



(10) **DE 10 2017 211 491 A1** 2019.01.10

(12) **Offenlegungsschrift**

(21) Aktenzeichen: **10 2017 211 491.6**  
(22) Anmeldetag: **06.07.2017**  
(43) Offenlegungstag: **10.01.2019**

(51) Int Cl.: **G01B 7/30** (2006.01)  
**G01S 7/481** (2006.01)  
**G01S 17/89** (2006.01)

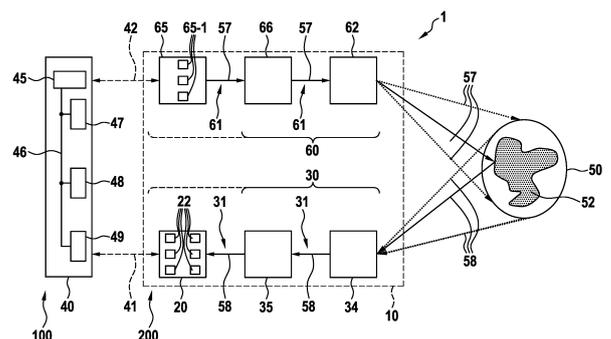
(71) Anmelder:  
**Robert Bosch GmbH, 70469 Stuttgart, DE**

(72) Erfinder:  
**Utermoehlen, Fabian, 71229 Leonberg, DE;**  
**Leidich, Stefan, 71277 Rutesheim, DE**

**Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen.**

(54) Bezeichnung: **Drehwinkelsensoranordnung, LiDAR-System, Arbeitsvorrichtung und Betriebsverfahren für ein LiDar-System**

(57) Zusammenfassung: Die vorliegende Erfindung betrifft eine Drehwinkelsensoranordnung (5) für einen Rotor (200) und einen Stator (100) aufweisendes optisches System und insbesondere für ein LiDAR-System (1) zur Bestimmung eines Drehwinkels und/oder einer Orientierung zwischen dem Rotor (200) und dem Stator (100), welche ausgebildet ist (i) mit einer statorbasierten und drehfest am Stator (100) angebrachten oder anbringbaren Spulenanordnung (105) als Sensorelement zum Empfangen eines magnetischen Wechselfeldes und (ii) mit einem rotorbasierten und drehfest am Rotor (200) angebrachten oder anbringbaren Target (203) zum Erzeugen eines magnetischen Wechselfeldes, und bei welcher die Spulenanordnung (105) und das Target (203) so am Stator (100) bzw. am Rotor (200) angebracht oder anbringbar sind, dass sich in Abhängigkeit vom Drehwinkel und/oder der Orientierung zwischen Stator (100) und Rotor (200) unterschiedliche Überdeckungen und/oder räumliche Nachbarschaften zwischen der Spulenanordnung (105) und dem Target (203) mit einem entsprechend unterschiedlichen Einfluss des magnetischen Wechselfeldes des Targets (203) auf die Spulenanordnung (105) einstellen.



**Beschreibung**

## Stand der Technik

**[0001]** Die vorliegende Erfindung betrifft eine Drehwinkelsensoranordnung für einen Rotor und einen Stator aufweisendes optisches System und insbesondere für ein LiDAR-System, ein LiDAR-System als solches, eine Arbeitsvorrichtung und insbesondere ein Fahrzeug.

**[0002]** Beim Einsatz von Arbeitsvorrichtungen, von Fahrzeugen und anderen Maschinen und Anlagen werden vermehrt Betriebsassistenzsysteme oder Sensoranordnungen zur Erfassung der Betriebsumgebung eingesetzt. Neben radarbasierten Systemen oder Systemen auf der Grundlage von Ultraschall kommen auch lichtbasierte Erfassungssysteme zum Einsatz, z.B. so genannte LiDAR-Systeme (englisch: LiDAR : light detection and ranging).

**[0003]** Bei abtastenden oder scannenden LiDAR-Systemen wird Primärlicht nach der Erzeugung über ein zu erfassendes Sichtfeld geführt. Dabei kommen so genannte Makroscanner zum Einsatz, die einen Rotor und einen Stator aufweisen. Der Rotor beherbergt zumindest einen Teil der Optik, der Sensorik und der Lichtquellen und ist gegenüber dem Stator mittels eines Antriebs steuerbar rotierbar. Sämtliche Komponenten des Rotors werden vorzugsweise drahtlos - ausgehend vom Stator - mit Energie versorgt. Für die Kommutierung des Antriebs und für die Bildrekonstruktion ist Information über die Orientierung des Rotors gegenüber dem Stator und über deren zeitliche Entwicklung als notwendigerweise zu bestimmende Betriebsparameter erforderlich, welche bisher durch eine Mehrzahl von Sensoren erfasst werden muss.

## Offenbarung der Erfindung

**[0004]** Die erfindungsgemäße Drehwinkelsensoranordnung mit den Merkmalen des Anspruchs 1 weist demgegenüber den Vorteil auf, dass mit vergleichsweise einfachen Mitteln die Orientierung eines Rotors gegenüber einem Stator jederzeit zuverlässig ermittelbar ist, auch bei einem Betriebsbeginn als Anfangsbedingung. Dies wird erfindungsgemäß mit den Merkmalen des Anspruchs 1 dadurch erreicht, dass eine Drehwinkelsensoranordnung für einen Rotor und einen Stator aufweisendes optisches System und insbesondere für ein LiDAR-System zur Bestimmung eines Drehwinkels und/oder einer Orientierung zwischen dem Rotor und dem Stator geschaffen wird, welche ausgebildet ist (i) mit einer statorbasierten und drehfest am Stator angebrachten oder anbringbaren Spulenordnung als Sensorelement zum Empfangen eines magnetischen Wechselfeldes, und (ii) mit einem rotorbasierten und drehfest am Rotor angebrachten oder anbringbaren Target zum ak-

tiven Erzeugen eines magnetischen Wechselfeldes. Erfindungsgemäß sind die Spulenordnung und das Target so am Stator bzw. am Rotor angebracht oder anbringbar, dass sich in Abhängigkeit vom Drehwinkel und/oder der Orientierung zwischen Stator und Rotor unterschiedliche Überdeckungen und/oder räumliche Nachbarschaften zwischen der Spulenordnung und dem Target mit einem entsprechend unterschiedlichen Einfluss des magnetischen Wechselfeldes des Targets auf die Spulenordnung einstellen. Auf der Grundlage des unterschiedlichen Einflusses des magnetischen Wechselfeldes des Targets im oder am Rotor auf die Spulenordnung des Sensorelements kann über deren Vermessung auf den Drehwinkel und/oder auf die Orientierung zwischen Stator und Rotor geschlossen werden.

**[0005]** Die Unteransprüche zeigen bevorzugte Weiterbildungen der Erfindung.

**[0006]** Bei einer vorteilhaften Weiterbildung der vorliegenden Erfindung ist die Drehwinkelsensoranordnung dazu eingerichtet, das Target zum aktiven Erzeugen eines magnetischen Wechselfeldes - insbesondere aktiv - zu bestromen. Auf Grund dieser Maßnahme entfällt zum Beispiel die Notwendigkeit des Vorsehens einer Erregerspule oder dergleichen im Bereich der Stators. Des Weiteren sind durch die aktive Bestromung höhere magnetische Feldstärken erzeugbar. Dadurch eröffnet sich die Möglichkeit größere Abstände zwischen dem Target und dem Sensorelement in Form der Spulenordnung.

**[0007]** Zusätzlich oder alternativ kann zur - insbesondere aktiven - Energieversorgung des Targets eine - insbesondere erste - Spannungsquelle, zum Beispiel mit einem oder nach Art eines - insbesondere ersten - Anpassungsnetzwerks oder - bausteins, vorzugsweise mit einem oder nach Art eines parallelgeschalteten, in einem Frequenzbereich von etwa 5 MHz bis etwa 20 MHz kurzschließenden Kondensators, weiter vorzugsweise mit einer Impedanz bei etwa 1 MHz von etwa 1 Ohm, einer Kapazität von 15 nF und/oder zur Anpassung von Frequenz, Amplitude und/oder Phase eines Eingangssignals, ausgebildet sein.

**[0008]** Ferner kann zusätzlich oder alternativ das Target mit einer derartigen Spannungsquelle verbunden oder verbindbar ausgebildet sein und dazu die erfindungsgemäße Drehwinkelsensoranordnung insbesondere eine entsprechende Verbindungseinrichtung aufweisen.

**[0009]** Bei einer anderen Ausgestaltungsform der erfindungsgemäßen Drehwinkelsensoranordnung weist die Spulenordnung für das Sensorelement oder des Sensorelements mindestens ein Spulenelement als Empfangsspule auf.

**[0010]** In diesem Fall ist es von besonderem Vorteil, wenn einzeln oder in beliebiger Kombination miteinander

- ein jeweiliges Spulenelement als planare Spule ausgebildet ist,
- ein jeweiliges Spulenelement im Schnitt oder in einer Ebene einer Spulenwicklung eine Gestalt aufweist mit einer geraden Anzahl zueinander benachbarter identischer Teilwicklungen oder Teilwindungen mit entgegengesetztem Umlaufsinn direkt benachbarten Teilwicklungen oder Teilwindungen,
- ein jeweiliges Spulenelement erste und zweite Anschlüsse aufweist,
- die Spulenanordnung eine Mehrzahl - insbesondere identisch ausgebildeter, miteinander in Reihe geschalteter, gegeneinander verdrehter und/oder einen Vollwinkel gleichmäßig überdeckender - Spulenelemente aufweist und/oder
- die Spulenanordnung für das Sensorelement in Bezug auf eine Rotationsachse zwischen Stator und Rotor spiegelsymmetrisch und/oder rotationssymmetrisch ausgebildet ist.

**[0011]** Diese Maßnahmen verbessern einzeln oder in beliebiger Kombination miteinander die Empfindlichkeit und das Auflösungsvermögen der erfindungsgemäß bereitgestellten Drehwinkelsensoranordnung.

**[0012]** Eine besonders kompakte und in ihrer Messempfindlichkeit weiter gesteigerte erfindungsgemäße Drehwinkelsensoranordnung ergibt sich, wenn gemäß einer anderen Fortbildung des erfindungsgemäßen Konzepts das Target nach Art einer, insbesondere planaren, Sendespule mit Anschlüssen und mit einer oder mit mehreren Wicklungen und/oder einer oder mehreren Windungen, insbesondere in einer Ebene parallel zu einer durch das Spulenelement der Spulenanordnung der Empfangsspule definierten Ebene ausgebildet ist.

**[0013]** Zusätzlich oder alternativ kann eine Ausgestaltung im Wesentlichen nach Art eines Kurzschlussrings vorgesehen sein. Dieser besitzt eine besonders einfache Struktur mit einem entsprechend vereinfachten Feldverlauf.

**[0014]** Im Zusammenhang mit den zuletzt diskutierten technischen Maßnahmen bieten sich verschiedene weitere Ausgestaltungsformen in vorteilhafter Weise an.

**[0015]** So kann das Target eine gleiche Mehrzahl erster Abschnitte und zweiter Abschnitte aufweisen, welche jeweils untereinander identisch, insgesamt identisch, in einer alternierenden Abfolge und/oder einen Vollwinkel, insbesondere in Bezug auf eine

zu Grunde liegende Rotationsachse zwischen Stator und Rotor, gleichmäßig überdeckend ausgebildet sind.

**[0016]** Ein jeweiliger erster Abschnitt des Targets kann für einen Stromfluss in einem größeren Abstand und/oder entlang eines größeren Radius' in Bezug auf eine Rotationsachse zwischen Stator und Rotor eingerichtet sein.

**[0017]** Ein jeweiliger zweiter Abschnitt des Targets kann für einen Stromfluss in einem kleineren Abstand und/oder entlang eines kleineren Radius' in Bezug auf die Rotationsachse eingerichtet sein.

**[0018]** Ein jeweiliger erster Abschnitt des Targets und ein jeweiliger zweiter Abschnitt des Targets können dabei jeweils eingangsseitig und ausgangseitig mit - in Bezug auf eine Rotationsachse zwischen Stator und Rotor - in Umfangsrichtung vorangehenden und nachfolgenden zweiten Abschnitten bzw. ersten Abschnitten mittels Verbindungsabschnitten elektrisch verbunden sein, wobei diese für einen radialen Stromfluss in der Umfangsrichtung aufeinanderfolgende erste und zweite Abschnitte radial oder im Wesentlichen sich radial erstreckend miteinander verbinden.

