktisch vollständig von metallischen Flächen umgeben, was bei elektromagnetischen Wellen zu Überlagerungen und in der Folge zu lokalen Auslöschungen und zu Empfangslücken führt. Empfangslücken sind für eine im wesentlichen stetige, oder am Umfang des drehenden Teils orientierte kontinuierliche oder durchgehende Messung des Belastungszustandes nachteilig.

Oberflächenwellen-Sensoren als SAW-Sensoren werden in ihrer Struktur der **DE-A 42 17 049** (Siemens), zugehörigen Veröffentlichungen, wie Buff, "SAW-Sensors", **Sensors and Actuators**, A, 1992, Seiten 117 bis 121 sowie in einem erweiterten Anwendungsbereich beschrieben in einer Veröffentlichung aus **Ultrasonics Symposium**, 1994, Seiten 589 bis 592, Autoren Schmidt, Sczesny, Reindl, Magori, dort insbesondere Seite 591, rechte Spalte zur Figur 6. Der Aufbau der SAW-Sensoren ist

daraus bekannt, auch die Ansteuerung dieser Sensoren über kurze Bursts von etwa 80 nsec Länge, um unerwünschte Echos aus der Umgebung zu vermeiden, wenn das reflektierte Signal nach einer Verzögerung von einigen Mikrosekunden zurückgeworfen wird. Die SAW-Sensoren sind in ähnlicher Bauweise auch bei Kraftfahrzeugen auf einer drehenden Welle angewendet worden, vgl. **DE-A 198 47 291**, dort Spalte 2, Zeile 45 ff., wobei pro Welle zwei Sensoren verwendet worden sind, von denen jeweils eine in einer von zwei Halbschalen angeordnet war. Die gleichen Sensoren sind als Drehmomentaufnehmer auch in einer **Dissertation von Pistor** beschrieben worden, "Drehmomentaufnehmer mit Oberflächenwellen-Sensoren unter besonderer Berücksichtigung der Kraftereinleitung", Lehrstuhl für elektrische Meßtechnik, TU-München, 28. Juni 1999, dort Bild 8.2 mit zugehöriger Beschreibung. Die Montage an einer dort angegebenen Motorwelle erfolgte durch Klebung in einem von dem Lager entfernten Einbauraum für den Aufnehmer. SAW-Sensoren sind drahtlose passive Sensoren, vgl. Reindl et al, "SAW-Devices as Wireless Passive Sensors", **IEEE Ultrasonics Symposium, 1996**, Seiten 363 bis 367. Dort wird auf mehrere Anwendungen von SAW-Sensoren verwiesen, vgl. Seite 367 unter Ziffer B mit zugehörigen Literaturhinweisen zur Packungstechnik (Referenzen 15,16), zur Anbringung auf drehbaren Wellen oder stark beanspruchten Antrieben (Referenzen 17,18) oder zur Erfassung eines Luftdrucks eines bewegbaren Fahrzeugs (dort Referenzen 14,16). Eine schließlich weitere Anwendung ist ein "funkabfragbarer Drehmomentsensor auf der Basis von Oberflächenwellen-Verzögerungsleitungen", **Fortschritt-Berichte VDI, 1998**, Reihe 8, Nr. 729, VDI-Verlag. Ein rotierender Teil und ein stationärer Teil werden gemäß dortiger Ziffer 2.1.6 telemetrisch gekoppelt, wobei ein Dipolarray als Antenne in Betracht gezogen wird, vgl. Seite 84,85.

Die Erfindung geht von der **technischen Problemstellung** aus, Drehzustände berührungslos an einem drehbaren Teil, wie einer Welle, messen zu können und dabei trotz des metallischen, ggf. im wesentlichen geschlossenen Lagergehäuses Empfangslücken zumindest herabzusetzen, bevorzugt in dem ausgewerteten Empfangssignal ganz zu vermeiden. Dabei soll nicht die Geometrie des Gehäuses oder des Lagers optimiert werden, sondern die Messung selbst, die dazuhin auf dem gesamten Drehwinkel von 360° zuverlässig arbeiten soll, bei kostengünstiger Auslegung und wenig aufwendiger Auswerteelektronik.

Die beschriebenen Messungen erfolgen zur Bestimmung der Drehzahl und der Position des gegenüber dem stationären Abschnitt drehbaren Wellenteils. Als Wellenteil kommt die Welle selbst, ein Abschnitt dieser Welle oder ein Lager-Innenring in Frage, der fest

mit der Welle verbunden ist und mit dieser mitdreht, ohne ihr gegenüber wesentlich relativ verdreht zu werden.

Der Sensor mit der Sensorantenne befindet sich auf dem rotierenden Teil und eine Antenne der Elektronik auf der Seite des stationären Abschnitts ist nicht drehbar am Lagergehäuse angebracht. Durch eine Drehung des rotierenden Teils ändert sich die räumliche Anordnung der Antenne des Sensors auf dem drehbaren Wellenteil und der zumindest einen Antenne am stationären Abschnitt. Statt der Antenne auf dem Wellenteil kann auch der Sensor benannt werden (Anspruch 36).

Durch die räumliche Änderung ergeben sich Laufzeitunterschiede in der Phase zwischen den reflektierten Pulsen und einem Referenzoszillator in der Abfrageelektronik, die auf der stationären Seite angeordnet ist. Da Randbedingungen im Lagergehäuse als stationär angenommen werden können, ergibt sich ein stetiges Phasen-Verlaufsprofil über den Drehwinkel des Wellenteils. Eine Lagemessung wird möglich. Durch Messung einer Zeitspanne zwischen zwei wiederkehrenden Phasenzuständen kann auch die Drehzahl als "Drehzustand" ermittelt werden (Anspruch 34,35).

Die Phasenänderung ergibt sich durch einen räumlichen Versatz (Anspruch 20), bezogen auf den Ort des Sensors am rotierenden Wellenteil gegenüber der zumindest einen Antenne auf der stationären Seite. Die Auswertung dieses Phaseneinflusses auf ein vom Sender reflektiertes Signal (Anspruch 16) kann zur Auswertung des Drehzustandes des Wellenteils (Drehlage oder Drehzahl) herangezogen werden.

Bei Einsatz einer kapazitiven Antenne (Anspruch 1, Anspruch 5) wird der Einfluß auf die Phase durch eine stehende Welle hervorgerufen, die durch zumindest einen Antennenring auf dem stationären Teil und auf dem drehbaren Wellenteil aufgeprägt wird. Diese Aufprägung geschieht in der Form einer stehenden Welle, wobei eine ganze Anzahl von Schwingungsperioden ausgebildet werden. Dadurch entsteht eine lückenlose, von der Winkelposition des Lagers weitgehende unabhängige Signalankopplung (Anspruch 4, Anspruch 11).

Eine Auswertung geschieht dabei über die Absolutphase und nicht die Phasendifferenz, wobei die Aufzeichnung auf der Seite des stationären Abschnitts erfolgt, beispielsweise durch einen digitalen Integrator, der die Winkellage des rotierenden Wellenteils aufzeichnet und mitführt (Anspruch 10). Die zusätzliche Phasenänderung ergibt sich durch den örtlichen Versatz des Sensors zu der stationären Antenne (Sende- bzw.

Empfangsantenne) und kann entweder als eigenständige oder als weitere Meßgröße benutzt werden.

Das Wiederfinden eines gleichen Phasenwertes, zur Kennzeichnung derselben Drehlage, kann begünstigt werden, wenn die Antennen in einer bestimmten Weise ausgebildet werden (Anspruch 13, 14 oder 15), wobei eine Unsymmetrie Anwendung findet.

