

(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  
13. Februar 2020 (13.02.2020)



(10) Internationale Veröffentlichungsnummer  
**WO 2020/030337 A1**

(51) Internationale Patentklassifikation:  
G01D 3/032 (2006.01) G01D 5/20 (2006.01)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2019/065767

(22) Internationales Anmeldedatum:  
14. Juni 2019 (14.06.2019)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:  
10 2018 213 414.6  
09. August 2018 (09.08.2018) DE

(71) Anmelder: ROBERT BOSCH GMBH [DE/DE]; Postfach 30 02 20, 70442 Stuttgart (DE).

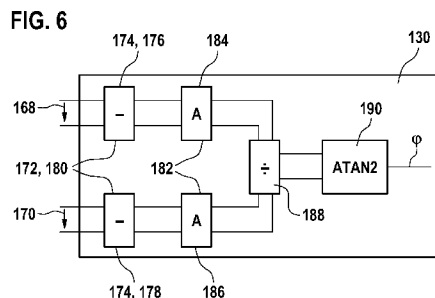
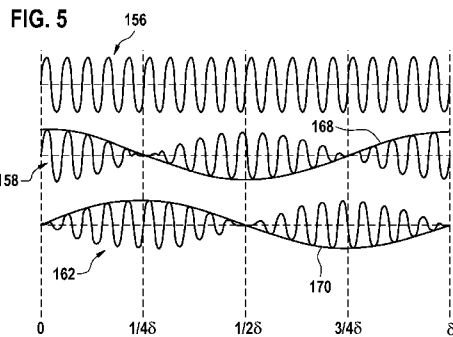
(72) Erfinder: UTERMÖEHLEN, Fabian; Liebigstrasse 5, 59557 Lippstadt (DE).

(81) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare nationale Schutzrechtsart): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

(84) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare regionale Schutzrechtsart): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST,

(54) Title: SENSOR SYSTEM FOR DETERMINING AT LEAST ONE ROTATION CHARACTERISTIC OF A ROTATING ELEMENT

(54) Bezeichnung: SENSORSYSTEM ZUR BESTIMMUNG MINDESTENS EINER ROTATIONSEIGENSCHAFT EINES ROTIERENDEN ELEMENTS



(57) Abstract: A sensor system (110) for determining at least one rotation characteristic of an element (114) rotating about at least one axis of rotation (112) is proposed. The sensor system (110) has at least one inductive position sensor (124) and at least one evaluation unit (130). The inductive position sensor (124) comprises: - at least one circuit carrier (132); - at least one coil arrangement (134) which is arranged on the circuit carrier (132), wherein the coil arrangement (134) comprises at least one excitation coil (136) and at least two receiver coils (138); - at least one application-specific integrated circuit (ASIC) (140) which is configured to provide an excitation signal (156) for the excitation coil (136), wherein the application-specific integrated circuit (140) is configured to process signals (158, 162) generated by the receiver coils (138) and to make said signals available to the evaluation unit (130) as output signals (168, 170). The evaluation unit (130) has at least one subtractor (172) which is configured to subtract at least one offset (174) from the output signals from the application-specific integrated circuit (140). The evaluation unit (130) has at least one amplifier (182) which is configured to normalize the output signals (168, 170) from the application-specific integrated circuit (140). The evaluation unit (130) has at least one divider (188) which is configured to determine at least one quotient signal from the output signals (168, 170) from the application-specific integrated circuit (140). The evaluation unit (130) has at least one arctan function unit (190) which is configured to determine the rotation characteristic of the element (114) rotating about the axis of rotation (112) by determining an arctangent of the quotient signal.

(57) Zusammenfassung: Es wird Sensorsystem (110) zur Bestimmung mindestens einer Rotationseigenschaft eines um mindestens eine Rotationsachse (112) rotierenden Elements (114) vorgeschlagen. Das Sensorsystem (110) weist mindestens einen induktiven Positionssensor (124) und mindestens

WO 2020/030337 A1

SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), europäisches (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

**Veröffentlicht:**

- mit internationalem Rechenbericht (Artikel 21 Absatz 3)

---

eine Auswerteeinheit (130) auf. Der induktiven Positionssensor (124) umfasst: - mindestens einen Schaltungsträger (132); - mindestens eine Spulenanordnung (134), welche auf dem Schaltungsträger (132) angeordnet ist, wobei die Spulenanordnung (134) mindestens eine Erregerspule (136) und mindestens zwei Empfängerspulen (138) umfasst; - mindestens eine anwendungsspezifische integrierte Schaltung (ASIC) (140), welche eingerichtet ist, um ein Erregersignal (156) für die Erregerspule (136) bereitzustellen, wobei die anwendungsspezifische integrierte Schaltung (140) eingerichtet ist, um von den Empfängerspulen (138) erzeugte Signale (158, 162) zu verarbeiten und als Ausgangssignale (168, 170) an die Auswerteeinheit (130) bereitzustellen. Die Auswerteeinheit (130) weist mindestens einen Subtrahierer (172) auf, welcher eingerichtet ist, um mindestens einen Offset (174) von den Ausgangssignalen der anwendungsspezifischen integrierten Schaltung (140) zu subtrahieren. Die Auswerteeinheit (130) weist mindestens einen Verstärker (182) auf, welcher eingerichtet ist die Ausgangssignale (168, 170) der anwendungsspezifischen integrierten Schaltung (140) zu normalisieren. Die Auswerteeinheit (130) weist mindestens einen Dividierer (188) auf, welcher eingerichtet ist mindestens ein Quotientensignal aus den Ausgangssignalen (168, 170) der anwendungsspezifischen integrierten Schaltung (140) zu bestimmen. Die Auswerteeinheit (130) weist mindestens eine Arkusfunktionseinheit (190) auf, welche eingerichtet ist, um die Rotationseigenschaft des um die Rotationsachse (112) rotierenden Elements (114) durch Bestimmen eines Arkustangens des Quotientensignals zu bestimmen.

5 Beschreibung

Titel

Sensorsystem zur Bestimmung mindestens einer Rotationseigenschaft eines rotierenden Elements

10

Stand der Technik

15

Aus dem Stand der Technik sind zahlreiche Sensoren bekannt, welche mindestens eine Rotationseigenschaft rotierender Elemente erfassen. Beispiele derartiger Sensoren sind in Konrad Reif (Hrsg.): Sensoren im Kraftfahrzeug, 2. Auflage, 2012, Seiten 63-74 und 120-129 beschrieben. Beispielsweise kann eine Lage einer Nockenwelle einer Brennkraftmaschine relativ zu einer Kurbelwelle mit einem so genannten Phasengeber mittels eines Hall-Sensors bestimmt werden.

20

25

Beispielsweise für eine Realisierung einer Traktion in Elektrofahrzeugen werden häufig entweder Asynchronmaschinen oder Synchronmaschinen verwendet, welche jeweils aus einem ortsfesten Stator und einem sich drehenden Rotor bestehen. Der Stator trägt in der Regel drei, beispielsweise um  $120^\circ/p$  zueinander versetzte Wicklungsstränge, wobei  $p$  eine Anzahl von Polpaaren repräsentiert. Bei Asynchronmaschinen besteht der Rotor üblicherweise aus an Enden ringförmig kurzgeschlossenen elektrisch leitfähigen Stäben. Bei einer Drehung eines Rotorfeldes kann so in den Stäben eine Spannung induziert werden, welche einen Stromfluss hervorruft, welcher wiederum ein Gegenmagnetfeld aufbaut und es zu einer rotatorischen Bewegung kommt. Die induzierte Spannung ist Null, wenn sich Rotorfeld und Stator gleich schnell drehen. Es stellt sich eine Drehzahldifferenz ein, welche als Schlupf bezeichnet wird und welche das Moment des Motors definiert. Bei Synchronmaschinen umfasst der Rotor einen Läufer, welcher eine Erregerspule trägt, in welchem ein Gleichstrom fließt und ein statisches Magnetfeld erzeugt. Alternativ dazu kann ein Permanentmagnet als Rotor verwendet werden. Es handelt sich dann um

30

35

eine permanent erregte Synchronmaschine, welche aufgrund der leistungslosen Erregung einen höheren Wirkungsgrad aufweist und so für Traktionsanwendungen geeigneter sein kann. Eine Drehzahl des Rotors kann prinzipbedingt identisch zur Drehzahl eines Erregerfelds sein. Das Drehmoment kann von einem Phasenversatz, also einer Winkeldifferenz zwischen Statorfeld und Rotor, abhängen. Zur Regelung des Moments, Ansteuerung eines Inverters und entsprechender Bereitstellung von Statorspulensignalen muss für Asynchronmaschinen die Drehzahl des Rotors und für Synchronmaschinen eine Absolutwinkelstellung des Rotors bekannt sein.

Um diese Größen zu ermitteln ist es bekannt sogenannte Resolver zu verwenden. Bei diesem handelt es sich um einen elektromagnetischen Messumformer, bei dem ein Rotorpaket drehzahlfest auf der Welle des Motors montiert ist. Kreisringförmig umlaufend sind auf einem Stator eine Erregerspule sowie mehrere Empfängerspulen montiert. Die Erregerspule wird mit einem Wechselfeld beaufschlagt und durchsetzt die gesamte Anordnung mit einem elektromagnetischen Wechselfeld. Drehwinkelabhängig kann in einer ersten Empfängerspule eine sinusförmig amplitudenmodulierte Spannung induziert während in einer zweiten Empfängerspule eine cosinusförmig amplitudenmodulierte Spannung induziert wird. Die Bereitstellung des Erregersignals sowie das Auslesen der Signale kann innerhalb der Leistungselektronik bzw. dedizierten Bausteinen innerhalb eines Steuergerätes zur Motorregelung realisiert werden. Ein Resolver ist eine rein passive Komponente und sämtliche Signalverarbeitung kann im Steuergerät, bzw. der Leistungselektronik, realisiert werden, so dass höchste Anforderungen an die funktionale Sicherheit gemäß ISO 26262 erfüllt werden können. Resolver benötigen jedoch relativ viel Bauraum, erfordern eine komplexe Signalbereitstellung und -aufbereitung und müssen mit sehr geringen mechanischen Toleranzen montiert werden, um eine ausreichend hohe Genauigkeit zu erreichen. Aus diesen genannten Gründen können Systemkosten entsprechend hoch sein. Weiterhin kann es aus Platzgründen nicht möglich sein auf den Stator des Resolvers ein redundantes Empfangsspulensystem zu montieren, um eine Verfügbarkeit des Sensors zu erhöhen. So kann ein Ausfall des Sensors zum „Liegenbleiben“ des Fahrzeugs führen. Neben elektromagnetischen Resolvieren sind auch optische Resolver bekannt, beispielsweise aus DE 10 2013 203 937. Optische Resolver bedingen jedoch

neben hohen Kosten eine Prinzip-bedingte Querempfindlichkeit gegenüber Verschmutzung und sind demzufolge nicht in jedem Umfeld einsetzbar.

5 Weiter bekannt, beispielsweise aus DE 10 2014 220 458 A1, sind induktive Absolutwinkelsensoren auf Basis von verteilten Planarspulen, deren Induktivität sich in Folge eines elektrisch leitfähigen Targets auf Grund des  
10 Wirbelstromeffektes verringert. DE 10 2014 220 458 A1 beschreibt ein rotierendes Bauteil, welches mit einem scheibenförmigen Target gekoppelt ist, welches mindestens eine Metallfläche aufweist und in Verbindung mit einer Spulenanordnung, welche mindestens eine flächige Detektionsspule aufweist, eine Information zur Ermittlung des aktuellen Drehwinkels des rotierenden Bauteil erzeugt. Häufig werden die Spulen dazu in einem Schwingkreis  
15 verschaltet, dessen Resonanzfrequenz sich drehwinkelabhängig verändert. Derartige Sensoren können jedoch eine hohe Querempfindlichkeit gegenüber mechanischen Einbautoleranzen, vor allem bei einer Verkippung des Targets, sowie ein mögliches Locking der Frequenzen auf Störungen von außen, ein sogenanntes Injection Locking, aufweisen, da üblicherweise mit Frequenzen im Bereich von einigen MHz gearbeitet wird.

20 Weiter bekannt, beispielsweise aus EP 0 909 955 B1, sind induktive Absolutwinkelsensoren auf Basis gekoppelter Spulen. Diese bestehen aus mindestens zwei auf einer Leiterplatte integrierten Empfangsspulen sowie einer umlaufenden Erregerspule. Die Erregerspule kann mit einem Wechselfeldspannungssignal mit einer Frequenz zwischen 1 MHz und 10 MHz  
25 beaufschlagt werden und erzeugt ein elektromagnetisches Wechselfeld, welches in den Empfangsspulen Spannungen induziert. Durch Überstreichen mit einer elektrisch leitfähigen Targetstruktur kann die Kopplung zwischen der Sendespule und den Empfangsspulen drehwinkelabhängig beeinflusst werden. Die in EP 0 909 955 B1 beschriebene Ausführungsform kann jedoch eine komplexe  
30 schleifenförmige Targetstruktur aufweisen, welche hohe Fertigungskosten verursacht. Weiterhin können die Unterbrechungen oder Aussparungen im Target vor allem bei hohen Drehzahlen zu einer unerwünschten Geräuschentwicklung führen. Die Auswertung erfolgt in der EP 0 909 955 B1 mit mindestens einer anwendungsspezifische integrierten Schaltung (ASIC). Dies  
35 kann jedoch aus Gründen der funktionalen Sicherheit problematisch sein, da nur

eingeschränkt Diagnosen auf Rohsignalebene bzw. entlang der Signalverarbeitungskette durchgeführt werden können.