**[0019]** Das Target kann in Bezug auf eine oder die Rotationsachse zwischen Stator und Rotor spiegelsymmetrisch und/oder rotationssymmetrisch ausgebildet sein.

**[0020]** Die Kompaktheit der Bauweise der erfindungsgemäßen Drehwinkelsensoranordnung und die Empfindlichkeit des Nachweises durch die erfindungsgemäße Drehwinkelsensoranordnung können weiter gesteigert werden, indem die Spulenanordnung des Sensorelements und das Target derart am Stator bzw. am Rotor angebracht oder anbringbar ausgebildet sind, dass die Spulenanordnung und das Target in zueinander parallelen Ebenen liegen und/oder zueinander gering beabstandet angeordnet sind, vorzugsweise in einem Abstand von weniger als 5 mm, vorzugsweise in einem Abstand von weniger als 2 mm und weiter bevorzugt in einem Abstand von unter 1 mm.

**[0021]** Weitere Bauraumeinsparungen lassen sich erzielen, wenn gemäß einer anderen vorteilhaften Weiterbildung der erfindungsgemäßen Drehwinkelsensoranordnung die Spulenanordnung für das Sensorelement als eine oder als Teil einer statorseitigen Leiterplattenstruktur und/oder das Target als eine oder als Teil einer rotorseitigen Leiterplattenstruktur ausgebildet ist bzw. sind.

**[0022]** Ferner betrifft die vorliegende Erfindung ein LiDAR-System zur optischen Erfassung eines Sichtfeldes, insbesondere für eine Arbeitsvorrichtung und/

oder ein Fahrzeug, welches ausgebildet ist mit einem Rotor, einem Stator, einer Einrichtung, insbesondere einem Antrieb, zum Drehen des Rotors gegenüber dem Stator um eine Rotationsachse und mit einer erfindungsgemäß ausgestalteten Drehwinkelsensoranordnung zum Bestimmen eines Drehwinkels und/oder einer Orientierung zwischen dem Rotor und dem Stator.

**[0023]** Die Spulenordnung ist drehfest am Stator angebracht. Das Target ist drehfest am Rotor angebracht.

**[0024]** Der Rotor und insbesondere eine vom Rotor umfasste Senderoptik mit einer Lichtquelleneinheit und/oder eine Empfängeroptik mit einer Detektoranordnung sind zur drahtlosen Energieversorgung, insbesondere mittels Induktion, eingerichtet.

**[0025]** Der Stator weist dazu eine zum Erzeugen und Aussenden eines magnetischen Wechselfeldes ausgebildete Primärspule auf. Der Rotor weist zum Empfangen des magnetischen Wechselfeldes der Primärspule und zum Erzeugen einer Induktionsspannung als Betriebsspannung ausgebildete Sekundärspule in magnetischer Kopplung auf, wobei die Primärspule und die Sekundärspule miteinander magnetisch gekoppelt sind, insbesondere jeweils in magnetischer Kopplung mit und/oder über ein Ferritelement oder einen Ferritkern.

**[0026]** Für eine besonders kompakte Bauweise können jeweils vorgesehene Ferrit Elemente oder Ferritkerne entsprechend geometrisch und/oder materiell ausgestaltet sein oder werden.

**[0027]** So ist es bei einer besonders vorteilhaften Weiterbildung des erfindungsgemäßen LiDAR-Systems vorgesehen, dass ein Ferritelement der statorseitigen Primärspule unterhalb der Spulenordnung für das Sensorelement ausgebildet ist oder die statorseitige Primärspule und/oder ihr Träger teilweise durchbrochen ausgebildet sind und/oder ein Ferritelement der statorseitigen Primärspule zumindest teilweise umschließen.

**[0028]** Zusätzlich oder alternativ kann das Ferritelement der rotorseitigen Sekundärspule zur Aufnahme des Targets in einer Ausnehmung strukturiert sein und/oder einen materiell modifizierten Bereich als Target aufweisen, insbesondere in Form einer Implantation und/oder einer Beschichtung.

**[0029]** Bei einer anderen zusätzlichen oder alternativen Ausgestaltungsform der vorliegenden Erfindung ist bei der Drehwinkelsensoranordnung der Rotor zur Energieversorgung des Targets mit einer ersten Spannungsquelle, insbesondere mit einem oder nach Art eines - insbesondere ersten - Anpassungsnetzwerks oder -bausteins, vorzugsweise mit einem

oder nach Art eines parallelgeschalteten, in einem Frequenzbereich von etwa 5 MHz bis etwa 20 MHz kurzschließenden Kondensators, mit einer Impedanz bei 1 MHz von etwa 1 Ohm, einer Kapazität von 15 nF, und/oder zur Anpassung von Frequenz, Amplitude und/oder Phase eines Eingangssignals und/oder in elektromagnetischer Kopplung mit der rotorseitigen Sekundärspule zur Energieeinspeisung ausgebildet.

**[0030]** Zusätzlich oder alternativ kann bei der Drehwinkelsensoranordnung der Rotor zur Energieversorgung des Rotors und insbesondere eines Antriebs des Rotors, einer vom Rotor umfassten Senderoptik mit einer Lichtquelleneinheit und/oder einer Empfängeroptik mit einer Detektoranordnung eine zweite Spannungsquelle aufweisen, insbesondere mit einem oder nach Art eines Gleichrichters und/oder mit einem zweiten Anpassungsnetzwerk, insbesondere in Form von oder nach Art eines Glättungskondensators, vorzugsweise mit einer Kapazität im Bereich von 1  $\mu$ F bis 100  $\mu$ F, und/oder in elektromagnetischer Kopplung mit der rotorseitigen Sekundärspule zur Energieeinspeisung.

**[0031]** Zusätzlich oder alternativ kann zur Energieversorgung und insbesondere zur Speisung der Primärspule im Stator ein Generator ausgebildet sein, insbesondere zusammen mit einem Anpassungsdipllexer und/oder zum Erzeugen und Zuführen eines Speisesignals einer ersten Komponente eines Versorgungssignals im Bereich von etwa 10 kHz bis 500 kHz zur Versorgung weiterer Komponenten des Rotors außer dem Target und (ii) einer zweiten Komponente des Versorgungssignals im Bereich von etwa 5 MHz bis etwa 20 MHz zur Versorgung des Targets.

**[0032]** Die vorliegende Erfindung betrifft des Weiteren auch eine Arbeitsvorrichtung und insbesondere ein Fahrzeug, welche mit einem LiDAR-System gemäß der vorliegenden Erfindung und zur optischen Erfassung eines Sichtfeldes ausgebildet sind.

**[0033]** Gemäß einem weiteren Aspekt der vorliegenden Erfindung wird auch ein Betriebsverfahren für ein erfindungsgemäßes LiDAR-System geschaffen, bei welchem ein im Rotor drahtlos empfangenes Versorgungssignal (i) einerseits mit einem Umrichter oder einer anderen Einrichtung in Amplitude, Frequenz und/oder Phasenlage gewandelt wird, um das Target des Drehwinkelsensors zu betreiben und insbesondere die Sendespulen des Targets zu erregen, und/oder (ii) andererseits mit einem Gleichrichter, mit einem zweiten Anpassungsnetzwerk, insbesondere in Form von oder nach Art eines Glättungskondensators, vorzugsweise mit einer Kapazität im Bereich von 1  $\mu$ F bis 100  $\mu$ F, und/oder einer anderen Einrichtung gewandelt wird, um weitere Komponenten des LiDAR-Systems im Rotor zu betreiben, insbesondere einen Antrieb des Rotors, eine vom Rotor umfass-

te Senderoptik mit einer Lichtquelleneinheit und/oder eine Empfängeroptik mit einer Detektoranordnung.

**[0034]** Bei einer bevorzugten Weiterbildung des erfindungsgemäßen Betriebsverfahrens wird zur Energieversorgung und insbesondere zur Speisung der Primärspule das Versorgungssignal (i) mit einer ersten Komponente im Bereich von etwa 10 kHz bis 500 kHz zur Versorgung weiterer Komponenten des Rotors außer dem Target und/oder (ii) mit einer zweiten Komponente im Bereich von etwa 5 MHz bis etwa 20 MHz zur Versorgung des Targets erzeugt und zugeführt, insbesondere über einen Generator und insbesondere zusammen mit einem Anpassungsdipllexer im Stator.

#### Figurenliste

**[0035]** Unter Bezugnahme auf die beigefügten Figuren werden Ausführungsformen der Erfindung im Detail beschrieben.

**Fig. 1** zeigt nach Art eines schematischen Blockdiagramms den Aufbau einer Ausführungsform des erfindungsgemäßen LiDAR-Systems.

**Fig. 2** zeigt in einer schematischen und teilweise geschnittenen Seitenansicht Details einer Ausführungsform des erfindungsgemäßen LiDAR-Systems unter Verwendung einer Ausführungsform der erfindungsgemäßen Drehwinkelsensoranordnung.

**Fig. 3** und **Fig. 4** zeigen in schematischer Draufsicht Ausführungsformen der erfindungsgemäß einsetzbaren Spulenordnung für ein Sensorelement.

**Fig. 5** zeigt in Form eines Graphen mit einer Ausführungsform der erfindungsgemäßen Spulenordnung als Sensorelement detektierbare Signale.

**Fig. 6** zeigt ein Schaltbild einer Ausführungsform eines Anpassungsdipllexers zum Aufbau und Zuführen eines Versorgungssignals zu einer Primärspule.

**Fig. 7** und **Fig. 8** zeigen in schematischer Draufsicht Ausführungsformen des erfindungsgemäß einsetzbaren Targets.

#### Bevorzugte Ausführungsformen der Erfindung

**[0036]** Nachfolgend werden unter Bezugnahme auf die **Fig. 1** bis **Fig. 8** Ausführungsbeispiele der Erfindung und der technische Hintergrund im Detail beschrieben. Gleiche und äquivalente sowie gleich oder äquivalent wirkende Elemente und Komponenten werden mit denselben Bezugszeichen bezeichnet. Nicht in jedem Fall ihres Auftretens wird die Detailbeschreibung der bezeichneten Elemente und Komponenten wiedergegeben.

**[0037]** Die dargestellten Merkmale und weiteren Eigenschaften können in beliebiger Form voneinander isoliert und beliebig miteinander kombiniert werden, ohne den Kern der Erfindung zu verlassen.

**[0038]** **Fig. 1** zeigt in Form eines schematischen Blockdiagramms eine Ausführungsform des erfindungsgemäßen LiDAR-Systems **1** mit einer optischen Anordnung **10**.

**[0039]** Das LiDAR-System **1** gemäß **Fig. 1** weist in seiner optischen Anordnung **10** eine Senderoptik **60** mit optischem Pfad **61** auf, welche von einer Lichtquelleneinheit **65** mit Lichtquellen **65-1**, z.B. hier in Form von Lasern, gespeist wird und Primärlicht **57** - ggf. nach Durchlaufen einer Strahlformungsoptik **66** und über eine Ablenkoptik **62** - in ein Sichtfeld **50** zur Erfassung eines dort befindlichen Objekts **52** einer Szene **53** aussendet.

**[0040]** Des Weiteren weist das LiDAR-System **1** nach **Fig. 1** eine Empfängeroptik **30** mit optischem Pfad **31** auf, welche vom Objekt **52** im Sichtfeld **50** reflektiertes Sekundärlicht **58** über ein Objektiv **34** als Primäroptik empfängt und über eine Sekundäroptik **35** an eine Detektoranordnung **20** zur Detektion mit Sensor- oder Detektorelementen **22** überträgt. Die Sekundäroptik **35** kann ein Bandpassfilter aufweisen, um den Einfluss von Streulicht zu reduzieren.