Ist eine Mehrdeutigkeit entlang des Drehwinkels von 360° gegeben, erfolgt eine Kalibrierung (Anspruch 13).

Besonders vorteilhaft läßt sich die kapazitive Antenne mit einem SAW-Sensor koppeln (Anspruch 6, 7), auch hier kann gleichzeitig eine thermische oder mechanische Belastung über den Sensor durch Messung von veränderten Laufzeiten erfolgen (Anspruch 8, 9). Liegen diese Meßwerte vor, können sie von den Ergebnissen der Phasenmessung zur Ermittlung der Drehzahl oder der Drehlage subtrahiert werden (Anspruch 37).

Mit beabstandet angeordneten zumindest zwei Antennen können Empfangssignale zur Verfügung gestellt werden, die gemeinsam betrachtet eine Verbesserung oder Optimierung eines resultierenden Arbeitssignals ermöglichen, das am Umfang betrachtet, also bei einer Umdrehung des rotierenden Teils um 360° , zumindest keine vollständigen Empfangslücken aufweist. Es kann auch nur eines der verfügbaren Signale zur Auswertung verwendet werden.

Als Sensoren finden beispielsweise SAW-Sensoren Anwendung, die passiv mit Oberflächenwellen arbeiten (Anspruch 25) und dabei eingestrahlte elektromagnetische Wellen zeitverzögert reflektieren bzw. zurücksenden. Es wird bei der Reflektion eine Laufzeit in den Sensoren ausgenutzt. Der Sensor wird dazu mit einem hochfrequenten Puls (Anspruch 31) bestrahlt und dieser Puls wird über eine Antenne aufgenommen, in einem Interdigitalwandler in eine Oberflächenwelle umgesetzt und diese von Reflektorstellen auf dem Sensor zeitlich gestaffelt reflektiert, so daß sich Laufzeitunterschiede in den reflektierten mehreren Signalen ergeben (Anspruch 26). Dieser zumindest eine Laufzeitunterschied folgt aus den Abständen der Reflektorstellen auf dem Sensor. Die Reflektionssignale geben durch ihren Laufzeitunterschied eine geometrische Länge wieder, Änderungen dieser Laufzeit (des Abstandes der beiden Reflektionssignale) ergeben eine mechanische Dehnung des Sensors. Aus dieser Dehnung kann eine mechanische Beanspruchung des drehbaren Teils ermittelt

werden, auf dem der Sensor fest aufgebracht ist. Während eine mechanische Belastung eine Dehnung oder Kontraktion bewirkt, ist eine thermische Belastung (Anspruch 29) wesentliche Ursache für eine Änderung der Phasengeschwindigkeit der Oberflächenwelle auf dem SAW-Sensor, wodurch sich ebenfalls die Laufzeit ändert (zwischen der jeweiligen Reflektorstelle und dem Umsetzer als Interdigitalwandler). Damit ergibt sich eine lastabhängige oder temperaturabhängige Signalgröße als Ausgangsgröße des passiven Sensors, der auch als Sender angesehen werden kann, bezogen auf das reflektierte Signal. Diese Abhängigkeit von der physikalischen Einflußgröße sorgt für ein "passives Sendesignal" des Sensors, das im Vergleich zu dem Eingangssignal oder einem Referenzsignal konstanter Phase zu einer berührungslosen Meßmöglichkeit führt.

Obwohl geringe Änderungen nicht unmittelbar über die Laufzeit gemessen werden können, können sie über eine relative Phasenmessung zwischen dem jeweils reflektierten Signal und einer Frequenz eines Referenzoszillators ermittelt werden.

Die mechanische Belastung auf dem rotierenden Teil verändert die Geometrie des (passiven) Sensors, der durch Dehnung oder Kontraktion (Anspruch 30) eine Veränderung der reflektierten Signale hervorruft, die von den mehreren Empfangsantennen und einer (Anspruch 28) nachgeschalteten Auswerteelektronik berührungslos gemessen werden kann. Die zumindest zwei, bevorzugt nur zwei Empfangssignale werden dabei einer der Auswerteschaltung vorgelagerten Signalstufe zugeführt, die beide Signale entweder zusammenfaßt oder diese Signale so umschaltet, daß immer ein ausreichendes Empfangssignal für die anschließende Auswertung dieses Signals zur Verfügung steht.

Beide Signale werden dabei zur Bestimmung der mechanischen Beanspruchung des rotierenden Teils herangezogen, aber nicht zwingend gleichzeitig, sondern bevorzugt zeitversetzt, entsprechend einer mechanischen Drehbewegung des rotierenden Teils (Anspruch 27). In einer möglichen Auswahl eines Maximalwertes kann das jeweils günstigere Empfangssignal zu einem Arbeitssignal werden, das als Grundlage der Belastungsmessung dient.

Bevorzugt wird ein drehbares Teil als Welle ausgebildet und von einem Wälzlager, beispielsweise einem Stehlager, gehalten (Anspruch 22). Die feste Anordnung des Sensors ist dabei auf der Welle als rotierendem Teil so zu verstehen, daß eine mechanische Dehnung oder thermische Belastung der Welle auf den Sensor übertragen wird, so daß sein Zustand über die Laufzeit der Oberflächenwellen mit

reflektierten elektromagnetischen Wellen von der Gehäusesseite aus gemessen werden kann.

Der elektromagnetische Puls kann beispielsweise von einer der beiden oder mehreren Antennen, die als Empfangsantennen auch arbeiten können, eingestrahlt werden. Das Einstrahlen des Pulses auf den Sensor sorgt für eine gestaffelte Reflektion. Durch mehrere Reflektoren werden eine Folge von Signalen zurückgestrahlt und von einer (oder mehreren) Antennen aufgenommen. Sie geben mindestens ein elektrisches Signal ab, bevorzugen aber mehrere elektrische Signale, die von den mehreren, räumlich beabstandeten Empfangsantennen abgegeben werden. Davon wird das stärkste Signal ausgewertet. Ein Umschalten zwischen Antennen ist möglich. Die mehreren gestaffelt eintreffenden Signale dienen auch zur Trennung der Einflüsse von mechanisch/thermischer Ursache und einer solchen durch Dreheinfluß.

Durch das Umschalten zwischen den zumindest zwei Antennen können die Empfangslücken oder durch stehende Wellen sich ergebenden Auslöschungen für die Messung beseitigt werden. Obwohl die konkreten Wirkungen der Überlagerungen in einem spezifischen Lagegehäuse nicht bekannt sind, arbeitet die Meßeinrichtung zuverlässig, unabhängig von einer konstruktiven oder destruktiven Überlagerung (Erhöhung bzw. Reduktion der Signalintensität durch Reflektionen der elektromagnetischen Wellen). Außerdem tritt im Lagergehäuse - anders als bei offen liegenden Lagern - eine Abschattung durch die Welle nicht ein, welche meist über das Lager hinaussteht.

...

Ausführungsbeispiele erläutern und ergänzen die Erfindung.

Figur 1 ist in Stirnansicht ein erstes beispielhaftes Wälzlager 5 als Stehlager mit einer drehbaren Welle 1 und zwei stationäre Antennen A1, A2 zur Veranschaulichung eines ersten Beispiels für das Meßverfahren und eines ersten Beispiels des Meßaufbaus.

Figur 1a ist eine Schnittansicht längs der Ebene II-II.

Figur 2 veranschaulicht das Meßprinzip eines SAW-Sensors mit einem gesendeten Puls und den zugehörigen reflektierten Pulsen, wobei die Sinussignale nach Phasenlage dargestellt sind.

Figur 3 veranschaulicht die Phasenlage über der Winkelposition des Sensors, wie er als Sensor 30 in den vorigen Figuren eingezeichnet ist.