5 Weiter sind, beispielsweise aus der EP 0 056 303 A2, magnetfeldbasierte Drehwinkelsensoren zur Rotorlagedetektion bekannt. Dazu wird ein Magnet an einem Rotor angebracht, welcher sich gegenüber einem ortsfest angenommenen Magnetfeldsensor dreht. Beispielsweise kann der Magnet diametral magnetisiert sein, also der Magnet kann zwei entgegengesetzt magnetisierte Bereiche aufweisen, welche jeweils gleich groß sind, beispielsweise jeweils 180° und  
10 symmetrisch bezüglich einer Drehachse angeordnet sind. Die Messung des Magnetfeldvektors erlaubt einen Rückschluss auf den Drehwinkel. Bekannte Ausführungsformen zur Detektion des Magnetfeldvektors basieren beispielsweise auf Hallelementen, wie in der EP 0 056 303 A2 beschrieben, sowie anderen Prinzipien wie Riesenmagnetowiderstand (GMR), magnetischer Tunnelwiderstand (TMR) oder anisotroper magnetoresistiver Effekt (AMR).  
15 Absolut messende Magnetfeldsensoren reagieren jedoch auch auf externe Magnetfelder, welche beispielsweise durch einen Stromfluss von benachbart angeordneten Stromkabeln herrühren. Dies ist zum Beispiel bei elektrischen Maschinen für Traktionsanwendungen der Fall, wo Fremdfelder durch den sich drehenden Rotor der häufig eingesetzten permanent erregten Synchronmaschine  
20 sowie durch die entsprechenden Zuleitungen der Statorspulen auftreten. Die Winkelfehler können von der Stärke des Fremdfeldes und von der Winkelstellung des Sensors abhängen. Methoden, um Fremdfelder zu unterdrücken umfassen differenzielle Messungen mit mehr als einem Magnetfeldsensor und Nutzung eines mehrpoligen magnetischen Targets. Die Winkelgenauigkeit des Sensors  
25 kann sich dadurch entsprechend reduzieren. Weiterhin können derartige Verfahren nur bei geringen bzw. gradientenfreien Störfeldern wirksam sein.

#### Offenbarung der Erfindung

30 Im Rahmen der vorliegenden Erfindung wird daher ein Sensorsystem zur Bestimmung mindestens einer Rotationseigenschaft eines um mindestens eine Rotationsachse rotierenden Elements vorgeschlagen. Unter einem „Sensor“ wird im Rahmen der vorliegenden Erfindung grundsätzlich eine beliebige Vorrichtung  
35 verstanden, welche geeignet ist, mindestens eine Messgröße zu erfassen. Unter einem „System“ wird im Rahmen der vorliegenden Erfindung eine Vorrichtung

umfassend mindestens zwei Komponenten verstanden. Das Sensorsystem umfasst mindestens einen induktiven Positionssensor und mindestens eine Auswerteeinheit. Unter einem induktiven Positionssensor zur Erfassung mindestens einer Rotationseigenschaft wird dementsprechend ein Sensor verstanden, welcher eingerichtet ist, um die mindestens eine

5 Rotationseigenschaft zu erfassen, beispielsweise zu messen, und welche beispielsweise mindestens ein elektrisches Signal entsprechend der erfassten Eigenschaft erzeugen kann, wie beispielsweise eine Spannung oder einen Strom. Auch Kombinationen von Eigenschaften können erfassbar sein. Unter

10 einer „Rotationseigenschaft“ wird im Rahmen der vorliegenden Erfindung grundsätzlich eine Eigenschaft verstanden werden, welche die Rotation des rotierenden Elements zumindest teilweise beschreibt. Hierbei kann es sich beispielsweise um eine Winkelgeschwindigkeit, eine Drehzahl, eine Winkelbeschleunigung, eine Winkelposition oder eine andere Eigenschaft

15 handeln, welche eine kontinuierliche oder diskontinuierliche, gleichförmige oder ungleichförmige Rotation oder Drehung des rotierenden Elements zumindest teilweise charakterisieren kann. Beispielsweise kann es sich bei der Rotationseigenschaft um eine Position, insbesondere eine Winkelposition, eine Drehzahl, eine Winkelbeschleunigung oder um eine Kombination von mindestens

20 zwei dieser Größen handeln. Auch andere Eigenschaften und/oder andere Kombinationen von Eigenschaften können erfassbar sein. Unter einer „Winkelposition“ wird im Rahmen der vorliegenden Erfindung grundsätzlich ein Drehwinkel einer rotationsfähigen Vorrichtung, beispielsweise des rotierenden Elements oder eines Geberrads des Sensorsystems, bezüglich einer senkrecht

25 auf der Rotationsachse stehenden Achse verstanden. Insbesondere kann der induktive Positionssensor ein induktiver Rotorlagesensor oder Rotorpositionssensor sein. Unter einem „induktiven Positionssensor“ kann im Rahmen der vorliegenden Erfindung grundsätzlich ein beliebiger Sensor verstanden werden, der ein Signal entsprechend einer erfassten Eigenschaft

30 erzeugen kann, insbesondere ein Messsignal, insbesondere ein elektrisches Messsignal, beispielsweise eine Spannung oder einen Strom, wobei eine Erzeugung des Messsignals auf einer Änderung eines magnetischen Flusses beruht. Insbesondere kann die erfasste Eigenschaft eine Position, beispielsweise eine Winkelposition umfassen. Insbesondere kann es sich bei dem induktiven

35 Positionssensor um einen induktiven Magnetsensor handeln. Auch andere Ausgestaltungen sind jedoch grundsätzlich möglich.

Das Sensorsystem kann insbesondere zum Einsatz in einem Kraftfahrzeug eingerichtet sein, insbesondere für Traktionsanwendungen für elektrische Maschinen. Unter einem „rotierenden Element“ wird im Rahmen der vorliegenden Erfindung grundsätzlich ein beliebiges Element verstanden, welches um  
5 mindestens eine Achse rotiert. Beispielsweise kann das rotierende Element eine Welle sein, beispielsweise eine Welle in einer Antriebsmaschine, beispielsweise eine Nockenwelle oder eine Kurbelwelle. Beispielsweise kann eine Winkelposition einer Nockenwelle oder eine Drehzahl einer Nockenwelle oder  
10 eine Winkelbeschleunigung einer Nockenwelle oder eine Kombination von mindestens zwei dieser Größen bestimmt werden. Auch andere Eigenschaften und/oder andere Kombinationen von Eigenschaften können erfassbar sein.

Das Sensorsystem kann das mindestens eine mit dem rotierenden Element verbindbares Geberrad aufweisen. Unter einem „Geberrad“ kann im Rahmen der vorliegenden Erfindung grundsätzlich ein beliebiges mit dem rotierenden Element verbindbares Bauelement verstanden werden, das eingerichtet ist, bei  
15 Verbindung mit dem rotierenden Element pro Umdrehung des rotierenden Elements mindestens ein messbares Signal, insbesondere eine Magnetfeldänderung, zu bewirken. Das Geberrad kann beispielsweise permanent oder reversibel mit dem rotierenden Elements verbunden oder  
20 verbindbar sein oder kann auch einstückig mit dem rotierenden Element ausgebildet oder in das rotierende Element integriert sein. Das Geberrad kann ein Geberradprofil aufweisen. Unter einem „Geberradprofil“ kann im Rahmen der vorliegenden Erfindung grundsätzlich eine Gesamtheit von Profilelementen und  
25 von Zwischenräumen, die zwischen den Profilelementen angeordnet sind, verstanden werden. Unter einem „Profilelement“ des Geberrads kann im Rahmen der vorliegenden Erfindung grundsätzlich eine beliebige Ausformung der Kontur des Geberrads verstanden werden, insbesondere eine Ausbuchtung,  
30 beispielsweise eine stiftförmige, eine zahnförmige oder eine zackenförmige Ausbuchtung, oder eine Einkerbung oder eine Aussparung, beispielsweise ein Loch.

Das Geberrad kann rotationssymmetrisch ausgestaltet sein. Das Geberrad kann  
35 eine identische Anzahl an elektrisch leitfähigen Flügeln und elektrisch nicht oder weniger leitfähigen Flügeln und/oder Aussparungen aufweisen. Die elektrisch

leitfähigen Flügel können einen ersten Öffnungswinkel  $\alpha$  und die elektrisch nicht oder weniger leitfähigen Flügeln und/oder die Aussparungen einen zweiten Öffnungswinkel  $\beta$  aufweisen. Eine Summe des ersten und des zweiten Öffnungswinkel kann einem vollen Winkelmessbereich des induktiven Positionssensor entsprechen. Der erste und der zweite Öffnungswinkel können identisch oder verschieden sein. Das Geberrad kann an dem rotierenden Element mittels einer Schraub- und/oder Klebeverbindung befestigt sein.

Das Sensorsystem kann ein einzelnes Geberrad oder auch eine Vielzahl Geberräder umfassen. Insbesondere kann das Sensorsystem zwei Geberräder umfassen. Insbesondere können die mindestens zwei Geberräder bezüglich der Rotationsachse zueinander versetzt angeordnet sein, also beispielsweise mit einem axialen Versatz. Die mindestens zwei Geberräder können gleiche oder insbesondere auch unterschiedliche Geberradprofile aufweisen.

Der induktive Positionssensor umfasst:

- mindestens einen Schaltungsträger;
- mindestens eine Spulenanordnung, welche auf dem Schaltungsträger angeordnet ist, wobei die Spulenanordnung mindestens eine Erregerspule und mindestens zwei Empfängerspulen umfasst;
- mindestens eine anwendungsspezifische integrierte Schaltung (ASIC), welche eingerichtet ist, um ein Erregersignal für die Erregerspule bereitzustellen, wobei die anwendungsspezifische integrierte Schaltung eingerichtet ist, um von den Empfängerspulen erzeugte Signale zu verarbeiten und als Ausgangssignale an die Auswerteeinheit bereitzustellen.

Unter einem „Schaltungsträger“ kann eine Vorrichtung verstanden werden, auf welcher mindestens ein elektrisches Bauelement angeordnet werden kann. Der Schaltungsträger kann flexibel ausgestaltet sein. Insbesondere kann der Schaltungsträger ein flexibles Material umfassen. Der Schaltungsträger kann insbesondere ausgewählt sein aus der Gruppe bestehend aus: einer Leiterplatte, insbesondere einer Starrflex-Leiterplatte, beispielsweise einer gebogenen Starrflex-Leiterplatte; einer starren Leiterplatte, insbesondere einer starren Leiterplatte mit Einkerbungen; einer Leiterkarte; einer Platine und einer gedruckten Schaltung, insbesondere einem „printed circuit board“ (PCB).

Der Schaltungsträger kann im Wesentlichen koaxial zu der Rotationsachse angeordnet sein. Der Schaltungsträger kann beispielsweise das Geberrad oder ein Kreissegment des Geberrads im Wesentlichen kreisförmig oder kreissegmentförmig umgeben. Unter dem Begriff „im Wesentlichen kreisförmig“ wird im Rahmen der vorliegenden Erfindung grundsätzlich verstanden, dass das beschriebene Bauelement einen Krümmungsradius aufweist. Der Krümmungsradius kann innerhalb des Bauelements um einen Wert von 0 % bis 80 %, bevorzugt von 0 % bis 50 %, mehr bevorzugt von 0 % bis 20 % und besonders bevorzugt von 0 % bis 5 % variieren. Insbesondere kann der Krümmungsradius auch konstant sein. Alternativ oder zusätzlich kann der Schaltungsträger auch aus zwei oder mehr Segmenten zusammengesetzt sein, welche beispielsweise jeweils eben oder auch gekrümmt ausgestaltet sein können und welche beispielsweise miteinander verbunden sein können. Die Segmente können insgesamt dann ebenfalls koaxial zur Rotationsachse angeordnet sein, auch wenn die einzelnen Segmente dann beispielsweise tangential angeordnet sind. Weiterhin kann der Schaltungsträger in einem Gehäuse, insbesondere in einem Spritzgussgehäuse, angeordnet sein.

Unter einer „Spulenordnung“ kann im Rahmen der vorliegenden Erfindung grundsätzlich eine beliebige Vorrichtung verstanden werden, die mindestens eine Spule umfasst. Unter einer „Spule“ wird im Rahmen der vorliegenden Erfindung grundsätzlich ein beliebiges Bauelement verstanden, welches eine Induktivität aufweist und geeignet ist, bei Stromfluss ein Magnetfeld zu erzeugen und/oder umgekehrt. Beispielsweise kann eine Spule mindestens eine vollständige oder teilweise geschlossene Leiterschleife oder Windung umfassen. Unter einer „Erregerspule“ kann im Rahmen der vorliegenden Erfindung grundsätzlich eine Spule verstanden werden, welche bei Anlegen einer elektrischen Spannung und/oder eines elektrischen Stroms einen magnetischen Fluss erzeugt. Die Erregerspule kann mindestens eine Erregerwindung aufweisen. Unter einer „Empfängerspule“ wird im Rahmen der vorliegenden Erfindung grundsätzlich eine Spule verstanden, welche eingerichtet ist, aufgrund einer induktiven Kopplung zwischen Erregerspule und Empfängerspule ein Signal zu erzeugen, welches abhängig ist von der induktiven Kopplung. Beispielsweise kann die Spulenordnung ein Empfängerspulensystem aufweisen. Unter einem „Empfängerspulensystem“ kann im Rahmen der vorliegenden Erfindung

grundsätzlich eine beliebige Vorrichtung verstanden werden, welche mindestens zwei, bevorzugt mindestens drei, Empfängerspulen umfasst.

