



(19)
Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 10 2009 025 928 A1** 2009.12.10

(12)

Offenlegungsschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2009 025 928.7**

(22) Anmeldetag: **05.06.2009**

(43) Offenlegungstag: **10.12.2009**

(51) Int Cl.⁸: **H03M 1/22** (2006.01)
G01P 3/44 (2006.01)

(30) Unionspriorität:
12/134,689 06.06.2008 US

(71) Anmelder:
General Electric Company, Schenectady, N.Y., US

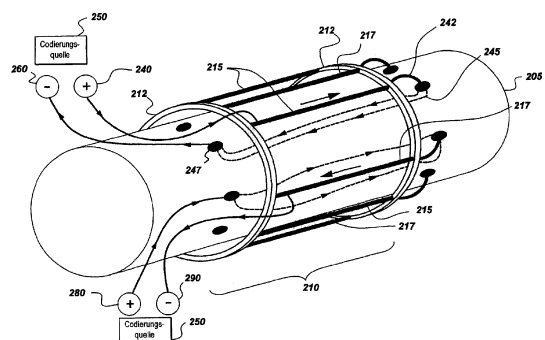
(74) Vertreter:
Rüger und Kollegen, 73728 Esslingen

(72) Erfinder:
**Sihler, Christof Martin, 85399 Hallbergmoos, DE;
Samper, Victor Donald, 85399 Hallbergmoos, DE;
Raum, Klaus Franz Otto, 85356 Freising, DE;
Schramm, Simon, 81667 München, DE**

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

(54) Bezeichnung: **Unmittelbare Wellenleistungsmessungen für rotierende Maschinen**

(57) Zusammenfassung: Unmittelbare Wellenleistungsmessungen rotierender Maschinen, mit einem für die Welle eingerichteten magnetischen Codiersystem, zu dem wenigstens ein elektrisch leitfähiges Element (215, 217, 294, 295, 720, 725), das ein erstes Ende und ein zweites Ende aufweist, das mit einem Spalt zwischen dem Element und der Welle in der Nähe der Welle angeordnet ist. In der Nähe jedes Endes des elektrisch leitfähigen Elements ist ein Paar Elektroden (242, 247, 725, 745) angeordnet, wobei die Elektroden mit der Welle elektrisch verbunden sind. Eine der Elektroden ist mit dem zweiten Ende des Leiterelements elektrisch verbunden. Eine Codierungsquelle (250) ist mit dem ersten Ende des elektrisch leitfähigen Elements elektrisch verbunden, und ist mit der anderen Elektrode elektrisch verbunden, wobei von der Codierungsquelle ausgehende unipolare Strompulse (245) auf die Elektroden und das elektrisch leitfähige Element angewendet werden, um dadurch sektionale codierte polarisierte magnetische Bereiche (330, 332, 334, 336, 510, 520, 530, 540, 614, 616, 624, 626, 634, 636, 642, 646) in der Welle zu erzeugen.



Beschreibung

HINTERGRUND ZU DER ERFINDUNG

[0001] Zahlreiche Anwendungen und Industriezweige verwenden rotierende Wellen, um auf irgendeinem Weg Umwandlungen von Arbeit oder Energie durchzuführen. Frühe Beispiele rotierender Wellen sind Wasser- oder Windmühlen, die seit Tausenden von Jahren zum Mahlen von Getreide eingesetzt werden. Rotierende Wellen werden noch heute in gegenwärtigen Wind- und Wasserkraftwerken eingesetzt, allerdings weisen diese eine fortschrittliche Technologie und Verarbeitung auf. Während in elektronischer Ausrüstung, beispielsweise Festplattenlaufwerken, Aufnahme-/Wiedergabegeräten von Medien und Haushaltsgeräten rotierende Wellen mit geringen Abmessungen verwendet werden, sind diese Wellen im Allgemeinen hinsichtlich ihrer Länge und Breite relativ klein bemessen, so dass das Drehmoment verhältnismäßig gering ist. Größere rotierende Wellen erfahren ein größeres Drehmoment und werden, um nur einige Anwendungen zu nennen, beispielsweise in Lokomotiven, Flugzeugen, Schiffen und zur Energieumwandlung eingesetzt. Der moderne Einsatz von Anlagen, die relativ große rotierende Wellen verwenden, beinhaltet gewöhnlich Erfassungs- und Verarbeitungsmittel, um einen sicheren und effizienten Betrieb zu erreichen.

[0002] Ein Weg zur Lösung der Konstruktion und des Betriebs einer Ausrüstung, die rotierende Wellen verwendet, beinhaltet die Erfassung der Spannung oder Dehnung an der Wellenoberfläche, was genutzt werden kann, um Drehmomente, Biegungen und Verwindungen zu messen, die auf von außen ausgeübte Kräfte zurückzuführen sind. Herkömmliche Technologien verwenden eine Reihe unterschiedlicher Systeme zur Erfassung oder Messung des Drehmoments, beispielsweise Dehnungsmessersysteme, Codierungs-/Zahn-Systeme, Schallwellensysteme, elastische Systeme, magnetostriktive Systeme und magnetoelastische Systeme. Jedes dieser Systeme weist gewisse Eigenschaften und Verwendungszwecke auf.

[0003] Dehnungsmesser liefern Messwerte örtlicher Belastungen der Welle und erfordern gewöhnlich irgendeine Art der Kopplung an die rotierende Welle, die in Form einer physikalischen Verbindung (z. B. mittels Schleifringen) oder mittels Telemetrie verwirklicht sein kann. Die Messinstrumente weisen im Allgemeinen eine geringe Stabilität und Beschränkungen hinsichtlich der Bandbreite auf, und erfordern in der Regel eine Kalibrierung und umgebungsbedingte Korrekturen. Der beschränkte Betriebstemperaturbereich von Dehnungsmessern beschränkt deren Einsatz in einer aggressiven Umgebung.

[0004] Die Codierungs-/Zahnradaufnahmemethode einer Drehmomenterfassung beinhaltet gewöhnlich zumindest irgendeine partielle Anbindung an die rotierende Welle, beispielsweise mittels eines magnetischen Zahnrad. Die Zahnradkonstruktion ist häufig kostspielig und für viele praktische Anwendungen ungeeignet. Eine derartige Konstruktion eignet sich in der Praxis nicht für Anwendungen, die eine relativ hohe Drehzahl verwenden, und sie ist zwar stabil, weist allerdings keine hohe Auflösung auf und kann in einer aggressiven Umgebung zu Problemen in Zusammenhang mit der Zuverlässigkeit führen.

[0005] Die Schallwellensysteme nutzen Sensoren, beispielsweise akustische Oberflächenwellen-(AOW)- und akustische Volumenwellen-(BAW = Bulk Acoustic Wave)-Einrichtungen, die Schallwellen nutzen, um mittels an der Welle angebrachter Signalgeber durch Belastung hervorgerufene Veränderungen der Welle telemetrisch zu erfassen. Die Anwendung von Schallwellentechnologie für die Drehmomenterfassung ist verhältnismäßig neu, und die gegenwärtigen Systeme werden für kleinere Wellen genutzt, die große Herstellungstoleranzen aufweisen.

[0006] Die Dehnungsdrehmomentsysteme erfassen die Verwindung der Welle, indem sie über eine Länge der Welle hinweg angebrachte Markierungen nutzen und die Winkelverschiebung messen. Dieses System weist Genauigkeitsprobleme auf, wenn es für Wellen mit großen Durchmessern verwendet wird, und es bestehen Probleme der praktischen Verwirklichung.

[0007] In einem magnetoelastischen System induziert eine mechanische Spannung aufgrund der in dem Material hervorgerufenen Verformung eine "bevorzugte Achse" der Magnetisierung. Dieser Effekt wird gewöhnlich genutzt, um einen Wellenbereich kreisförmig zu magnetisieren, und es wird ein Magnetfeldsensor verwendet, nun das sich ergebende Feld zu erfassen. Falls keine Torsionsspannung vorhanden ist, ist der gesamte magnetische Fluss innerhalb der Erfassungsregion enthalten, und es wird kein externes Feld erfasst. Falls Torsionsspannung auftritt, werden die magnetischen Domänen umgeordnet, und das externe Feld ändert sich hinsichtlich seiner Polarität und Stärke in Abhängigkeit von der Richtung und dem Betrag des Drehmoments an der Welle.

[0008] Magnetostruktive Messverfahren nutzen das Phänomen, dass sich Abmessungen eines Materials auf eine Magnetisierung hin ändern. Magnetostruktive Sensoren werden in Verbindung mit ferromagnetischen Wellen, z. B. aus Industriestahl, sowie in Zusammenhang mit aus einem ferromagnetischen Werkstoff hergestellten Abschnitten verwendet, die an den Wellen angebracht sind. Der mittels derartiger Materialien erzielte magnetostruktive Effekt ist sehr gering. Typische magnetostruktive Koeffizienten $\Delta l/l$ liegen in der Größenordnung von 1 bis 25×10^{-6} . Eine unmittelbare Nutzung des magnetostruktiven Effekts für die Drehmomentmessung in ferromagnetischem Werkstoff setzt komplexe Sensoranordnungen und schwierige Kalibrierungsprozeduren voraus und ergibt gewöhnlich nur beschränkte Genauigkeit.

[0009] Eine herkömmliche Konstruktion eines magnetostruktiven Drehmomentsensors verwendet eine im Zentrum des Messkopfs angeordnete Primärspule sowie Messspulen, die in einer speziellen Ausrichtung um den Umfang angeordnet sind. Der Sensor erzeugt mittels der Primärspule ein konstantes Hochfrequenzmagnetfeld, wobei das sich ergebende Feld durch Messspulen gemessen wird, die den magnetischen Fluss erfassen. Wenn das von sämtlichen Messspulen ausgegebene resultierende Magnetfeld gleich Null ist, ist kein Drehmoment an der Welle vorhanden, und desgleichen zeigt jedes sich ergebende von Null verschiedene Magnetfeld an, dass ein gewisses Drehmoment vorhanden ist.

[0010] Dieser Ansatz erfordert keinerlei Codierung oder sonstige Änderungen an der Welle und weist in der Tat Langzeitstabilität auf. Allerdings ist die Genauigkeit beschränkt, das Einbauverfahren umständlich und die Kalibrierung häufig schwierig. Außerdem bestehen im Allgemeinen hohe Anforderungen an die Einhaltung enger Toleranzen zur Aufrechterhaltung eines kleinen Spalts zwischen der Welle und dem Sensor, was sich in Umgebungen mit veränderlichen Temperaturen nur schwer erreichen lässt. Die Genauigkeit der Messwerte ist in gewissen Anforderungen, beispielsweise in der Überwachung von dynamischen Drehmomentkomponenten und Torsionsschwingungen annehmbar, jedoch ist eine nachfolgende Signalverarbeitung erforderlich, um Probleme in Zusammenhang mit Wellenunwuchten auf ein Minimum zu reduzieren.

[0011] Eine Verbesserung der Genauigkeit magnetostruktiver Messsysteme lässt sich erzielen, indem der magnetostruktive Effekt in Verbindung mit einer magnetischen Codierung der Welle oder des auf der Welle angebrachten Codierungsabschnitts genutzt wird. In derartigen Sensorkonstruktionen bewirkt die Ausrichtung der magnetischen Domänen in dem ferromagnetischen Werkstoff eine gewisse Änderung der Materialabmessungen längs der magnetischen Achse. Der umgekehrte Effekt basiert auf der Änderung der Magnetisierung eines ferromagnetischen Werkstoffs aufgrund mechanischer Belastung. Die magnetische Codierung verwandelt die Welle im Wesentlichen in eine Komponente des Erfassungssystems. Wenn auf die Welle ein mechanisches Drehmoment ausgeübt wird, lässt sich in der Nähe des codierten Bereichs der Welle ein drehmomentabhängiges Magnetfeld messen.

[0012] Eine typische Konstruktion eines magnetostruktiven Drehmomentsensors verwendet eine Codierung der gesamten Welle, und die Magnetisierung tritt aufgrund eines in der axialen Richtung der Welle fließenden Stroms auf. Für Zwecke der Veranschaulichung werden hierzu herkömmlich Strompulse verwendet, um einen "magnetisierten Ring" um die Welle zu erzeugen. Die Codierung ist entlang des Umfangs gleichmäßig, da die magnetische Codierung voraussetzt, dass der gesamte Querschnitt magnetisiert wird, und sie ist daher für Wellen mit relativ großen Durchmessern schwierig und kostspielig. Darüber hinaus weist dieser Ansatz Nachteile mit Blick auf unterschiedliche Stromstärken auf, die aufgrund der Inhomogenität elektrischer und magnetischer Eigenschaften der Welle auftreten. Wenn ein Drehmoment ausgeübt wird, kann extern, z. B. durch Magnetfeldsensoren, ein drehmomentabhängiges Magnetfeld gemessen werden.

[0013] Es sind bekannte Verwirklichungen für magnetostruktive Codierung vorhanden, die sich beispielsweise in der Kraftfahrzeugindustrie nutzen lassen. Die Welle wird gewöhnlich in axialer Richtung längs axialer Abschnitte der Welle codiert, wobei magnetisch codierte Bereiche gebildet werden. Magnetfeldsensoren sind außerhalb des magnetisch codierten Bereichs angeordnet, und die gemessenen Antworten werden anschließend mit Blick auf das Drehmoment verarbeitet. Während vielfältige weitere Ausführungsbeispiele in Betracht kommen, veranschaulichen die vorliegenden Beschreibungen den grundlegenden Betrieb.

[0014] Unter Bezugnahme auf [Fig. 1a](#), basiert eine Welle **5** auf einem ferromagnetischen Werkstoff. Um die Welle **5** zu codieren, sind Elektroden **10**, **15** entlang des Umfangs der Welle angeordnet, so dass ein codierter Bereich **20** ausgebildet werden kann. In diesem Beispiel basieren die Elektroden auf einem Paar äußeren Ringen **10**, **15** und sie sind voneinander beabstandet, um während der Codierung eine ausreichend gleichmäßige Magnetflussdichte zu erzielen, die von mehreren Faktoren, beispielsweise dem Wellendurchmesser, abhängt.