Figur 4 veranschaulicht ein Meßsystem mit einer kapazitiven Antennenkopplung.

Figur 4a veranschaulicht einen Phasenverlauf bei der kapazitiven Antennenkopplung nach Figur 4. Dargestellt ist der Phasenverlauf in Abhängigkeit von der Lagerposition.

Figuren 1 und 1a veranschaulichen eine schematische Ansicht eines Lagers. Ein Lagergehäuse 10 hat einen oberen, der Form des Lagers folgenden gewölbten Abschnitt 10a und einen Sockelabschnitt 10b mit Boden 10b'. Zwei Lagerbauteile können über Schraubmontagen 11, 12 mit Schraubköpfen 11a, 12a lösbar miteinander verbunden sein, so daß eine Lagerschale 1b mehrere Wälzkörper 5a, 5b, 5c ... (beispielsweise als Kugeln oder Zylinder) trägt, die eine drehbare Welle 1 stützen. Die lagernden Wälzkörper 5a, 5b, 5c, ... sind zwischen einem Lagerinnenring 1a und dem Außenring 1b als Schale angeordnet. Der Innenring 1a ist auf der Welle 1 fest angeordnet, beispielsweise durch ein thermisches Aufschrumpfen. Der Außenring stützt die Wälzkörper. Das dargestellte Lager kann auch als ein Stehlager mit zugehörigem Gehäuse bezeichnet werden.

Die Drehbewegung der Welle 1 (mit Lagerinnenring 1a) ist durch eine Rotation ω der einzelnen Wälzkörper 5a, 5b etc. (kurz: 5) symbolisiert und die Welle 1 ist mit einem Drehwinkel $\varphi = \alpha$ bezeichnet, der den Momentanwert des Drehwinkels $\alpha = \varphi(t)$ des Sensors 30 angibt, wobei $0^\circ \leq \varphi \leq 360^\circ$ und Vielfache ist.

Die Wälzkörper 5a, 5b, ... sind in im wesentlichen gleichen Abständen orbital um die Welle 1 angeordnet. Der Sensor 30, der im Beispiel ein SAW-Sensor zur Reflektion von elektromagnetischen Oberflächenwellen ist, ist fest auf der Welle 1 angeordnet und mit dem Lagerring 1a verbunden, so daß mechanische Veränderungen innerhalb der Welle oder des Lagerrings, wie Dehnungen, Spannungen oder Kontraktionen, auf ihn übertragen werden und ihn dabei selbst mechanisch entsprechend der Belastung verändern.

Aus der axialen Schnittansicht II-II ist die Anordnung des Sensors 30 zu erkennen, der an der Welle vorgesehen ist und sich axial auf einer Teillänge des Innenrings 1a erstreckt, mit einer im wesentlichen senkrecht dazu angeordneten Antenne 31. Auf derselben Seite des Lagers sind auch im axialen Abstand zwei Empfangsantennen A1 und A2 an einem Trägerstück 1c vorgesehen, von welchen Antennen eine als Sendeantenne auch verwendet werden kann.

Nicht drehbar und im Abstand von dem Sensor 30 angeordnet, sind im Beispiel zwei Antennen A1, A2, die einen umfänglichen Abstand besitzen. Beide Antennen sind elektrisch verbunden über jeweils eine Leitung mit einer Auswerteelektronik 21.

In das Lagergehäuse 10 sind im oberen Abschnitt 10a die zwei Antennen eingebracht, deren umfänglicher Abstand α_1 so gewählt ist, daß sich eine Antenne in einem Feldstärkemaximum befindet, während die andere Antenne hinsichtlich ihres Empfangssignals eine Empfangslücke aufweist. Beide Empfangssignale a1, a2 sind nicht in Gleichphase, sondern sinngemäß in einer Gegenphase, wobei ein Maximum und ein Minimum so einander zugeordnet sind, daß beide Feldstärkeverläufe über den Drehwinkel nie gleichzeitig ein Minimum besitzen. Durch ein Umschalten der beiden Signale a1, a2 kann sichergestellt werden, daß ein Arbeitssignal a3 gebildet wird. Dieses Arbeitssignal a3 ist ebenfalls abhängig vom Drehwinkel φ und zeigt einen viel gleichmäßigeren Verlauf hinsichtlich der Signalstärke, als jeweils ein Einzelsignal a1 oder a2. Eine gleichmäßigere Empfangsfeldstärke wird damit der Auswertung unterworfen, so daß ein zuverlässigerer Belastungswert $\varepsilon(\varphi)$ oder $\varepsilon(t)$ erhalten wird.

Während sich das Lager und mit ihm der Sensor 30 dreht, wandern Feldstärkeminimas über die fest positionierten Empfangsantennen A1, A2 hinweg. Eine dieser beiden Antennen A1 oder A2 kann gleichzeitig eine Sendeantenne sein, zur Ausstrahlung eines Hochfrequenzpulses, der von dem Sensor 30 reflektiert wird. Die reflektierten Signale werden von den zwei um α_1 beabstandeten Antennen an unterschiedlichen Orten aufgenommen und bilden zwei eigene elektrische Empfangssignale a1, a2, die

aufgrund der räumlichen Beabstandung der Antennen vom Wesen her zumeist nicht gleich sind.

Die Empfangsqualität ist nicht mehr allein von einer Antenne und ihrer Anordnung abhängig, sondern beide Antennen können so positioniert werden, daß die beiden Empfangssignale als Folge der reflektierten Pulse zur Bestimmung der Dehnung in Zusammenschau gesehen nicht mehr gestört sind.

Da zur Bestimmung der mechanischen und thermischen Effekte auf dem rotieren Wellenteil die Absolutphasenwerte der vom Sensor reflektierten elektromagnetischen Pulse sowieso gemessen werden, können daraus auch die Phasenverschiebungen aufgrund von Drehung oder Rotation des Sensors auf dem rotierenden Wellenteil bestimmt werden. Unter der Annahme, daß die Randbedingungen im Lagegehäuse stationär sind, ergibt sich ein stetiges Phasenverlaufsprofil über den Umdrehungswinkel, beispielsweise Figur 3, oder für eine kapazitive Ankopplung in einer später zu beschreibenden Figur 4 das Verlaufsprofil nach Figur 4a.

Die zusätzliche Phasenänderung ergibt sich durch den örtlichen Versatz (räumlichen Versatz) des Sensors 30 bzw. seiner Antenne 31 gegenüber der zumindest einen stationären Antenne A1,A2, was aus Figur 1, Figur 1a ersichtlich ist. Dieser Anteil an der Phasenänderung kann als weitere Meßgröße ausgewertet werden. Sie kennzeichnet den Drehzustand im Sinne der gewünschten Meßgröße, wie hauptsächlich Drehzahl oder Drehlage. Auch die Drehrichtung kann als Drehzustand bezeichnet werden. Der exemplarische Verlauf nach Figur 3 zeigt die Phase (den Phasenzustand) über der Winkelposition des SAW-Sensors bzw. seiner Sensorantenne 31, wie er in der Figur 1a ersichtlich ist. Die relativ bewegliche Sendeantenne ist gegenüber der zumindest einen Antenne auf der stationären Seite räumlich veränderbar, was mit der Abfrageelektronik 21 ausgewertet wird. Für den in Figur 3 skizzierten Fall finden bei einer Umdrehung von 360° zwei Phasensprünge von 360° statt. Ein Phasenzustand wird also mehr als einmal durchlaufen. Dies wird bei der Drehzahlmessung berücksichtigt.