**[0041]** Die Steuerung der Lichtquelleneinheit **65** mit den Lichtquellen **65-1** sowie der Detektoranordnung **20** erfolgt über Steuerkanäle **42** bzw. **41** mittels einer Steuer- und Auswerteeinheit **40**. Die Steuer- und Auswerteeinheit **40** kann auch die Energie- und/oder Datenübertragung zwischen Rotor **200** und Stator **100** und insbesondere die Steuerung eines Rotationsantriebs übernehmen. Sie ist aber insbesondere über das Steuersystem **45** mit Verbindung über den Bus **46** mit der Sendeeinheit **47**, der Empfangseinheit **49** und der Korrelationseinheit **48** dazu eingerichtet, die Bewertung des Sichtfeldes **50** durchzuführen.

**[0042]** Aus der **Fig. 1** geht auch hervor, dass die Steuer- und Auswerteeinheit **40** im Zusammenhang mit dem Stator **100** ausgebildet ist, wogegen die optische Anordnung **10** des LiDAR-Systems **1** im Wesentlichen im Rotor **200** aufgenommen ist.

**[0043]** Die Steuerung des Betriebs des erfindungsgemäßen LiDAR-Systems **1** gemäß **Fig. 1** und die Ausführung eines entsprechenden Betriebsverfahrens erfolgen unter Verwendung des in **Fig. 1** dargestellten Steuersystems **45**, bei welchem über einen Bus **46** die Sendeeinheit **47**, die Empfangseinheit **49** und die Korrelationseinheit **48** miteinander verknüpft und über Steuerleitungen **41** und **42** mit der optischen Anordnung **10** des LiDAR-Systems **1** im Rotor **100** und insbesondere mit der Lichtquelleneinheit **65** und

der Detektoreinheit **20** der Senderoptik **60** bzw. der Empfängeroptik **30** wirkverbunden sind.

**[0044]** Fig. 2 zeigt in einer schematischen und teilweise geschnittenen Seitenansicht Details einer Ausführungsform des erfindungsgemäßen LiDAR-Systems **1** unter Verwendung einer Ausführungsform der erfindungsgemäßen Drehwinkelsensoranordnung **5**.

**[0045]** Der Stator **100** umfasst bei der Ausführungsform gemäß Fig. 2 neben der statorseitigen Primärspule **102** mit Ferritelement oder Ferritkern **301** eine statorseitige Leiterplattenstruktur **103**, welche eine Spulenanordnung **105** als ein oder für ein Sensorelement im Zusammenhang mit der Bestimmung der Orientierung des Drehwinkels des Rotors **200** gegenüber dem Stator **100** aufweist.

**[0046]** Der Rotor **200** umfasst neben der optischen Anordnung **10** mit Senderoptik **60** und Empfängeroptik **30** und weiteren Elementen **304** des LiDAR-Systems **1** eine Sekundärspule **201** mit Ferritelement oder Ferritkern **302**, wobei die in der Sekundärspule **201** in magnetischer Kopplung zur Primärspule **102** und den Ferritelementen **301**, **302** induzierte Spannung einerseits einem Spannungswandler **303** und insbesondere einem Gleichrichter, zugeführt wird, um eine Betriebsspannung für die LiDAR-Komponenten **304** zu generieren. Der Spannungswandler **303** ist hier mit einem Anpassungsbaustein **206** ausgebildet, z.B. einer parallel geschalteten Glättungskapazität **C2**.

**[0047]** Andererseits wird das Versorgungssignal aus der Sekundärspule **201** einem weiteren Anpassungsbaustein **202** zugeführt, um dem Target **203** mit entsprechenden Erregerspulen **204** zu deren Betrieb eine Betriebsspannung bereitzustellen und somit eine Erregung des Targets **203** zu bewirken. Der weitere Anpassungsbaustein **202** kann mit oder aus einer zu den Eingängen des Spannungswandlers **303** parallel geschalteten Kapazität **C1** bestehen, welche die Eingänge des Spannungswandlers **303** für bestimmte und/oder hochfrequente Komponenten des Versorgungssignals kurzschließt.

**[0048]** Bei der Ausführungsform gemäß Fig. 2 ist die Leiterplattenstruktur **103** mit der Spulenanordnung **105** des Sensorelements oder für das Sensorelement direkt oberhalb des Ferritelements **301** der Primärspule **102** ausgebildet, wobei in naher oder unmittelbarer Nachbarschaft das Target **203** als steuerbar betreibbare Erreger fungierend vorgesehen und angeordnet ist.

**[0049]** Der Rotor **200** ist gegenüber dem Stator **100** um eine Rotationsachse **500** rotierbar, wobei ein entsprechender Rotationsantrieb zum Einsatz kommt, der hier nicht dargestellt ist.

**[0050]** Zur Energieübertragung vom Stator **100** zum Rotor **200** durch die über die Ferritkerne **301** und **302** gekoppelte Anordnung aus Primärspule **102** und Sekundärspule **201** ist ein Generator **101** ausgebildet, welcher die Primärspule **102** statorseitig mit einer Wechsellspannung beaufschlagt. Die elektromagnetische Kopplung zum Rotor **200** führt dann zu einer in der Sekundärspule **201** induzierten Spannung, die über den Gleichrichter **303** den weiteren Komponenten **304** des LiDAR-Systems **1** zu deren Betrieb zugeführt wird und andererseits, vermittelt durch den Umrichter **202**, zu Erregung des Targets **203** führt.

**[0051]** Gemäß einer bevorzugten Ausführungsform wird der Primärspule **102** über einen Anpassungsbaustein in Form eines Anpassungs- oder Matchingdiplexers **106** ein aus zwei Komponenten überlagertes Versorgungssignal angepasst zugeführt, wie dies auch im Zusammenhang mit Fig. 7 erläutert ist.

**[0052]** Die Fig. 3 und Fig. 4 zeigen in schematischer Draufsicht Ausführungsformen der erfindungsgemäß einsetzbaren Spulenanordnung **105** als ein oder für ein Sensorelement im Bereich des Stators **100**.

**[0053]** Fig. 3 zeigt ein Beispiel einer Ausführungsform einer statorseitig einsetzbaren Empfangsspule **103.1**, wie sie zum Beispiel als Element einer Leiterplattenstruktur **103** für eine Spulenanordnung **105** als Sensorelement erfindungsgemäß ausgebildet werden kann.

**[0054]** Die Empfangsspule **103.1** oder Empfängerspule gemäß Fig. 3 wird gebildet von einer Wicklung **103.3** mit einer oder mit mehreren Windungen. In der in Fig. 3 dargestellten Ausführungsform wird die Wicklung **103.3** der Empfängerspule **103.1** statorseitig gebildet

(a) von einem ersten Abschnitt oder einer ersten Teilwicklung **103.4** mit einer ersten Umlaufrichtung für den elektrischen Strom auf Grund der Orientierung der ersten Teilwicklung **103.4** oder deren Windungen, dargestellt durch einen ersten Pfeil **103.6**, und

(b) von einem zweiten Abschnitt oder einer zweiten Teilwicklung **103.5** mit einer zweiten Umlaufrichtung für den elektrischen Strom aufgrund der Orientierung der zweiten Teilwicklungen **103.5** oder deren Windungen, dargestellt durch einen zweiten Pfeil **103.7**.

**[0055]** Eine Kontaktierung der Empfangsspule oder Empfängerspule **103.1** kann durch die ersten und zweiten Anschlüsse **104.1** und **104.2** zum Kontaktieren der Wicklung **103.3** erfolgen.

**[0056]** Fig. 4 zeigt den Aufbau einer Spulenanordnung **105** für ein Sensorelement im Stator **100**, vorzugsweise aufgebaut im Zusammenhang mit einer

Leiterplattenstruktur, mit einer ersten Empfangsspule oder Empfängerspule **103.1** und einer dazu identisch aufgebauten zweiten Empfangsspule oder Empfängerspule **103.2**, die jedoch gegenüber der ersten Empfängerspule **103.1** im Uhrzeigersinn um  $90^\circ$  gedreht ist. Die ersten und zweiten Empfängerspulen **103.1** und **103.2** der Spulenanordnung **105** als Sensorelement weisen jeweils eine Wicklung **103.1** mit einer ersten Teilwicklung **103.4** und einer zweiten Teilwicklung **103.5** und ersten und zweiten Anschlüssen **104.1** bzw. **104.2** auf. Ansonsten sind die im Zusammenhang mit **Fig. 3** angegebenen Eigenschaften für jede der ersten und zweiten Empfangsspulen **103.1** **103.2** gültig.

**[0057]** **Fig. 5** zeigt in Form eines Graphen **70** mit einer Ausführungsform der erfindungsgemäßen Spulenanordnung **105** als ein Sensorelement detektierbare Signale oder Teilsignale vermittelt durch entsprechende Abschnitte oder Teilwicklungen **103.4** und **103.5** einer Empfangsspule **103.1**. Gemäß einer bevorzugten Ausgestaltungsform der vorliegenden Erfindung wird das Target **203** konstruktiv und insbesondere geometrisch so ausgelegt, dass die in den Empfangsspulen **103.1** und **103.2** durch Induktion hervorgerufenen und empfangenen Signale die im Graphen **70**, bei welchem auf der Abszisse **71** die Zeit und auf der Ordinate **72** die Signalstärke aufgetragen sind, so wie sie in den Spuren **73** und **74** dargestellt sind, einen entsprechenden sinusförmigen Verlauf aufweisen, gegebenenfalls mit einer entsprechenden Phasenverschiebung. Durch entsprechend ausgeführte Berechnungsverfahren kann dann auf die Orientierung und/oder den Drehwinkel des Rotors **200** in Bezug auf den Stator **100** und auf deren Änderung geschlossen werden.

**[0058]** **Fig. 6** zeigt ein Schaltbild einer Ausführungsform eines Anpassungsdiplexers **106** zum Aufbau und Zuführen eines Versorgungssignals zu einer Primärspule **102**, welcher aufgebaut ist aus einem Netzwerk mit Kapazitäten **113**, **114**, **116**, **117**, **119** und Induktivitäten **115**, **118**, die in der in **Fig. 6** dargestellten Weise mit der Primärspule - repräsentiert durch die Induktivität **102-1** und den Widerstand **102-2** der Spule - verbunden sind, um über die Anschlüsse oder Port **111** und **112** ein zweikomponentiges Versorgungssignal angepasst in die Primärspule **102** einzuspeisen.

**[0059]** Die **Fig. 7** und **Fig. 8** zeigen in schematischer Draufsicht Ausführungsformen des erfindungsgemäß einsetzbaren Targets **203**.

**[0060]** In **Fig. 7** ist das Target **203** als Sendespule **204** dargestellt, und zwar im Wesentlichen nach Art eines Kurzschlussrings mit einer Windung, an dessen einziger Unterbrechung ein erster Anschluss **204.1** und ein zweiter Anschluss **204.2** mit Verbindung zu einem Anpassungsbaustein **202** ausgebildet

sind, welcher über die induktiv an eine statorseitige Primärspule **102** gekoppelte Sekundärspule **201** am Rotor **200** gespeist wird.

**[0061]** Das Target **203** gemäß **Fig. 7** besitzt um die senkrecht zur Zeichnungsebene stehende Rotationsachse **500** zwischen Stator **100** und Rotor **200** herum eine dreizählige Drehsymmetrie oder Rotationsymmetrie. Das Target **203** wird von einer Abfolge alternierend angeordneter erster und zweiter Abschnitte **204.4** und **204.6** der Wicklung **204.3** oder Windung des Targets **203** gebildet. Die ersten und zweiten Abschnitte **204.4** und **204.6** verlaufen jeweils im Wesentlichen in Umfangsrichtung der Rotationsymmetrie auf einem festen Abstand oder Radius von der Rotationsachse **500**, nämlich einmal in einem größeren Abstand für die ersten Abschnitte **204.4** und einem näher an der Achse **500** gelegenen geringeren Abstand oder Radius für die zweiten Abschnitte **204.6**. Jeder erste Abschnitt **204.4** der Wicklung oder Windung **204.3** des Targets **203** ist mittels jeweils einem Radialabschnitt **204.5** eingangsseitig und ausgangsseitig mit jeweils einem zweiten Abschnitt **204.6** der Wicklung oder Windung **204.3** des Targets **203** elektrisch leitend verbunden. Entsprechend ist jeder zweite Abschnitt **204.6** der Wicklung oder Windung **204.3** des Targets **203** eingangsseitig und ausgangsseitig mittels jeweils einem Radialabschnitt **204.5** mit jeweils einem ersten Abschnitt **204.4** der Wicklung oder Windung **204.3** des Targets **203** elektrisch leitend verbunden.