[0015] Der Codierungsvorgang beinhaltet gewöhnlich den Schritt, an einen ersten Ring **15** einen Strompuls

25 auszugeben, der längs der Längsachse der Welle **5** einen Stromfluss **30** hervorruft, der an einem entsprechenden zweiten Ring **10** mit einem Ausgangsrückstromsignal **35** austritt. Der in dem codierten Bereich **20** durch die Welle **5** fließende Strom **30** induziert einen magnetischen Fluss. Vielfältige Ausführungsbeispiele verwenden dieses grundlegende Konzept, das mehrere Elektroden und vielfältige Codierungstechniken beinhaltet.

[0016] Im Betrieb wird ein Sensor verwendet, um ein ausgegebenes Magnetfeldsignal zu messen, das auf die Welle ausgeübte Drehmoment kennzeichnet. Wenn keine Spannung ausgeübt wird, wird kein wesentliches Magnetfeld erfasst; wenn jedoch ein Drehmoment auf die Welle ausgeübt wird, wird die Änderung des von dem codierten Bereich ausgehenden Magnetfelds durch den Sensor gemessen. Der Sensor ist gewöhnlich mit einer Verarbeitungselektronik verbunden.

[0017] Unter Bezugnahme auf [Fig. 1a–Fig. 1b](#) erzeugt der in dem codierten Bereich **20** durch die Welle **5** fließende Strom **30** einen magnetischen Fluss **40**, d. h. ein etwa in der Mitte der Welle **5** angeordnetes Magnetfeld.

[0018] Für Zwecke der Veranschaulichung verwendet ein Ausführungsbeispiel zur Erzeugung eines "magnetisierten Rings" in der Welle einen einzelnen Strompuls, so dass eine zugeordnete Entladungskurve vorhanden ist, die die Eigenschaften der Welle zu einem bestimmten Zeitpunkt widerspiegelt. In einer Abwandlung können aufeinander folgende Pulse mit verschiedenen Polaritäten und unterschiedlichen Zeitkonstanten verwendet werden, so dass zwei magnetisierte Ringe codiert werden können. Zusätzlich zu dem Codierungspuls können mehrere Codierungselektroden vorhanden sein.

[0019] Dieses herkömmliche System verwendet eine gleichmäßige Codierung der Oberfläche der Welle, und die Magnetisierung tritt durch einen Strom auf, der in der axialen Richtung der Welle fließt. Die magnetische Codierung ist entlang des Umfangs gleichmäßig und setzt eine Magnetisierung des gesamten Querschnitts der Welle voraus. Eine solche Codierung erschwert insbesondere im Falle von Wellen mit großen Durchmessern die Erzielung einer gleichmäßigen Stromverteilung rund um den Umfang.

[0020] Wenn keine Spannung ausgeübt wird, wird im Wesentlichen kein Magnetfeld erfasst; wenn jedoch ein Drehmoment auf die Welle ausgeübt wird, wird das durch den codierten Bereich emittierte Magnetfeld durch den Sensor **45** gemessen. Im Betrieb wird das Magnetfeld während der Ausübung des Drehmoments, z. B. durch Sensorspulen **45**, extern gemessen. Der Sensor **45** ist gewöhnlich mit einer (nicht gezeigten) beliebigen Verarbeitungselektronik verbunden und wird gewöhnlich genutzt, um das ausgegebene Magnetfeldsignal zu messen, das auf die Welle **5** ausgeübte Drehmoment kennzeichnet. Ein Beispiel eines Sensors **45** zum Messen eines Drehmoments ist ein Magnetfeldsensor, der in der Nähe der Wellenoberfläche angebracht ist.

[0021] Die im Vorliegenden beschriebene herkömmliche magnetische Wellencodierung bezieht sich im Allgemeinen auf Wellen mit geringem Durchmesser mittels einer Codierung, die auf einer gleichmäßigen (konstanten) Flussdichte in Umfangsrichtung begründet ist. Sie eignet sich nicht für größere Wellen, da die Codierungsströme mit dem Wellendurchmesser wachsen, und somit eine hohe Stromstärke erforderlich wäre, um in Wellen mit großem Durchmesser ausreichende Flussdichten zu erhalten.

[0022] Um diese Probleme, die in Zusammenhang mit Wellen großer Durchmesser vorhanden sind, zu mildern, verwendet ein herkömmliches Verfahren, wie in [Fig. 1c](#) gezeigt, elektrische Multikanalverbindungen. In diesem Beispiel ist ein Paar Ringe **50**, **55** in der Nähe der Welle **5** angeordnet, wobei mehrere elektrische Verbindungen **60** mit der Welle **5** elektrisch verbunden sind, so dass sich die Eingangsstromsignale **65** längs einer magnetischen Codierungsabschnittlänge **80** der Welle **5** bewegen und das Rückführungsausgangssignal **70** aufweisen, so dass die Codierung einen magnetisierten Bereich **75** in der Welle definiert.

[0023] Diese komplexe Codierungsanordnung setzt voraus, dass der Abstand zwischen den entlang des Umfangs angeordneten einzelnen Stromeintragspunkten im Verhältnis zu dem Wellendurchmesser klein zu bemessen ist. Andernfalls lässt sich keine ausreichend gleichmäßige Magnetisierung um den Umfang erzielen. Eine größere Beabstandung erfordert, dass die Abschnittslänge **80** größer zu bemessen ist, was den Einsatz in vielen Anwendungen erschwert. Darüber hinaus müssen die durch die elektrischen Verbindungen fließenden einzelne Ströme so gesteuert werden, dass sämtliche die gleiche Amplitude aufweisen, was im Falle von Wellen mit relativ großen Durchmessern die Kosten steigert.

[0024] Unter Bezugnahme auf [Fig. 1d](#) und [Fig. 1e](#) ist die herkömmliche magnetoelastische Erfassung des Drehmoments **90** veranschaulicht, bei der polarisierte Ringe **92**, **93** vorhanden sind, die so um die Welle **94** angebracht sind, dass die Ringe **92**, **93** magnetisch Bereiche entgegengesetzter Polarisierung aufteilen. In die-

sem Beispiel trennt eine Domänenwand **98** die polarisierten Ringe **92, 93**. In der Nähe der Ringe **92, 93** ist ein Magnetfeldsensor **95** angeordnet, der die Magnetflusssdichte **96** erfasst. Die von dem Sensor **95** ausgegebenen Ergebnisse werden verarbeitet, so dass die mechanischen Spannungen in den Ringen **92, 93** einem auf die Welle **94** ausgeübten Drehmoment entsprechen. Gewöhnlich werden die Ergebnisse an eine Computervorrichtung **99** übermittelt, beispielsweise an einen Computer, der zur Nachverarbeitung dient. Auch hier ist der Einsatz dieser Art von Erfassung gewöhnlich im Falle von Wellen mit großen Durchmessern ineffizient.

[0025] Die herkömmlichen Erfassungssysteme, wie sie in [Fig. 1a–e](#) gezeigt sind, arbeiten im Allgemeinen nach den Prinzipien, die als inverser Joule-Effekt, Matteucci-Effekt, Wertheim-Effekt, Villari-Effekt und inverser Wiedemann-Effekt bezeichnet werden, wie sie beispielsweise in "A Study of the Inverse Wiedemann Effect on Circular Remanence" von I. J. Garshelis und J. Iwan, "IEEE Transactions on Magnetics", Bd. 10, Nr. 2, Juni 1974 im Einzelnen erläutert sind. Diese Effekte stehen in Zusammenhang mit der Magnetostriktion, die das Phänomen erklärt, dass ein magnetisiertes Material sein Volumen bei Ausübung eines Drehmoments ändert, und somit den Zusammenhang zwischen Mechanik und Magnetismus veranschaulicht.

[0026] Bisher wurden vielfältige Verfahren und Systeme verwendet, um genaue und zuverlässige Messeinrichtungen für rotierende Wellen zu schaffen, es besteht jedoch Bedarf nach weiteren Verbesserungen, insbesondere mit Blick auf Wellen mit relativ großen Durchmessern und Steigerungen des Betriebswirkungsgrades.

KURZDARSTELLUNG DER ERFINDUNG

[0027] Das im Vorliegenden beschriebene System bzw. die Verfahren betreffen im Allgemeinen Codierungs- und Messverfahren und -systeme, und im Besonderen die Messung eines Drehmoments, einer Leistung und eines Biegemoments in einer ferromagnetischen Welle, die magnetisierte Wellenabschnitte aufweist.

[0028] Ein Ausführungsbeispiel betrifft ein magnetisches Codiersystem einer Welle, das wenigstens ein elektrisch leitfähiges Element mit einem ersten Ende und einem zweiten Ende aufweist, das in der Nähe der Welle mit einem Spalt zwischen dem Element und der Welle angeordnet ist. Es sind ein Paar Elektroden vorhanden, die in der Nähe jedes Endes des elektrisch leitfähigen Elements angeordnet sind, und die mit der Welle elektrisch verbunden sind, wobei eine der Elektroden mit dem zweiten Ende des Leiterelements elektrisch verbunden ist. Eine Codierungsquelle ist mit dem ersten Ende des elektrisch leitfähigen Elements elektrisch verbunden und mit der anderen Elektrode elektrisch verbunden. Die Codierungsquelle verwendet unipolare Strompulse, die auf die Elektroden und auf das elektrisch leitfähige Element angewendet werden, so dass in der Welle sektionale codierte Bereiche erzeugt werden.

[0029] Das System enthält in einem Beispiel eine nicht leitende Codierungsanordnung, die um wenigstens einen Abschnitt der Welle angeordnet ist, wobei das elektrisch leitfähige Element in der Codierungsanordnung angeordnet ist. Das elektrisch leitfähige Element umfasst in einem Aspekt eine Ausrichtung des elektrisch leitfähigen Elements in axialer, in diagonaler oder in Umfangsrichtung entlang wenigstens eines Abschnitts der Welle.

[0030] Ein weiteres Merkmal schließt ein, dass die Elektroden während der Codierung vorübergehend mit der Welle verbunden sind und bei rotierendem Betrieb entfernt sind.

[0031] Gemäß einem Ausführungsbeispiel sind mindestens zwei der elektrisch leitfähigen Elemente um die Welle mit sektionalen codierten Bereichen entgegengesetzter Polaritäten einander benachbart angeordnet. Ein zusätzliches Merkmal beinhaltet Domänengrenzen, die zwischen benachbarten sektionalen codierten Bereichen gebildet sind. In einem Beispiel sind die benachbarten elektrisch leitfähigen Elemente in Bezug zueinander in unmittelbarer Nähe angeordnet. Gemäß einem Merkmal sind mehrere elektrisch leitfähige Elemente vorhanden, die wenigstens um einen Abschnitt der Welle ausgerichtet sind.

[0032] In einem Aspekt basiert die Welle auf einem ferromagnetischen Werkstoff, und in einem Beispiel ist der ferromagnetische Werkstoff Stahl. Gemäß noch einem Ausführungsbeispiel weist die Welle eine auf einem ferromagnetischen Werkstoff basierende Schicht auf, die um eine Oberfläche der Welle angebracht ist.

[0033] Gemäß einem Aspekt sind die elektrisch leitfähigen Elemente im Wesentlichen linear oder kreisförmig, und erstrecken sich in Längsrichtung oder entlang des Umfangs längs eines Abschnitts der Welle.

[0034] Ein Ausführungsbeispiel betrifft ein System zum Erfassen von Eigenschaften einer rotierenden Welle, wobei zu dem System mehrere zuvor codierte magnetische Abschnitte gehören, die um die Welle angeordnet

sind, wobei benachbarte magnetische Abschnitte entgegengesetzte Polaritäten haben und zwischen den benachbarten magnetischen Abschnitten Domänengrenzen aufweisen. In der Nähe der codierten magnetischen Abschnitte ist wenigstens ein Sensor mit einem Spalt dazwischen angeordnet. Eine Verarbeitungsabschnitt ist mit dem Sensor verbunden, um eine Wechselstromfeldkomponente zu verarbeiten, die während einer Rotation der Welle entwickelt wurde, um dadurch Eigenschaften der rotierenden Welle basierend auf einem magnetostruktiven Effekt zu messen.

[0035] In einem Aspekt basiert der Sensor wenigstens auf einer Luftinduktionsspule oder auf einem Magnetfeldsensor (MFS). Die Magnetfeldsensoren können auf Hall-Effekt-Sensoren, auf Giant-Magneto-Resistiven(GMR)-Sensoren, auf Fluxgate-Sensoren und/oder auf Magnetoimpedanzsensoren basieren.

[0036] Ein Aspekt der Eigenschaften beinhaltet eine berührungsfreie Messung wenigstens einer Wellenleistung, eines Drehmoment, einer Drehzahl und/oder von Biegemomenten basierend auf einer Erfassung von magnetischen Feldkomponenten in der Welle.

[0037] Ein Ausführungsbeispiel beinhaltet ein Verfahren zur Codierung einer Welle, mit dem Schritt: Anordnen wenigstens eines elektrisch leitfähigen Elements in enger räumlicher Nachbarschaft um einen Abschnitt der Welle, wobei das elektrisch leitfähige Element ein erstes Ende und ein zweites Ende aufweist. Dies beinhaltet die Schritte: Anordnen von Elektroden an der Welle in der Nähe des ersten Endes und des zweiten Endes, wobei die dem zweiten Ende zugeordnete Elektrode mit dem zweiten Ende des elektrisch leitfähigen Elements verbunden ist; elektrisches Verbinden der dem ersten Ende zugeordneten Elektrode mit einer Stromquelle und Verbinden der Stromquelle mit dem ersten Ende des elektrisch leitfähigen Elements; und Anwenden unipolarer Strompulse auf die elektrisch leitfähigen Elemente, um dadurch sektionale codierte Bereiche zu erzeugen.

[0038] Gemäß einem Aspekt sind mindestens zwei der elektrisch leitfähigen Elemente einander benachbart ausgerichtet, wobei die Codierung entgegengesetzte Polaritäten aufweist, so dass die sich ergebenden polarisierten magnetischen Kanäle Domänengrenzen aufweisen.