Für jeden Reflektor des SAW-Sensors nach Figur 2, die dort durch die reflektierten Pulse und symbolisch durch den zugehörigen zeitlichen Abstand gekennzeichnet sind, wird eine Phasenverschiebung φ_n des von ihm reflektierten Signals bezüglich eines - in den Zeichnungen nicht dargestellten - Referenzoszillators in der Abfrageelektronik 21 ermittelt. Jeder dieser Phasenwerte setzt sich zusammen aus einem Anteil φ_0' , der durch die räumlich sich ändernde Anordnung der beiden Antennen A1 und 31 bzw. A2

und 31 Zustände kommt, und einen Anteil φ_n' , welcher mechanisch und thermisch beeinflusst ist, soweit diese Beanspruchung vorliegt. Es ergeben sich folgende Beziehungen:

$$\begin{aligned}\varphi_n &= \varphi_0' + \varphi_n' \\ \varphi_0' &= f(\alpha) \\ \varphi_n' &= f(\varepsilon, \vartheta)\end{aligned}$$

Vergleicht man die Phasenwerte zum Zeitpunkt t und zeitlich späteren Zeitpunkt $t-T_0$, so kann man daraus die Änderung der Phase aufgrund der Drehung ableiten. Auch eine Drehzahl kann daraus abgeleitet werden.

Es ergeben sich folgenden Beziehungen:

$$\begin{aligned}\Delta\varphi_0(t) &= \varphi_n(t) - \varphi_n(t-T_0) \\ &= \varphi_0'(t) + \varphi_n'(t) - \varphi_0'(t-T_0) - \varphi_n'(t-T_0) \\ &= \varphi_0'(t) - \varphi_0'(t-T_0)\end{aligned}$$

wobei

$$\varphi_n'(t) = \varphi_n'(t-T_0)$$

wenn keine mechanischen oder thermischen Beanspruchungen vorliegen. Liegt eine Beanspruchung vor, so wird zusätzlich die durch die Beanspruchung verursachte Phasenänderung subtrahiert. Diese Phasenänderung wird aufgrund des Meßverfahrens für die thermische und mechanische Belastung ohnehin bestimmt.

φ_0' addiert sich konstant zu allen gemessenen Phasenwerten φ_n' , wobei $n = 1 \dots 4$ nach Figur 2 mit den dort dargestellten vier Reflektoren R1 bis R4.

$$\begin{aligned}\varphi_1(t) &= \varphi_0'(t) + \varphi_1'(t) \\ \varphi_2(t) &= \varphi_0'(t) + \varphi_2'(t) \\ \dots & \\ \varphi_n(t) &= \varphi_0'(t) + \varphi_n'(t)\end{aligned}$$

Die Änderungen, die aufgrund thermischer oder mechanischer Beanspruchungen auftreten, wirken sich auf alle Phasenwerte φ_n derart unterschiedlich aus, dass gilt:

$$\varphi_n' = k_n \varphi_{n-1}'$$

dabei steht n für die Nummer des Reflektors.

Da die Faktoren k_n bekannt sind, lässt sich aus den gemessenen Phasenwerten von jeweils zwei Reflektoren der Anteil der Phasenverschiebung, der aus der thermischen und/oder mechanischen Beanspruchung entsteht, ermitteln und damit der Anteil der durch Drehung resultiert bestimmen.

Eine Drehzahl kann beispielsweise dadurch bestimmt werden, daß die Messung einer Zeit zwischen zwei wiederkehrenden Phasenzuständen erfolgt. Solche Phasenzustände sind im Beispiel in Figur 3 dargestellt. Liegen mehrere gleiche Phasenzustände am Umfang verteilt vor, wird das bei der Drehzahlmessung berücksichtigt. Hierbei hilft eine Absolutphasenmessung, welche Phasensprünge, die am Umfang stattfinden, berücksichtigen hilft.

Ebenfalls mehrdeutig am Umfang ist das Phasendiagramm nach Figur 4a. Es ergibt sich bei einer Anordnung nach Figur 4, die mit einer Kapazitätenantenne im Rahmen eines Lagers arbeitet. Dargestellt ist in Figur 4 ein Lager-Innenring 1a, der fest mit der Welle 1 verbunden ist, welche Welle hier nicht dargestellt ist. Die Welle dreht sich in einer eingezeichneten Richtung $\alpha(t)$ und hat eine bestimmte Lage, die mit $\alpha(t)$ zum Zeitpunkt "t" festgelegt ist. Die Ableitung der Lage ergibt die Geschwindigkeit, oder anders herum, die Geschwindigkeit des Wellenteils gibt integriert die Lage, je nach Reihenfolge der Berechnung.

Auf dem Wellenteil 1a als Lager-Innenring ist eine Ringantenne 40 aufgebracht, die sich mit der Welle dreht. In kapazitiver Kopplung steht eine weitere Ringantenne, die als Gehäuseantenne 41 dem stationären Abschnitt 10 des Lagers zugeordnet ist. Dieser stationäre Abschnitt ist nur schematisch dargestellt, ist aber aus den vorhergehenden Figuren ersichtlich. Die Drehzahl des stationären Abschnitts ist mit Null anzugeben. Die Abfrageelektronik 21' ist symbolisch repräsentiert, sie wird mit der Gehäuseantenne 41 gekoppelt und berechnet die beschriebenen Funktionen. Der Sensor 30 der Figur 4 entspricht dem mitdrehenden Sensor, der mit dem dem drehenden Wellenteil zugeordneten Antennenring elektrisch gekoppelt ist.

Die beiden Antennen 40, 41 können als Lagerantenne oder Gehäuseantenne beschrieben werden. Der Sensor 30 ist bevorzugt ein SAW-Sensor, wie er eingangs erläutert wurde.

Die kapazitive Kopplung der beiden Ring-Streifenantennen 40,41 ist so ausgelegt, daß sich auf ihnen stehende Wellen mit einer ganzzahligen Anzahl P von Schwingungsperioden ausbilden. Die Ring-Streifenantennen haben einen nur geringen Abstand zur Übertragung der Signale, im Bereich bis zu $1/10$ der verwendeten Wellenlänge. Die hier im Beispiel eingesetzte Frequenz beträgt ca. 2.45 GHz (Wellenlänge von 122.4 mm). Ein Abstand der Antennen sollte im Beispiel also unter ca. 12mm liegen. In einem weiter bevorzugten Beispiel liegen sie bei ca. 2mm.

Durch die Ausbildung von stehenden Wellen ergibt sich eine lückenlose, von der Winkelposition des Lagers (bzw. des drehbaren Wellenteils) weitgehend unabhängige Signalankopplung. Die Phasen-Meßwerte der einzelnen Reflektoren des in Figur 2 dargestellten SAW-Sensors 30, der in Figur 4 vorgesehen ist, erhalten ein zusätzlichen, winkelpositions-abhängigen Phasenversatz aufgeprägt.

Durch das Zusammenspielen der beiden Antennen 40, 41 kommt es während einer Drehung des Lagerrings 1a bzw. des Wellenteils 1 zu einer zusätzlichen Phasenverschiebung um $2P \cdot \pi$. Dies geht davon aus, daß beide Antennen auf P Schwingungsperioden ausgelegt sind.

Die eigentliche Messung der mechanischen Beanspruchung der Temperaturbeanspruchung wird durch diesen Effekt nicht beeinflusst, da für diese Messung die Differenzen der Phasen betrachtet werden, wie in Figur 2 veranschaulicht. Dadurch fällt der Drehungseinfluß durch die Aufprägung des winkelpositions-abhängigen Phasenversatzes heraus.