**[0062]** **Fig. 7** zeigt noch einen Gleichrichter **205**, welcher als Spannungswandler **303** oder als Teil eines Spannungswandlers **303** gemäß **Fig. 2** fungiert und mit einem anderen Anpassungsbaustein **206**, z.B. einem Glättungskondensator, gekoppelt ist, um Gleichspannungskomponenten **304** des LiDAR-Systems zu speisen.

**[0063]** Die ersten und zweiten Abschnitte **204.4** bzw. **204.6** überspannen den Vollwinkel von  $360^\circ$ , und zwar vorzugsweise mit identischen Winkeln  $\alpha$   $\alpha'$ , wie dies im Zusammenhang mit **Fig. 8** dargestellt ist.

**[0064]** Diese und weitere Merkmale und Eigenschaften der vorliegenden Erfindung werden an Hand der folgenden Darlegungen weiter erläutert:

**[0065]** Die vorliegende Erfindung betrifft insbesondere LiDAR-Systeme **1** in Form so genannter LiDAR-Makroscanner, bei denen alle benötigten optischen Elemente **304** und insbesondere ein Laser als Lichtquelle **65-1** und eine Detektoranordnung **20** mit einem Detektorelement **22** auf einem Rotor **200** sitzen, aber auch LiDAR-Systeme **1** nach Art von Scannern, bei denen ein Spiegel zur Strahlablenkung rotiert und somit ein Sichtfeld **50** und die darin enthaltene Szene **53** mit Objekt **52** abgetastet werden.

**[0066]** In beiden Fällen wird mit einer gepulsten Lichtquelle **65-1** - z.B. Laser - ein Strahl von Primärlicht **57** ausgesandt und dessen Reflexion als Sekundärlicht **58** detektiert, um eine Abstandsmessung zu realisieren und ein „Bild“ der Szene **53** aufzunehmen. Die Energieversorgung der sich drehenden Systeme **1** kann drahtlos - z.B. über eine Kombination aus statorseitiger Primärspule **102** und rotorseitiger Sekundärspule **201** - realisiert werden, wogegen bei vielen herkömmlichen LiDAR-Systemen mit Schleifringen gearbeitet wird.

**[0067]** Zur Motorkommutierung und zur Berechnung des Szenenbildes, muss die Rotorposition bekannt sein. Hierzu wird ein Drehwinkelsensor **5** verwendet.

**[0068]** Dabei werden herkömmlicherweise für einen derartigen Drehwinkelsensor gekoppelte Spulen eingesetzt. In einer Erregerspule wird ein elektromagnetisches Wechselfeld aufgebaut, welches in mehrere Empfangsspulen des herkömmlichen Drehwinkelsensors koppelt und dort jeweils eine Spannung induziert. Für die Messung des Drehwinkels wird ein drehbar gelagertes, leitfähiges Target benötigt, welches in Abhängigkeit seiner Winkelposition und relativ zu den Empfangsspulen die induktive Kopplung zwischen der Erregerspule und den Empfangsspulen beeinflusst.

**[0069]** Konkret sorgt das Erregerfeld für eine induzierte Spannung in der Targetstruktur, die zu einem Stromfluss führt, welcher seinerseits ein Magnetfeld, das dann in den Erregerspulen Spannungen induziert. Aus EMV-Gründen ist die Feldemission der Erregerspule begrenzt, woraus ebenfalls ein begrenzter maximaler Abstand zwischen Sensorplatine mit den Spulenstrukturen und Target resultiert. Der geringe Abstand kann zum Ausschluss des Konzeptes bei einigen Realisierungen des Makroscanners führen.

**[0070]** Es ist eine Aufgabe der vorliegenden Erfindung, die Integration eines induktiven Drehwinkelsensors **5** in ein drahtlos energieversorgtes scannendes optisches System und insbesondere in ein entsprechendes LiDAR-System **1** zu schaffen.

**[0071]** Das Target **203** des Sensors **5** wird dabei erfindungsgemäß direkt bestromt, so dass keine Erregerspule auf der Sensorleiterplatte **103** mehr notwendig ist und größere Abstände zwischen Target **203** und Empfangsspulen **103.1**, **103.2** der statorseitigen Spulenordnung **105** für das Sensorelement möglich sind.

**[0072]** Kern der Erfindung ist also die Integration eines induktiven Drehwinkelsensors **5** in ein drahtlos energieversorgtes scannendes optisches System, insbesondere eines LiDAR-Systems **1**. Der drahtlos energieversorgte Rotor **200** versorgt das Target **203** des induktiven Drehwinkelsensors **5** direkt mit Ener-

gie, so dass eine Erregung auf der Seite des Stators **100** entfallen kann, nämlich dort, wo die Empfangsspulen **103.1**, **103.2** der statorseitigen Spulenordnung **105** des Drehwinkelsensors **5** platziert sind.

**[0073]** Die Erregerspule oder Primärspule **102** für die induktive Energieübertragung und für die Drehwinkelmessung ist identisch und wird mit einem Signal beaufschlagt, welches mindestens zwei Frequenzanteile aufweist.

**[0074]** Es stellen sich unter anderem folgende Vorteile ein:

- Das Messprinzip ist unabhängig von externen Magnetfeldern, die z.B. von den Statorspulen des Motors generiert werden (Fremdfeldimmunität).
- Es bildet sich ein einfaches System **1** insgesamt aus.
- Es ist vergleichsweise wenig zusätzlicher Hardwareaufwand notwendig.
- Die Absolutposition kann im Rahmen des Eindeutigkeitsbereichs des Sensors bereits beim Systemstart bekannt sein. Das ist insbesondere wichtig für die Motorkommutierung des BLDC Motors, speziell bei Synchronmaschinen.
- Die Energieübertragung und die Übertragung der Sensorsignale stören sich gegenseitig nicht.
- Es ergibt sich ein insgesamt einfach umsetzbares Redundanzkonzept, zum Beispiel gemäß ISO 26262, für den Drehwinkelsensor **5**, insbesondere mit der Möglichkeit der Integration weiterer Empfangsspulen und ohne zusätzliche Kosten.
- Das erfindungsgemäße Konzept ist insgesamt toleranzrobust und temperaturstabil, d.h. Wärmeausdehnung führt nicht zu Messfehlern.
- Es ergibt sich insgesamt eine vergleichsweise hohe Messempfindlichkeit oder Sensitivität des erfindungsgemäßen Drehwinkelsensors **5**.
- Das erfindungsgemäß vorgesehene Messprinzip ist unabhängig von vielen weiteren Fremdeinflüssen wie Luftfeuchtigkeit, Schmierstoffen usw.

**[0075]** Ein erfindungsgemäßes System als LiDAR-System **1** mit den benötigten Komponenten ist in **Fig. 2** dargestellt.

**[0076]** Ein Rotor **200** ist drehbar um eine Drehachse **500** gelagert. Ihm gegenüber befindet sich ein als ortsfest angenommener Stator **100**.

**[0077]** Die Energieversorgung der Komponenten **304** des LiDAR-Systems **1** und weiterer Komponenten auf dem Rotor **200** erfolgt über eine Primärspu-

le **102**, die mit einem Wechsellspannungssignal mit einem Frequenzbereich einige zehn kHz bis einigen hundert kHz durch den Generator **101** beaufschlagt wird und in eine Sekundärspule **201**.

**[0078]** Das Wechsellspannungssignal des Generators **101** weist mindestens zwei Frequenzanteile auf, von denen - wie bereits dargelegt - eine erste Frequenz im Bereich einiger zehn bis einiger hundert kHz liegt und eine zweite Frequenz im Bereich weniger MHz (z.B. 10 MHz). Obwohl die Primärspule **102** schematisch in **Fig. 2** als Zylinderspule dargestellt ist, kann sie auch als Toroidspule oder Planarspule in Leiterplattentechnologie, z.B. auf der Leiterplattenstruktur **103**, realisiert sein.

**[0079]** Damit eine Spule effizient mit einem Signal bestehend aus mindestens zwei Frequenzen beaufschlagt werden kann, wird z.B. ein Matchingdiplexer **106** eingesetzt, eine nähere Beschreibung erfolgt im Zusammenhang mit **Fig. 6**.

**[0080]** Um eine effektive Energieübertragung zu gewährleisten, können Ferritkerne **301** und **302** verwendet werden.

**[0081]** Auf dem Rotor **200** wird die Sekundärspule **201** mit einem Schaltungsbaustein **202**, z.B. mit einer Kapazität **C1** und dem Target **203** verbunden. Dieses muss in einigen Bereichen elektrisch leitfähig ausgeführt sein. Es kann sich beispielsweise um eine Leiterplatte oder aber auch um ein gefrästes oder gestanztes Teil beispielsweise aus oder mit Aluminium handeln. Ferner ist es zudem möglich das Ferritelement **302** entsprechend zu strukturieren und ein elektrisch leitfähiges Element einzulegen oder zumindest das Ferritelement **302** mit einer elektrisch leitfähigen Beschichtung zu versehen.

**[0082]** Der Schaltungsbaustein **202** ist so zu dimensionieren, dass er für die zweite Frequenz im Bereich weniger MHz einen Kurzschluss bildet. Wenn es sich um einen Kondensator handelt, sollte dieser beispielsweise eine Impedanz von 1 Ohm bei 10 MHz aufweisen und/oder eine Kapazität von etwa 15 nF.

**[0083]** Das vom Target **203** ausgesendete elektromagnetische Wechselfeld beeinflusst die induktive Kopplung zwischen der Primär- oder Erregerspule **103** und mindestens zwei Empfangsspulen **103.1**, **103.2**, die auf einer Leiterplattenstruktur **103** integriert sind. Neben diesen Komponenten kann die Leiterplattenstruktur auch die Primär- oder Erregerspule **102** sowie weitere elektrische Komponenten tragen.

**[0084]** Die Grundstruktur einer Empfangsspule **103.1** zeigt **Fig. 3**.

**[0085]** Die Empfangsspule **103.1** weist mit Ihrer Wicklung **103.3** jeweils identisch große Flächen und

eine identisch große Anzahl an rechtslaufenden und linkslaufenden Teilwindungen **103.4** und **103.4** auf. Ein Messbereich von 360° benötigt je eine Teilwindung **103.4**, **103.5** ein Messbereich von 180° je zwei, ein Messbereich von 120° je drei und so weiter.

**[0086]** Es gilt zu berücksichtigen, dass benachbarte Teilwindungen **103.4**, **103.5** immer einen entgegengesetzten Umlaufsinn haben müssen.

**[0087]** Um eine robuste Rückrechnung in den Drehwinkel zu ermöglichen, werden bevorzugt mindestens zwei Empfangsspulen **103.1** und **103.2** gemäß **Fig. 4** verwendet. Diese müssen um ein Viertel des Messbereiches zueinander verdreht werden. Werden drei Empfangsspulen verwendet, müssen diese um ein Drittel des Messbereiches verdreht werden.

**[0088]** Auf der Sekundärseite des Rotors **200** kann die Wechsellspannung mit einem Spannungswandler **303** z.B. gleichgerichtet oder in anderer Form weiterverarbeitet werden, z.B. mit oder unter Glättung, Umsetzung auf andere Frequenzen, Amplituden und/oder Phasen, um dann weitere Komponenten **304** des LiDAR-Systems **1** zu versorgen. Diese sind hier nicht weiter dargestellt, beinhalten aber mindestens die Lichtquelle **65-1**, z.B. einen Laser, und eine Detektoranordnung **20** mit einem oder mit mehreren Detektorelementen **22**.

**[0089]** Ebenso nicht dargestellt sind die benötigten Komponenten zur drahtlosen Datenübertragung zwischen Rotor **200** und Stator **100**, der Motor zur Drehung des Rotors **200** sowie das dafür benötigte Steuergerät.

**[0090]** Erfindungsgemäß beinhaltet der Stator **100** zum Beispiel eine Leiterplattenstruktur **103**, die zumindest die Empfangsspulen **103.1** und **103.2** der Spulenordnung **105** des Drehwinkelsensors **5** trägt.