[0039] Ein technischer Effekt der vorliegenden Systeme und Verfahren basiert darauf, dass die magnetische Codierung die Welle im Wesentlichen in eine Komponente des Erfassungssystems verwandelt, so dass bei Ausübung eines mechanischen Drehmoments auf die Welle eine drehmomentabhängige magnetische Magnetflusskomponente in der unmittelbaren Umgebung des codierten Bereichs der Welle erscheint.

[0040] Die im Vorliegenden beschriebenen Merkmale und Vorteile sind nicht vollständig aufgeführt, und es werden dem Fachmann anhand der Zeichnungen, Beschreibung und Ansprüche insbesondere viele zusätzliche Merkmale und Vorteile offenkundig. Darüber hinaus sollte beachtet werden, dass die in der Beschreibung verwendete Terminologie hauptsächlich mit Blick auf die Lesbarkeit und für Erläuterungszwecke, und nicht hinsichtlich einer Begrenzung des Schutzzumfangs des erfindungsgemäß behandelten Gegenstands ausgewählt wurde.

KURZBESCHREIBUNG DER ZEICHNUNGEN

[0041] [Fig. 1a](#)–c veranschaulichen magnetische Codierungsanordnungen zur Erfassung eines Wellendrehmoments nach dem Stand der Technik.

[0042] [Fig. 1d](#)–e zeigen magnetoelastische codierte Wellen nach dem Stand der Technik.

[0043] [Fig. 2a](#) veranschaulicht im Allgemeinen ein Codiersystem, das gemäß einem Ausführungsbeispiel konstruiert ist.

[0044] [Fig. 2b](#) veranschaulicht im Allgemeinen ein Codiersystem, das gemäß einem weiteren Ausführungsbeispiel konstruiert ist.

[0045] [Fig. 3](#) zeigt in einer Querschnittsansicht die Magnetflussdichte in der Welle in Zusammenhang mit einem Ausführungsbeispiel.

[0046] [Fig. 4](#) zeigt ein Flussdiagramm für die Codierung magnetischer Abschnitte, das gemäß einem Ausführungsbeispiel konstruiert ist.

[0047] [Fig. 5](#) zeigt ein Erfassungssystem, das gemäß einem Ausführungsbeispiel konstruiert ist.

[0048] [Fig. 6](#) veranschaulicht eine Codierung einer Welle, um entlang von Abschnitten einer Welle magnetisch polarisierte Bereiche zu erzeugen, und die Ausrichtung der Magnetfeldsensoren, gemäß einem Ausführungsbeispiel

[0049] [Fig. 7](#) zeigt eine Codierung einer Welle rund um den Umfang, gemäß einem weiteren Ausführungsbeispiel.

[0050] [Fig. 8](#) zeigt ein Messsystem gemäß einem Ausführungsbeispiel.

[0051] [Fig. 9](#) zeigt ein integrales Erfassungssystem für sektionale codierte Wellen, gemäß einem Ausführungsbeispiel.

[0052] [Fig. 10a-f](#) zeigt ein weiteres integrales Erfassungssystem für sektionale codierte Wellen, gemäß einem Ausführungsbeispiel.

AUSFÜHRLICHE BESCHREIBUNG

[0053] Gemäß einem Ausführungsbeispiel sind verbesserte Codiersysteme für Wellen und zum Messen von Eigenschaften derselben mittels einer sektionalen Codierung geschaffen, bei der in axialer oder in Umfangsrichtung der Welle codierte Bereiche oder magnetische Kanäle erzeugt werden. Im Falle von Wellen mit großen Durchmessern ist es vorteilhaft diese magnetische Codierung zu nutzen, bei der sich mit relativ geringen Codierungsstromstärken bedeutende Flussdichten erzielen lassen.

[0054] Unter Bezugnahme auf **Fig. 2** wird eine Codierung magnetisch polarisierter Bereiche oder Kanäle gemäß einem Ausführungsbeispiel einer Codierung beschrieben. Wie zuvor erwähnt, kann die Welle **205** ein ferromagnetischer Werkstoff sein, oder es kann auf ihr wenigstens ein auf ferromagnetischem Werkstoff basierender Abschnitt angeordnet sein, der an der Welle befestigt ist. Die Codierung kann auf mehreren Wegen erreicht werden, und in einem Beispiel der Durchführung sind elektrisch leitfähige Elemente **215**, **217** beispielsweise Kabel oder Metallstäbe, angeordnet, die um die Welle **205** gruppiert sind. Die elektrisch leitfähigen Elemente **215**, **217** erstrecken sich, wie dargestellt, in Längsrichtung entlang der Welle **205**, sie können sich jedoch auch entlang des Umfangs oder diagonal erstrecken.

[0055] In einer spezielleren Einzelheit dieses Ausführungsbeispiels ist eine Codierungskonstruktion **210** um wenigstens einen Abschnitt der Welle **205** angeordnet. Die Codierungskonstruktion **210** ist in diesem Beispiel eine Einheit, die während der Codierung in der Nähe der Welle angebracht wird, so dass die elektrisch leitfähigen Elemente **215**, **217** sich entlang wenigstens eines Abschnitts der Welle **205** erstrecken. Die elektrisch leitfähigen Elemente **215**, **217** sind in diesem Ausführungsbeispiel so angeordnet, dass positiv codierende elektrisch leitfähige Elemente **215** und negativ codierende elektrisch leitfähige Elemente **217** vorhanden sind. Der Rahmen **212** der Codierungskonstruktion **210** basiert gewöhnlich auf einem nicht leitenden Material, so dass die elektrisch leitfähigen Elemente **215**, **217** isoliert sind.

[0056] Die Codierung kann während der Herstellung der Welle oder nach dem Einbau durchgeführt werden, und sie ist dauerhaft, wenn sie mittels hoher Stromdichten an einem geeigneten Material durchgeführt wird. Die Codierungskonstruktion ist in diesem Beispiel als die Welle **205** umgebend dargestellt und kann (nicht gezeigte) zusätzliche Rahmenelemente enthalten, um ihre Ausrichtung und Position um die Welle aufrecht zu erhalten. Diese können beispielsweise (nicht gezeigte) Rahmenträger sein, die dazu dienen, sicherzustellen, dass die elektrisch leitfähigen Elemente **215**, **217** für den Codierungsschritt einwandfrei und ausreichend gesichert angeordnet sind.

[0057] Während die dargestellte Einheit **210** sich rund um die Welle **205** erstreckt, ist es nicht unbedingt erforderlich, dass die Einheit die Welle mit elektrisch leitfähigen Elementen umgibt. In einem weiteren Ausführungsbeispiel ist die Codierungskonstruktion **210** in der Nähe eines Abschnitts der Welle **205** angeordnet, und es können mehrere Codierungskonstruktionen vorhanden sein, die so um die Welle angeordnet sind, dass jede der Codierungsstrukturen die magnetisch polarisierten Bereiche erzeugt.

[0058] Die elektrisch leitfähigen Elemente **215**, **217** sind in der Nähe der Welle **205** mit einem Spalt zwischen dem Element **215**, **217** und der Außenfläche der Welle **205** angeordnet. Gemäß einem Beispiel sind die elektrisch leitfähigen Elemente **215**, **217** verstärkte isolierte Kupferstäbe, obwohl auch andere geeignete Leiter in

den Schutzzumfang des Systems fallen. Die elektrisch leitfähigen Elemente **215**, **217** können Stäbe mit einem beispielsweise runden, ovalen, quadratischen oder rechteckigen Querschnitt sein. Die Länge kann in Abhängigkeit von den Konstruktionskriterien variieren. Längere elektrisch leitfähige Elemente **215**, **217** können eine größere Oberflächengröße für die Erfassung vorsehen. Der Durchmesser der elektrisch leitfähigen Elemente **215**, **217** sollte mit Blick auf ausreichende Festigkeit und auf die Lieferung der erforderlichen Strompulse bemessen sein. In einem Beispiel können die Stäbe kürzer als ein Zoll sein, oder eine Länge von mehreren Zoll und einen Durchmesser im Bereich von 1/16 Zoll bis 1/2 Zoll aufweisen.

[0059] Die elektrisch leitfähigen Elemente **215**, **217** weisen ein erstes Ende und ein zweites Ende auf, und für Zwecke der Veranschaulichung ist das erste Ende mit der Codierungsquelle **250**, und das zweite Ende mit der Welle **205** verbunden. Um die elektrisch leitfähigen Elemente **215**, **217** mit der Codierungsquelle **250** elektrisch zu verbinden, sind an dem ersten Ende der elektrisch leitfähigen Elemente **215**, **217** elektrische Anschlussverbindungen **240**, **260**, **280**, **290** vorgesehen. Es sind dem ersten Ende zugeordnete Elektroden **247** vorhanden, die dazu dienen, die Welle **205** elektrisch mit der Codierungsquelle **250** zu verbinden. Es sind dem zweiten Ende zugeordnete Elektroden **242** vorhanden, die dazu dienen, das zweite Ende der elektrisch leitfähigen Elemente elektrisch mit der Welle **205** zu verbinden. Die dem ersten und zweiten Ende zugeordneten Elektroden **247**, **242** betreffen die elektrische Verbindung mit der Welle **205**, und die dem ersten Ende zugeordneten Elektroden sind in einem Ausführungsbeispiel leitende Elemente, die um den nicht leitenden Rahmen **212** angebracht sind und die Welle **205** berühren. Die dem zweiten Ende zugeordneten Elektroden **242** betreffen in einem Ausführungsbeispiel ein leitendes Element, das sich ausgehend von dem zweiten Ende der elektrisch leitfähigen Elemente **215**, **217** zu der Welle **205** erstreckt. Die Elektroden können auch Kontaktpunkte sein, die Steckbrücken oder Drähte aufweisen, die mit der Welle **205** verbunden sind.

[0060] Für die positiven elektrisch leitfähigen Elemente **215** ist der positive Pol der Codierungsquelle **250** über die positive elektrische Anschlussverbindung **240** mit dem ersten Ende der positiven elektrisch leitfähigen Elemente **215** verbunden. Der negative Pol der Codierungsquelle **250** ist über eine elektrische Anschlussverbindung **260** mit der Elektrode **247** und der Welle verbunden.

[0061] Für die negativen elektrisch leitfähigen Elemente **217** ist der negative Pol der Codierungsquelle **250** über die elektrische Anschlussverbindung **290** mit dem ersten Ende des negativen elektrisch leitfähigen Elements **217** verbunden. Der positive Pol der Codierungsquelle **250** ist über die elektrische Anschlussverbindung **280** mit der Elektrode **247** und der Welle verbunden.

[0062] In einem Ausführungsbeispiel fließen elektrische Signale **245** durch die Welle **205**, so dass an der Welle **205** magnetisierte Bereiche erzeugt werden. Eines der Merkmale dieses Codiersystems ist die Fähigkeit, in der Welle auf magnetischem Wege Kanäle oder Bereiche magnetischer Polarisation zu codieren. Im Speziellen weisen Stahlwellen eine hohe relative Permeabilität auf, und die durch die Stahlwelle fließenden elektrischen Ströme erzeugen abgegrenzte codierte Kanäle.

[0063] Ein Beispiel der sektionalen magnetischen Codierung verwendet vier elektrisch leitfähige Elemente, die einheitlich mit einem Abstand von etwa neunzig Grad verteilt sind. Der positive Polarität aufweisende Strompuls **240** ist mit dem elektrisch leitfähigen Element **215** verbunden, und der Strompuls wandert entlang des elektrisch leitfähigen Elements zu einer Elektrode **242**, die mit der Welle **205** rund um das zweite Ende in Berührung steht. Der die Elektrode **242** verlassende Strom fließt längs der Welle **205** zurück zu der dem ersten Ende zugeordneten Elektrode **247** und über die elektrische Anschlussverbindung **260** zu dem negativen Pol der Codierungsquelle. Der entlang der Welle **205** fließende Strom **245** erzeugt an der Welle einen polarisierten magnetischen Kanal. Jede der benachbarten elektrisch leitfähigen Elemente in der Konstruktion **210** weist in der Regel alternierende Polaritäten auf, und die Pulscodierung kann die elektrisch leitfähigen Elemente alle gleichzeitig, in Gruppen oder einzeln codieren. Beispielsweise kann der erste Satz positiv elektrisch leitfähiger Elemente **215** gleichzeitig codiert werden, und anschließend der negative Satz elektrisch leitfähiger Elemente **217** gleichzeitig codiert werden.

[0064] Die Codierungsquelle kann gewöhnlich unipolare Strompulse von einigen Hundert A bis zu mehreren kA mit einer Pulslänge von gewöhnlich 1–100 ms erzeugen. Ein Beispiel einer Codierungsquelle basiert auf einer Kondensatorgruppe oder auf einer Leistungselektronikeinrichtung, die die gewünschten unipolaren Stromschwingungsverläufe erzeugt. Ein weiteres Beispiel einer Codierungsquelle ist ein Pulsgenerator. In einem Ausführungsbeispiel sind die Strompulse kurz und können durch einen Hochfrequenzanteil charakterisiert sein.

[0065] In einem Beispiel basieren die elektrisch leitfähigen Elemente auf starren oder halbstarren Stäben, die

in einer Längsrichtung entlang des Umfangs oder diagonal entlang der Welle einen verhältnismäßig geraden Pfad für den Stromfluss definieren. Gemäß einem Ausführungsbeispiel wird eine Käfiganordnung verwendet, um die elektrisch leitfähigen Elemente für den Codierungsvorgang in einer sicheren Weise um die Welle zu positionieren. In einem Ausführungsbeispiel ist der Käfig mit den elektrisch leitfähigen Elementen rund um die Welle befestigt, so dass die Welle und der Käfig bis zur Vollendung der Codierung eine feststehende räumliche Beziehung zueinander aufweisen.