Die Erregerspule kann im Wesentlichen kreisförmig ausgestaltet sein.

5 Hinsichtlich des Begriffs „im Wesentlichen kreisförmig“ wird auf obige Definition verwiesen. Die Erregerspule und die Empfängerspulen können, wie in DE 10 2017 210 655.7, eingereicht am 23.06.2017, beschrieben, ausgestaltet sein. Die Empfängerspulen können die Rotationsachse in einer Umfangsrichtung im Wesentlichen vollständig umlaufen, wobei jede Empfängerspule durch eine

10 Mehrzahl benachbarter Teilwindungen gebildet ist, wobei benachbarte Teilwindungen bezüglich der Stromlaufrichtung gegensätzlich orientiert sind. Dabei ist jede Teilwindung bezüglich einer radialen Richtung, die sich von der Rotationsachse nach außen erstreckt, gebildet aus Abschnitten von wenigstens zwei nach links gekrümmten kreisbogenförmigen Leiterbahnen und aus

15 Abschnitten von wenigstens zwei nach rechts gekrümmten kreisbogenförmigen Leiterbahnen. Alle linksgekrümmten und alle rechtsgekrümmten Leiterbahnen weisen denselben Krümmungsradius auf. Alle linksgekrümmten Leiterbahnen und alle rechtsgekrümmten Leiterbahnen erstrecken sich zwischen zwei konzentrischen Kreisen um die Rotationsachse, einem ersten Kreis mit einem

20 ersten Radius und einem zweiten Kreis mit einem zweiten Radius, wobei ein dritter Kreis gegeben ist, der konzentrisch zum ersten Kreis gelegen ist und einen dritten Radius aufweist, der sich aus dem Mittelwert des ersten Radius und des zweiten Radius ergibt, wobei eine erste rechtsgekrümmte Leiterbahn durch drei Punkte verläuft: durch einen ersten Punkt, der auf dem ersten Kreis liegt; durch

25 einen zweiten Punkt, der auf dem dritten Kreis liegt und in Umfangsrichtung um ein Viertel des Messbereichs gegenüber dem ersten Punkt verdreht ist; und durch einen dritten Punkt, der auf dem zweiten Kreis liegt und in Umfangsrichtung um die Hälfte des Messbereichs gegenüber dem ersten Punkt verdreht ist. Die weiteren rechtsgekrümmten Leiterbahnen ergeben sich aus der

30 vorfolgenden rechtsgekrümmten Leiterbahn durch eine Drehung um die Drehachse um die Hälfte des Messbereichs in Umfangsrichtung. Die linksgekrümmten Leiterbahnen ergeben sich durch Spiegelungen der rechtsgekrümmten Leiterbahnen jeweils an einer Radiallinie, die sich von der Drehachse durch den Schnittpunkt der jeweiligen rechtsgekrümmten Leiterbahn mit dem dritten Kreis erstreckt. Eine Teilwindung einer Empfängerspule kann

35 dabei als ein Teil der Empfängerspule definiert sein, der von Leiterbahnen der

Empfängerspule umgeben ist, die sich nicht gegenseitig schneiden. Die Orientierung einer Teilwindung bestimmt sich über einen Stromfluss durch die Empfängerspule. Gegenläufig orientierte Teilwindungen weisen bei einem Stromfluss durch die Empfängerspule jeweils gegenläufig Stromflüsse auf, d.h. bei einer Teilwindung mit einer ersten Orientierung läuft der Strom im Uhrzeigersinn bzw. nach rechts durch die Teilwindung, bei einer Teilwindung mit einer zweiten, gegenläufigen Orientierung läuft der Strom gegen den Uhrzeigersinn bzw. nach links durch die Teilwindung. Eine Teilwindung kann lediglich beispielhaft wie eine Raute mit gekrümmten Seitenflächen aufgebaut sein. Die vier Seitenflächen einer solchen Raute können z.B. durch je zwei Teilstücke zweier linksgekrümmten Leiterbahnen und zweier rechtsgekrümmter Leiterbahnen ausgebildet sein. Beispielsweise kann dabei die Stromlaufrichtung in wenigstens zwei Abschnitten der linksgekrümmten Leiterbahnen, die eine Teilwindung bilden, einander entgegengesetzt sein. Ebenso kann die Stromlaufrichtung in wenigstens zwei Abschnitten der rechtsgekrümmten Leiterbahnen, die eine Teilwindung bilden, einander entgegengesetzt sein. Der Aufbau der Teilwindungen ist dabei so zu verstehen, dass eine gedachte gerade Linie, die von der Rotationsachse ausgeht und in radialer Richtung verläuft, eine nach links und eine nach rechts gekrümmte kreisbogenförmige Leiterbahn der Empfängerspule schneidet, wenn die gerade Linie durch das Innere der Empfängerspule verläuft. Auf diese Weise kann z.B. auch erreicht werden, dass die Amplitude der in der Empfängerspule induzierten Wechselspannung bzw. das Messsignal im Wesentlichen als Sinusfunktion von dem Drehwinkel abhängt.

Der induktive Positionssensor kann eine Anzahl von  $n$  Empfängerspulen umfassen, wobei  $n$  eine positive ganze Zahl ist. Die generierten sinusförmigen Signale der  $n$  Empfängerspulen können gegeneinander phasenversetzt sein. Beispielsweise können benachbarte sinusförmige Signale einen Phasenabstand von  $2\pi/(2n)$  und/oder  $360^\circ/(2n)$  für  $n=2$  aufweisen. Weiterhin können beispielsweise benachbarte sinusförmige Signale einen Phasenabstand von  $2\pi/(n)$  und/oder  $360^\circ/(n)$  für  $n \geq 3$  aufweisen. Insbesondere können benachbarte sinusförmige Signale von genau zwei Empfängerspulen einen Phasenabstand von  $90^\circ$  aufweisen. Insbesondere können benachbarte sinusförmige Signale von genau drei Empfängerspulen einen Phasenabstand von  $120^\circ$  aufweisen.

Unter einer „anwendungsspezifischen integrierten Schaltung“ (ASIC) kann eine grundsätzlich beliebige elektronische Schaltung verstanden werden, welche als integrierter Schaltkreis realisiert wurde. Insbesondere ist die anwendungsspezifische integrierte Schaltung auf dem Schaltungsträger angeordnet. Die anwendungsspezifische integrierte Schaltung kann auf dem Schaltungsträger angeordnet sein und an genau eine Erregerspule und mindestens zwei Empfängerspulen angeschlossen sein. Die anwendungsspezifische integrierte Schaltung ist eingerichtet, um ein Erregersignal für die Erregerspule bereitzustellen. Unter ein „Erregersignal bereitzustellen“ kann verstanden werden, dass die anwendungsspezifische integrierte Schaltung eingerichtet ist das Erregersignal zu erzeugen und/oder dass die anwendungsspezifische integrierte Schaltung eingerichtet ist die Erregerspule mit dem Erregersignal zu beaufschlagen. Unter einem „Erregersignal“ kann im Rahmen der vorliegenden Erfindung ein elektrisches Signal verstanden werden, insbesondere mindestens eine Wechselspannung und/oder mindestens ein Wechselstrom. Das Erregersignal kann ein im Wesentlichen sinusförmiges Erregersignal sein. Unter „sinusförmig“ wird im Rahmen der vorliegenden Erfindung grundsätzlich eine beliebige Form verstanden, welche einen Verlauf einer Sinuskurve aufweist. Beispielsweise kann ein Verlauf einer vollständigen Sinuskurve umfasst sein oder lediglich ein Teil einer Sinuskurve. Unter „im Wesentlichen sinusförmig“ können Ausführungsformen verstanden werden mit einem vollständig sinusförmigen Verlauf, wobei Abweichungen denkbar sind, welche nicht mehr als 20 %, insbesondere nicht mehr als 10 % oder sogar nicht mehr als 5 % von dem absoluten Wert der Sinusform betragen. Unter einer „vollständigen Sinuskurve“ kann dabei insbesondere ein Verlauf einer Sinuskurve verstanden werden, welcher mindestens eine Periode umfasst. Hierbei kann die Sinuskurve im Nullpunkt oder einem beliebigen anderen Punkt der Sinuskurve beginnen. Die Sinusform kann beispielsweise auch abschnittsweise aus anderen Funktionen zusammengesetzt werden, so dass sich insgesamt eine näherungsweise Sinusform ergibt. Das Erregersignal kann eine Amplitude im Bereich von 0,1 V bis 10 V, bevorzugt von 5 V, aufweisen. Das Erregersignal kann eine Frequenz im Bereich von 1 MHz bis 10 MHz, bevorzugt 3,5 MHz aufweisen. Die anwendungsspezifische integrierte Schaltung kann mindestens eine Oszillatorschaltung aufweisen. Die Oszillatorschaltung kann beispielsweise einen LC Oszillator treiben, bei welchem die Erregerspule und ein Kondensator als

5 frequenzbestimmende Elemente wirken. Durch die Beaufschlagung der Erregerspule mit dem Erregersignal kann ein elektromagnetisches Wechselfeld entstehen, welches in die Empfängerspulen koppelt und dort beispielsweise entsprechende Wechselspannungen und/oder Wechselströme induziert. Der induktive Positionssensor kann eingerichtet sein, um eine induktive Kopplung und/oder eine Änderung einer induktiven Kopplung zwischen der Erregerspule und der mindestens einen Empfängerspule zu erfassen. Die Erregerspule kann eingerichtet sein, um in Antwort auf die Beaufschlagung mit dem Erregersignal ein elektromagnetisches Wechselfeld zu erzeugen. Die Erregerspule und die 10 Empfängerspulen können derart gekoppelt sein, dass das elektromagnetische Wechselfeld in den Empfängerspulen eine Wechselspannung induziert. Die Empfängerspulen können derart angeordnet sein, dass die Empfängerspulen bei einer Rotation des rotierenden Elements mit konstanter Winkelgeschwindigkeit um die Rotationsachse drehwinkelabhängige Signale generieren.

15 Die anwendungsspezifische integrierte Schaltung ist eingerichtet, um von den Empfängerspulen erzeugte Signale zu verarbeiten und als Ausgangssignale, an die Auswerteeinheit, bereitzustellen. Unter „Verarbeiten“ kann grundsätzlich eine beliebige Operation einer Signalverarbeitung verstanden werden um ein Ausgangssignal zu erzeugen, beispielsweise ein Auswerten, ein Filtern, ein 20 Demodulieren. Die Signalverarbeitung kann digital und/oder analog erfolgen. Bevorzugt kann die Signalverarbeitung rein analog erfolgen. Die anwendungsspezifische integrierte Schaltung kann insbesondere eingerichtet sein, um durch Demodulation eines in den Empfängerspulen induzierten Signals mit einem Trägersignal, also einem Signal der Erregerspule auch Sendespule genannt, auf einen Betrag und eine Phase der Kopplung zu schließen. Der Betrag kann insbesondere kontinuierlich mit dem Drehwinkel variieren. Eine Phasenlage kann beispielsweise  $0^\circ$  oder  $180^\circ$  betragen. Die 25 anwendungsspezifische integrierte Schaltung kann mindestens eine Demodulationsvorrichtung aufweisen, welche eingerichtet ist, um die Signale der Empfängerspulen zu demodulieren. Das Demodulieren kann ein Multiplizieren mit dem Erregersignal umfassen. Beispielsweise kann durch eine Multiplikation des Betrags mit einer Kosinusfunktion ein vorzugsweise offsetfreies Sin/Cos-System entstehen, insbesondere bei Verwendung von zwei Empfängerspulen mit 30  $90^\circ$  Phasenversatz bezogen auf den Messbereich. Bei Verwendung von drei Empfängerspulen mit typischerweise  $120^\circ$  Phasenversatz bezogen auf den

Messbereich kann insbesondere ein dreiphasiges Sinussignal entstehen, welches beispielsweise durch Anwendung der Clarke-Transformation in ein Sin/Cos-System überführt werden kann. Mit Hilfe der Arkustangens (ArcTan)-Funktion kann dann auf den Drehwinkel geschlossen werden. Die  
5 anwendungsspezifische integrierte Schaltung kann mindestens einen Tiefpassfilter aufweisen. Der Tiefpassfilter kann eine Grenzfrequenz im Bereich von 50 kHz bis zu 500 kHz, bevorzugt 100 kHz, aufweisen. Beispielsweise kann die anwendungsspezifische integrierte Schaltung zunächst die Signale der Empfängerspulen demodulieren und anschließend mittels des Tiefpasses filtern.  
10 Die anwendungsspezifische integrierte Schaltung kann weiter mindestens einen Verstärker aufweisen. Der Verstärker kann die gefilterten Signale verstärken. Anschließend können die Ausgangssignale an die Auswerteeinheit, insbesondere eine von dem Schaltungsträger getrennt ausgestaltete Auswerteeinheit, übertragen werden.

15 Unter „einer Auswerteeinheit“ kann dabei allgemein eine elektronische Vorrichtung verstanden sein, welche eingerichtet ist, um von dem induktiven Positionssensor, insbesondere dem ASIC erzeugte Ausgangssignale auszuwerten. Beispielsweise können zu diesem Zweck eine oder mehrere  
20 elektronische Verbindungen zwischen dem induktiven Positionssensor und der Auswerteeinheit vorgesehen sein. Die Auswerteeinheit kann beispielsweise mindestens eine Datenverarbeitungsvorrichtung umfassen, beispielsweise mindestens einen Computer oder Mikrocontroller. Die Datenverarbeitungsvorrichtung kann einen oder mehrere flüchtige und/oder nicht  
25 flüchtige Datenspeicher aufweisen, wobei die Datenverarbeitungsvorrichtung beispielsweise programmtechnisch eingerichtet sein kann, um den induktiven Positionssensor anzusteuern. Die Auswerteeinheit kann weiterhin mindestens eine Schnittstelle umfassen, beispielsweise eine elektronische Schnittstelle und/oder eine Mensch-Maschine-Schnittstelle wie beispielsweise eine Eingabe-/Ausgabe-Vorrichtung wie ein Display und/oder eine Tastatur. Die  
30 Auswerteeinheit kann beispielsweise zentral oder auch dezentral aufgebaut sein. Auch andere Ausgestaltungen sind denkbar.