Mit dem aufgeprägten Phasenversatz wird eine Position, eine Drehzahl oder eine Drehrichtung bestimmt, die sich auf den Wellenteil 1a bezieht. Dabei wird die Absolutphase für einen der Reflektoren des SAW-Chips auf der stationären Seite aufgezeichnet und mitgeführt. Beispielsweise kann dies durch einen digitalen Integrator erfolgen. Über den Faktor $2P$ kann der als Rohlagewert bezeichnete integrierte Absolutphasen-Wert in die Position des Innenrings umgerechnet werden, welche Position der tatsächlichen Drehlage entspricht.

Liegt eine Mehrdeutigkeit am Umfang vor, ist eine Kalibrierung sinnvoll, um die Mehrdeutigkeit aufzulösen. Diese Kalibrierung kann über gezielte Nutzung einer winkelabhängigen Übertragungscharakteristik automatisiert werden. Dazu kann die Tatsache genutzt werden, daß bei einer bestimmten Position der Antennen 40,41 zueinander ein Einbruch oder zumindest eine deutliche Abweichung der übertragenen Signalamplitude auftritt.

Die Abweichung in der Übertragungscharakteristik kann auch durch eine gezielte, leichte Fehlanpassung einer der beiden oder aller beider Antennen 40, 41 vorgegeben bzw. beeinflußt werden, z.B. eine Einkerbung einer der Antennen.

Während der Dauer der Messung und der Bildung der Absolutphase sollte diese auf einen bestimmten Reflektor R_n des SAW-Sensors bezogen sein. Dieses kann beispielsweise der erste Reflektor R_1 sein, der das erste reflektierte Signal zurückwirft, welches den geringsten Phasenversatz φ_1 gegenüber dem Referenzsignal besitzt, vgl dazu die Figur 2.

* * *

Ansprüche:

1. **Anordnung** zur Messung der Lage (Position) oder Drehzahl oder Drehrichtung in einem Lager für einen Wellenteil (1,1a),
wobei das Lager einen stationären Abschnitt (10) aufweist, auf dem das Wellenteil (1,1a) drehbar gestützt ist, und dieses Wellenteil zumindest einen, mit dem Wellenteil (1) drehbaren und auf ihm fixierten Sensor (30) aufweist,
und wobei auf dem stationären Abschnitt (10) und dem Wellenteil (1,1a) jeweils ein Antennenring (41,40) vorgesehen sind, welche in kapazitiver Signalkopplung stehen.
2. Anordnung nach Anspruch 1, wobei ein Antennenring (40) gegenüber dem anderen Antennenring (41) im Betrieb relativ drehbar ist.
3. Anordnung nach Anspruch 1, wobei der drehbare Antennenring (40) an dem Wellenteil (1,1a) mit dem Sensor (30) verbunden ist, welcher kapazitiv eingekoppelte Sendesignale reflektiert und kapazitiv gekoppelt zurücksendet.
4. Anordnung nach Anspruch 1, wobei die Antennenringe (41,40) so ausgebildet sind, daß auf zumindest der Sendeseite eine stehende Welle mit einer ganzen Anzahl von Schwingungsperioden eines Sendesignals gebildet ist.
- 4a. Anordnung nach Anspruch 1, wobei die Antennenringe nahe zueinander angeordnet sind, insbesondere in einem Abstand größer einer Wellenlänge des Funksignals, insbesondere oberhalb 2 GHz.
5. **Verfahren** zur Messung einer Lage eines Wellenteil (1,1a) relativ zu einem stationären Abschnitt eines Lagers (10),
wobei die beiden Teile (1,10) über kapazitiv gekoppelte Antennen (40,41) im Signalaustausch stehen,
und wobei auf dem Wellenteil (1,1a) ein Sensor (30) angeordnet ist, welcher sich mit der einen Antenne (40) gemeinsam gegenüber der zweiten Antenne (41) in einer sich wiederholenden Drehbewegung relativbewegt,
bei welcher Bewegung dem Sensor (30) ein von der Drehlage (α) des Wellenteils gegenüber dem stationären Abschnitt (10) abhängiger Phasenversatz aufgeprägt wird.

6. Verfahren nach Anspruch 5, wobei der Sensor (30) ein passiver, Oberflächenwellen reflektierender Sensor ist, insbesondere ein SAW-Sensor ist
7. Verfahren nach Anspruch 1 oder 16, wobei mehrere gestaffelt eintreffende Signale von mehreren Reflektoren empfangen werden und aus den gemessenen Phasenwerten jeweils zweier Reflektoren (R_1, \dots, R_4) die Anteile der Phasenschiebung von Dreheinfluß und anderer Belastung (thermisch oder mechanisch) bestimmt werden.
8. Verfahren nach Anspruch 7 oder 5, wobei gleichzeitig über den Sensor (30) mechanische oder thermische Belastungen des Wellenteils (1, 1a) gemessen werden.
9. Verfahren nach Anspruch 8, wobei die Belastungen durch Laufzeitunterschiede der vom Sensor (30) reflektierten Signale bestimmt werden.
10. Verfahren nach Anspruch 5, wobei in einem mit Reflektoren arbeitenden Sensor (30) für einen von mehreren Reflektoren eine Absolutphase des auf der stationären Antennenseite (41) gemessenen Signals aufgezeichnet und mitgeführt wird.
11. Verfahren nach Anspruch 5 oder 10, wobei auf den Antennen (40,41) als Ringantennen eine stehende Welle mit einer ganzzahligen Anzahl (P) von Schwingungsperioden ausgebildet wird.
12. Verfahren nach Anspruch 10 und 11, wobei die Absolutphase über die Anzahl der Schwingungsperioden in einem Lagewert (α) für den Wellenteil (1, 1a) gegenüber dem stationären Abschnitt (10) umgerechnet wird.
13. Verfahren nach Anspruch 5 oder 7, wobei eine Kalibrierung der Absolutphase erfolgt, insbesondere über eine Nutzung einer winkelabhängigen Übertragungs-Charakteristik der Antennen (40,41), wobei zumindest eine der Antennen an einer Position eine Unsymmetrie aufweist.
14. Verfahren nach Anspruch 13, wobei die Unsymmetrie ein Signal-Übertragungseinbruch ist.

15. Verfahren nach Anspruch 13, wobei die Unsymmetrie eine leichte Fehlanpassung zumindest einer der Antennen (40,41) ist.

16. **Verfahren** zur Bestimmung eines Drehzustandes (Drehlage, Geschwindigkeit oder Drehrichtung eines Wellenteils (1,1a) gegenüber einem Lagerbauteil (10;10a,10b), insbesondere einem Wälzlager oder einem Lagergehäuse,

bei welchem Verfahren der Wellenteil einem Sensor (30) mit einer ersten Antenne (31,40) trägt, welche gegenüber einer zweiten, stationären Antenne (A1,A2;41) periodisch wiederkehrend verdreht wird,

und wobei ein Phaseneinfluß auf ein von dem Sensor (30) reflektiertes Signal zur Bestimmung des Drehzustandes des Wellenteils auf der Seite der stationären Sendeantenne ausgewertet wird.

17. Verfahren nach Anspruch 16, wobei das Sendesignal vom Sensor (30) zeitverzögert als reflektiertes Signal über die Antennenkopplung (A1,A2;41,40,31) zurückgeworfen wird.