[0066] Die Stromdurchdringung, d. h. die Tiefe der Stromdichte in der Welle, wird in einem Ausführungsbeispiel durch die Dauer des Strompulses gesteuert. Die Strompulse sind in diesem Beispiel unipolar, und es sind positive Strompulse ohne die negative Halbwelle, oder es sind Strompulse ohne positive Halbwelle, falls negative Strompulse verwendet werden. In einem Ausführungsbeispiel werden die Strompulse durch Entladung einer Kondensatorgruppe erzeugt, wobei die Größe des Entladungswiderstands die Entladungszeitkonstante und somit die Tiefe der Stromdurchdringung bestimmt. Zur Veranschaulichung verwendet das sektionale Codierungsverfahren in einem Beispiel fünf aufeinanderfolgende 500-A-Strompulse mit einer Pulslänge von jeweils etwa 5 ms, um permanente Magnetflussdichten von etwa 5 Gauß zu erzeugen, die verwendet werden, um eine Industriestahlwelle mit einem Durchmesser von 60 mm zu codieren.

[0067] Gemäß einem einfachen Codierungsansatz wird ein magnetisierter Abschnitt Stromkreis für Stromkreis codiert. Beispielsweise kann ein Strompuls mit positiver Polarität angewendet werden, um einen ersten Codierungsabschnitt zu codieren, und danach ein weiterer Abschnitt magnetisiert werden, indem ein zweiter Stromkreis mit negativer Polarität angewendet wird. Aufeinander folgende Abschnitte werden mittels Strompulsen abwechselnder Polarität codiert.

[0068] Ein derartiges sequentielles Codierungsverfahren mittels Strompulsen, die abwechselnde Polarität aufweisen, erzeugt mehrere weitgehend identische Codierungsabschnitte. Falls lediglich ein einziger Strompuls auf jeden zu magnetisierenden Abschnitt angewendet wird, sind die Abschnitte im Allgemeinen nicht identisch, da eine Magnetisierung des zweiten Abschnitts auch den ersten magnetisierten Abschnitt beeinflusst. Diese unerwünschte Wechselwirkung ist in der Mitte des Codierungswerkzeugs stärker als an dessen Anfang und Ende, wo die Elektroden in Kontakt mit der Welle stehen. In der Durchführung sequentieller Strompulse lassen sich nahezu identische Codierungsabschnitte erzielen, wobei die Abschnitte bei der Magnetisierung abgewechselt werden, und durch Durchführung der Magnetfeldmessungen in der Nähe der Bereiche, in denen die Elektroden die Welle berühren. Ein weiteres Beispiel für eine sequentielle Erzeugung magnetisierter Bereiche in der Welle misst die in jedem Segment oder Bereich erzeugte Feldstärke und passt die Amplitude der Strompulse für die nachfolgenden Codierungsschritte an.

[0069] Um eine Beeinflussung einer sequentiellen Magnetisierung eines Abschnitts durch die nächste Magnetisierung zu vermeiden, ist bei einem weiteren Codierungsausführungsbeispiel die gleiche Stromstärkenamplitude auf sämtliche elektrisch leitfähigen Elemente anzuwenden und es sind sämtliche Abschnitte gleichzeitig zu codieren. In einem Ausführungsbeispiel nutzen die elektrisch leitfähigen Elemente getrennte oder geteilte Codierungsquellen, um die mehreren elektrisch leitfähigen Elementen in Einklang zu bringen. In einem Beispiel werden für jedes elektrisch leitfähige Element unabhängige Kondensatorgruppen verwendet.

[0070] Falls beispielsweise vier Segmente vorhanden sind, kann eine einzelne Codierungsquelle verwendet werden, um übereinstimmende Strompulse mit alternierenden Polaritäten auf jede der vier Stromcodierungsquellen anzuwenden. In einem weiteren Ausführungsbeispiel sind vier voneinander unabhängige Codierungsquellen vorhanden, um dadurch Kurzschlüsse zwischen den unterschiedlichen Codierungsströmen während des Codierungsvorgangs zu vermeiden. In einem weiteren Ausführungsbeispiel kann ein Schaltschema verwendet werden, um die Strompulssignale mit alternierenden Polaritäten anzuwenden.

[0071] Während die herkömmlichen Techniken auf einer Magnetisierung des gesamten Wellenumfangs basieren, codiert ein Ausführungsbeispiel des vorliegenden Systems magnetische Kanäle in der Welle mittels der Rückströme. Die sektionale magnetische Codierung zieht Nutzen aus dem asymmetrischen Skineffekt und aus der Tatsache, dass ein Strom immer den Pfad der geringsten Impedanz nimmt. Falls die Frequenz der Stromstärke ausreichend hoch ist, wird die Impedanz von der Induktivität dominiert. Im Falle eines kurzen Strompulses ist der in der Welle fließende Rückstrom örtlich schärfer begrenzt als im Falle eines längeren Pulses, was polarisierte und wohldefinierte/schmale magnetische Muster ermöglicht. Dieser Effekt wird genutzt, um Abschnitte einer Welle mit örtlich schärfer abgegrenzten Kanälen zu magnetisieren, die raschere Änderungen des Magnetfelds während der Erfassung bewirken. Die während der Codierung verwendete Pulslänge beeinflusst demzufolge die während des Erfassungsvorgangs beobachteten Signalfrequenzen.

[0072] Unter Bezugnahme auf [Fig. 2b](#) ist eine weitere Codierungskonstruktion veranschaulicht, bei der in der Nähe der Welle **205** paarweise ausgelegte elektrisch leitfähige Elemente **294**, **295** angeordnet sind. In diesem Ausführungsbeispiel sind die paarweise ausgelegten elektrisch leitfähigen Elemente **294**, **295** um einen nicht-leitenden Rahmen **292** angebracht, wobei mehrere paarweise ausgelegte elektrisch leitfähige Elemente um den Rahmen **292** positioniert sein können. Die elektrisch leitfähigen Elemente **294**, **295** sind einander nahe benachbart, in etwa parallel und getrennt durch einen Spalt **296** angeordnet.

[0073] Ähnlich wie in der Beschreibung nach [Fig. 2a](#) sind die elektrisch leitfähigen Elemente mit einer Codierungsquelle verbunden, so dass die Elemente mit entgegengesetzter Polarität verbunden sind. Es sind Anschlussverbindungen vorhanden, die ein Ende des elektrisch leitfähigen Elements mit der Codierungsquelle elektrisch verbinden, während das andere Ende mit der Welle **205** elektrisch verbunden ist. Die Codierung ähnelt hinsichtlich ihrer Funktionalität derjenigen, die mit Bezug auf [Fig. 2a](#) im Einzelnen erläutert wurde, allerdings sind die sich ergebenden sektionalen magnetischen Codierungsabschnitte paarweise ausgelegt und bilden, wie im Vorliegenden beispielsweise anhand von [Fig. 6](#) näher erläutert, in Bezug zueinander isolierte Domänengrenzen.

[0074] Unter Bezugnahme auf [Fig. 3](#) ist eine Schnittansicht eines Beispiels einer codierten Welle dargestellt. Gemäß einem Ausführungsbeispiel verwendet die Codierung in der Nähe der Welle angeordnete elektrisch leitfähige Elemente, die Codierungspulse anwenden, und nutzt den durch die Welle fließenden Rückstrom, um die Welle zu codieren.

[0075] In diesem Beispiel sind vier elektrisch leitfähige Elemente **310**, **312**, **314**, **316** vorhanden, die um etwa 90° beabstandet um die Welle **350** angeordnet sind. Der zwischen den elektrisch leitfähigen Elementen **310**, **312**, **314**, **316** und der Welle **350** vorhandene Spalt **375** ist gewöhnlich klein, da das erzeugte Feld um so stärker, bzw. die erforderliche Energie um so geringer ist, je kürzer der Abstand des elektrisch leitfähigen Elements zu der Oberfläche der Welle ist. In einem Beispiel ist der Spalt **375** kleiner als 1 mm und kann zwischen dem elektrisch leitfähigen Element und der Wellenoberfläche eine (nicht gezeigte) isolierende Platte enthalten. Die Toleranz ist im Allgemeinen nicht problematisch, da dies lediglich während des Codierungsvorgangs und nicht während des Betriebs der Welle verwendet wird.

[0076] Die elektrisch leitfähigen Elemente **310**, **312**, **314**, **316** veranschaulichen die abwechselnd entgegengesetzten Polaritäten, die durch eine (nicht gezeigte) Codierungsquelle während des Codierungsvorgangs eingesetzt werden, so dass positive Polarität aufweisende Elemente **312**, **316** und negative Polarität aufweisende Elemente **310**, **314** vorhanden sind. Die Codierung erzeugt die sektionalen polarisierten magnetischen Bereiche **330**, **332**, **334**, **336**. Zur besseren Veranschaulichung gehören die in [Fig. 3](#) dargestellten Magnetfeldlinien zu einer mittels Gleichströmen durchgeführten Magnetisierung. Bei der Durchführung der magnetischen Codierung mit Gleichstrompulsen verhindert der Skineffekt, dass die Magnetfeldlinien den gesamten Wellenquerschnitt durchdringen. Vielmehr sind die Feldlinien nahe der Wellenoberfläche konzentriert. Die Stromstärke und Flussdichte nahe der Wellenoberfläche ist um so größer, je kürzer der Gleichstrompuls ist. Dies ist für die auf Magnetfeldmessungen basierende Drehmomentmessung von Vorteil, da die größten Magnetflussdichten in der Nähe der Wellenoberfläche in einem geringen radialen Abstand von wenigen Millimeter zu den Magnetfeldsensoren erzeugt werden. Eine der einzigartigen Eigenschaften dieser Codierung ist die Einrichtung der magnetisch polarisierten Bereiche **330**, **332**, **334**, **336** mit Domänengrenzen **380**. Wenn ein Drehmoment auf die Welle ausgeübt wird, tritt die größte Änderung der Magnetflussdichte an den Domänengrenzen **380** auf.

[0077] Somit zeigen die magnetisch polarisierten Bereiche **330**, **332**, **334**, **336**, dass die Magnetfelder im Falle einer Codierung mit kurzen Strompulsen wohldefinierte polarisierte magnetische Bereiche bzw. Kanäle sind und die Domänengrenzen **380** in Bezug zueinander definieren. Die Begrenzungen **380** sind in der Regel jene Bereiche, die die größten Magnetflussdichten aufweisen, die sich in der Nähe der Wellenoberfläche erfassen lassen, wenn die Welle einer Torsionsbewegung unterworfen ist. Diese Domänengrenzen **380** repräsentieren somit den optimalen Ort zur Erfassung.

[0078] Unter Bezugnahme auf [Fig. 4](#) wird ein Ausführungsbeispiel zum Verarbeiten der Codierungsabschnitte, die magnetisch polarisierte Bereiche mit Domänengrenzen aufweisen, im Einzelnen erläutert. Die Welle kann in Abhängigkeit von den Anforderungen während des Herstellungsprozesses, nach der Herstellung oder nach dem Einbau codiert werden. Wie zuvor festgestellt, sollte die Welle auf einem ferromagnetischen Werkstoff basieren oder einen ferromagnetischen Werkstoff aufweisen, der für die Codierung an der Welle befestigt ist.

[0079] Irgendeine Bauart einer Codierungsanordnung ist um den Abschnitt der Welle **410** angebracht oder

positioniert, wobei die Anordnung dazu beiträgt, die räumliche Beziehung der elektrisch leitfähigen Elemente zueinander und auch zu der Welle aufrecht zu erhalten. Die elektrisch leitfähigen Elemente sind gewöhnlich in einer räumlichen Beziehung zueinander angeordnet, und die Anordnung trägt dazu bei, jene Beziehung aufrecht zu erhalten. Die angebrachte Anordnung kann auf einer der unterschiedlichen Bauarten basieren, beispielsweise eine Greifbackenkonstruktion und/oder eine zweiteilige Anordnung sein, wie sie aus dem Stand der Technik bekannt ist. Die positionierte Anordnung kann auf einem weitergehend integrierten Gehäuse basieren, das um einen Abschnitt der Welle angeordnet ist.

[0080] In einem Ausführungsbeispiel weist die Anordnung in Bezug auf die elektrisch leitfähigen Elemente zwei oder mehr Freiheitsgrade auf und erlaubt es den elektrisch leitfähigen Elementen, eine räumliche Beziehung zueinander einzunehmen, beispielsweise einen auf dem Wellendurchmesser basierenden Phasenabstand.

[0081] Es können mehrere Vorrichtungen vorhanden sein, die während des Codierungsvorgangs mit der Welle verbunden sind, oder es kann eine einzelne Anordnung vorhanden sein, die mehrere Male an verschiedenen sektionalen Stellen entlang der Welle verwendet wird.

[0082] Die elektrisch leitfähigen Elemente sind mit einer Codierungsquelle und außerdem mit der Welle **415** elektrisch verbunden. In einem Ausführungsbeispiel verbinden Elektroden die elektrisch leitfähigen Elemente und die Codierungsquelle mit der Welle, und es können für den Anschluss außerdem elektrische Anschlussleitungen oder Steckbrücken genutzt werden, um eine elektrische Verbindung vorzusehen. Die Elektroden können in unmittelbarer Nähe des Endes des Leiterelements im Wesentlichen senkrecht angeordnet sein, so dass die Elektroden in etwa unmittelbar unterhalb des Endes der elektrisch leitfähigen Elemente fluchtend angeordnet sind.

[0083] Der elektrische Anschluss kann in Abhängigkeit von den Konstruktionskriterien auf vielfältigen Wegen durchgeführt sein. Beispielsweise können an einem Ende der elektrisch leitfähigen Elemente angeordnete Elektroden mit der Codierungsquelle durch elektrische Steckbrücken oder Drahtleitungen ausreichender Dicke verbunden sein, um die Codierungssignale aufzunehmen. In einem Beispiel sind elektrisch leitfähige Elemente so mit der Codierungsquelle verbunden, dass die alternierenden elektrisch leitfähigen Elemente mit abwechselnder Polarität angeschlossen sind.