35 Die Auswerteeinheit kann eingerichtet sein, um aus Signalen der Empfängerspulen auf eine Winkelposition  $\Phi$  des Geberrads zu schließen. Das Sensorsystem kann insbesondere eingerichtet sein, um aus der durch die

Bewegung und/oder durch eine Position des Geberrads bewirkten Änderung der induktiven Kopplung zwischen der Erregerspule und den Empfängerspulen eine absolute oder relative Winkelposition des rotierenden Elements zu bestimmen. Unter einer „relativen Winkelposition“ kann dabei grundsätzlich eine Position bezüglich einer durch die Empfängerspulen definierten Periode verstanden werden. Insbesondere kann die Auswerteschaltung derart eingerichtet sein, um mindestens einen Quotienten mindestens zweier Signale mindestens zweier Empfängerspulen zu generieren. Beispielsweise kann für die Berechnung der Winkelposition  $\Phi$  aus zwei von zwei Empfängerspulen generierten Signalen die Gesetzmäßigkeit  $\tan\Phi = \sin\Phi / \cos\Phi$  verwendet werden. Beispielsweise kann für die Berechnung der Winkelposition  $\Phi$  aus drei von drei Empfängerspulen generierten Signalen die Clarke-Transformation verwendet werden. Die Rotationseigenschaft kann ein aktueller Drehwinkel zwischen dem Geberrad und dem induktiven Positionssensor sein.

Das Geberrad kann beispielsweise ausgestaltet sein, um je nach seiner Stellung Bereiche einer Empfängerspulenstruktur „abzuschatten“. Dadurch kann eine Kopplung zwischen einer Sendespulenstruktur und den Empfängerspulen drehwinkelabhängig beeinflusst werden. Ein typischer Wertebereich eines Kopplungsfaktors kann beispielsweise -0,3 bis +0,3 betragen. Unter einem Koppelfaktor kann dabei insbesondere ein Amplitudenverhältnis zwischen einem Empfangssignal und einem Sende- oder Erregersignal verstanden werden. Der Koppelfaktor kann insbesondere sinusförmig mit dem Drehwinkel verlaufen.

Die Spulenanordnung kann das Geberrad oder mindestens ein Kreissegment des Geberrads im Wesentlichen kreissegmentförmig oder kreisförmig umgeben. Insbesondere kann die Spulenanordnung, insbesondere die auf dem Schaltungsträger angeordnete Spulenanordnung, in mindestens einer Winkelposition des Geberrads mindestens ein Profilelement und mindestens einen Zwischenraum zwischen zwei Profilelementen des Geberrads abdecken.

Das Sensorsystem, insbesondere der induktive Positionssensor, kann eingerichtet sein, eine induktive Kopplung und/oder eine Änderung einer induktiven Kopplung zwischen der Erregerspule und der mindestens einen Empfängerspule zu erfassen. Insbesondere kann das Sensorsystem eingerichtet sein, die durch eine Bewegung und/oder eine Position des Geberrades bewirkte

induktive Kopplung und/oder die durch eine Bewegung und/oder eine Position des Geberrades bewirkte Änderung der induktiven Kopplung zwischen der Erregerspule und den Empfängerspulen zu erfassen. Hierfür weist das Sensorsystem die Auswerteeinheit auf. Insbesondere kann die Auswerteeinheit  
5 mindestens eine Auswerteschaltung aufweisen. Insbesondere kann die Auswerteschaltung eingerichtet sein, die Signale des Positionssensors auszuwerten. Bei der Auswerteschaltung kann es sich beispielsweise um einen Prozessor handeln. Die Auswerteeinheit kann insbesondere getrennt von dem Schaltungsträger ausgestaltet sein und kann mit dem Schaltungsträger über  
10 mindestens eine Verbindung, beispielsweise ein Kabel, verbindbar sein.

In der Auswerteeinheit können die Ausgangssignale digitalisiert und weiterverarbeitet werden. Die Auswerteeinheit weist mindestens einen Subtrahierer auf, welcher eingerichtet ist, um mindestens einen Offset von den  
15 Ausgangssignalen der anwendungsspezifischen integrierten Schaltung zu subtrahieren. Beispielsweise kann die Auswerteeinheit für jedes Ausgangssignal des ASICs einen Auswertepfad bereitstellen und für jeden Pfad einen Subtrahierer aufweisen. Unter „subtrahieren“ kann eine mathematische Operation verstanden werden, bei welcher der Offset von den Ausgangssignalen  
20 abgezogen wird. Unter einem „Subtrahierer“ kann ein elektronisches Bauteil verstanden werden, welche eingerichtet mindestens eine Subtraktion durchzuführen. Der Subtrahierer kann eine Schaltung aufweisen, beispielsweise einen Operationsverstärker. Der Operationsverstärker kann an einem Eingang mit einem Ausgangssignal und an einem zweiten Eingang mit einem Offsetsignal  
25 beschaltet werden. Der Operationsverstärker kann eingerichtet sein an einem Ausgang eine Differenz zwischen den beiden Eingangssignalen zu bilden. Alternativ oder zusätzlich kann der Subtrahierer einen Prozessor aufweisen, welcher programmtechnisch eingerichtet ist den Offset von den Ausgangssignalen zu subtrahieren. Unter einem „Offset“ kann ein Offsetwert  
30 und/oder ein Offsetsignal verstanden werden, welcher beispielsweise einen systematischen Fehler der Auswerteschaltung und/oder der eingesetzten Bauteile charakterisiert und/oder von systematischen Fehlern der Auswerteschaltung und/oder der eingesetzten Bauteile abhängt. Der Offset kann beispielsweise ausgewählt sein aus der Gruppe bestehend aus: einem  
35 Spannungswert; einer Offset-Spannung; einem Spannungssignal. Der Offset kann für jeden Auswertepfad, insbesondere für jede Empfängerspule, identisch

sein. Der Offset kann für jeden Auswertepfad verschieden sein, beispielsweise abhängig von einer Empfängerspule. Die Auswerteeinheit kann mindestens eine Speichereinheit aufweisen. Der Offset kann ein vorbestimmter oder vorgegebener Offset sein. Beispielsweise kann der Offset durch eine Kalibrierung bestimmt werden, beispielsweise durch eine einmalige Kalibrierung nach einer Herstellung und/oder bei einer Inbetriebnahme des Sensorsystems. Der Offset kann in der Speichereinheit abgespeichert sein, beispielsweise in mindestens einem Lookup-Table. Insbesondere kann der Offset in der Speichereinheit einprogrammiert sein. Die Auswerteeinheit kann eingerichtet sein den Offset mittels mindestens eines Beobachtermodells zu bestimmen, insbesondere bei einem Betrieb eines Elektromotors des Kraftfahrzeugs. Unter einem „Beobachtermodell“ kann ein Regelungsmodell verstanden werden, welches eingerichtet ist, um aus bekannten Eingangsgrößen und Ausgangsgrößen eines beobachteten Referenzsystems den Offset zu rekonstruieren. Die Auswerteeinheit kann programmtechnisch eingerichtet sein ein Referenzsystem nachzubilden. Die Auswerteeinheit kann eingerichtet sein Zustandsgrößen, wie Erregerspannung, Signale der Empfängerspulen, mit dem Referenzsystem zu vergleichen und daraus den Offset zu bestimmen.

Die Auswerteeinheit weist mindestens einen Verstärker auf, welcher eingerichtet ist die Ausgangssignale der anwendungsspezifischen integrierten Schaltung zu normalisieren. Unter einem Verstärker kann ein elektronisches Bauteil verstanden werden, welches eingerichtet ist ein Eingangssignal zu verstärken. Der Verstärker kann eingerichtet ist, um die Ausgangssignale der anwendungsspezifischen integrierten Schaltung derart zu normalisieren, dass Amplituden der Ausgangssignale im Wesentlichen identisch sind. Beispielsweise über ein Kabel kann das ASIC mit der Auswerteeinheit verbunden sein. Beispielsweise kann die Auswerteeinheit derart ausgestaltet sein, dass die Ausgangssignale des ASICs zunächst zu dem Subtrahierer und anschließend die Offset-subtrahierten Ausgangssignale zu dem Verstärker übermittelt werden. Auch andere Reihenfolgen sind jedoch denkbar. Unter „im Wesentlichen identisch“ kann im Rahmen der vorliegenden Erfindung grundsätzlich verstanden, dass die Amplituden identisch sind, wobei die Amplituden um einen Wert von 20 %, bevorzugt von 10 %, besonders bevorzugt von 5 % voneinander abweichen können. Unter „normalisieren“ kann insbesondere ein Anpassen der Amplituden der Ausgangssignale verstanden werden.

Die Auswerteeinheit weist mindestens einen Dividierer auf, welcher eingerichtet ist mindestens ein Quotientensignal aus den Ausgangssignalen der anwendungsspezifischen integrierten Schaltung zu bestimmen. Unter einem Dividierer kann ein elektronisches Bauteil verstanden werden, welches eingerichtet ist die Ausgangssignale, insbesondere die normalisierten Ausgangssignale, zu dividieren. Unter einem Quotientensignal kann hierbei ein Ergebnis der Division der Ausgangssignale verstanden werden. Die Division kann eine Division der Ausgangssignale, insbesondere der Offset-subtrahierten Ausgangssignale, und/oder eine Division von Vielfachen der Ausgangssignale, insbesondere der Offset-subtrahierten Ausgangssignale, und/oder eine Division von Linearkombinationen der Ausgangssignale, insbesondere der Offset-subtrahierten Ausgangssignale, umfassen.

Die Auswerteeinheit weist mindestens eine Arkusfunktionseinheit auf, welche eingerichtet ist, um die Rotationseigenschaft des um die Rotationsachse rotierenden Elements durch Bestimmen eines Arkustangens des Quotientensignals zu bestimmen. Unter einer Arkusfunktionseinheit kann eine Vorrichtung verstanden werden, beispielsweise ein elektronisches Bauteil und/oder ein Prozessor, welches eingerichtet einen Arkustangens des Quotientensignals zu bestimmen. Beispielsweise kann bei einer Verwendung von zwei Empfängerspulen eine der Empfängerspulen ein Signal  $\sin \Phi$  und die andere Empfängerspule ein Signal  $\cos \Phi$  generieren, wobei  $\Phi$  die Winkelposition ist. Wie oben ausgeführt kann die Berechnung von  $\Phi$  durch Bestimmen von  $\tan \Phi = \sin \Phi / \cos \Phi$  und Bestimmen des Arkustangens erfolgen.

Die Auswerteeinheit kann weitere Module aufweisen, wie beispielsweise mindestens einen Filter, welcher eingerichtet ist die Ausgangssignale der anwendungsspezifischen integrierten Schaltung zu filtern.

Der induktive Positionssensor kann mindestens ein Kontaktelement aufweisen. Der induktive Positionssensor, insbesondere das ASIC, kann mit der Auswerteeinheit mittels des Kontaktelements verbindbar sein. Das Kontaktelement kann ausgewählt sein aus der Gruppe bestehen aus: mindestens einer Bohrung für Rammkontakte, mindestens ein aufgelöteter Stecker, mindestens ein Kontaktpad. Der induktive Positionssensor kann eine Verpackung

aufweisen, insbesondere um den induktiven Positionssensor mit einem Spanschutz zu versehen. Die Verpackung kann mindestens ein Verbindungselement aufweisen. Der induktive Positionssensor kann mittels des Verbindungselements an einer weiteren Vorrichtung befestigbar sein. Diese kann  
5 durch eines oder mehrere der Verfahren Direct-injection-molding, Transfermolden mit Duroplast, Thermo-plastspritzen oder durch Vergießen realisiert werden. Die Verpackung kann alle Komponenten des induktiven Positionssensors ganz oder teilweise umgeben. Sie kann bevorzugt Bohrungen bzw. Aussparungen aufweisen, durch welche der induktive Positionssensor mit  
10 einer Schraubverbindung beispielsweise an einem B-Lagerschild der weiteren Vorrichtung befestigt werden kann. Alternativ oder zusätzlich kann der induktive Positionssensor auch mit Clips, einer Klebverbindung oder weiteren Verfahren, beispielsweise am B-Lagerschild, angebracht werden.

15 In einem weiteren Aspekt der vorliegenden Erfindung wird ein Verfahren zur Bestimmung mindestens einer Rotationseigenschaft eines um mindestens eine Rotationsachse rotierenden Elements vorgeschlagen. Das Verfahren umfasst die Verwendung mindestens eines erfindungsgemäßen Sensorsystems. Das Verfahren umfasst die folgenden Schritte, bevorzugt in der angegebenen  
20 Reihenfolge. Das Verfahren kann, zusätzlich zu den genannten Verfahrensschritten, auch weitere Verfahrensschritte umfassen. Die Verfahrensschritte sind:

- eine Aufnahme mindestens zweier Signale mittels mindestens zweier Empfängerspulen; und

25 - eine Auswertung der induktiven Signale und Ermittlung der Rotationseigenschaft mittels einer Auswerteeinheit des Sensorsystems, wobei mindestens ein Offset von den Signalen der Empfängerspulen subtrahiert wird, wobei die Signale normalisiert werden, wobei mindestens ein Quotientensignal aus den Signalen bestimmt wird, wobei die Rotationseigenschaft des um die  
30 Rotationsachse rotierenden Elements durch Bestimmen eines Arkustangens des Quotientensignals bestimmt wird.