**[0091]** Das statorseitige Ferritelement **301** kann entweder so wie dargestellt unterhalb der Leiterplattenstruktur **103** angeordnet sein oder aber dieses zumindest teilweise umschließen. Es ist zudem denkbar, dass die Leiterplattenstruktur **103** Durchbrüche aufweist, durch die das statorseitige Ferritelement **301** zumindest teilweise die Leiterplattenstruktur **103** durchstößt.

**[0092]** Rotorseitig weist das erfindungsgemäße System **1** ein Target **203** als steuerbare Erreger auf. Dieses Target **203** muss in einigen Bereichen elektrisch leitfähig ausgeführt sein. Es kann sich beispielsweise um eine Leiterplatte oder aber auch um ein gefrästes oder gestanztes Teil aus Aluminium handeln. Ferner ist es zudem möglich das rotorseitige Ferritelement **302** entsprechend zu strukturieren und ein elektrisch leitfähiges Element einzulegen oder zumindest das

Ferritelement **302** mit einer elektrisch leitfähigen Beschichtung zu versehen.

**[0093]** Entscheidend für die vorliegende Erfindung ist, dass das Target **203** aktiv elektrisch versorgt also bestromt wird. Dafür wird erfindungsgemäß rotorseitig eine Spannungsquelle, zum Beispiel in Form eines Spannungswandlers **202** - insbesondere nach Art eines Umsetzers - integriert, der die induzierte Spannung der Sekundärspule **201** in Frequenz, optional Amplitude und/oder Phase moduliert. Während die induzierte Spannung der Sekundärspule **201** Frequenzen im Bereich einiger 100 kHz aufweisen kann, kann das Target **203** mit Spannungen mit Frequenzen im Bereich weniger MHz - z.B. 5 MHz - versorgt werden.

**[0094]** Fig. 3 zeigt ein Schema einer Empfangsspule **103.1** auf der Leiterplattenstruktur **103** mit einem Messbereich von insgesamt 360°.

**[0095]** Die Empfangsspule **103.1** weist jeweils identisch große Flächen und eine identisch große Anzahl an rechts- und linkslaufenden Teilwindungen oder Teilwicklungen **103.4**, **103.5** auf. Ein Messbereich von 360° benötigt je eine Teilwindung, ein Messbereich von 180° je zwei und so weiter. Es gilt zu berücksichtigen, dass benachbarte Teilwindungen **103.4**, **103.5** immer einen entgegengesetzten Umlaufsinn haben müssen.

**[0096]** Um eine robuste Rückrechnung in den Drehwinkel zu ermöglichen, werden bevorzugt mindestens zwei Empfangsspulen **103.1** und **103.2** z.B. gemäß Fig. 4 verwendet. Diese müssen um ein Viertel des Messbereiches zueinander verdreht angeordnet sein oder werden. Werden drei Empfangsspulen verwendet, müssen diese um ein Drittel des Messbereiches verdreht werden.

**[0097]** Fig. 4 zeigt schematisch die Anordnung zweier Empfangsspulen **103.1**, **103.2** auf der Leiterplattenstruktur **103**.

**[0098]** Die dargestellten zwei Empfangsspulen **103.1**, **103.2** weisen im Wesentlichen eine identische Geometrie auf, sind jedoch aus Gründen der Übersichtlichkeit mit leicht unterschiedlichen Durchmessern dargestellt.

**[0099]** Zur Demodulation der empfangenen Signale, wird bevorzugt der Träger des Anregesignals des Targets, nämlich das Ausgangssignal des AC/AC Wandlers **202**, rekonstruiert, zum Beispiel mittels bekannter Techniken der Carrier-Recovery.

**[0100]** Nach phasenrichtiger Demodulation der Empfangssignale mit dem Anregesignal des Targets **203**, ergeben sich beispielhaft für zwei Empfangsspulen gemäß Fig. 4 Signale der Empfangsspulen **103.1**

und **103.2**, wie sie in Fig. 5 in den Spuren **73** und **74** dargestellt des Graphen **70** sind.

**[0101]** Bevorzugt wird das Target **203** geometrisch so ausgelegt, dass sich die Amplitude der Empfangssignale sinusförmig mit dem Drehwinkel verändert, wie in Fig. 5 gezeigt ist. Bei zwei Empfangsspulen **103.1**, **103.2** ergibt sich bei der oben beschriebenen Verdrehung ein Sinus-/Kosinussystem, welches durch Division und Arcustangensberechnung in den Drehwinkel überführt werden kann.

**[0102]** Alternativ sind auch andere Signalformen mit entsprechend anderen Rückrechenalgorithmen möglich, z.B. mit einem linearen Amplitudenverlauf als Funktion des Drehwinkels.

**[0103]** Bei drei Empfangsspulen ergeben sich bei vorteilhafter Ausgestaltung drei um 120° elektrisch phasenverschobene Signale, die zuerst mit der Clarke-Transformation in ein Zweiphasensystem wie in Fig. 5 umgerechnet werden müssen.

**[0104]** Parallel zum Schaltungsbaustein **202** befindet sich eine Gleichrichterschaltung **205**, z.B. als Teil eines Spannungswandlers **303** gemäß Fig. 2, welche über ein optionales Anpassungsnetzwerk **204**, z.B. einen Glättungskondensator **C2**, mit einer Kapazität zwischen 1 µF und 100 µF, alle weiteren Komponenten **304** auf dem Rotor **200** mit einer Gleichspannung versorgt.

**[0105]** Diese weiteren Komponenten **304** sind hier nicht weiter dargestellt, können aber eine Lichtquelle **65-1**, z.B. Laser, und einen Detektor **22** aufweisen.

**[0106]** Ebenso nicht dargestellt sind die benötigten Komponenten zur drahtlosen Datenübertragung zwischen Rotor **200** und Stator **100**, der Motor zur Drehung des Rotors **200** sowie das dafür benötigte Steuergerät.

**[0107]** Damit eine Spule und insbesondere die Primärspule **102** effizient mit einem Signal und insbesondere mit dem Speisesignal, bestehend aus mindestens zwei Frequenzen, beaufschlagt werden kann, kann ein Matchingdiplexer oder Anpassungsdiplexer **106** als Anpassungseinrichtung eingesetzt werden.

**[0108]** Dieser kann eine Topologie gemäß Fig. 6 aufweisen. **Lc** und **Rc** stellen die Ersatzelemente der Erregerspule **102** dar. Der Port **H** kennzeichnet den Anschluss des hochfrequenten Signals mit einer zweiten Frequenz im Bereich weniger MHz, der Port **C** den Anschluss der ersten Frequenz im Bereich einiger zehn bis einiger hundert kHz.

**[0109]** Beispielhaft wird eine Dimensionierung für eine hohe Frequenz von 10 MHz (für die Drehwinkel-

messung) und eine niedrige Frequenz von 100 kHz (für die Energieübertragung) dargestellt.

**[0110]** Die Kombination aus **Ltrap** und **Ctrap** muss eine Frequenz von 10 MHz blockieren und eine Frequenz von 100 kHz durchlassen. Um eine ausreichend hohe Güte und damit Sperrwirkung zu realisieren, sollte **Ltrap** eine Induktivität im Bereich um 1  $\mu\text{H}$  aufweisen.

**[0111]** Für **Ctrap** ergeben sich dann 250 pF.

**[0112]** Die Isolation Liso sollte für 10 MHz möglichst wenig Einfluss haben, also einen hohen Induktivitätswert aufweisen.

**[0113]** Für den 100 kHz Pfad wäre ein Kurzschluss optimal. Ein praktisch sinnvoller Kompromiss ist die Induktivität Liso der Induktivität der Erregerspule **102** gleichzusetzen, also etwa 1  $\mu\text{H}$  bis 4  $\mu\text{H}$ .

**[0114]** Die weiteren Elemente der Schaltung müssen wie folgt dimensioniert werden:

**[0115]** Ct links soll so dimensioniert sein, dass mit der Parallelschaltung aus **Liso** und **Lc** eine Resonanzfrequenz von 10 Mhz realisiert wird, also zwischen etwa 50 pF und etwa 1 nF.

**[0116]** Ct rechts soll so dimensioniert sein, dass mit der Reihenschaltung aus **Liso** und **Lc** eine Resonanzfrequenz von 100 kHz realisiert wird, also zwischen ca. 1 nF und 500 nF.

**[0117]** Cm soll generell so bemessen sein, dass sich bei den entsprechenden hohen und niedrigen Frequenzen Impedanzen im Bereich von  $-5 \text{ j}\Omega$  ergeben, z.B. mit Cm also 3 nF und Cm rechts 300 nF.

**[0118]** **Fig. 7** ist eine Prinzipskizze eines erfindungsgemäßen Targets **203** als Senderspule oder Senderspule **204** inklusive der benötigten Komponenten zur Stromversorgung auf dem Rotor **200**.

**[0119]** **Fig. 7** zeigt insbesondere die rotorseitige Sekundärspule **201**, wobei aus Gründen der Übersichtlichkeit nur eine Windung dargestellt ist. Über den Spannungswandler **202** wird das von der Primärspule **102** über die Sekundärspule **201** empfangene Signal in eine Wechselspannung anderer Frequenz, Amplitude und/ oder Phase umgesetzt und versorgt direkt eine Targetstruktur **203**, in der es in folgedessen zu einem Stromfluss kommt.

**[0120]** Bei der Targetstruktur **203** kann es sich, wie dargestellt, im Wesentlichen um einen Kurzschlussring handeln. Bevorzugt weist das Target jedoch drei oder mehr Windungen auf, um eine ausreichend hohe Induktivität zu erreichen. Prinzipiell ist anzustreben, dass die Impedanz der Targetstruktur **203** an die

Impedanz des Wandlers **202** angepasst ist, um einen maximalen Stromfluss zu erreichen. Dieser sorgt wiederum für ein maximales Magnetfeld und maximal induzierte Spannungen in den Empfangsspulen **103.1**, **103.2** des Stators **100**.

**[0121]** Das Target **203** wird bevorzugt gemäß **Fig. 7** oder **Fig. 8** so aufgebaut, dass in einem Winkelbereich  $\alpha$  der Stromfluss auf einem äußeren Kreisbogenelement **204.4** der Wicklung **204.3** des Targets **203** konzentriert ist, welches einen äußeren Radius hat und auf einem direkt benachbarten Winkelbereich  $\alpha'$  der Stromfluss auf einem innen liegendem Kreisbogenelement **204.6** stattfindet. Dazwischen liegen radial verlaufende leitfähige Elemente oder Abschnitte **204.5**, die sich in ihren Verlängerungen alle im Punktsymmetriezentrum der Rotationsachse **500** der Targetstruktur **203** schneiden. Die Summe der beiden Winkelbereiche  $\alpha$  und  $\alpha'$  entspricht dem Messbereich. Bevorzugt gilt  $\alpha = \alpha'$ .

**[0122]** Alternativ kann das Targetelement **203** auch komplexere Strukturen auf einer Leiterplatte enthalten. Es kann sich um eine einlagige, aber auch mehrlagige Leiterplatte handeln.