[0084] Die Codierungsquelle wendet auf die elektrisch leitfähigen Elemente **420** Strompulse an. Gewöhnlich wird auf jedes elektrisch leitfähige Element mehr als ein Strompuls angewendet, und gewöhnlich werden mehrere Strompulse angewendet. In einem Ausführungsbeispiel werden die Strompulse auf jedes der elektrisch leitfähigen Elemente sequentiell angewendet. Dies kann durchgeführt werden, indem die Strompulse zunächst auf jedes der elektrisch leitfähigen Elemente, die positive Polarität aufweisen, angewendet wird (wobei die entsprechenden Elektroden mit der negativen Polarität verbunden sind), oder indem die Strompulse auf jedes elektrisch leitfähige Element sequentiell angewendet werden, und die Polaritäten nach Bedarf abgewechselt werden. Ein Nachteil einer Parallelschaltung elektrisch leitfähiger Elemente ist die verringerte Amplitude der Stromstärke in jedem Leiter und Probleme hinsichtlich der Erzielung einer gleichmäßigen Verteilung des Stroms auf die parallel geschalteten Leiter.

[0085] Anhand eines Beispiels einer sequentiellen Codierung wird ein erster Strompuls auf das erste elektrisch leitfähige Element angewendet, und es werden mehrere Strompulse mit identischer Polarität angewendet. Da der Käfig gewöhnlich um eine stationäre Welle angeordnet ist, ist der Ort der codierten Segmente bekannt. Dies erleichtert es, Codierungspulse auf zusätzliche Segmente anzuwenden, indem die Welle um einen vorgegebenen Betrag gedreht wird, oder indem die Anordnung, die die elektrisch leitfähigen Elemente enthält, um einen vorgegebenen Betrag gedreht wird.

[0086] In einem Ausführungsbeispiel wird der Strompuls durch Entladung einer Kondensatorgruppe erzeugt, wobei die Pulslänge des Strompulses durch einen Entladungswiderstand modifiziert werden kann. In einem Beispiel beträgt die Abfallzeit etwa 10 ms. In einer Abwandlung lässt sich die Dauer des Strompulses durch eine Schaltereinrichtung einstellen, die von einem Sperrzustand in den Durchlasszustand, und nach einer gewissen Zeit zurück in den Sperrzustand umgeschaltet werden kann.

[0087] Gewöhnlich wird ein kurzer Strompuls genutzt, da höhere Frequenzen die Eindringtiefe in die Welle verringern. Der Strompuls ist in diesem Beispiel ein unipolarer Puls, der ausreichend kurz ist, um lediglich den oberflächlichen Bereich zu durchdringen und die gleichen sektionalen magnetisch polarisierten Bereiche **330**, **332**, **334**, **336** in der Nähe der Wellenoberfläche zu erzeugen, wie sie in [Fig. 3](#) für eine Gleichstromcodierung

veranschaulicht sind.

[0088] Die Tiefe der Stromdichte ist durch die Hauttiefe δ gekennzeichnet, die sich anhand der folgenden Beziehung berechnen lässt:

$$\delta = \sqrt{\frac{1}{\pi \times f \times \mu_0 \times \mu_r \times \sigma}},$$

mit

- σ – elektrische Leitfähigkeit der Welle
- f – Frequenz
- μ_0 – Permeabilität des Vakuums
- μ_r – relative Permeabilität des Wellenwerkstoffs

[0089] Unter der Annahme, dass ein Strompuls durch eine Kondensatorentladung erzeugt ist, wobei die Stromanstiegszeit wesentlich kürzer ist als die Stromabklingzeit (Abfallzeit), hängt die Frequenz in der obigen Beziehung von der Abfallzeit des während der Codierung verwendeten Strompulses ab. Im Allgemeinen hängt die Frequenz in der obigen Beziehung von der Grundfrequenz (Grundschiwingung) des angewendeten Strompulses ab. Aufgrund der hohen relativen Permeabilität des zu codierenden ferromagnetischen Werkstoffs, gerät die Hauttiefe sogar bei mittleren Frequenzen verhältnismäßig gering.

[0090] Unabhängig von der Art und Weise, in der die Strompulse angewendet werden, induzieren die Strompulse in der Welle **430** Magnetfelder, die magnetisch polarisierte Bereiche erzeugen. Es ist selbstverständlich, dass der Strompuls auf sämtliche elektrisch leitfähigen Elemente gleichzeitig, auf jedes Element sequentiell oder auf eine Gruppierung von Elementen angewendet werden kann.

[0091] Gemäß einem Ausführungsbeispiel erzeugt die magnetische Wellencodierung in Umfangsrichtung regelmäßige Magnetisierungsmuster, die mit einer ausreichenden Beabstandung in Umfangsrichtung angeordnet werden können. In diesem Beispiel ist das sich durch die rotierende magnetisierte Welle ergebende Magnetfeld ein Wechselstromfeld, und die Frequenz des Wechselstromfelds ist an die Rotationsfrequenz der Welle gekoppelt. Mittlere Frequenzen ermöglichen den Einsatz standardmäßiger Magnetfeldsensoren, z. B. Hall-Effekt oder Magnetfeldsensoren, um das durch die rotierende Welle verursachte resultierende Magnetfeld zu erfassen. In noch einem Ausführungsbeispiel werden zur Erfassung des Feldes gegen hohe Temperaturen beständige Luftinduktionsspulen verwendet. Eine ausreichend hohe Anzahl von Codierungsabschnitten kann in der Welle verwendet werden, so dass Hochfrequenzsignale sogar bei hoher Rotationsgeschwindigkeit ausreichend nachweisbar sind.

[0092] Gemäß einem Ausführungsbeispiel verwendet eine einfache Codierungsanordnung wenigstens einen isolierten Leiter, der in der Nähe der Wellenoberfläche befestigt ist, der ein erstes Ende und ein zweites Ende aufweist. An der Welle können nahe der Eingangsseite und des Endes des elektrisch leitfähigen Elements Elektroden vorhanden sein, um für den Strom Hin- und Rückflusspfade zu bilden.

[0093] Ein weiteres Ausführungsbeispiel verwendet vier oder mehr elektrisch leitfähige Elemente mit alternierenden Polaritäten, die um wenigstens einen Abschnitt einer Welle angeordnet sind, so dass die alternierende Polarität der elektrisch leitfähigen Elemente negativ, positiv, negativ, positiv ist, und so fort. In einem weiteren Ausführungsbeispiel sind die elektrisch leitfähigen Elemente paarweise ausgelegt und mit abwechselnden Polaritäten in Bezug zueinander in enger Nachbarschaft angeordnet, und es können um die Welle mehrere paarweise ausgelegte elektrisch leitfähige Elemente vorhanden sein.

[0094] In einem Aspekt werden auf den elektrisch leitfähigen Elementen Signale übermittelt, so dass ein erster Satz von Codierungen auf dem Abschnitt der Welle eingerichtet wird. Ein zusätzlicher Aspekt basiert darauf, dass der erste Satz von Codierungen gleichzeitig codiert wird, so dass sämtliche Kanäle gleichzeitig codiert werden. Um Kurzschlüsse zwischen in der Welle fließenden Rückströmen zu vermeiden, können die leitfähigen Elemente von verschiedenen Quellen mit Strom versorgt werden. In einem weiteren Aspekt werden die Codierungen in jedem elektrisch leitfähigen Element sukzessive durchgeführt.

[0095] Ein zusätzlicher Satz von Codierungen kann in der Nähe eines Satzes von um den Abschnitt der Welle angeordneten lokalen Minima der Flussdichte angeordnet sein. Die lokalen Minima sind an Orten angeordnet, die gegenüber dem ersten Satz von Codierungen versetzt und zwischen den elektrisch leitfähigen Elemente

mit verschiedenen Polaritäten zentriert sind, wie in [Fig. 3](#) veranschaulicht.

[0096] Zur Veranschaulichung kann das Codiersystem mittels einer Gehäuseanordnung verwirklicht werden, die einen Abschnitt der Welle umgibt. Das Gehäuse enthält gewöhnlich eine Anzahl von elektrisch leitfähigen Elementen, die in der Nähe der Welle angeordnet sind, jedoch nicht in unmittelbarem Kontakt mit der Welle stehen. Die elektrisch leitfähigen Elemente können auf isolierten Leitern basieren, die um die Welle ausgerichtet sind, die lediglich die erforderliche Anzahl von Elementen aufweist, beispielsweise vier oder acht Elemente für die erste Codierung und vier oder acht Elemente für die zweite Codierung. In einer Abwandlung können zusätzliche Elemente vorhanden sein, so dass in Abhängigkeit von den Anwendungen lediglich ein Teil der Elemente genutzt werden. Eine derartige Verwirklichung sieht Redundanz vor und erlaubt es außerdem, die Anzahl von Leitern für sonstige Anwendungen zu steigern.

[0097] In gewissen Fällen dient der Wellendurchmesser als Faktor in einer Entscheidung, ob die sequentielle Codierung zweckmäßig ist, da ein ausreichender Abstand zwischen den Codierungselementen vorhanden sein sollte, so dass die einzelne Codierung keine der übrigen Codierungen stört.

[0098] In einem Aspekt erzeugt das System in der Nähe der Welle ein sich in Umfangsrichtung änderndes Magnetfeld, und dieses bringt während der Rotation der Welle Wechselstromfeldkomponenten hervor. Die sich ergebenden Wechselstromfeldkomponenten lassen sich durch Prüfspulen erfassen. Ein derartiges System ist unempfindlich gegenüber Gleichstromfeldstörungen und es ist für Bereiche verhältnismäßig hoher Temperaturen im Falle anderer Sensoren, beispielsweise Magnetfeldsensoren, geeignet. In einem weiteren Aspekt, wobei mit niedriger oder mittlerer Drehzahl rotierende Wellen verwendet werden, die große Durchmesser aufweisen, kann die Magnetfelderfassung durch Magnetfeldsensoren (MFS) durchgeführt werden. Magnetfeldsensoren werden im Allgemeinen eingesetzt, um den magnetischen Fluss und/oder die Stärke und Richtung eines Magnetfelds zu messen, und sie können auf unterschiedlichen Arten von Sensoren basieren, beispielsweise auf magnetoresistiven Einrichtungen, magnetischen Fluxgate- oder Spulensensoren, Hall-Effekt-Sensoren und/oder magnetoinduktiven Sensoren. Die Wahl des speziellen Magnetfeldsensors hängt von den Konstruktionskriterien ab und berücksichtigt gewisse Aspekte, beispielsweise Flussdichte, Auflösung, Genauigkeit und die Anzahl von Achsen. Relativ zu der Welle können die Sensoren mit Blick auf eine Maximierung der gemessenen Antwort so angeordnet sein, dass die Sensoren beispielsweise bei 0°, 45° und/oder 90° ausgerichtet sein können. Es können verschiedene Arten von Sensoren verwendet werden, um vielfältige Daten von der Welle zu erhalten.

[0099] Die sektionale Codierung kann auf unterschiedlichen Wegen ausgeführt werden, beispielsweise durch Codierung lediglich eines oder mehrerer Wellenabschnitte in einer Umfangsrichtung und durch mehrere Codierungen in Umfangsrichtung, um periodisch wechselnde Magnetflusskomponenten zu erzeugen, so dass zur Erfassung der Magnetflussdichte induktive Sensoren verwendet werden können. Abhängig von den Anforderungen der beabsichtigten Anwendung, erlauben die mehreren Codierungen es, während der Rotation der Welle mehr Daten zu extrahieren, was eine genauere und raschere Verarbeitung ermöglichen kann. Beispielsweise weist eine Spule mit 400 Umdrehungen, 1000 Ω Widerstand und 0,9 mm² Fläche im Falle eines sinusförmigen Wechselstrommagnetfelds einen Rauschpegel im Bereich von 2 $\mu\text{T} \times \sqrt{\text{Hz}}$ auf. Im Falle einer mit 1000 U/min rotierenden Welle und einer Messungsbandbreite von 50 Hz ergibt dies einen Rauschpegel von 0,8 μT . Demzufolge lassen sich Magnetfelder im Bereich von Dutzenden oder Hunderten von Mikrottesla mittels kleiner Luftspulen genau messen.

[0100] Unter Bezugnahme auf [Fig. 5](#) ist ein weiteres Codierungsausführungsbeispiel dargestellt. In diesem Beispiel sind die magnetisch polarisierten Abschnitte an einem oder mehreren Abschnitten um die Welle ausgebildet. Eine derartige Durchführung ist für die sektionale magnetische Codierung von Wellen mit großen Durchmessern besonders geeignet, bei denen eine Codierung des gesamten Umfangs außerordentlich kostspielig und zeitaufwendig wäre.

[0101] Die sich nach dem Codierungsvorgang ergebenden Feldlinien sind in [Fig. 5](#) dargestellt. In diesem Beispiel sind vier Codierungsabschnitte **510**, **520**, **530**, **540** vorhanden, die in der Nähe der Wellenfläche jeweils entsprechende Magnetfelder **515**, **525**, **535**, **545** aufweisen, wobei die Magnetflussdichte auf der Codierung basierende Eigenschaften aufweist. Die Eindringtiefe der Feldlinien hängt von Faktoren wie der Länge der in dem Codierungsvorgang verwendeten Strompulse ab. In einem Ausführungsbeispiel sind zwischen Codierungsabschnitten wohldefinierte Domänengrenzen **580** festgelegt, indem an jedem magnetisch polarisierten Abschnitt Codierungspulse mit verschiedenen Polaritäten und Längen verwendet werden. Somit können zwischen verschiedenen Polaritäten aufweisenden, magnetisch polarisierten Abschnitten in der Nähe der Wellenoberfläche Domänengrenzen **580** erzeugt werden.

[0102] Die Ausrichtung der magnetischen Domänengrenzen **580** erleichtert die Bestimmung der optimalen Ausrichtung der Magnetfeldsensoren **560** für die Erfassung von drehmomentabhängigen Feldänderungen. Die berührungslosen Sensoren **560** sind positioniert, um die Magnetfelder der rotierenden Welle zu erfassen, die verarbeitet sein kann, um gewisse Eigenschaften um die Welle vorzusehen.