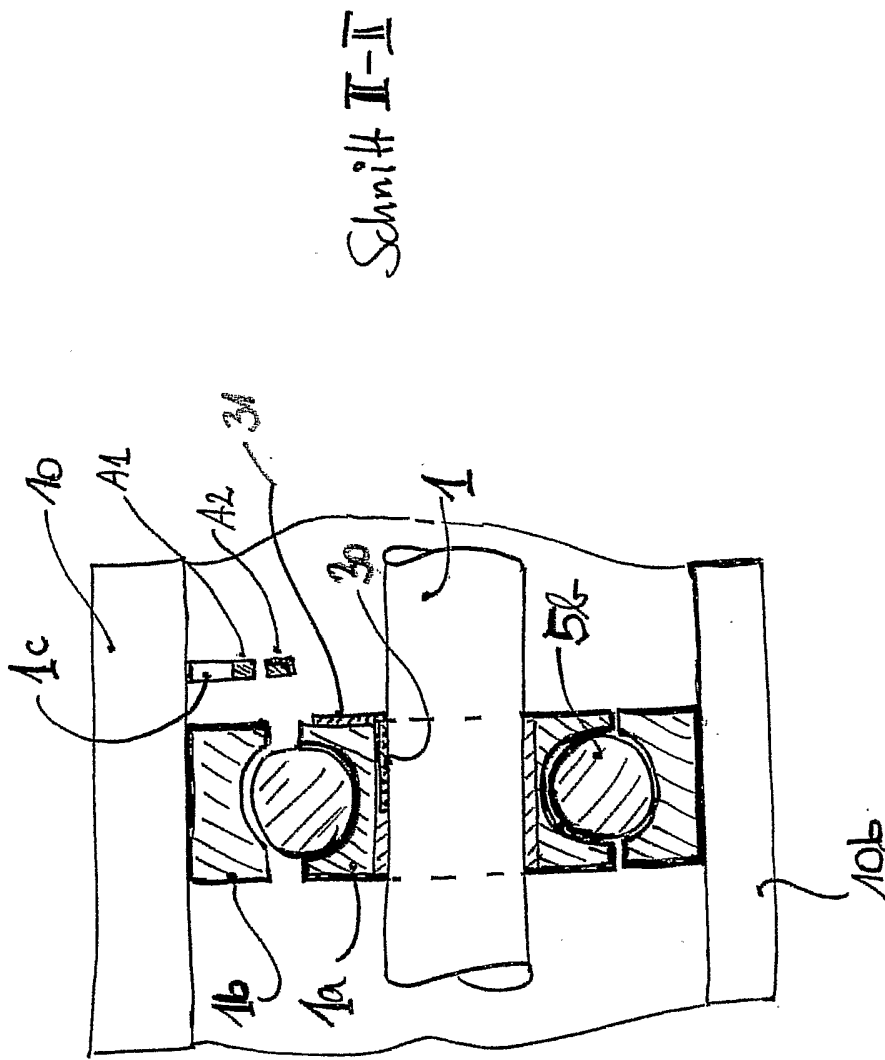
18. Verfahren nach Anspruch 16, wobei mehrere, phasenversetzte Signale für jeden Sendepuls empfangen werden, die auf Dreheinfluß und anderen Einfluß untersucht werden.

19. Verfahren nach Anspruch 18, wobei die Phasenwerte von Signalen zweier Reflektoren (R1,R2;R2,R3;R1,R4) verglichen und ausgewertet werden.

20. **Verfahren** zur Messung von Drehzuständen, insbesondere auch mechanischen Belastungen oder Beanspruchungen eines rotierenden Teils (1,1a), das gegenüber einem stationären Teil, insbesondere einem metallischen Gehäuse (10;10a,10b) für ein Lager, drehbar ist,
- wobei der rotierende Teil (1,1a) einen Sensor (30) trägt, der elektromagnetische Wellen reflektiert und seine Eigenschaft aufgrund der Beanspruchung oder Belastung des rotierenden Teils (1,1a) meßbar verändern kann,
- wobei zumindest eine - bevorzugt zwei - reflektierte Signale des Sensors (30) empfangende Antennen (A1;A2) relativ zum Sensor undrehbar und zueinander beabstandet (α_1) am stationären Teil (10) angeordnet sind;
- diese zumindest eine Antenne elektrische Empfangssignale (a1,a2) abgibt, welche einer Auswerteelektronik (21) zugeführt werden;
- wobei eine Phasenänderung durch einen räumlichen Versatz des Sensors (30) gegenüber der zumindest einen Antenne (A1,A2) zur Bestimmung einer den Drehzustand des rotierenden Teils (1,1a) kennzeichnenden Größe ausgewertet wird.
21. Verfahren nach Anspruch 20, wobei der Sensor fest auf dem rotierenden Teil (1,1a) aufgebracht wird und sich mit diesem meßbar verformt.
22. Verfahren nach Anspruch 20, wobei das rotierende Teil (1,1a) im Gehäuse (10) drehbar gelagert ist, insbesondere als eine Welle (1) auf einem Wälzlager (5) in dem Lagergehäuse.
23. Verfahren nach Anspruch 20, wobei die Belastung oder Beanspruchung des rotierenden Teils
- (i) über die mechanische Verformung des Sensors (30) entweder aus dem einen Empfangssignal oder dem anderen Empfangssignal bestimmt wird; oder
 - (ii) aus einer Zusammenlegung der beiden Empfangssignale ermittelt wird.
24. Verfahren nach Anspruch 20, wobei die beiden Antennen (A1,A2) so beabstandet, insbesondere umfänglich versetzt (α_1) angeordnet sind, daß aufgrund reflektierter Signale des Sensors (30) ein erstes Empfangssignal (a1) von der einen Antenne (A1) ansteigt, wenn ein zweites Empfangssignal (a2) von der zweiten Antenne (A2) abfällt.