## Patentansprüche

1. Drehwinkelsensoranordnung (5) für ein einen Rotor (200) und einen Stator (100) aufweisendes optisches System und insbesondere für ein LiDAR-System (1) zur Bestimmung eines Drehwinkels und/oder einer Orientierung zwischen dem Rotor (200) und dem Stator (100),
  - welche ausgebildet ist mit
  - einer statorbasierten und drehfest am Stator (100) angebrachten oder anbringbaren Spulenanordnung (105) als Sensorelement zum Empfangen eines magnetischen Wechselfeldes und
  - einem rotorbasierten und drehfest am Rotor (200) angebrachten oder anbringbaren Target (203) zum aktiven Erzeugen eines magnetischen Wechselfeldes, und
  - bei welcher die Spulenanordnung (105) und das Target (203) so am Stator (100) bzw. am Rotor (200) angebracht oder anbringbar sind, dass sich in Abhängigkeit vom Drehwinkel und/oder der Orientierung zwischen Stator (100) und Rotor (200) unterschiedliche Überdeckungen und/oder räumliche Nachbarschaften zwischen der Spulenanordnung (105) und dem Target (203) mit einem entsprechend unterschiedlichen Einfluss des magnetisches Wechselfeldes des Targets (203) auf die Spulenanordnung (105) einstellen.
2. Drehwinkelsensoranordnung (5) nach Anspruch 1,
  - welche eingerichtet ist, das Target (203) zum aktiven Erzeugen eines magnetischen Wechselfeldes aktiv zu bestromen,

- bei welcher zur Energieversorgung des Targets (203) eine erste Spannungsquelle (202), insbesondere mit einem oder nach Art eines - insbesondere ersten - Anpassungsnetzwerks oder -bausteins, vorzugsweise mit einem oder nach Art eines parallelgeschalteten, in einem Frequenzbereich von 5 MHz bis 20 MHz kurzschließenden Kondensators, mit einer Impedanz bei 1 MHz von 1 Ohm, einer Kapazität von 15 nF und/oder zur Anpassung von Frequenz, Amplitude und/oder Phase eines Eingangssignals, ausgebildet ist und/oder
- bei welcher das Target (203) mit einer derartigen Spannungsquelle (202) verbunden oder verbindbar ist und dazu insbesondere eine Verbindungseinrichtung ausgebildet ist.

3. Drehwinkelsensoranordnung (5) nach einem der vorangehenden Ansprüche, wobei die Spulenanordnung (105) des Sensorelements oder für das Sensorelement mindestens ein Spulenelement (103.1, 103.2) als Empfangsspule aufweist und insbesondere

- ein jeweiliges Spulenelement (103.1, 103.2) als planare Spule ausgebildet ist,
- ein jeweiliges Spulenelement (103.1, 103.2) im Schnitt oder in einer Ebene einer Spulenwicklung (103.3) eine Gestalt aufweist mit einer geraden Anzahl zueinander benachbarter identischer Teilwicklungen (103.4, 103.5) oder Teilwindungen mit entgegengesetztem Umlaufsinn direkt benachbarten Teilwicklungen (103.4, 103.5) oder Teilwindungen,
- ein jeweiliges Spulenelement (103.1, 103.2) erste und zweite Anschlüsse (104.1, 104.2) aufweist,
- die Spulenanordnung (105) eine Mehrzahl - insbesondere identisch ausgebildeter, miteinander in Reihe geschalteter, gegeneinander verdrehter und/oder einen Vollwinkel gleichmäßig überdeckender - Spulenelemente (103.1, 103.2) aufweist und/oder
- die Spulenanordnung (105) in Bezug auf eine Rotationsachse (500) zwischen Stator (100) und Rotor (200) spiegelsymmetrisch und/oder rotationssymmetrisch ausgebildet ist.

4. Drehwinkelsensoranordnung (5) nach einem der vorangehenden Ansprüche, bei welcher das Target (203)

- nach Art einer, insbesondere planaren, Sendespule (204) mit Anschlüssen (204.1, 204.2) und einer oder mit mehreren Wicklungen (204.3) und/oder einer oder mehreren Windungen, insbesondere in einer Ebene parallel zu einer durch das Spulenelement (103.1, 103.2) der Spulenanordnung (105) der Empfangsspule definierten Ebene, und/oder
- im Wesentlichen nach Art eines Kurzschlussrings ausgebildet ist.

5. Drehwinkelsensoranordnung (5) nach einem der vorangehenden Ansprüche, bei welcher

- das Target (203) eine gleiche Mehrzahl erster Abschnitte (204.4) und zweiter Abschnitte (204.6) auf-

weist, welche jeweils untereinander identisch, insgesamt identisch, in einer alternierenden Abfolge und/oder einen Vollwinkel, insbesondere in Bezug auf eine zu Grunde liegende Rotationsachse (500), gleichmäßig überdeckend ausgebildet sind,

- ein jeweiliger erster Abschnitt (204.4) des Targets (203) für einen Stromfluss in einem größeren Abstand und/oder entlang eines größeren Radius' in Bezug auf eine Rotationsachse (500) zwischen Stator (100) und Rotor (200) eingerichtet ist und ein jeweiliger zweiter Abschnitt (204.6) des Targets (203) für einen Stromfluss in einem kleineren Abstand und/oder entlang eines kleineren Radius' in Bezug auf die Rotationsachse (500) eingerichtet ist,

- ein jeweiliger erster Abschnitt (204.4) des Targets (203) und ein jeweiliger zweiter Abschnitt (206.4) des Targets (203) eingangsseitig und ausgangssseitig jeweils mit - in Bezug auf eine Rotationsachse (500) zwischen Stator (100) und Rotor (200) - in Umfangsrichtung vorangehenden und nachfolgenden zweiten Abschnitten (204.6) bzw. ersten Abschnitten (204.4) mittels Verbindungsabschnitte (204.5) elektrisch verbunden ist, die für einen radialen Stromfluss in der Umfangsrichtung aufeinanderfolgende erste und zweite Abschnitte (204.4, 204.6) sich radial oder im Wesentlichen radial erstreckend miteinander verbinden und/oder

- das Target (203) in Bezug auf eine Rotationsachse (500) zwischen Stator (100) und Rotor (200) spiegelsymmetrisch und/oder rotationssymmetrisch ausgebildet ist.

6. Drehwinkelsensoranordnung (5) nach einem der vorangehenden Ansprüche, bei welcher die Spulenanordnung (105) des Sensorelements und das Target (203) derart am Stator (100) bzw. am Rotor (200) angebracht oder anbringbar sind, dass die Spulenanordnung (105) und das Target (203) in zueinander parallelen Ebenen liegen und/oder zueinander gering beabstandet angeordnet sind, vorzugsweise in einem Abstand von weniger als 5 mm, vorzugsweise in einem Abstand von weniger als 2 mm und weiter bevorzugt in einem Abstand von unter 1 mm.

7. Drehwinkelsensoranordnung (5) nach einem der vorangehenden Ansprüche, bei welcher

- die Spulenanordnung (105) für das Sensorelement als eine oder als Teil einer statorseitigen Leiterplattenstruktur (103) und/oder
- das Target (203) als eine oder als Teil einer rotorseitigen Leiterplattenstruktur ausgebildet ist bzw. sind.

8. LiDAR-System (1) zur optischen Erfassung eines Sichtfeldes (50), insbesondere für eine Arbeitsvorrichtung und/oder ein Fahrzeug,

- mit einem Rotor (200), einem Stator (100), einer Einrichtung, insbesondere einem Antrieb, zum Drehen des Rotors (200) gegenüber dem Stator (100) um eine Rotationsachse (500) und einer Drehwinkelsensoranordnung (5) nach einem der Ansprüche 1 bis

7 zum Bestimmen eines Drehwinkels und/oder einer Orientierung zwischen dem Rotor (200) und dem Stator (100),

- bei welchem die Spulenordnung (105) drehfest am Stator (100) und das Target (203) drehfest am Rotor (200) angebracht sind.

9. LiDAR-System (1) nach Anspruch 8, bei welchem

- der Rotor (200) und insbesondere eine vom Rotor (200) umfasste Senderoptik (60) mit Lichtquelleneinheit (65) und/oder eine Empfängeroptik (30) mit Detektoranordnung (20) zur drahtlosen Energieversorgung, insbesondere mittels Induktion, eingerichtet sind und

- der Stator (100) dazu eine zum Erzeugen und Ausenden eines magnetischen Wechselfeldes ausgebildete Primärspule (102) und der Rotor (200) eine zum Empfangen des magnetischen Wechselfeldes der Primärspule (102) und zum Erzeugen einer Induktionsspannung als Betriebsspannung ausgebildete Sekundärspule (201) in magnetischer Kopplung miteinander aufweisen, insbesondere jeweils in magnetischer Kopplung mit einem Ferritelement (301, 302).

10. LiDAR-System (1) nach Anspruch 9, bei welchem

- ein Ferritelement (301) der statorseitigen Primärspule (102) unterhalb der Spulenordnung (105) für das Sensorelement ausgebildet ist oder die statorseitige Primärspule (102) und/oder ihr Träger teilweise durchbrochen ausgebildet sind und/oder ein Ferritelement (301) der statorseitigen Primärspule (102) zumindest teilweise umschließen und/oder

- ein Ferritelement (302) der rotorseitigen Sekundärspule (201) zur Aufnahme des Targets (203) in einer Ausnehmung strukturiert ist und/oder einen materiell modifizierten Bereich als Target (203) aufweist, insbesondere in Form einer Implantation und/oder einer Beschichtung.

11. LiDAR-System (1) nach einem der Ansprüche 8 bis 10, bei welchem der Rotor (200) zur Energieversorgung

- des Targets (203) eine erste Spannungsquelle (202), insbesondere mit einem oder nach Art eines - insbesondere ersten - Anpassungsnetzwerks oder -bausteins, vorzugsweise mit einem oder nach Art eines parallelgeschalteten, in einem Frequenzbereich von 5 MHz bis 20 MHz kurzschließenden Kondensators, mit einer Impedanz bei 1 MHz von 1 Ohm, einer Kapazität von 15 nF, zur Anpassung von Frequenz, Amplitude und/oder Phase eines Eingangssignals und/oder in elektromagnetischer Kopplung mit der rotorseitigen Sekundärspule (201) zur Energieeinspeisung, und/oder

- des Rotors (200) und insbesondere eines Antriebs des Rotors (200), einer vom Rotor (200) umfassten Senderoptik (60) mit Lichtquelleneinheit (65) und/

oder einer Empfängeroptik (30) mit Detektoranordnung (20) eine zweite Spannungsquelle (303), insbesondere mit einem oder nach Art eines Gleichrichters und/oder mit einem zweiten Anpassungsnetzwerk (206), insbesondere in Form von oder nach Art eines Glättungskondensators, vorzugsweise mit einer Kapazität im Bereich von 1  $\mu$ F bis 100  $\mu$ F, und/oder in elektromagnetischer Kopplung mit der rotorseitigen Sekundärspule (201) zur Energieeinspeisung, aufweist.

12. LiDAR-System (1) nach einem der Ansprüche 8 bis 11, bei welchem zur Energieversorgung und insbesondere zur Speisung der Primärspule (102) im Stator (100) ein Generator (101) ausgebildet ist, insbesondere zusammen mit einem Anpassungsdipllexer (106) und/oder zum Erzeugen und Zuführen eines Speisesignals (i) einer ersten Komponente im Bereich von 10 kHz bis 500 kHz zur Versorgung weiterer Komponenten des Rotors (200) außer dem Target (203) und (ii) einer zweiten Komponente im Bereich von 5 MHz bis 20 MHz zur Versorgung des Targets (203).

13. Arbeitsvorrichtung und insbesondere Fahrzeug, mit einem LiDAR-System (1) nach einem der Ansprüche 7 bis 11 zur optischen Erfassung eines Sichtfeldes (50).

14. Betriebsverfahren für ein LiDAR-System (1), welches nach einem der Ansprüche 7 bis 11 ausgebildet ist, bei welchem ein im Rotor (200) drahtlos empfangenes Versorgungssignal

- einerseits mit einem ersten Anpassungsnetzwerks oder -baustein, vorzugsweise mit einem oder nach Art eines parallelgeschalteten, in einem Frequenzbereich von 5 MHz bis 20 MHz kurzschließenden Kondensators, mit einer Impedanz bei 1 MHz von 1 Ohm, einer Kapazität von 15 nF in Amplitude, Frequenz und/oder Phasenlage gewandelt wird, um das Target (203) des Drehwinkelsensors (5) zu betreiben und insbesondere die Sendespulen (204) des Targets (203) zu erregen, und/oder

- andererseits mit einem Gleichrichter und/oder mit einem zweiten Anpassungsnetzwerk (206), insbesondere in Form von oder nach Art eines Glättungskondensators, vorzugsweise mit einer Kapazität im Bereich von 1  $\mu$ F bis 100  $\mu$ F, gewandelt wird, um weitere Komponenten (304) des LiDAR-Systems (1) im Rotor (200) zu betreiben, insbesondere einen Antrieb des Rotors (200), eine vom Rotor (200) umfasste Senderoptik (60) mit einer Lichtquelleneinheit (65) und/oder eine Empfängeroptik (30) mit einer Detektoranordnung (20).