[0103] Die Erfassungsrahmenanordnung **550** kann ein Abschnitt des Umfangs der Welle sein, oder sie kann um den gesamten Umfang angeordnet sein. In speziellen Ausführungsbeispielen sind die Sensoren **560** in bestehende Wellengehäuse integriert, so dass auf eine getrennte Sensoreinrichtung verzichtet werden kann, und die integrierte Konstruktion führt die Funktionalität der Sensoreinrichtung durch. Das Gehäuse kann mit mehreren Sensorschlitzen **570** ausgebildet sein, so dass eine beliebige Anzahl von Sensoren **560** angeordnet werden kann. Ein Vorteil metallischer Gehäuse basiert darauf, dass sie eine Abschirmung gegen externe magnetische Wechselstromfeldkomponenten bereitstellen.

[0104] Hochleistungsanwendungen erfordern eine zuverlässige Drehmomentüberwachung. Gemäß einem Ausführungsbeispiel verwendet das System eine größere Anzahl von Erfassungsspulen und erhält daher eine größere Frequenz erfasster Werte und eine größere Zuverlässigkeit. Die Erfassungsspulen sind verhältnismäßig kostengünstig, und es lassen sich in einem Sensorhalter ohne weiteres mehrere Spulen unterbringen. In einem Beispiel sind mehrere in der Sensoreinrichtung angeordnete Sensoren **560** vorhanden. Gemäß einem Ausführungsbeispiel werden die mehreren Sensoren **560** genutzt, um eine größere Zuverlässigkeit zu schaffen, indem häufigere Messungen ermöglicht sind. Die mehreren Sensoren **560** lassen sich außerdem nutzen, um Redundanz vorzusehen, so dass die Erfassungsfunktionen auch im Falle des Ausfalls einiger Sensoren betriebsbereit sind. In einem weiteren Ausführungsbeispiel sind verschiedene Arten von Sensoren angeordnet, so dass unterschiedliche Arten von Daten gemessen werden können. Die vielfältigen Sensorbauarten können die Vorteile der Erfassungseigenschaften des speziellen Sensors nutzen oder in sonstiger Weise eine verbesserte Funktionalität der Erfassung ermöglichen. In einem weiteren Ausführungsbeispiel umfasst der sektionale Codierungsvorgang verschiedene Codierungsabschnitte mit verschiedenen Codierungseigenschaften, so dass die Sensoren vielfältige Arten von Daten gewinnen können.

[0105] Beispielsweise können, wie in [Fig. 3](#) gezeigt, im Falle von Wellen von beispielsweise 60 mm vier Codierungsabschnitte verwendet werden. Für Wellen mit relativ großem Durchmesser oder zur Erzielung genauerer Messwerte können weitere Codierungen verwendet werden, um zusätzliche magnetische Bereiche magnetischen Polarisation und entsprechende Begrenzungen hinzuzufügen. Um den Zeitaufwand und die Kosten für die magnetische Codierung großer Wellen in Anwendungen, bei denen keine hohe Abtastrate für das Drehmoment erforderlich ist, zu minimieren, kann die Welle, wie in [Fig. 6](#) veranschaulicht, lediglich teilweise in Umfangsrichtung magnetisiert sein.

[0106] Die Erzeugung der magnetisch codierten polarisierten Bereiche und dazwischen angeordneter neutraler Bereiche gestattet die Entwicklung einer drehmomentabhängigen Wechselstromfeldkomponente in der Umgebung einer rotierenden Welle, so dass die Wellenleistung unmittelbar gemessen werden kann, indem die induzierte Spannung in einer Spule gemessen wird, die in der Nähe der Welle angeordnet ist.

[0107] Die unmittelbare Messung der Leistung (oder der Drehzahl und des Drehmoments) der Welle mittels der in einer Prüfspule induzierten Spannung kann bei Temperaturen von mehr als 500°C genutzt werden und ist lediglich durch die Materialeigenschaften der Spulen beschränkt. Das System ist außerdem unempfindlich gegenüber von der Umgebung ausgehenden konstanten Magnetfeldern, da lediglich Wechselstromfeldkomponenten gemessen werden.

[0108] Unter Bezugnahme auf [Fig. 6](#) ist ein Ausführungsbeispiel für sektionale magnetische Codierung dargestellt. In diesem Beispiel sind Paare von elektrisch leitfähigen Elementen **610, 612; 620, 622; 630, 632; und 640, 642** um die Welle **605** angeordnet. Jedes Paar wird verwendet, um magnetisch polarisierte Bereiche zu erzeugen, die Domänengrenzen für die paarweise ausgelegten elektrisch leitfähigen Elemente der entsprechenden Magnetfelder **614, 616; 624, 626; 634, 636; und 644, 646** aufweisen. Jedes Paar elektrisch leitfähige Elemente **610, 612; 620, 622; 630, 632; 640, 642** kann mit einer (nicht gezeigten) Codierungsquelle verbunden sein, die den Elementen in jedem Paar verschiedene Polaritäten bereitstellt, um die alternierenden polarisierten Magnetfelder zu erzeugen.

[0109] Beispielsweise verwendet das elektrisch leitfähige Element **612** eine Codierung mit positiver Polarität, während das paarweise ausgelegte elektrisch leitfähige Element **610** eine Codierung mit negativer Polarität verwendet. Die sich aus der Codierung ergebenden polarisierten magnetischen Bereiche **616, 614**, weisen eine Domänengrenzbereich **650** auf, der den Ort der optimalen Antwort auf eine Torsionsbewegung der Welle

605 kennzeichnet. Im Gegensatz zu den Domänengrenzen nach [Fig. 3](#) sind die paarweise ausgelegten polarisierten magnetischen Bereiche weit voneinander entfernt angeordnet, und es ist zwischen jedem entsprechenden Bereich ein Totraum **660** vorhanden.

[0110] In dem veranschaulichten Beispiel nach [Fig. 6](#), sind an der Welle **605** acht codierte Bereiche **614, 616; 624, 626; 634, 636; und 644, 646** vorhanden, die durch die vier Paare von elektrisch leitfähigen Elementen **610, 612; 620, 622; 630, 632; 640, 642** erzeugt sind. Somit lassen sich wohldefinierte magnetisch polarisierte Bereiche mit vier magnetischen Domänengrenzen **650, 652, 654, 656** verwirklichen, ohne dass es erforderlich ist, die gesamte Welle zu magnetisieren. Die in diesem Beispiel verwendeten Magnetfeldsensoren können in einer Umfangsrichtung ausgerichtet sein, um magnetische Feldkomponenten zu messen, die tangential zu der Wellenoberfläche und senkrecht zu den magnetischen Domänengrenzen verlaufen. Dies ist unter idealen Bedingungen die optimale Ausrichtung für die Magnetfeldsensoren. Falls die Feldsensoren in der Nähe der Orte eingebaut sind, an denen sich das Codierungswerkzeug in elektrischem Kontakt mit der Wellenoberfläche befand, sind möglicherweise andere Ausrichtungen der Magnetfeldsensoren vorzuziehen.

[0111] Unter Bezugnahme auf [Fig. 7](#) ist ein weiteres Ausführungsbeispiel einer Codierung dargestellt, das dazu dient, die Welle magnetisch zu codieren und an dieser längs des radialen Umfangs der Welle **705** magnetische Domänengrenzen zu erzeugen. In diesem Beispiel sind Bogensegmente **720, 740** vorhanden, die um ein Segment der Welle **705** positioniert sind. Ein elektrisch leitfähiges Bogensegment **720** ist an einem positiven Ende **710** mit einer (nicht gezeigten) Codierungsquelle positiver Polarität verbunden, so dass die Codierungsströme ausgehend von dem positiven Ende und längs des Bogens **720** fließen. In diesem Beispiel ist das andere Ende des elektrisch leitfähigen Bogensegments **720** mit der Welle **705** durch eine Elektrode **725** verbunden, die mit der Welle **705** in Berührung steht. Der Codierungsstrompuls bewegt sich daher entlang des elektrisch leitfähigen Elements **720**, wobei die Rückströme entlang der Welle **705** zu der an dem Rückkehrende **715** angeordneten Rückkehrelektrode fließen, die mit der (nicht gezeigten) Codierungsquelle elektrisch verbunden ist.

[0112] Das andere elektrisch leitfähige Bogensegment **740** ist an einem Rückkehrende **730** mit der (nicht gezeigten) Codierungsquelle verbunden. Die Codierungssignale bewegen sich von der (nicht gezeigten) Codierungsquelle ausgehend über eine Elektrode, die mit der Welle **705** in Berührung steht zu dem positive Ende **735**, längs der Oberfläche der Welle und durch die Elektrode **745**. Die Codierungsströme fließen längs des Bogensegments **740** und kehren über das Rückkehrende **730** zu der (nicht gezeigten) Codierungsquelle zurück. Auch hier erzeugt diese Codierung sektionale magnetische Bereiche um den Umfang der Welle **705**. Die Kombination des Paares von elektrisch leitfähigen Bogensegmenten **720, 740**, die die polarisierten magnetischen Bereiche erzeugen, erzeugt außerdem die dazwischen angeordnete Domänengrenze **750**, die die optimale Erfassungsregion ist.

[0113] In diesem Beispiel sind zwei polarisierte Bereiche vorhanden, die in einer gegenüber der Welle axialen Richtung ausgerichtet sind. Die Magnetfeldmessung ist einfacher als in anderen Ausführungsbeispielen, da die Welle radial rotiert und eine größere Länge des Erfassungsbereichs in Umfangsrichtung vorhanden ist.

[0114] Während das Bogensegment als ein Bogensegment der Länge etwa eines Halbkreises dargestellt ist, sollte es ohne weiteres klar sein, dass die Bogensegmente einen kleineren Abschnitt der Welle oder größere Abschnitte des Kreisumfangs umfassen können. Während die codierten Kanäle als um den Umfang angeordnet gezeigt sind, können diese darüber hinaus längs einer beliebigen Richtung der Welle ausgerichtet sein, beispielsweise diagonal für die magnetisch polarisierten Kanäle.

[0115] Unter Bezugnahme auf [Fig. 8](#) ist ein Ausführungsbeispiel eines vereinfachten Messsystems dargestellt. In diesem Beispiel enthält die magnetisch codierte Welle **805** mehrere polarisierte magnetisierte Bereiche **810** mit dazwischen angeordneten magnetischen Domänengrenzen, die durch Codierungspulse mit alternierenden Polaritäten in sämtlichen dieser Abschnitte hervorgerufen sind. Die Anzahl von magnetisch codierten polarisierten Bereichen hängt von der Codierung und den Konstruktionskriterien ab, z. B. von dem Durchmesser der Welle. Es sollte klar sein, dass die Gestalt der polarisierten magnetischen Kanäle zum Zwecke der Vereinfachung als linear dargestellt ist. In diesem Beispiel werden Sensoren **820, 825, 830, 835** verwendet, um Aspekte der rotierenden Welle während des Betriebs zu erfassen.

[0116] Nochmals mit Bezug auf [Fig. 8](#) schließen sich die Magnetflusspfade, wenn die Welle **805** kein Drehmoment oder keine Biegung erfährt, hauptsächlich im Innern des Wellenmaterials. Wenn ein Drehmoment oder Biegemomente auf die Welle **805** ausgeübt werden, erzeugen Diskontinuitäten von Magnetflusskomponenten an den magnetischen Domänengrenzen in dem (außerhalb des Wellenmaterials) befindlichen Raum

ein zusätzliches Magnetfeld, das sich durch ein oder mehrere Sensoren **820, 825, 830, 835** messen lässt.

[0117] In diesem Beispiel befinden sich die Sensoreinheiten **820, 825, 830, 835** in einem gewissen kurzen Abstand entfernt von der Welle **805**, und sie sind ausgerichtet, um die Magnetfelder zu erfassen. Die Sensoren **820, 825, 830, 835** können übereinstimmende Sensoren oder Sensoren einer ähnlichen Bauart sein, und sie können relativ zu der Welle in derselben oder in einer ähnlichen Ebene ausgerichtet sein. In noch einem Ausführungsbeispiel sind die Sensoren in unterschiedlicher Weise ausgerichtet, beispielsweise unter unterschiedlichen Winkeln, um in der Lage zu sein, verschiedene Messwerte zu erfassen. In noch einem weiteren Ausführungsbeispiel basieren die Sensoren **820, 825, 830, 835** hingegen auf unterschiedlichen Bauarten, die dazu eingerichtet sind, unterschiedliche Eigenschaften zu erfassen. Die gemessenen Daten werden gewöhnlich einer nachfolgenden Verarbeitung unterworfen, um die der Welle zugeordneten Eigenschaften basierend auf dem gemessenen Magnetfeld zu ermitteln.

[0118] Ein Hochtemperaturbetrieb der herkömmlichen magnetostriktiven Sensorsysteme ist durch die Sensoren beschränkt, die dazu in der Lage sein müssen, Gleichstrommagnetfelder zu erfassen. Beispielsweise ist im Falle von Magnetfeldsensoren ein Hochtemperaturbetrieb durch die Curie-Temperatur des in dem Magnetfeldsensor verwendeten Kernwerkstoffs beschränkt. Eine sektionale magnetische Codierung schafft die Möglichkeit Ströme zu messen, die aufgrund des durch die rotierenden Abschnitte der Welle hervorgerufenen Wechselstrommagnetfelds induziert werden. In einem Beispiel ist der Sensor eine eisenlose Sensorspule. Allerdings sind andere Sensoren möglich, beispielsweise Magnetfeld-, Hall-Effekt-, anisotrope magnetostriktive und Giant-Magneto-Resistive (GMR) Sensoren.

[0119] In einem Ausführungsbeispiel ist es erwünscht, dass die Sensoren paarweise **820, 825** und **830, 835** und in einem differentiellen Betriebsmodus arbeiten, da dies die Sensoren gegenüber Gleichtaktstörungen, z. B. gegenüber der Umgebungstemperatur oder externen Magnetfeldern, unempfindlicher macht, und symmetrische Antworten auf entgegengesetzt gerichtete Drehmomente liefert. In einem Beispiel ist das erste Sensorpaar **820, 825** gegenüber der Welle unter einem anderen Winkel als das zweite Sensorpaar **830, 835** ausgerichtet.