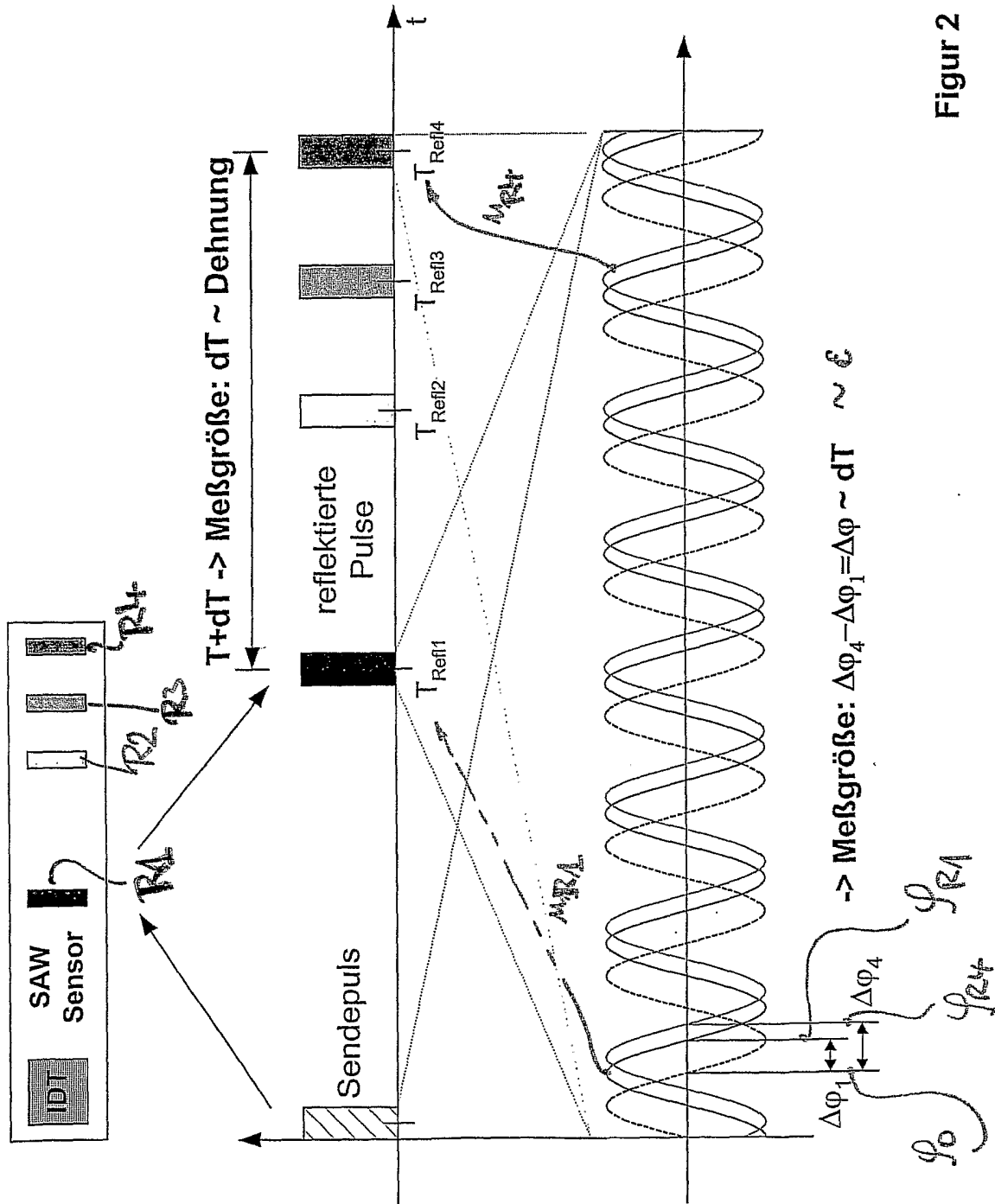
25. Verfahren nach Anspruch 20, wobei der Sensor (30) ein passiver Sensor ist, der elektromagnetische Wellen aufnimmt, durch eine Laufzeit verzögert und reflektiert, insbesondere ein SAW-Sensor zur Reflektion von Oberflächenwellen, die von zumindest einer der Antennen (A1,A2) insbesondere als ein Puls hoher Frequenzanteile eingestrahlt werden.
26. Verfahren nach Anspruch 25, wobei der Sensor mehrere Reflektorstellen aufweist, die auf dem Sensor (30) beabstandet angeordnet sind und einen einfallenden Hochfrequenz-Puls nacheinander reflektieren, um durch zumindest eine Laufzeit der Welle zwischen einer der Reflektionsstellen und der Umsetzstelle ein belastungs-abhängiges oder temperatur-abhängiges reflektiertes Signal zu erhalten, welches es über eine Phasenmessung ermöglicht, Aufschluß über die Beanspruchung des drehbaren Teils (1) zu erhalten.
27. Verfahren nach Anspruch 20, wobei die Messung während eines Drehens (ω) des drehbaren Teils (1) erfolgt.
28. Verfahren nach Anspruch 20, wobei **nur eine** Auswerteelektronik (21) für beide Empfangssignale der beiden Antennen (A1,A2) vorgesehen ist.
29. Verfahren nach Anspruch 20, wobei ein thermischer Einfluß auf den Sensor (30) gemessen wird, welcher eine gleiche thermische Belastung oder Beanspruchung des rotierenden Teils (1) repräsentiert.
30. Verfahren nach Anspruch 20, wobei eine mechanische Belastung oder Beanspruchung des drehbaren Teils (1,1a) gemessen wird, als Folge einer mechanischen Veränderung, wie Dehnung oder Stauchung des Sensors (30).
31. Verfahren nach Anspruch 20, wobei das elektromagnetische Signal ein gepulstes Hochfrequenzsignal ist.
32. Verfahren nach Anspruch 16 oder 20, wobei der räumliche Versatz sich durch eine drehende Relativbewegung des Sensors (30) gegenüber zumindest einer der stationären Antennen (A1,A2) auf der Seite des stationären Teils (10;10a,10b) meßbar ändert.
33. Verfahren nach Anspruch 16 oder 20, wobei sich über eine volle Umdrehung ein im wesentlichen konstantes Phasenverlaufsprofil ergibt.

34. Verfahren nach Anspruch 33, 20 oder 16, wobei eine Zeitmessung zwischen zwei wiederkehrenden Phasenzuständen im Phasen-Verlaufsprofil zu einer Drehzahlbestimmung (ω) verwendet wird.
35. Verfahren nach Anspruch 34 oder 20 oder 16, wobei
ein **erster Phasenzustand** gemessen wird;
nach einer Drehung des Wellenteils (1,1a) ein **weiterer Phasenzustand** gemessen wird;
letztere Messung solange wiederholt wird, bis ein dem ersten Phasenzustand im wesentliche entsprechender Wert gemessen wird;
eine Zeitspanne zwischen dem Auftreten des ersten Phasenzustands und dem Auftreten des im wesentlichen entsprechenden Werts bestimmt wird;
mit einer Inversen der Zeitspanne eine Momentandrehzahl (ω) des Wellenteils (1,1a) berechnet wird.
36. Verfahren nach Anspruch 20 oder 16, wobei eine Abstandsveränderung als räumlicher Versatz zwischen den Antennen (A1,A2;31) des Sensors (30) und des Wellenteils (1a,1) erfolgt.
37. Verfahren nach Anspruch 16 oder 20, wobei ein Anteil der Phasenänderung, der durch eine thermische und/oder eine mechanische Beanspruchung des Wellenteils entsteht herausgerechnet wird, insbesondere subtrahiert wird, bevor aus der verbleibenden Phasenänderung die den Drehzustand kennzeichnende Größe berechnet wird.
38. Verfahren nach Anspruch 20 oder 16, wobei **der Drehzustand** eine Lage, eine Drehzahl oder eine Drehrichtung ist, jedoch keine thermische und keine mechanische Beanspruchung.