Das Verfahren erfolgt unter Verwendung eines Sensorsystems gemäß der vorliegenden Erfindung, also gemäß einer der oben genannten  
35 Ausführungsformen oder gemäß einer der unten noch näher beschriebenen Ausführungsformen. Dementsprechend kann für Definitionen und optionale

Ausgestaltungen weitgehend auf die Beschreibung des Sensorsystems verwiesen werden. Auch andere Ausgestaltungen sind jedoch grundsätzlich möglich.

5 Ferner wird im Rahmen der vorliegenden Erfindung ein Computerprogramm vorgeschlagen, das bei Ablauf auf einem Computer oder Computer-Netzwerk das erfindungsgemäße Verfahren in einer seiner Ausgestaltungen ausführt. Weiterhin wird im Rahmen der vorliegenden Erfindung ein Computerprogramm mit Programmcode-Mitteln vorgeschlagen, um das erfindungsgemäße Verfahren  
10 in einer seiner Ausgestaltungen durchzuführen, wenn das Programm auf einem Computer oder Computer- Netzwerk ausgeführt wird. Insbesondere können die Programmcode-Mittel auf einem computerlesbaren Datenträger gespeichert sein. Außerdem wird im Rahmen der vorliegenden Erfindung ein Datenträger vorgeschlagen, auf dem eine Datenstruktur gespeichert ist, die nach einem  
15 Laden in einen Arbeits- und/oder Hauptspeicher eines Computers oder Computer-Netzwerkes das erfindungsgemäße Verfahren in einer seiner Ausgestaltungen ausführen kann. Auch wird im Rahmen der vorliegenden Erfindung ein Computerprogramm-Produkt mit auf einem maschinenlesbaren Träger gespeicherten Programmcode-Mitteln vorgeschlagen, um das  
20 erfindungsgemäße Verfahren in einer seiner Ausgestaltungen durchzuführen, wenn das Programm auf einem Computer oder Computer-Netzwerk ausgeführt wird. Dabei wird unter einem Computer-Programmprodukt das Programm als handelbares Produkt verstanden. Es kann grundsätzlich in beliebiger Form vorliegen, so zum Beispiel auf Papier oder einem computerlesbaren Datenträger und kann insbesondere über ein Datenübertragungsnetz verteilt werden.  
25 Schließlich wird im Rahmen der vorliegenden Erfindung ein modulierte Datensignal vorgeschlagen, welches von einem Computersystem oder Computernetzwerk ausführbare Instruktionen zum Ausführen eines Verfahrens nach einer der beschriebenen Ausführungsformen enthält.

30

#### Vorteile der Erfindung

Die vorgeschlagene Vorrichtung und das vorgeschlagene Verfahren weisen gegenüber bekannten Vorrichtungen und Verfahren zahlreiche Vorteile auf.  
35 Insbesondere ist es möglich, einen funktional sicheren, insbesondere unter dem Gesichtspunkt von „Automotive safety integrity Level“, induktiven

Positionssensor, welcher zur Regelung einer elektrischen Maschine verwendet werden kann, bereitzustellen. Die erfindungsgemäßen Vorrichtungen erlauben eine Erhöhung der funktionalen Sicherheit durch Verlagerung der Winkelberechnung in eine externe Auswerteeinheit, welche z.B. bereits diversitäre Konzepte zur Digitalisierung des Signals und umfassende Diagnosefunktionen aufweisen kann. Weiter basieren die vorgeschlagenen Vorrichtungen und Verfahren auf hinsichtlich Elektromagnetischer Verträglichkeit robusten Sensorkonzepten. Weiter kann ein einfaches und kostengünstiges Geberrad verwendet werden.

Die vorgeschlagenen Vorrichtungen und Verfahren können für jegliche induktive Positionssensoren auf Basis gekoppelter Spulen eingesetzt werden. Das Messprinzip zeigt weiter keinen Einfluss von Fremdmagnetfeldern, beispielsweise in Folge von hohen Strömen innerhalb von Kabeln, die in Sensornähe angeordnet sind. Das Messprinzip benötigt keinen teuren Magneten. Ein geringerer Bauraum im Gegensatz zu bekannten Sensoren ist möglich. Das Messprinzip ist aufgrund einer hohen Trägerfrequenz praktisch nicht drehzahlbegrenzt. Keine teuren Magnete sind erforderlich und im Vergleich zum Stand der Technik kann nur ein geringerer Bauraum notwendig sein.

Kurze Beschreibung der Zeichnungen

Weitere optionale Einzelheiten und Merkmale der Erfindung ergeben sich aus der nachfolgenden Beschreibung bevorzugter Ausführungsbeispiele, welche in den Figuren schematisch dargestellt sind.

Es zeigen:

Figur 1 eine schematische Darstellung eines Ausführungsbeispiels eines erfindungsgemäßen Sensorsystems;

Figur 2 eine schematische Darstellungen eines Ausführungsbeispiels eines induktiven Positionssensors;

Figur 3 ein Ausführungsbeispiel eines Geberrads;

Figur 4 einen erfindungsgemäßen Aufbau eines ASICs;

- Figur 5                      Signalformen des erfindungsgemäßen Sensorsystems;  
und  
Figur 6                      ein Ausführungsbeispiel einer Auswerteeinheit.

5

#### Ausführungsformen der Erfindung

In Figur 1 ist ein Ausführungsbeispiel eines Sensorsystems 110 zur Bestimmung  
mindestens einer Rotationseigenschaft eines um mindestens eine  
10                      Rotationsachse 112 rotierenden Elements 114 gezeigt. Das Sensorsystem 110  
kann insbesondere zum Einsatz im Kraftfahrzeug eingerichtet sein. Insbesondere  
kann das Sensorsystem 110 zur Erfassung mindestens einer  
Rotationseigenschaft einer Nockenwelle eingerichtet sein. Beispielsweise kann  
das Sensorsystem 110 eingerichtet sein, eine Winkelposition der Nockenwelle zu  
15                      erfassen. Dementsprechend kann es sich bei dem rotierenden Element 114  
beispielsweise um einen Welle handeln. Im dargestellten Fall einer permanent  
erregten Synchronmaschine kann die Welle einen Permanentmagneten 116  
tragen. Zylinderförmig um diesen Permanentmagneten 116 kann ein  
Statorspulenpaket 118 angeordnet sein. Ein Abtrieb kann in negativer z-Richtung  
20                      angeordnet sein und ist nicht weiter dargestellt. Auf der dem Abtrieb  
entgegengesetzten Seite kann ein B-Lager 120 angeordnet sein, welches die  
Achse 114 aufnimmt. Das Sensorsystem 110 weist mindestens einen induktiven  
Positionssensor auf 124. Das B-Lager 120 kann mit einem B-Lagerschild 122  
verbunden, welches den induktiven Positionssensor 124 hält. Das Sensorsystem  
25                      110 kann das mindestens eine mit dem rotierenden Element 114 verbindbare  
Geberrad 126 aufweisen. Zwischen B-Lager 120 und induktiven Positionssensor  
124 kann das Geberrad 126 angeordnet sein, welches mit der Welle verbunden  
ist und sich mit dieser mit dreht. Das Sensorsystem weist mindestens eine  
Auswerteeinheit 130 auf. Beispielsweise über ein Kabel 128 kann der induktive  
30                      Positionssensor 124 mit der Auswerteeinheit 130 verbunden sein. Die  
Auswerteeinheit 130 kann eine Spannungsversorgung des induktiven  
Positionssensors 124 bereitstellen. Die Auswerteeinheit 130 kann  
Ausgangssignale des induktiven Positionssensors 124 empfangen und aus  
diesen eine Rotorposition berechnen.

35

Das Sensorsystem 110 kann, neben den in Figur 1 dargestellten Elementen, weiterhin ein oder mehrere zusätzliche Elemente umfassen, beispielsweise ein oder mehrere in den Figuren nicht dargestellte weitere Funktionselemente, wie beispielsweise Elektroden, Elektrodenzuleitungen und Kontakte, mehrere  
5 Schichten, Heizelemente oder andere Elemente.

Eine Detailansicht des induktiven Positionssensors 124 zeigt Figur 2. Der induktive Positionssensor umfasst mindestens einen Schaltungsträger 132. Der Schaltungsträger 132 kann beispielsweise eine Leiterplatte aufweisen, welche im  
10 Wesentlichen kreisringförmig das rotierende Element 114 umläuft und dabei bevorzugt einen Winkelbereich von 360° abdeckt. Der induktive Positionssensor umfasst mindestens eine, hier nicht dargestellte, Spulenanordnung 134, welche auf dem Schaltungsträger 132 angeordnet ist. Die Spulenanordnung 134 umfasst  
15 mindestens eine Erregerspule 136 und mindestens zwei Empfängerspulen 138, siehe beispielsweise Figur 4. Der induktive Positionssensor umfasst mindestens eine anwendungsspezifische integrierte Schaltung (ASIC) 140, welche eingerichtet ist, um ein Erregersignal für die Erregerspule 136 bereitzustellen. Die anwendungsspezifische integrierte Schaltung 140 ist eingerichtet, um von den  
20 Empfängerspulen 138 erzeugte Signale zu verarbeiten und als Ausgangssignale, beispielsweise der Auswerteeinheit 130, bereitzustellen. Der induktive Positionssensor 124 weist mindestens ein Kontaktelement 142 auf, an welchem das Kabel 128 befestigt werden kann. Das Kontaktelement 142 kann eine Bohrung für Rammkontakte, ein aufgelöteter Stecker oder Pads sein, mit denen  
25 das Kabel 128 mit dem Schaltungsträger 132 durch einen Lötprozess verbunden werden kann.

Der induktive Positionssensor 124 kann eine Verpackung 144 aufweisen. Die Verpackung 144 kann erlauben den induktiven Positionssensor 124 mit einem Spanschutz zu versehen und eine ausreichend hohe mechanische Festigkeit zu  
30 gewährleisten. Die Verpackung 144 kann durch eines oder mehrere der Verfahren Direct-injection-molding, Transfermolden mit Duroplast, Thermoplastspritzen oder durch Vergießen realisiert werden. Die Verpackung 144 kann alle Komponenten des induktiven Positionssensors 124 ganz oder teilweise umgeben. Die Verpackung 144 kann mindestens ein Verbindungselement 146,  
35 bevorzugt Bohrungen und/oder Aussparungen, aufweisen durch die der induktive Positionssensor 124, beispielsweise mit einer Schraubverbindung 148 am B-

Lagerschild 122 befestigt werden kann. Alternativ oder zusätzlich kann der induktive Positionssensor 124 auch mit Clips, einer Kleb-Verbindung oder weiteren Verfahren am B-Lagerschild 122 angebracht werden.

5 Ein erfindungsgemäßes Ausführungsbeispiel eines Geberrads 126 ist in Figur 3 dargestellt. Das Geberrad 126 kann rotations-symmetrisch ausgestaltet sein. Das Geberrad 126 kann eine identische Anzahl an elektrisch leitfähigen Flügeln 150 mit einem ersten Öffnungswinkel  $\alpha$  und elektrisch nicht oder weniger leitfähigen Flügeln und/oder Aussparungen 152 mit einem zweiten Öffnungswinkel  $\beta$   
10 aufweisen. Eine Summe des ersten und des zweiten Öffnungswinkel kann einem vollen Winkelmessbereich  $\delta$  des induktiven Positionssensors 124 entsprechen. Der erste und der zweite Öffnungswinkel können identisch oder verschieden groß sein. Bevorzugt kann eine Ausgestaltung mit  $\alpha = \beta$  sein, wobei  $\alpha$  dem halben Winkelmessbereich  $\delta$  entspricht. In einer weiteren Ausführungsform kann  
15  $\alpha$  auch kleiner sein, so lange die Bedingung  $\alpha + \beta = \delta$  erfüllt ist. Der Winkelmessbereich kann mit einer Polpaarzahl der Synchronmaschine  $p$  gemäß  $\delta = 360^\circ/p$  korrelieren und für die Anzahl  $n$  der elektrisch leitfähigen Flügel 150 kann gelten:  $n = p = 360^\circ/\delta$ . Die Befestigung des Geberrads 126 an dem rotierenden Element 114 kann über eine Schraub- und/oder Klebverbindung  
20 und/oder mit einem Längspressverfahren erfolgen.

Figur 4 zeigt einen erfindungsgemäßen Aufbau eines ASIC 140. Beispielsweise kann das ASIC 140 genau an eine Erregerspule 136 und mindestens zwei Empfängerspulen 138 angeschlossen sein. Mit einem nicht näher dargestellten  
25 Block 154 kann ein im Wesentlichen sinusförmiges Erregersignal 156 bereitgestellt werden, welches die Erregerspule 136 speist. Beispielsweise kann es sich bei dem Block 154 um eine Oszillatorschaltung handeln, welche einen LC Oszillator treibt, bei welchen die Erregerspule 136 sowie mindestens ein nicht dargestellter Kondensator als frequenzbestimmende Elemente wirken. Die  
30 Amplitude des Erregersignals 156 kann im Bereich von 0,1 V und 10 V, bevorzugt 5 V betragen, bei Frequenzen im Bereich von 1 MHz und 10 MHz, bevorzugt 3,5 MHz.