[0120] Ein Ausführungsbeispiel des Systems schafft ein magnetisches Codiersystem und Verfahren für magnetostriktive Messungen. Im Gegensatz zu herkömmlichen Ansätzen weist die Welle magnetisch polarisierte Bereiche auf, die codiert sind, um alternierende Magnetflusskomponenten zu erzeugen, so dass induktive Sensoren verwendet werden können, um die Magnetflussdichte zu erfassen, die direkt proportional zu dem ausgeübten Drehmoment ist.

[0121] In gewissen Anwendungen ist es im Falle der Anwendung einer sektionalen magnetischen Codierung schwierig, eine übereinstimmende Magnetflussverteilung und/oder Magnetisierung in sämtlichen Wellenabschnitten exakt zu erreichen. Die mangelnde Übereinstimmung zwischen Abschnitten lässt sich auf mehrere Ursachen zurückführen, z. B. die sukzessive Anwendung der magnetischen Codierungswerkzeuge auf verschiedene Abschnitte, Materialinhomogenitäten und auf die Wellenabschnitte ausgeübte unterschiedliche Magnetisierungsstromdichten. Dies ist von besonderer Bedeutung, wenn die Magnetisierungswerkzeuge nicht gleichzeitig und in Reihe mit den Abschnitten verbunden werden können. Aufgrund der Unterschiede hinsichtlich der magnetischen Eigenschaften zwischen den codierten Kanälen könnte eine Erfassung des gleichen Drehmoments oder der gleichen Leistung mittels identischer Sensoren über verschiedenen magnetisch codierten Wellenabschnitten zu ungenauen Ergebnissen führen.

[0122] Folglich gründet sich die Magnetfelderfassung in einem Ausführungsbeispiel auf ein Verfahren und System, bei dem die Messwerte auf einem Integrationsverfahren basieren. Die Integration verwendet gewöhnlich mehrere Faktoren für die Integrationsverarbeitung. Die Integration umfasst gewöhnlich mindestens eine volle Umdrehung der Welle.

[0123] In [Fig. 9](#) ist ein Beispiel eines Messsystems für Zwecke der Veranschaulichung unterbreitet, um die Arbeitsschritte zu erläutern, wobei die codierte Welle **905** eine Anzahl von polarisierten magnetischen Bereiche **907** an der Welle aufweist. Ein mit A und A' bezeichnetes erstes Paar Sensoren **910** ist in der Nähe der Welle **905** mit einem kleinen Spalt dazwischen angeordnet. Die Sensoren **910** erfassen die Eigenschaften der Welle basierend auf den gemessenen Änderungen der Magnetfelder **907**. Als ein Beispiel zur Veranschaulichung der Verarbeitung sind die Sensoren A und A' ausgerichtet, um die senkrecht zu der Achse der Welle verlaufenden tangentialen magnetischen Feldkomponenten zu messen. Zum besseren Verständnis wird angenommen, dass die Sensoren während der Rotation der Welle ideale Sinuswellensignale erfassen. Der Sensor A' nimmt das sinusförmige Signal **920** auf, das in dem Subtrahierschaltkreis **925** mit dem von dem Sensor A ausgege-

benen Signal **930** zusammengeführt wird, um das resultierende Signal **935** zu erzeugen. Dieses Signal **935** wird durch den Integrator **940** integriert, der das erste Integralsignal **945** erzeugt.

[0124] Das mit B und B' bezeichnete zweite Paar von Sensoren **915** ist ebenfalls in der Nähe der Welle **905** mit einem kleinen Spalt dazwischen angeordnet. Die Sensoren **915** erfassen ebenfalls die Eigenschaften der Welle basierend auf den gemessenen Änderungen der Magnetfelder **907**. Der Sensor B nimmt das sinusförmige Signal **950** auf, das in dem Subtrahierschaltkreis **960** mit dem von dem Sensor B' ausgegebenen Signal **955** zusammengeführt wird, um das resultierende Signal **965** zu erzeugen. Dieses Signal **965** wird durch den Integrator **970** integriert, um das zweite Integralsignal **975** zu erzeugen. Das erste Integralsignal **945** wird bei dem Summierer **985** mit dem zweiten Integralsignal **975** in dem zusammengeführten Signal **980** zusammengeführt, um die zusammengeführten Ausgangssignale **990** hervorzubringen.

[0125] In einem Ausführungsbeispiel sind acht Codierungsabschnitte und acht Induktionsspulen vorhanden, wobei während einer Umdrehung acht Messwerte gewonnen werden. Beispielsweise wird für mit 3000 U/min rotierende Wellen alle 2,5 ms jeweils ein neuer Abtastwert genommen, was gewöhnlich für die meisten Hochleistungsanwendungen, beispielsweise im Falle großer Wellen, ausreicht. Falls diese Abtastrate nicht genügt, kann die Anzahl von Codierungsabschnitten oder die Anzahl von Erfassungsspulen erhöht werden.

[0126] In Fällen, in denen eine höhere Abtastrate des gemessenen Drehmoments erforderlich ist, können fortschrittlichere Signalverarbeitungsalgorithmen verwendet werden, die in der Lage sind, auch ohne Integration ein Echtzeitausgangssignal des Messwertsignals zu liefern.

[0127] Unter Bezugnahme auf [Fig. 10a–Fig. 10f](#) ist ein Erfassungsausführungsbeispiel im Einzelnen veranschaulicht, das eine hochentwickelte Signalverarbeitung für eine sektionale codierte Welle **1005** beinhaltet und zwei Messszenarien aufweist, nämlich Rampendrehmomentänderungen ([Fig. 10c–d](#)) und Stufenfunktionsdrehmomentänderungen ([Fig. 10e–f](#)). Dieses Ausführungsbeispiel kann für höhere Abtastraten des gemessenen Drehmoments mittels Sinusfunktionen verwendet werden, wobei die Sinusfunktionen gewöhnlich auf die Codierung und auf die Decodierung angewendet werden. Die höhere Abtastrate gestattet eine Echtzeitausgabe des Messwertsignals, da keine Integration erforderlich ist.

[0128] Unter Bezugnahme auf [Fig. 10a](#) und [Fig. 10b](#) sind vier Codierungsabschnitte **1015** mit entsprechenden Domänengrenzen und sechs Sensoreinheiten **1010** vorhanden. Die entsprechenden Ausgänge von zwei der um 180° beabstandeten Sensoren **1010** sind an den Empfangsspulen in Reihe geschaltet. Die drei resultierenden Ausgangssignale werden anschließend zusammengeführt, um ein dreiphasiges Signal **1020** zu bilden, und in einem Beispiel basiert die Phase Eins **1022** auf den Ausgangssignalen von Sensoren **1** und **4**; die Phase Zwei **1024** beinhaltet das Ausgangssignal von Sensoren **3** und **6**; und die letzte Phase **1026** beinhaltet Sensorausgangssignale **5** und **2**. Zu einem gewissen Zeitpunkt wird die Welle einem vorgegebenen Drehmoment unterworfen, und die Messwerte werden verarbeitet.

[0129] [Fig. 10c](#) und [Fig. 10d](#) veranschaulichen grafisch die Verarbeitung für eine Rampenfunktion für die Drehmomentänderung, die einer dq-Transformation unterworfen wird. Die Rampenfunktion **1030** beinhaltet Phase "a" **1032**, Phase "b" **1034** und Phase "c" **1036** und zeigt, wie das Ausgangssignal mit der Zeit rampenförmig linear abfällt. Das dq-Transformationsausgangssignal **1040** zeigt das d-Ausgangssignal **1042** und das q-Ausgangssignal **1044**.

[0130] [Fig. 10e](#) und [Fig. 10f](#) veranschaulichen grafisch die Verarbeitung für eine Stufenfunktion für die Drehmomentänderung, die der dq-Transformation unterworfen wird. Der Stufenfunktionsgraph **1050** zeigt Phase "a" **1052**, Phase "b" **1054** und Phase "c" **1056** und beinhaltet die aufgrund gewisser Änderungen der Welle vorhandene Differenz zwischen den Ausgangssignalen **1058**.

[0131] Das transformierte Ausgangssignal **1060** ist grafisch dargestellt und zeigt das d-Ausgangssignal **1062** und das q-Ausgangssignal **1064**, wobei das Drehmoment als die Änderung der Pegel **1066** dargestellt ist.

[0132] In einem Ausführungsbeispiel ergibt sich eine dq0-Transformation der erfassten Signale wie folgt:

$$V_d = \frac{2}{3}(V_a \sin(\omega t) + V_b \sin(\omega t - 2\pi/3) + V_c \sin(\omega t + 2\pi/3))$$

$$V_q = \frac{2}{3}(V_a \cos(\omega t) + V_b \cos(\omega t - 2\pi/3) + V_c \cos(\omega t + 2\pi/3))$$

$$V_0 = \frac{1}{3}(V_a + V_b + V_c)$$

[0133] Gemäß einem Ausführungsbeispiel ermöglicht das Codierungsverfahren und -system sehr genaue Messungen einer unmittelbaren Leistung, eines Drehmoments und/oder eines Biegemoments rotierender Maschinen. Abhängig von der Anzahl von Erfassungsspulen und der Erfassungsspulenverarbeitung ist das elektrische Signal direkt proportional zu der Wellenleistung, dem Drehmoment oder den Biegemomenten. Noch ein weiteres Merkmal dieses Systems ist eine durch den Einsatz kleiner Spulen erreichte Erleichterung der Sensorintegration. Weiter ist es möglich, die Sensorelektronik mit einem gewissen Abstand zu den Sensoren mehrere Meter entfernt von der Sensorinstallation anzuordnen, um eine Messung in aggressiven Umgebungen zu ermöglichen.

[0134] Eines der Merkmale des im Vorliegenden detailliert beschriebenen Systems ist die berührungsfreie Messung der Leistung, des Drehmoments und/oder der Drehzahl einer Wellen basierend auf einem Erfassen von Wechselstromfeldkomponenten relativ zu der Welle. Im Falle von mit hoher Geschwindigkeit rotierenden Wellen, beispielsweise hohe Drehzahlen aufweisende elektrische Maschinen oder Strahltriebwerke, lassen sich ohne weiteres hohe Abtastraten durchführen. Die Messung von Wellenleistung, Drehmoment und Drehzahl kann auf eisenlosen Induktionsspulen basieren, die verhältnismäßig klein und kostengünstig sind, und die einen Betrieb in Umgebungen mit Temperaturen von über 220°C erlauben.

[0135] Dieses System schafft ferner ein berührungsfreies Messsystem, da während des Betriebs keinerlei Teile an der rotierenden Welle angebracht werden. Dieses berührungsfreie System gestattet eine unmittelbare Überwachung der Wellenleistung, was von größter Bedeutung ist für die Erfassung von Minderungen des Wirkungsgrads in unterschiedlichen Abschnitten eines Wellensystems, beispielsweise in großen Turbinensträngen.

[0136] Ein Anwendungsbeispiel, das das im Vorliegenden detailliert beschriebene Messsystem vorteilhaft nutzen könnte, betrifft einen Antriebsstrang einer Windturbine. Der die magnetisierenden Elemente enthaltende Rahmen kann während des Herstellungsprozesses rasch eingebaut werden, um dadurch den Anforderungen einer magnetischen Codierung für die Hauptwelle zu genügen. Im Falle einer Windturbinenhauptwelle ist die Überwachung von Biegemomenten und die Verringerung derartiger Momente durch die Anwendung asymmetrischer Laststeuerung (ALC = Asymmetrical Load Control) auf der Grundlage der Biegemomentmessung von großem Interesse. Eine exemplarische Konstruktion für eine magnetische Codierung, die Biegemomentmessungen ermöglicht, dient der einen großen Durchmesser aufweisenden Welle einer Windturbine. Falls auf diese Welle ein Drehmoment ausgeübt wird, erfassen sämtliche Sensoren die gleiche Magnetfeldänderung. Im Falle von Biegemomenten in vertikaler oder horizontaler Richtung erfassen die beiden gegenüberliegende Feldsensoren unterschiedliche Feldänderungen. In einem Beispiel werden Sensorpaare an den vier Sensororten eingesetzt, um eine differentielle Messung zu ermöglichen. Die Genauigkeit und Zuverlässigkeit des Erfassungssystems kann gesteigert werden, indem weitere Sensorpaare in Umfangsrichtung hinzugefügt werden.

[0137] Da Windturbinenhauptwellen langsam rotieren und gewöhnlich Schleifringe aufweisen, die es ermöglichen, auf einfache Weise von der rotierenden Welle Signale aufzunehmen, wäre es möglich, die Magnetfeldsensoren unmittelbar an der Wellenoberfläche in der Nähe der magnetischen Domänengrenzen anzubringen, so dass das Sensorsystem mit der Hauptwelle rotiert, was sehr genaue Drehmoment- und Biegemomentausgangssignale ermöglichen würde, da die Sensoren in sämtlichen Rotorstellungen das gleiche Magnetfeldausgangssignal hervorbringen. Somit können derartige sekundäre Sensoren in der Hauptantriebswelle dauerhaft eingebaut sein, wobei die Magnetfeld- oder Biegemomentsignale über bestehende Schleifringe oder Funkverbindungen übermittelt werden.

[0138] Wellenleistungsmessungen mit hoher Auflösung und Reproduzierbarkeit ermöglichen es außerdem, Schwingungen oder technische Probleme in dem Rotorwellensystem hinsichtlich einer frühzeitigen Wartungsplanung oder Materialermüdungsdiagnose in einem frühen Stadium zu erfassen. Eine unter sämtliche Betriebsbedingungen und über die Lebensdauer eines Wellensystems hinweg durchgeführte Überwachung hoher Genauigkeit der Wellenleistung ermöglicht es, den Wirkungsgrad von Turbinen oder Strahltriebwerken zu steigern.

[0139] Die Fähigkeit, ein Wellendrehmoment zwischen einzelnen Stufen von Dampf- und Gasturbinen oder Verdichtern genau zu messen, bildet ein wichtiges Werkzeug zur Erfassung und Optimierung des Betriebes. In herkömmlichen Turbinen- und Verdichteranwendungen ist nach der Auftragsvergabe des Systems keine unmittelbare Wellendrehmoment- oder Leistungsmessung zwischen einzelnen Stufen verfügbar.