15. Betriebsverfahren nach Anspruch 14, bei welchem zur Energieversorgung und insbesondere zur Speisung der Primärspule (102) das Versorgungssignal (i) mit einer ersten Komponente im Bereich von 10 kHz bis 500 kHz zur Versorgung weiterer Kompo-

nennten des Rotors (200) außer dem Target (203) und/oder (ii) mit eine zweiten Komponente im Bereich von 5 MHz bis 20MHz zur Versorgung des Targets (203) erzeugt und zugeführt wird, insbesondere über einen Generator (101) und insbesondere zusammen mit einem Anpassungsdiplexer (106) im Stator (100).

Es folgen 7 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

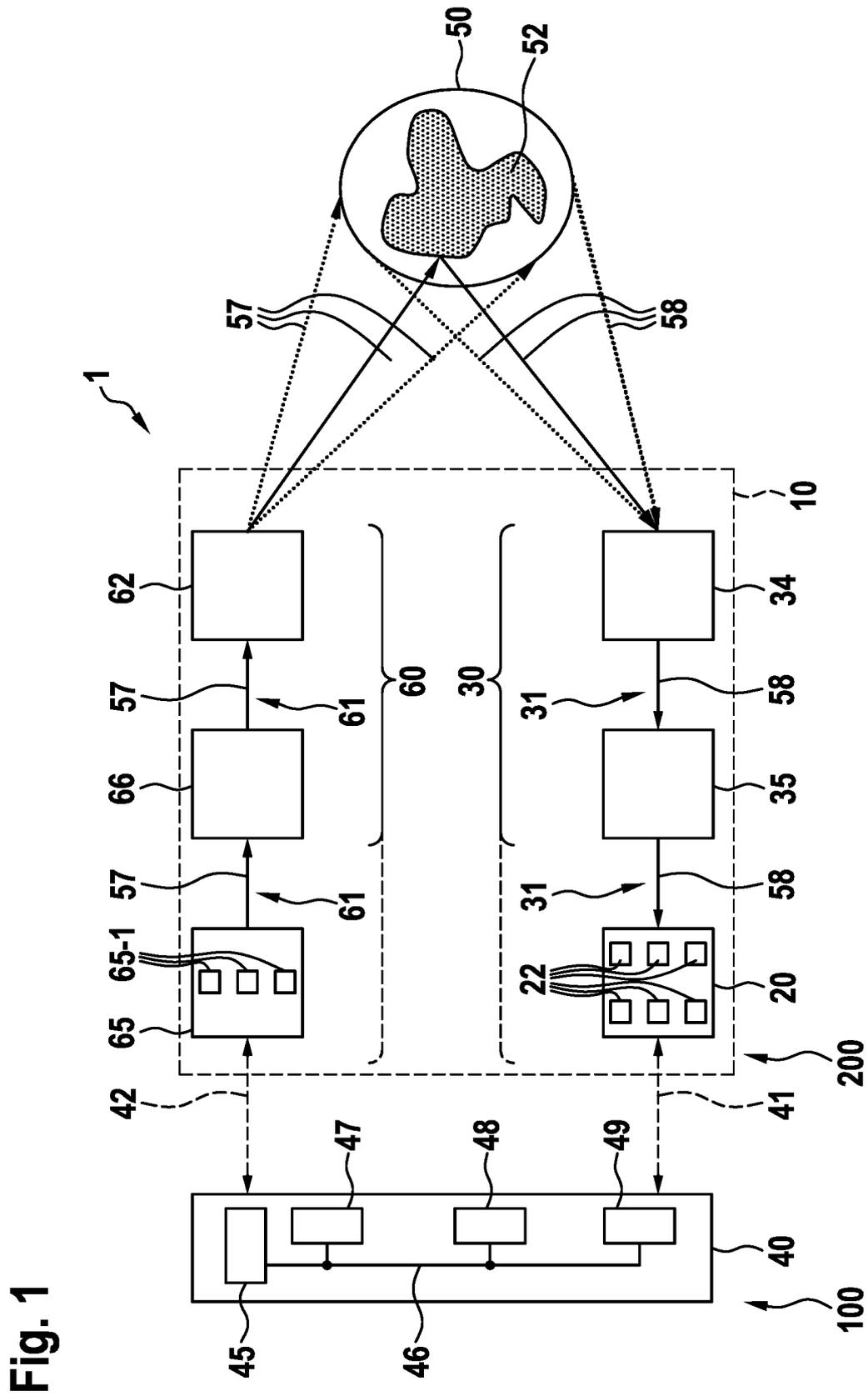
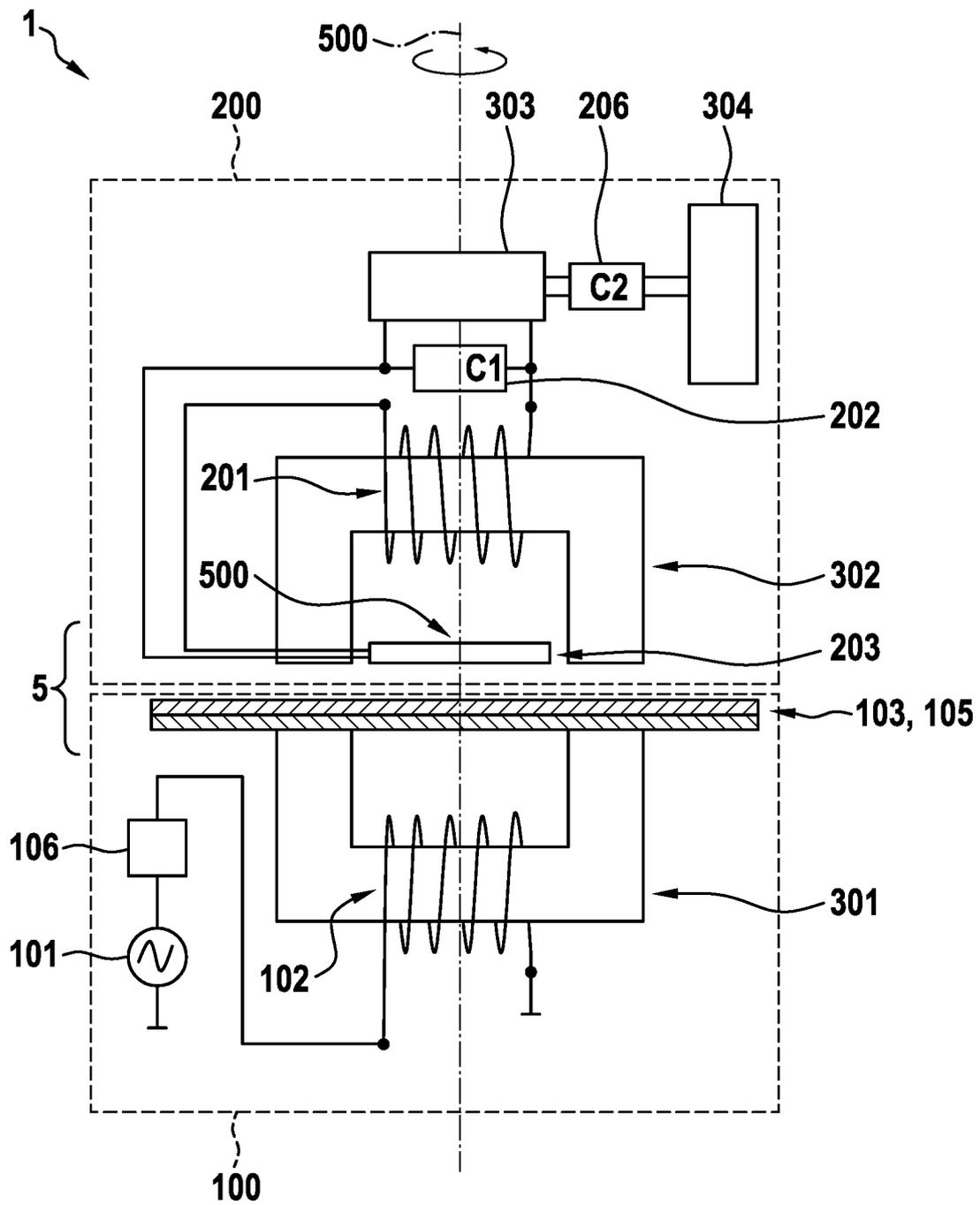
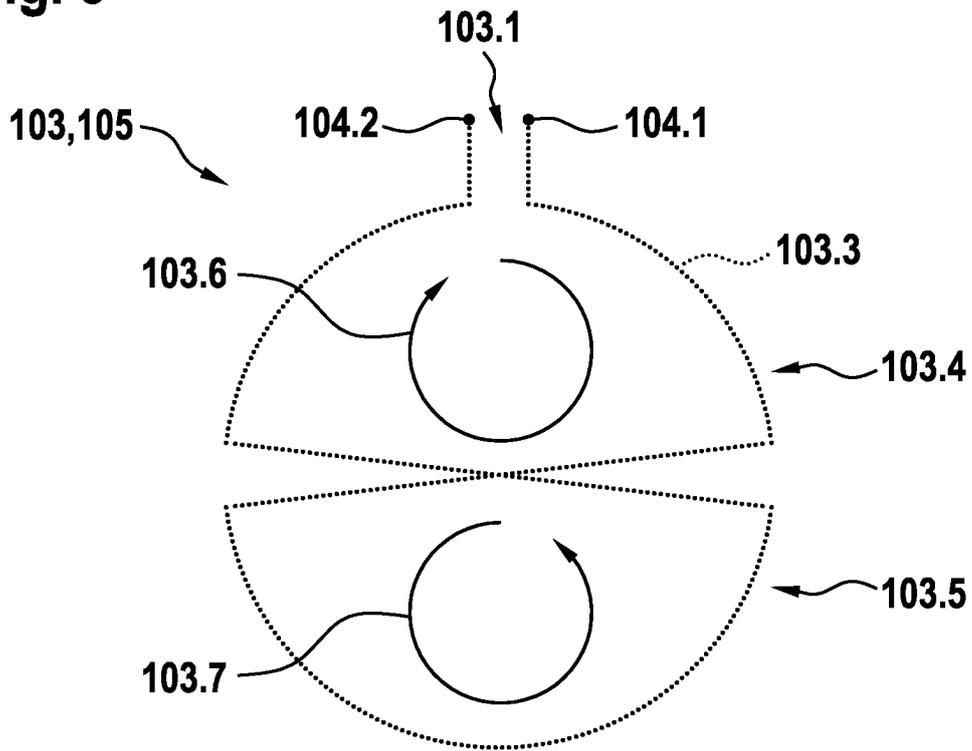