Die anwendungsspezifische integrierte Schaltung 140 kann mindestens eine  
35 Demodulationsvorrichtung 160 aufweisen, welche eingerichtet ist, um die Signale 158, 162 der Empfängerspulen 138 zu demodulieren, insbesondere synchron.

Das Demodulieren kann ein Multiplizieren mit dem Erregersignal 156 umfassen. Die anwendungsspezifische integrierte Schaltung 140 kann mindestens einen Tiefpassfilter 164 aufweisen. Der Tiefpassfilter 164 kann eine Grenzfrequenz im Bereich von 50 kHz bis zu 500 kHz, bevorzugt 100 kHz, aufweisen.

5 Beispielsweise kann die anwendungsspezifische integrierte Schaltung 140 zunächst die Signale 158, 162 der Empfängerspulen 138 demodulieren und anschließend mittels des Tiefpasses 164 filtern. Die anwendungsspezifische integrierte Schaltung 140 kann weiter mindestens einen Verstärker 166 aufweisen. Der Verstärker 166 kann die gefilterten Signale verstärken. Nach der optionalen Verstärkung in den Verstärkern 166 können die Ausgangssignale 168, 170 direkt über das Kabel 128 zu der Auswerteeinheit 130 übertragen werden.

15 Beispielhafte Signalverläufe als Funktion des Drehwinkels für eine kontinuierliche Drehbewegung sind in Figur 5 dargestellt. Bei erfindungsgemäßer Ausgestaltung der Empfängerspulen 138 sowie des Geberrads 126 ergeben sich als Funktion des Drehwinkels ein demoduliertes sinusförmiges Signal 170 sowie ein demoduliertes cosinusförmiges Signal 168.

20 In der Auswerteeinheit 130 können die Ausgangssignale digitalisiert und weiterverarbeitet werden. Die Auswerteeinheit 130 weist mindestens einen Subtrahierer 172 auf, welcher eingerichtet ist, um mindestens einen Offset 174 von den Ausgangssignalen 168, 170 der anwendungsspezifischen integrierten Schaltung 140 zu subtrahieren. Beispielsweise kann die Auswerteeinheit für jedes Ausgangssignal des ASICs einen Auswertepfad bereitstellen und für jeden Pfad einen Subtrahierer 172 aufweisen. Der Subtrahierer 172 kann eine Schaltung aufweisen, beispielsweise einen Operationsverstärker. Der Operationsverstärker kann an einem Eingang mit einem Ausgangssignal und an einem zweiten Eingang mit einem Offsetsignal beschaltet werden. Der Operationsverstärker kann eingerichtet sein an einem Ausgang eine Differenz zwischen den beiden Eingangssignalen zu bilden. Alternativ oder zusätzlich kann der Subtrahierer 172 einen Prozessor aufweisen, welcher programmtechnisch eingerichtet ist den Offset 174 von den Ausgangssignalen zu subtrahieren. Der Offset 174 kann beispielsweise ausgewählt sein aus der Gruppe bestehend aus: einem Spannungswert; einer Offset-Spannung; einem Spannungssignal. Der Offset kann für jeden Auswertepfad, insbesondere für jede Empfängerspule, identisch sein. Der Offset 174 kann für jeden Auswertepfad verschieden sein,

25  
30  
35

beispielsweise einen ersten Offset 176 und einen zweiten Offset 178. Die Auswerteeinheit 130 kann mindestens eine Speichereinheit 180 aufweisen. Der Offset 174 kann ein vorbestimmter oder vorgegebener Offset sein. Beispielsweise kann der Offset 174 durch eine Kalibrierung bestimmt werden, beispielsweise durch eine einmalige Kalibrierung nach einer Herstellung und/oder bei einer Inbetriebnahme des Sensorsystems 110. Der Offset 174 kann in der Speichereinheit 180 abgespeichert sein, beispielsweise in mindestens einem Lookup-Table. Insbesondere kann der Offset 174 in der Speichereinheit 180 einprogrammiert sein. Die Auswerteeinheit 130 kann eingerichtet sein den Offset 174 mittels mindestens eines Beobachtermodells zu bestimmen, insbesondere bei einem Betrieb eines Elektromotors des Kraftfahrzeugs. Die Auswerteeinheit 130 kann programmtechnisch eingerichtet sein ein Referenzsystem nachzubilden. Die Auswerteeinheit 130 kann eingerichtet sein Zustandsgrößen, wie Erregersignal 156, Signale 158, 162 der Empfängerspulen 138, mit dem Referenzsystem zu vergleichen und daraus den Offset 174 zu bestimmen.

Die Auswerteeinheit 130 weist mindestens einen Verstärker 182 auf, welcher eingerichtet ist die Ausgangssignale 168, 170 zu normalisieren. Der Verstärker 182 kann eingerichtet ist, um die Ausgangssignale 168, 170 der anwendungsspezifischen integrierten Schaltung 140 derart zu normalisieren, dass Amplituden der Ausgangssignale 168, 170 im Wesentlichen identisch sind. Beispielsweise über das Kabel 128 kann das ASIC 140 mit der Auswerteeinheit 130 verbunden sein. Beispielsweise kann die Auswerteeinheit 130 derart ausgestaltet sein, dass die Ausgangssignale 168, 170 des ASICs 140 zunächst zu dem Subtrahierer und anschließend die Offset-subtrahierten Ausgangssignale 184, 186 zu dem Verstärker 182 übermittelt werden. Auch andere Reihenfolgen sind jedoch denkbar.

Die Auswerteeinheit 130 weist mindestens einen Dividierer 188 auf, welcher eingerichtet ist mindestens ein Quotientensignal aus den Ausgangssignalen 168, 170 der anwendungsspezifischen integrierten Schaltung 140 zu bestimmen. Die Division kann eine Division der Ausgangssignale und/oder eine Division von Vielfachen der Ausgangssignale 168, 170, insbesondere der Offset-subtrahierten Ausgangssignale 184, 186, und/oder eine Division von Linearkombinationen der

Ausgangssignale 168, 170, insbesondere der Offset-subtrahierten Ausgangssignale 184, 186, umfassen.

5 Die Auswerteeinheit 130 weist mindestens eine Arkusfunktionseinheit 190 auf, welche eingerichtet ist, um die Rotationseigenschaft des um die Rotationsachse 112 rotierenden Elements 114 durch Bestimmen eines Arkustangens des Quotientensignals zu bestimmen. Beispielsweise kann bei einer Verwendung von zwei Empfängerspulen 138 eine der Empfängerspulen 138 ein Signal  $\sin \Phi$  und die andere Empfängerspule 138 ein Signal  $\cos \Phi$  generieren, wobei  $\Phi$  die Winkelposition ist. Wie oben ausgeführt kann die Berechnung von  $\Phi$  durch  
10 bestimmen von  $\tan \Phi = \sin \Phi / \cos \Phi$  und Bestimmen des Arkustangens erfolgen.

Die Auswerteeinheit 130 kann weitere Module aufweisen, wie beispielsweise mindestens einen Filter, welcher eingerichtet ist die Ausgangssignale 158, 162  
15 der anwendungsspezifischen integrierten Schaltung 140 zu filtern.

## Ansprüche

5

1. Sensorsystem (110) zur Bestimmung mindestens einer Rotationseigenschaft eines um mindestens eine Rotationsachse (112) rotierenden Elements (114), wobei das Sensorsystem (110) mindestens einen induktiven Positionssensor (124) und mindestens eine Auswerteeinheit (130) aufweist, der induktiven Positionssensor (124) umfassend:

10

- mindestens einen Schaltungsträger (132);
- mindestens eine Spulenanordnung (134), welche auf dem Schaltungsträger (132) angeordnet ist, wobei die Spulenanordnung (134) mindestens eine Erregerspule (136) und mindestens zwei Empfängerspulen (138) umfasst;
- mindestens eine anwendungsspezifische integrierte Schaltung (ASIC) (140), welche eingerichtet ist, um ein Erregersignal (156) für die Erregerspule (136) bereitzustellen, wobei die anwendungsspezifische integrierte Schaltung (140) eingerichtet ist, um von den Empfängerspulen (138) erzeugte Signale (158, 162) zu verarbeiten und als

15

20

Ausgangssignale (168, 170) an die Auswerteeinheit (130) bereitzustellen; dadurch gekennzeichnet dass, die Auswerteeinheit (130) mindestens einen Subtrahierer (172) aufweist, welcher eingerichtet ist, um mindestens einen Offset (174) von den Ausgangssignalen der anwendungsspezifischen integrierten Schaltung (140) zu subtrahieren, wobei die Auswerteeinheit (130) mindestens einen Verstärker (182) aufweist, welcher eingerichtet ist die Ausgangssignale (168, 170) der anwendungsspezifischen integrierten Schaltung (140) zu normalisieren, wobei die Auswerteeinheit (130) mindestens einen Dividierer (188) aufweist, welcher eingerichtet ist mindestens ein Quotientensignal aus den Ausgangssignalen (168, 170) der anwendungsspezifischen integrierten Schaltung (140) zu bestimmen, wobei die Auswerteeinheit (130) mindestens eine Arkusfunktionseinheit (190) aufweist, welche eingerichtet ist, um die Rotationseigenschaft des um die Rotationsachse (112) rotierenden Elements (114) durch Bestimmen eines Arkustangens des Quotientensignals zu bestimmen.

25

30

35

2. Sensorsystem (110) nach dem vorhergehenden Anspruch, wobei die Auswerteeinheit (130) mindestens eine Speichereinheit (180) aufweist, wobei der Offset (174) ein vorbestimmter oder vorgegebener Offset (174) ist, wobei der Offset (174) in der Speichereinheit (180) abgespeichert ist.  
5
3. Sensorsystem (110) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die Auswerteeinheit (130) eingerichtet ist den Offset (174) mittels mindestens eines Beobachtermodells zu bestimmen.
- 10 4. Sensorsystem (110) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei der Verstärker (182) eingerichtet ist, um die Ausgangssignale (168, 170) der anwendungsspezifischen integrierten Schaltung (140) derart zu normalisieren, dass Amplituden der Ausgangssignale (168, 170) im wesentlichen identisch sind.
- 15 5. Sensorsystem (110) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die anwendungsspezifische integrierte Schaltung (140) mindestens eine Demodulationsvorrichtung (160) aufweist, welche eingerichtet ist, um die Signale (158, 162) der Empfängerspulen (138) zu demodulieren, wobei das  
20 Demodulieren ein Multiplizieren mit dem Erregersignal (156) umfasst.
6. Sensorsystem (110) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die anwendungsspezifische integrierte Schaltung (140) mindestens einen Tiefpassfilter (164) aufweist, wobei der Tiefpassfilter (164) eine  
25 Grenzfrequenz im Bereich von 50 kHz bis zu 500 kHz aufweist.
7. Sensorsystem (110) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei das Erregersignal (156) ein im wesentlichen sinusförmiges Erregersignal ist, wobei das Erregersignal (156) eine Amplitude im Bereich von 0,1 V bis 10 V  
30 aufweist, wobei das Erregersignal (156) eine Frequenz im Bereich von 1 MHz bis 10 MHz aufweist.
8. Sensorsystem (110) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei das Sensorsystem (110) mindestens ein mit dem rotierenden Element (114)  
35 verbindbares Geberrad (126) aufweist.

9. Sensorsystem (110) nach dem vorhergehenden Anspruch, wobei die Rotationseigenschaft ein aktueller Drehwinkel zwischen dem Geberrad (126) und dem induktiven Positionssensor (124) ist.
- 5 10. Sensorsystem (110) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei der induktive Positionssensor (124) ein induktiver Rotorlagesensor ist.
- 10 11. Verfahren zur Bestimmung mindestens einer Rotationseigenschaft eines um mindestens eine Rotationsachse (112) rotierenden Elements (114), wobei das Verfahren die Verwendung mindestens eines Sensorsystems (110) nach einem der vorhergehenden Ansprüche umfasst, wobei das Verfahren weiterhin folgende Schritte umfasst:
- Aufnehmen mindestens zweier Signale mittels der Empfängerspulen (138);
  - 15 - Auswertung der induktiven Signale und Ermittlung der Rotationseigenschaft mittels einer Auswerteeinheit (130) des Sensorsystems (110), wobei mindestens ein Offset (174) von den Signalen der Empfängerspulen (138) subtrahiert wird, wobei die Signale normalisiert werden, wobei mindestens ein Quotientensignal aus den
  - 20 Signalen bestimmt wird, wobei die Rotationseigenschaft des um die Rotationsachse (112) rotierenden Elements (114) durch Bestimmen eines Arkustangens des Quotientensignals bestimmt wird.