Schnitt II-II

Fig. 1a



Figur 2

Fig. 4a

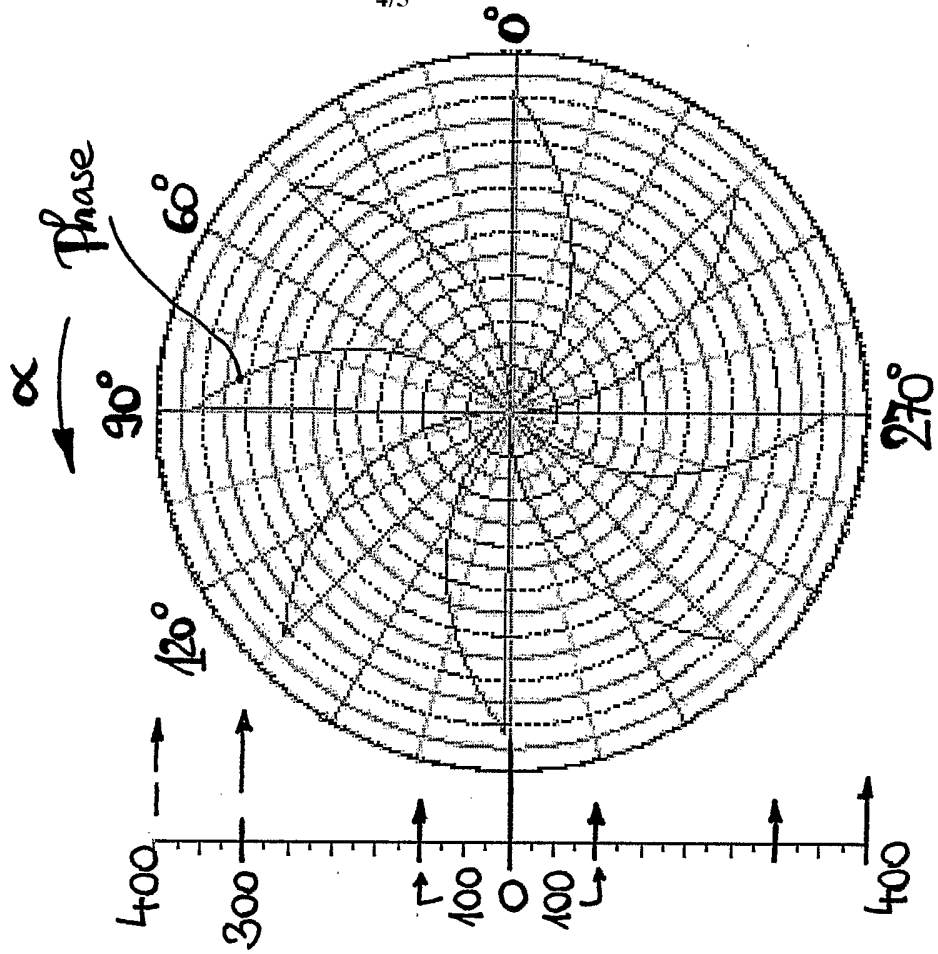
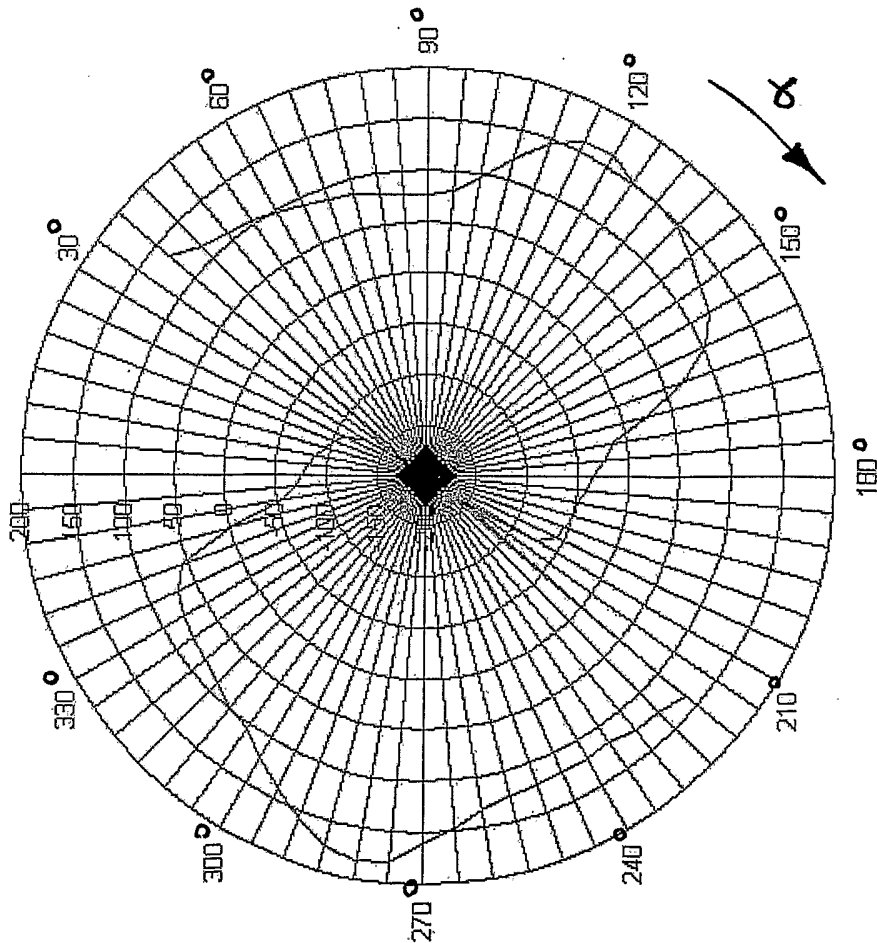


Fig. 3

360°
10°



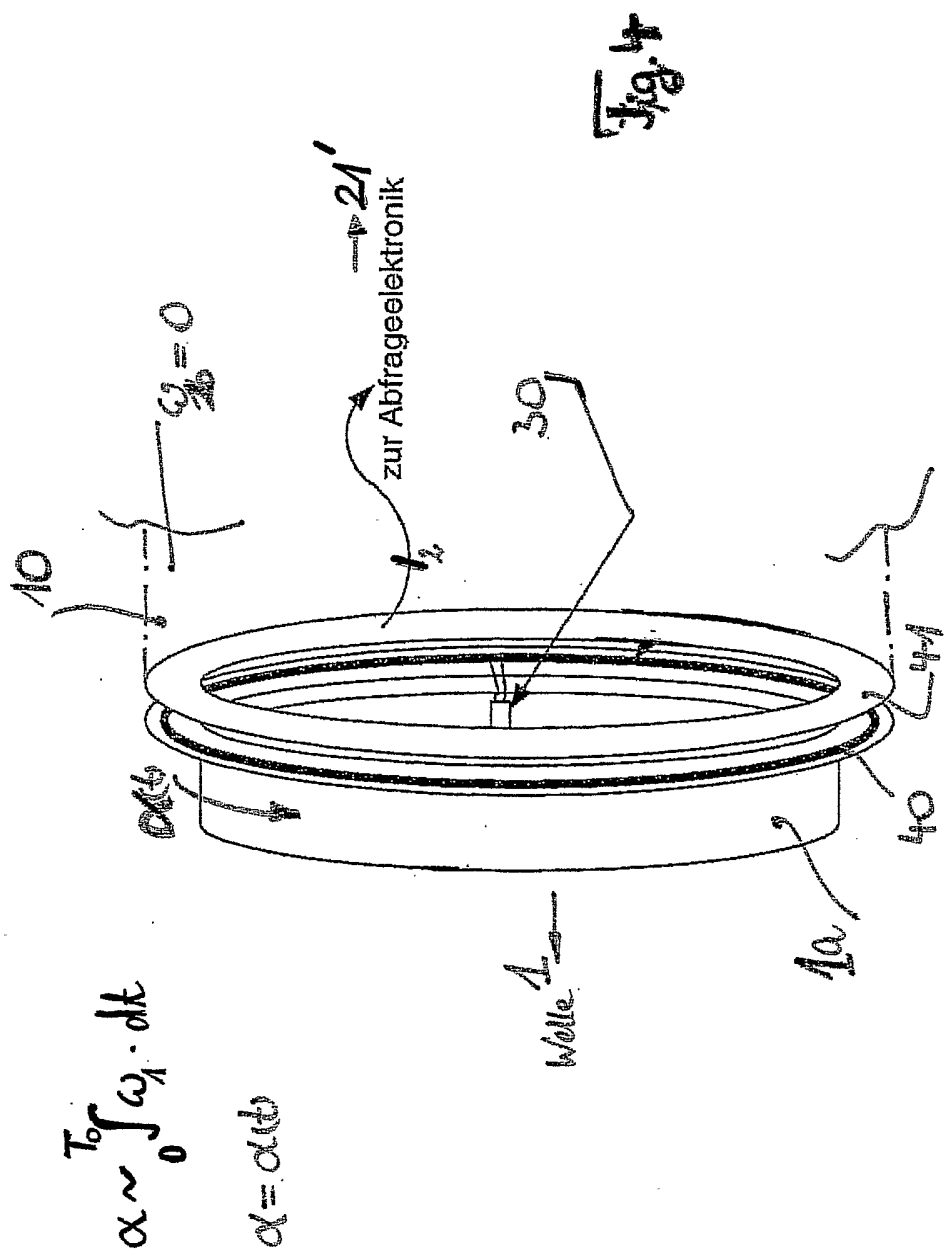


Fig. 4