Fig. 2



**Fig. 3**



**Fig. 4**

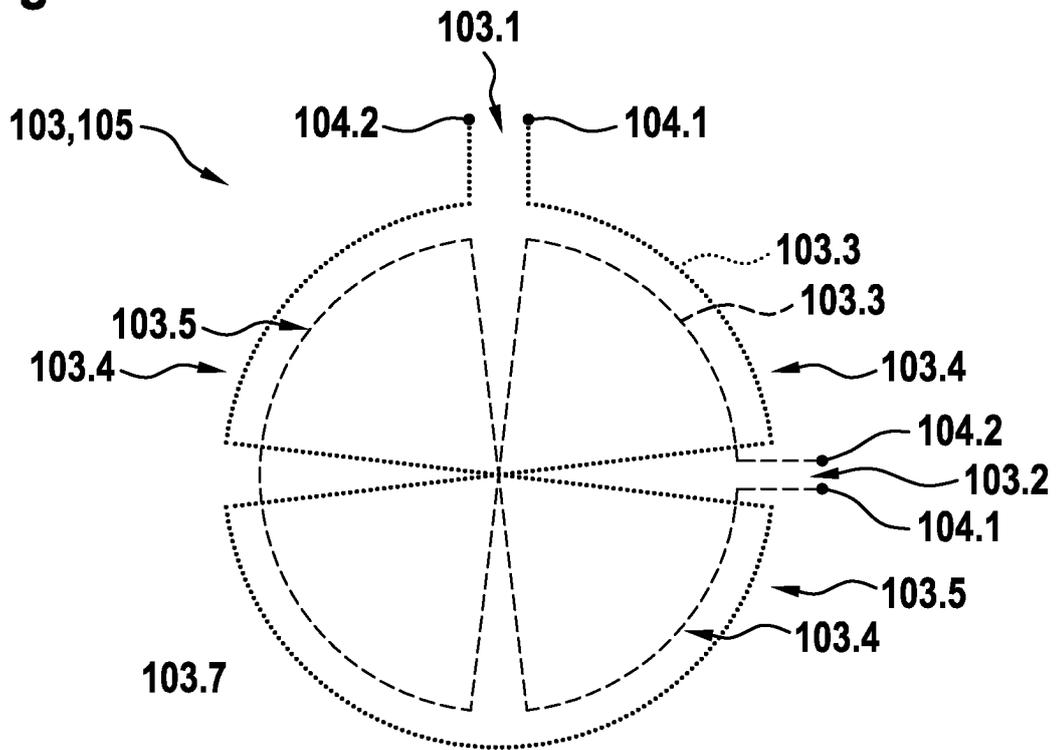


Fig. 5

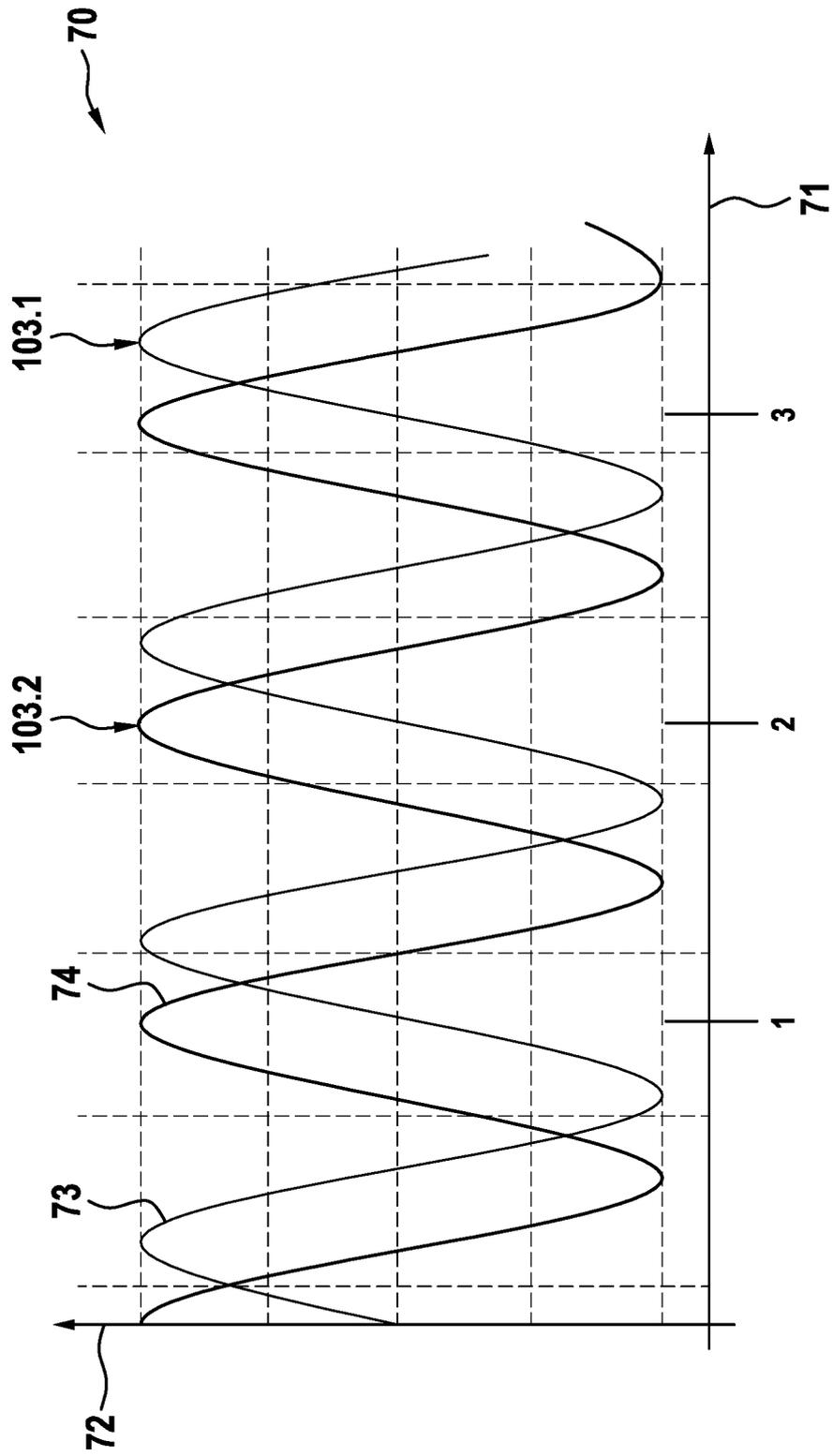


Fig. 6

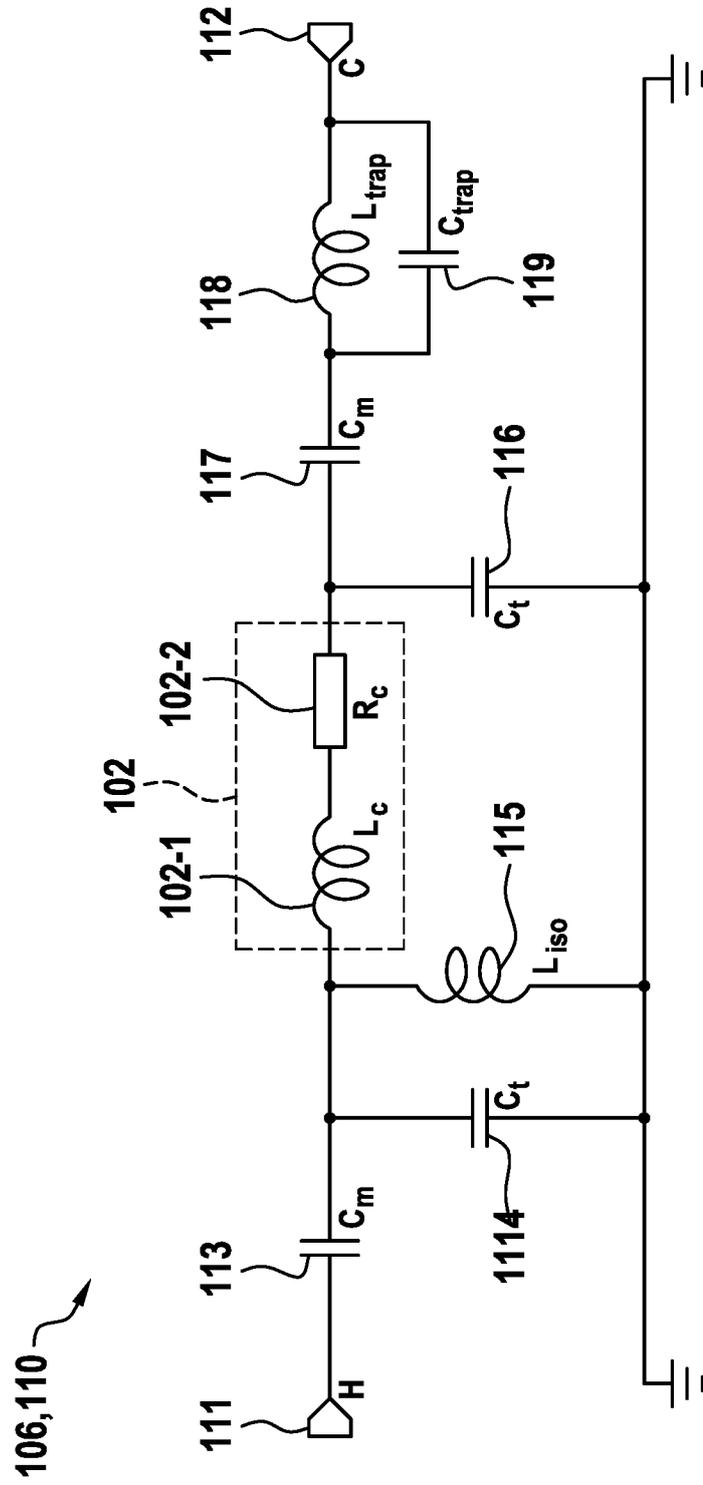


Fig. 7

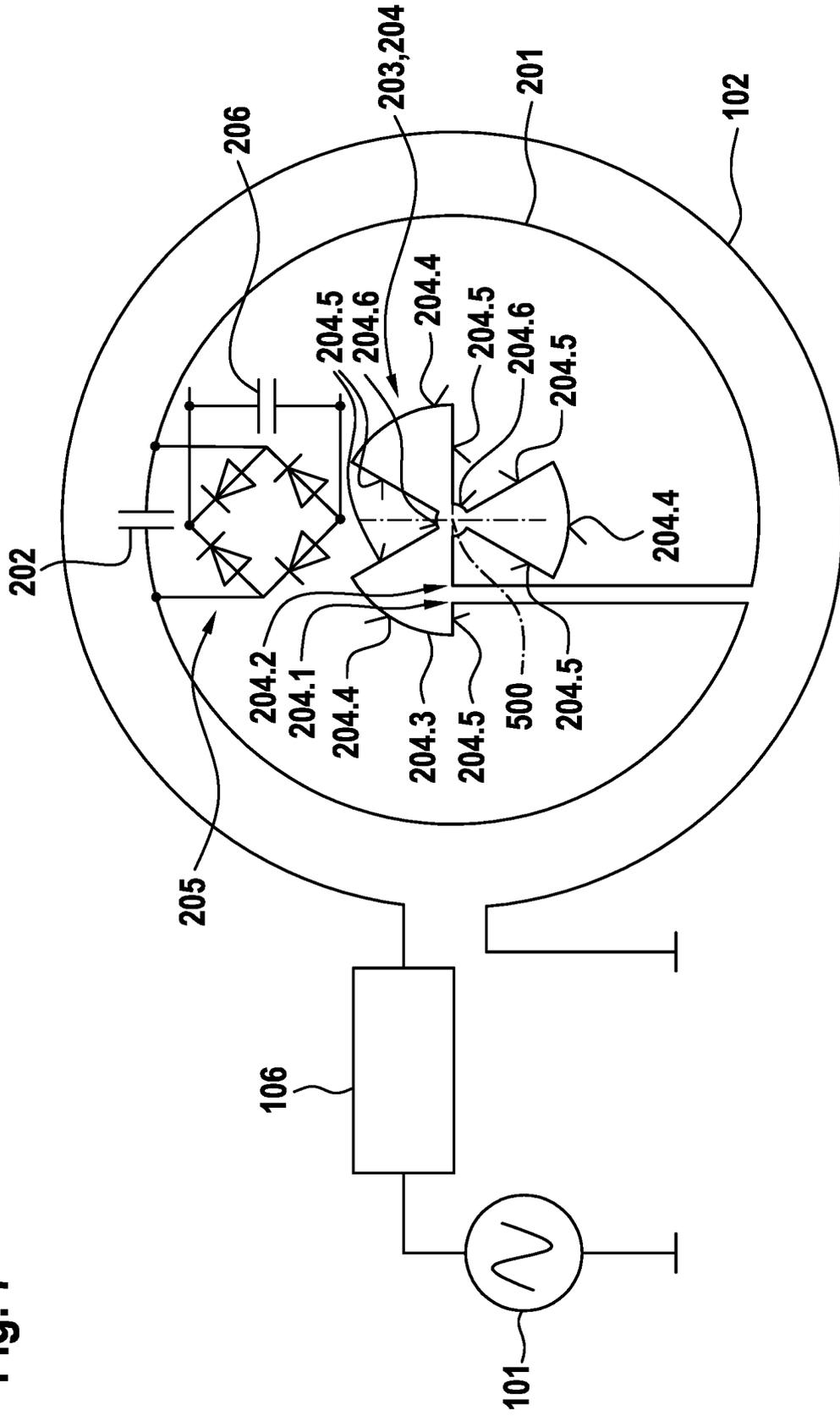


Fig. 8