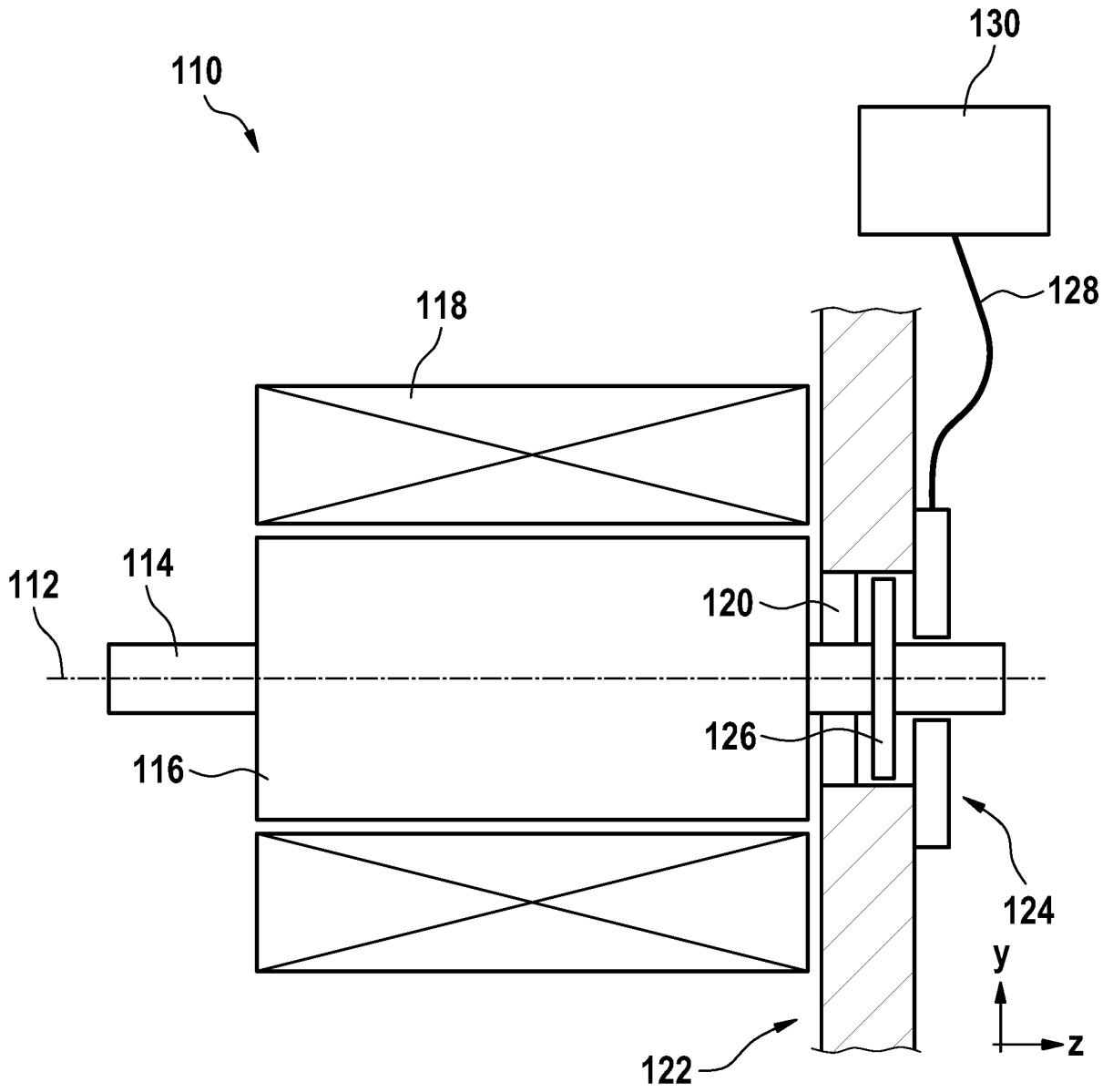


FIG. 1

2 / 5

FIG. 2

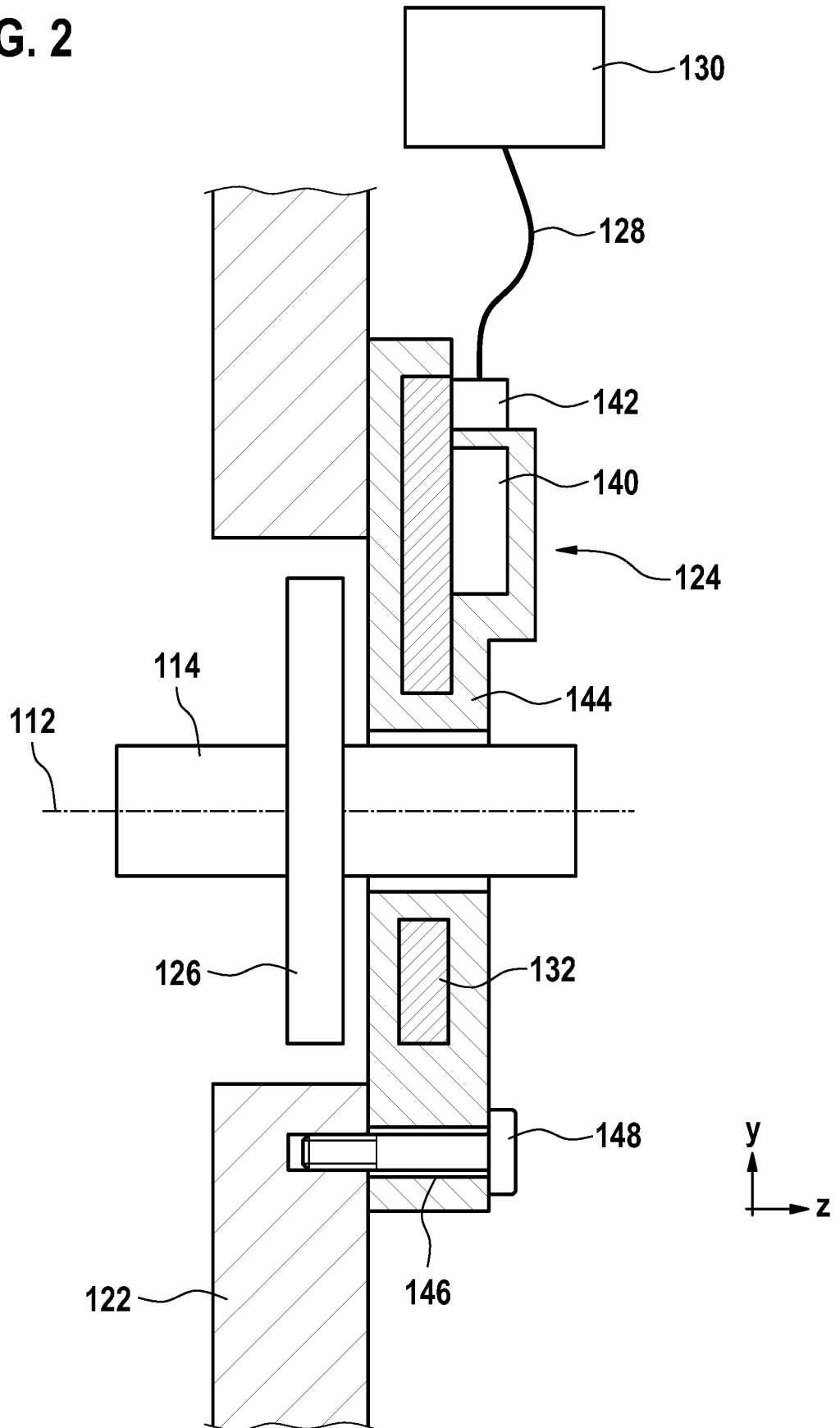


FIG. 3

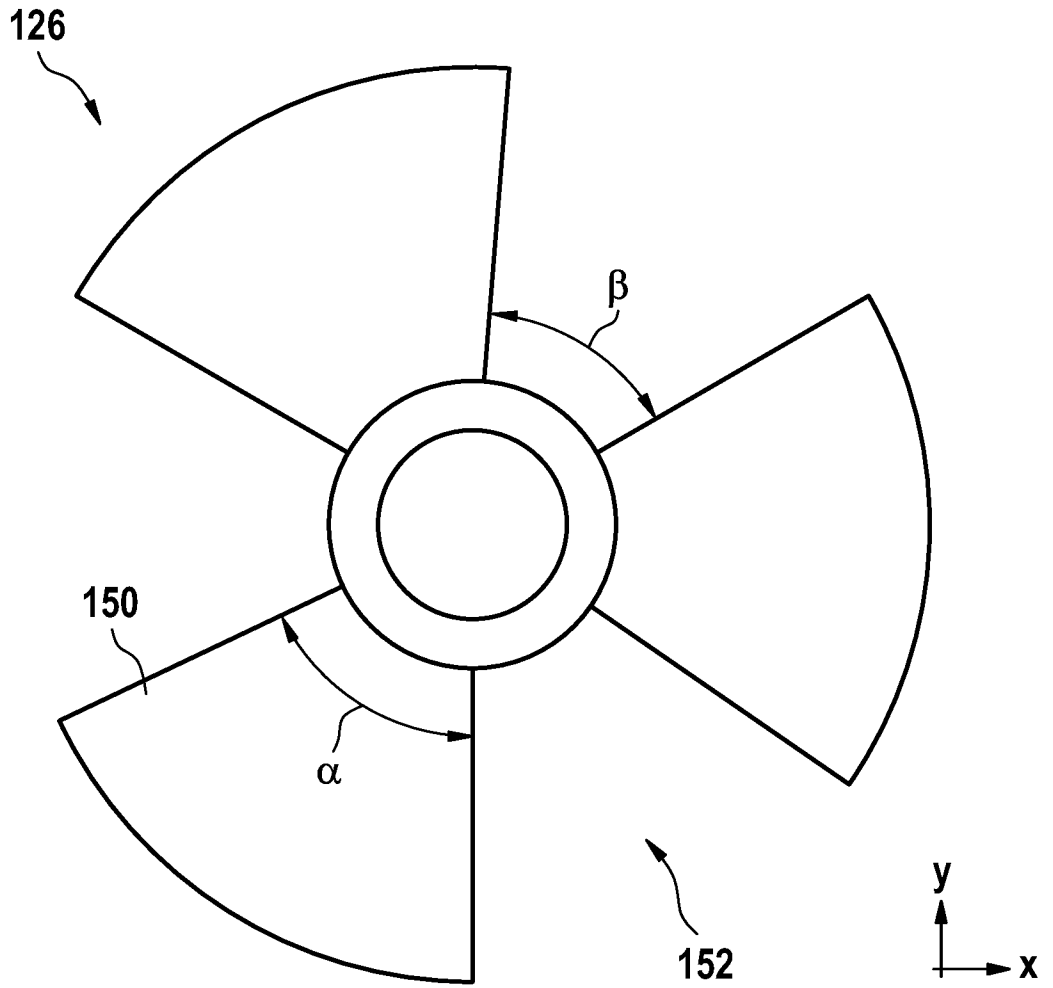


FIG. 4

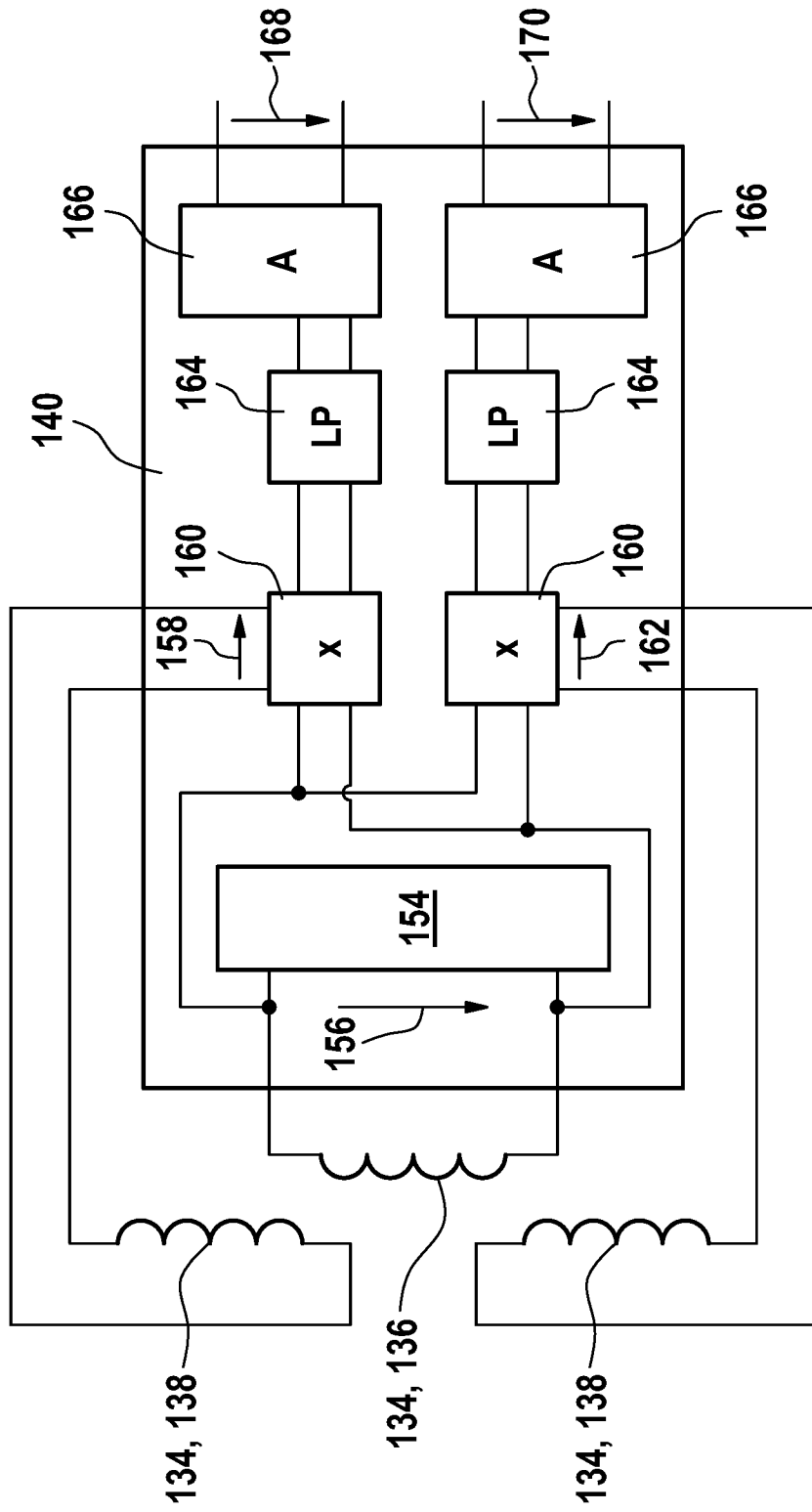


FIG. 5

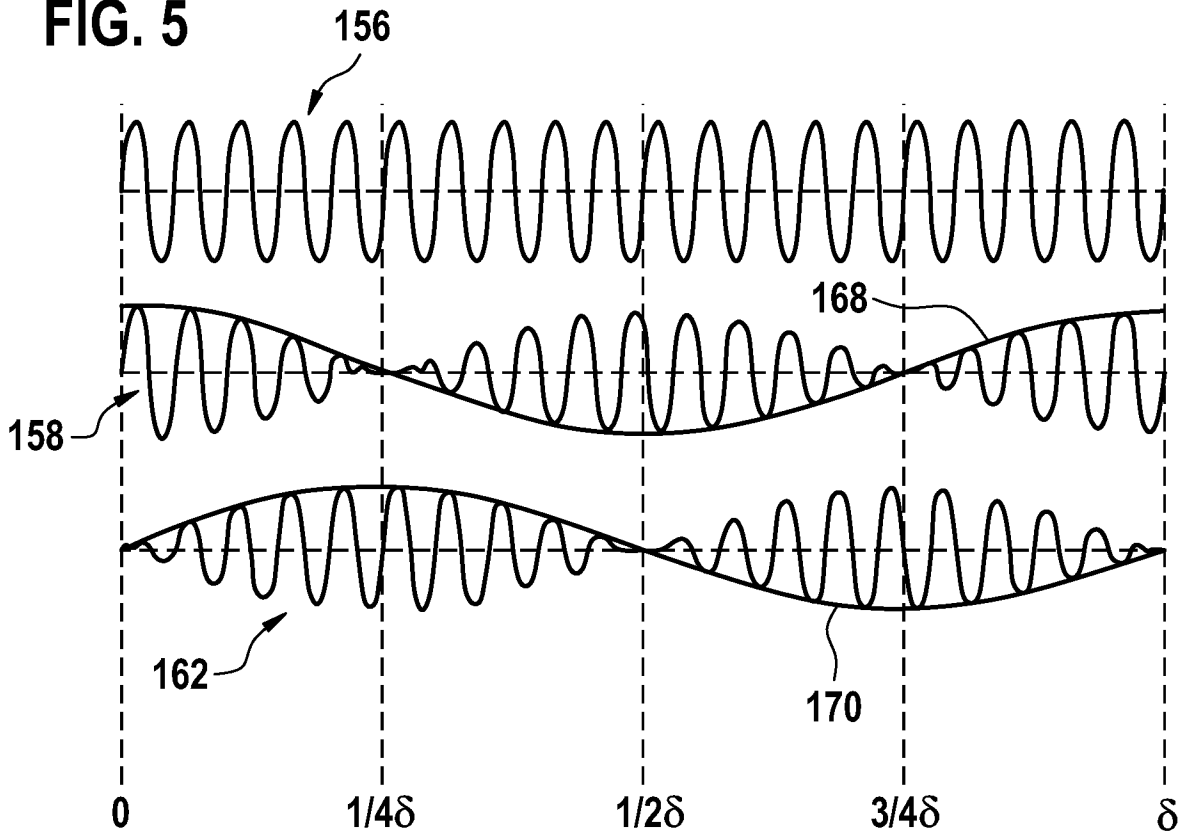
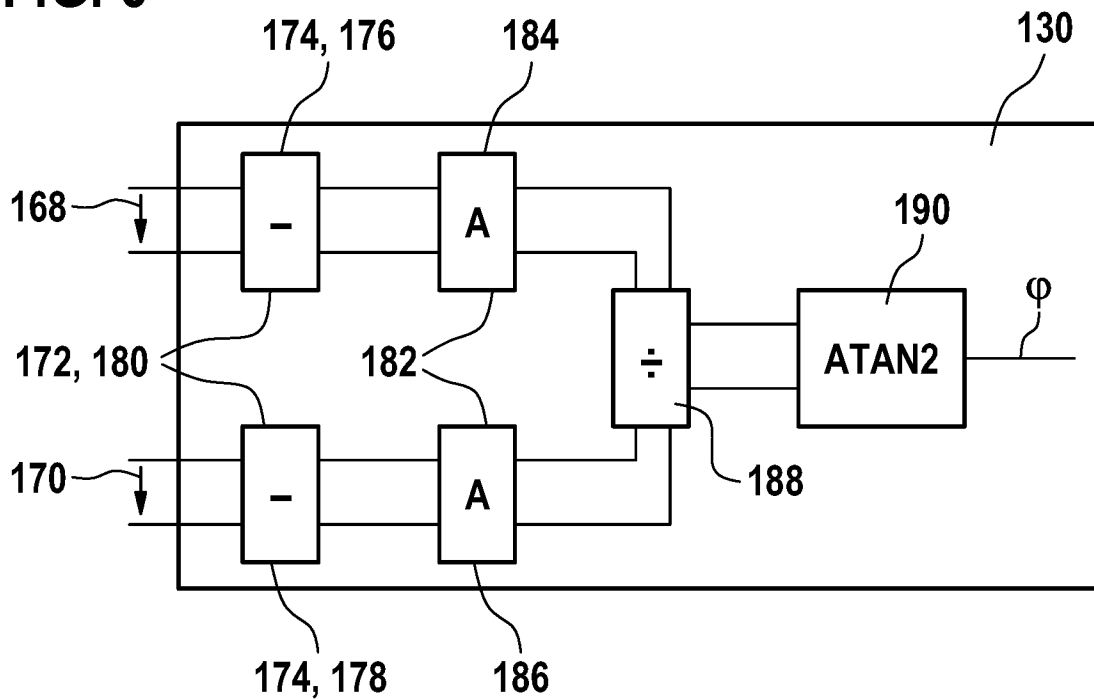


FIG. 6



## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

**PCT/EP2019/065767**

<b>A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER</b> <i>G01D 3/032</i> (2006.01); <i>G01D 5/20</i> (2006.01)  According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC		
<b>B. FIELDS SEARCHED</b>  Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols) G01D  Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched  Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used) EPO-Internal, WPI Data		
<b>C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT</b>		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	EP 0909955 A2 (HELLA KG HUECK & CO [DE]) 21 April 1999 (1999-04-21) cited in the application	1-11
Y	paragraphs [0024], [0025], [0028] - [0030], [0043], [0047]; figures 1-6	1-7,11
Y	DE 102009022084 A1 (SEW EURODRIVE GMBH & CO [DE]) 25 November 2010 (2010-11-25) paragraphs [0018], [0019], [0022]; figures 1-2	1,3,4,11
Y	US 2007247144 A1 (TOKUHARA MINORU [JP] ET AL) 25 October 2007 (2007-10-25) paragraph [0040]; figure 4	2
Y	US 2006255794 A1 (LEE JOONG K [CA]) 16 November 2006 (2006-11-16) paragraphs [0031], [0035], [0036]	5-7
A	US 2009224751 A1 (BUDDE WOLFRAM [DE] ET AL) 10 September 2009 (2009-09-10) paragraphs [0049], [0054], [0061], [0068], [0069]; figures 2, 10	5-7
A	DE 102016224856 A1 (BOSCH GMBH ROBERT [DE]) 14 June 2018 (2018-06-14) paragraph [0041]	1-11
<input type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of Box C. <input checked="" type="checkbox"/> See patent family annex.		
* Special categories of cited documents: "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance "E" earlier application or patent but published on or after the international filing date "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified) "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed "T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art "&" document member of the same patent family		
Date of the actual completion of the international search <b>12 September 2019</b>		Date of mailing of the international search report <b>23 September 2019</b>
Name and mailing address of the ISA/EP <b>European Patent Office p.b. 5818, Patentlaan 2, 2280 HV Rijswijk Netherlands</b> Telephone No. (+31-70)340-2040 Facsimile No. (+31-70)340-3016		Authorized officer <b>Schwarz, Cornelia</b>  Telephone No.

**INTERNATIONAL SEARCH REPORT**  
**Information on patent family members**

International application No.

**PCT/EP2019/065767**

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)			Publication date (day/month/year)
EP	0909955	A2	21 April 1999	CZ	296198	B6	15 February 2006
				DE	19738836	A1	11 March 1999
				EP	0909955	A2	21 April 1999
				US	6236199	B1	22 May 2001
-----							
DE	102009022084	A1	25 November 2010	DE	102009022084	A1	25 November 2010
				EP	2433099	A1	28 March 2012
				WO	2010133363	A1	25 November 2010
-----							
US	2007247144	A1	25 October 2007	DE	102005052245	A1	04 May 2006
				US	2006097717	A1	11 May 2006
				US	2007247144	A1	25 October 2007
-----							
US	2006255794	A1	16 November 2006	AU	2006231914	A1	12 October 2006
				BR	PI0612438	A2	09 November 2010
				CA	2604051	A1	12 October 2006
				CN	101189490	A	28 May 2008
				DE	112006000835	T5	21 February 2008
				JP	4986988	B2	25 July 2012
				JP	2008535430	A	28 August 2008
				KR	20070122533	A	31 December 2007
				US	2006255794	A1	16 November 2006
				WO	2006106422	A2	12 October 2006
-----							
US	2009224751	A1	10 September 2009	EP	1960740	A1	27 August 2008
				US	2009224751	A1	10 September 2009
				WO	2007068765	A1	21 June 2007
-----							
DE	102016224856	A1	14 June 2018	DE	102016224856	A1	14 June 2018
				WO	2018108365	A1	21 June 2018
-----							

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES  
 INV. G01D3/032 G01D5/20  
 ADD.

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPC) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPC

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)  
 G01D

Recherchierte, aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)

EPO-Internal, WPI Data

C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	EP 0 909 955 A2 (HELLA KG HUECK & CO [DE]) 21. April 1999 (1999-04-21) in der Anmeldung erwähnt	1-11
Y	Absätze [0024], [0025], [0028] - [0030], [0043], [0047]; Abbildungen 1-6 -----	1-7,11
Y	DE 10 2009 022084 A1 (SEW EURODRIVE GMBH & CO [DE]) 25. November 2010 (2010-11-25) Absätze [0018], [0019], [0022]; Abbildungen 1-2 -----	1,3,4,11
Y	US 2007/247144 A1 (TOKUHARA MINORU [JP] ET AL) 25. Oktober 2007 (2007-10-25) Absatz [0040]; Abbildung 4 -----	2
Y	US 2006/255794 A1 (LEE JOONG K [CA]) 16. November 2006 (2006-11-16) Absätze [0031], [0035], [0036] -----	5-7
	-/--	



Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen



Siehe Anhang Patentfamilie

\* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :

"A" Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert,  
aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist

"E" frühere Anmeldung oder Patent, die bzw. das jedoch erst am oder nach  
dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist

"L" Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft er-  
scheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer  
anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden  
soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie  
ausgeführt)

"O" Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung,  
eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht

"P" Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach  
dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist

"T" Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum  
oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der  
Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der  
Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden  
Theorie angegeben ist

"X" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung  
kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf  
erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden

"Y" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung  
kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet  
werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren  
Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und  
diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist

"&" Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche

12. September 2019

Absenddatum des internationalen Recherchenberichts

23/09/2019

Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde

Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2  
 NL - 2280 HV Rijswijk  
 Tel. (+31-70) 340-2040,  
 Fax: (+31-70) 340-3016

Bevollmächtigter Bediensteter

Schwarz, Cornelia

C. (Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN		
Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
A	US 2009/224751 A1 (BUDDE WOLFRAM [DE] ET AL) 10. September 2009 (2009-09-10) Absätze [0049], [0054], [0061], [0068], [0069]; Abbildungen 2, 10 -----	5-7
A	DE 10 2016 224856 A1 (BOSCH GMBH ROBERT [DE]) 14. Juni 2018 (2018-06-14) Absatz [0041] -----	1-11

**INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT**

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2019/065767

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
EP 0909955	A2	21-04-1999	CZ 296198 B6 15-02-2006
			DE 19738836 A1 11-03-1999
			EP 0909955 A2 21-04-1999
			US 6236199 B1 22-05-2001
-----			
DE 102009022084	A1	25-11-2010	DE 102009022084 A1 25-11-2010
			EP 2433099 A1 28-03-2012
			WO 2010133363 A1 25-11-2010
-----			
US 2007247144	A1	25-10-2007	DE 102005052245 A1 04-05-2006
			US 2006097717 A1 11-05-2006
			US 2007247144 A1 25-10-2007
-----			
US 2006255794	A1	16-11-2006	AU 2006231914 A1 12-10-2006
			BR PI0612438 A2 09-11-2010
			CA 2604051 A1 12-10-2006
			CN 101189490 A 28-05-2008
			DE 112006000835 T5 21-02-2008
			JP 4986988 B2 25-07-2012
			JP 2008535430 A 28-08-2008
			KR 20070122533 A 31-12-2007
			US 2006255794 A1 16-11-2006
			WO 2006106422 A2 12-10-2006
-----			
US 2009224751	A1	10-09-2009	EP 1960740 A1 27-08-2008
			US 2009224751 A1 10-09-2009
			WO 2007068765 A1 21-06-2007
-----			
DE 102016224856	A1	14-06-2018	DE 102016224856 A1 14-06-2018
			WO 2018108365 A1 21-06-2018
-----			