[0140] Drehmomenterfassungssysteme, die auf permanentmagnetisch codierten Stahlabschnitten basieren, ermöglichen es, die Leistungsabgabe und Biegung einer Welle an unterschiedlichen Wellenabschnitten mit ho-

her Langzeitstabilität zu messen. Dies ist nicht nur für Windturbinen sondern auch für Dampfturbinen, Gasturbinen oder große Verdichter von besonderer Bedeutung, wo ohne weiteres geringe Minderungen der Leistungsabgabe zwischen einzelnen Turbinenstufen erfasst werden können, was es ermöglicht, eine präventive Wartung durchzuführen und den energetischen Wirkungsgrad über die gesamte Laufzeit einer Turbine oder eines Verdichters auf hohem Niveau aufrecht zu erhalten.

[0141] Ein weiterer Aspekt betrifft die Verwendung mehrerer Erfassungsspulen, um Redundanz vorzusehen. Die geringen Kosten der Sensorelemente lassen es zu, in der Praxis mehrere Erfassungsspulen zu nutzen, so dass das Messsystem auch dann funktionsfähig ist, falls ein oder mehrere einzelne Sensorelemente versagen.

[0142] Die vorausgehende Beschreibung der Ausführungsbeispiele der Erfindung wurde für Zwecke der Veranschaulichung und Beschreibung unterbreitet. Die Beschreibung ist nicht als erschöpfend zu bewerten, noch soll sie die Erfindung buchstabengetreu auf die offenbarte Ausführungsform beschränken. Angesichts dieser Beschreibung sind viele Modifikationen und Änderungen möglich. Der Schutzzumfang der Erfindung soll nicht durch diese detaillierte Beschreibung beschränkt sein, sondern vielmehr durch die beigefügten Ansprüche.

[0143] Unmittelbare Wellenleistungsmessungen rotierender Maschinen, mit einem für die Welle eingerichteten magnetischen Codiersystem, zu dem wenigstens ein elektrisch leitfähiges Element **215, 217, 294, 295, 720, 725**, das ein erstes Ende und ein zweites Ende aufweist, das mit einem Spalt zwischen dem Element und der Welle in der Nähe der Welle angeordnet ist. In der Nähe jedes Endes des elektrisch leitfähigen Elements ist ein Paar Elektroden **242, 247, 725, 745** angeordnet, wobei die Elektroden mit der Welle elektrisch verbunden sind. Eine der Elektroden ist mit dem zweiten Ende des Leiterelements elektrisch verbunden. Eine Codierungsquelle **250** ist mit dem ersten Ende des elektrisch leitfähigen Elements elektrisch verbunden, und ist mit der anderen Elektrode elektrisch verbunden, wobei von der Codierungsquelle ausgehende unipolare Strompulse **245** auf die Elektroden und das elektrisch leitfähige Element angewendet werden, um dadurch sektionale codierte polarisierte magnetische Bereiche **330, 332, 334, 336 510, 520, 530, 540, 614, 616, 624, 626, 634, 636, 642, 646** in der Welle zu erzeugen.

ZITATE ENTHALTEN IN DER BESCHREIBUNG

Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde automatisiert erzeugt und ist ausschließlich zur besseren Information des Lesers aufgenommen. Die Liste ist nicht Bestandteil der deutschen Patent- bzw. Gebrauchsmusteranmeldung. Das DPMA übernimmt keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.

Zitierte Nicht-Patentliteratur

- "A Study of the Inverse Wiedemann Effect an Circular Remanence" von I. J. Garshelis und J. Iwan, "IEEE Transactions an Magnetics", Bd. 10, Nr. 2, Juni 1974 [[0025](#)]

Patentansprüche

1. Magnetisches Codiersystem einer Welle, gekennzeichnet durch:
wenigstens ein elektrisch leitfähiges Element, das ein erstes Ende und ein zweites Ende aufweist, das in der Nähe der Welle mit einem Spalt zwischen dem Element und der Welle angeordnet ist;
ein Paar Elektroden, die in der Nähe jedes Endes des elektrisch leitfähigen Elements angeordnet sind, und die mit der Welle elektrisch verbunden sind, wobei eine der Elektroden mit dem zweiten Ende des Leiterelements elektrisch verbunden ist; und
eine Codierungsquelle, die mit dem ersten Ende des elektrisch leitfähigen Elements elektrisch verbunden ist, und die mit der anderen der Elektroden elektrisch verbunden ist;
wobei von der Codierungsquelle ausgehende unipolare Strompulse auf die Elektroden und auf das elektrisch leitfähige Element angewendet werden, um sektionale codierte Bereiche in der Welle zu erzeugen.
2. Verfahren zur Codierung einer Welle, gekennzeichnet durch die Schritte:
Anordnen wenigstens eines elektrisch leitfähigen Elements in enger räumlicher Nachbarschaft um einen Abschnitt der Welle, wobei das elektrisch leitfähige Element ein erstes Ende und ein zweites Ende aufweist;
Anordnen von Elektroden auf der Welle in der Nähe des ersten Endes und des zweiten Endes, wobei die dem zweiten Ende zugeordnete Elektrode mit dem zweiten Ende des elektrisch leitfähigen Elements verbunden ist;
elektrisches Verbinden der dem ersten Ende zugeordneten Elektrode mit einer Stromquelle und verbinden der Stromquelle mit dem ersten Ende des elektrisch leitfähigen Elements; und
Anwenden unipolarer Strompulse auf die elektrisch leitfähigen Elemente, um sektionale codierte Bereiche zu induzieren.
3. System oder Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, des Weiteren dadurch gekennzeichnet, dass eine nicht leitende Codierungsanordnung um wenigstens einen Abschnitt der Welle angeordnet ist, wobei das elektrisch leitfähige Element in der Codierungsanordnung angeordnet ist.
4. System oder Verfahren nach Anspruch 1, 2 oder 3, wobei das elektrisch leitfähige Element längs eines Abschnitts der Welle in axialer Richtung, in Umfangsrichtung oder diagonal ausgerichtet ist.
5. System oder Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, wobei wenigstens zwei der elektrisch leitfähigen Elemente um die Welle einander benachbart angeordnet sind, um sektionale codierte Bereiche entgegengesetzter Polaritäten zu erzeugen.
6. System nach Anspruch 7, des Weiteren dadurch gekennzeichnet, dass magnetische Domänengrenzen zwischen den benachbarten sektionalen codierten Bereichen ausgebildet sind.
7. System nach Anspruch 1, wobei die Welle auf einem ferromagnetischen Werkstoff basiert oder eine um eine Oberfläche der Welle aufgebrauchte Schicht aus einem ferromagnetischen Werkstoff aufweist.
8. System zum Erfassen von Eigenschaften einer rotierenden Welle, gekennzeichnet durch:
mehrere um die Welle angeordnete, zuvor codierte polarisierte magnetische Bereiche, wobei benachbarte magnetische Bereiche entgegengesetzte Polaritäten aufweisen, und wobei zwischen den benachbarten magnetischen Bereichen Domänengrenzen vorhanden sind;
wenigstens ein Sensor, der in der Nähe der codierten polarisierten magnetischen Bereiche mit einem Spalt dazwischen angeordnet ist; und
ein Verarbeitungsabschnitt, der mit dem Sensor verbunden ist, um eine Feldkomponente zu verarbeiten, um dadurch basierend auf einem magnetostriktiven Effekt Eigenschaften der rotierenden Welle zu messen.
9. System nach Anspruch 8, wobei die zuvor codierten polarisierten magnetischen Bereiche die Erzeugung magnetischer Wechselfelder während der Rotation der Welle ermöglichen, wobei die Wechselfelder wenigstens eine Wellenleistung, ein Drehmoment, eine Drehzahl und/oder Biegemomente erfassen.
10. System nach Anspruch 8, wobei der Sensor wenigstens auf einer Luftinduktionsspule und/oder einem Magnetfeldsensor (MFS) basiert.

Es folgen 13 Blatt Zeichnungen

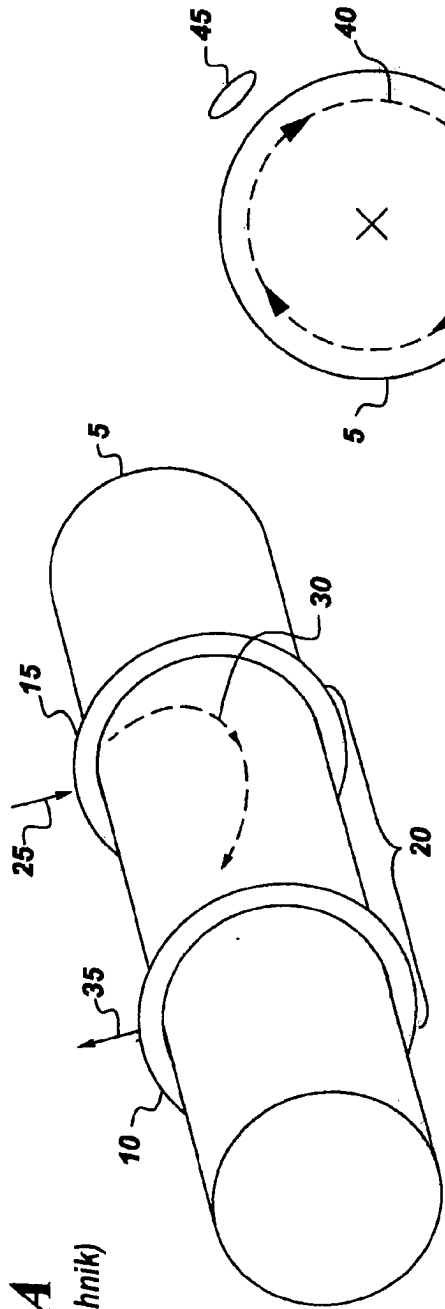


Fig. 1A
(Stand der Technik)

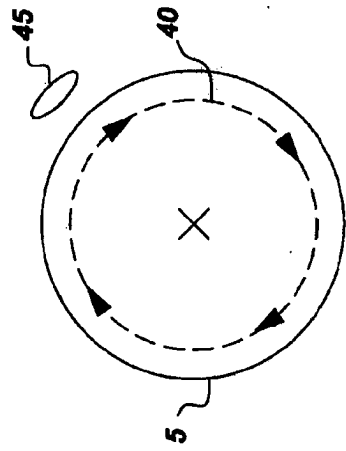


Fig. 1B
(Stand der Technik)

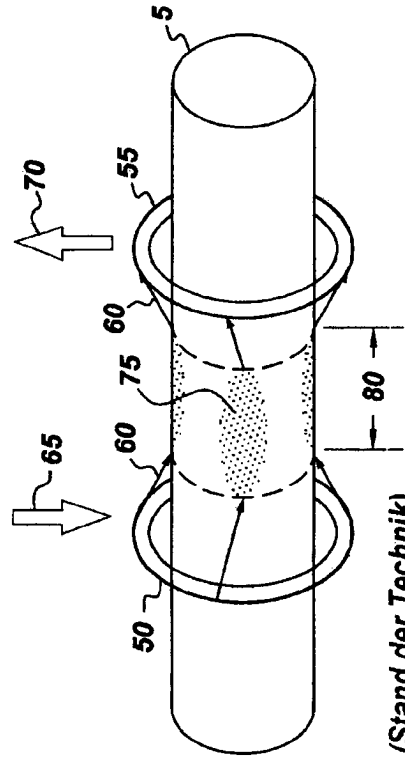


Fig. 1C (Stand der Technik)

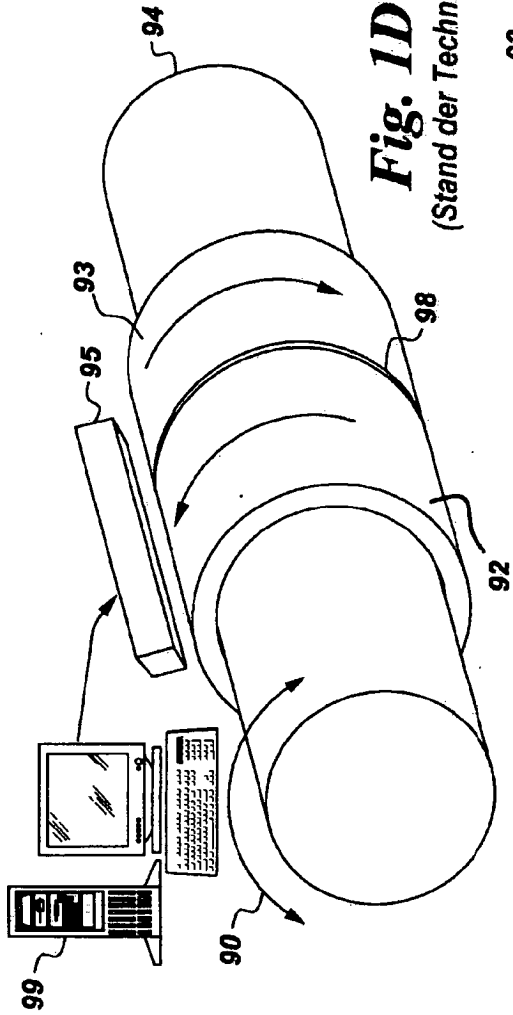


Fig. 1D
(Stand der Technik)

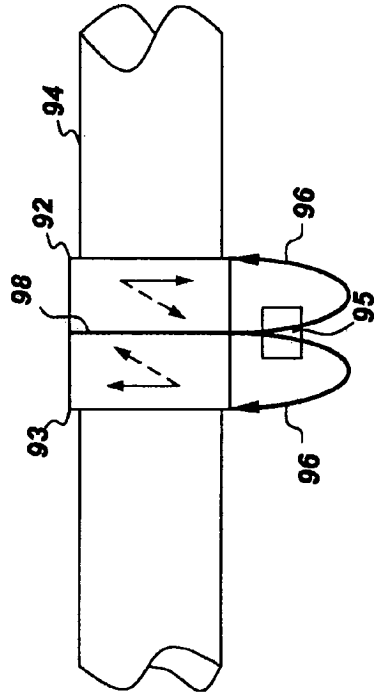


Fig. 1E
(Stand der Technik)

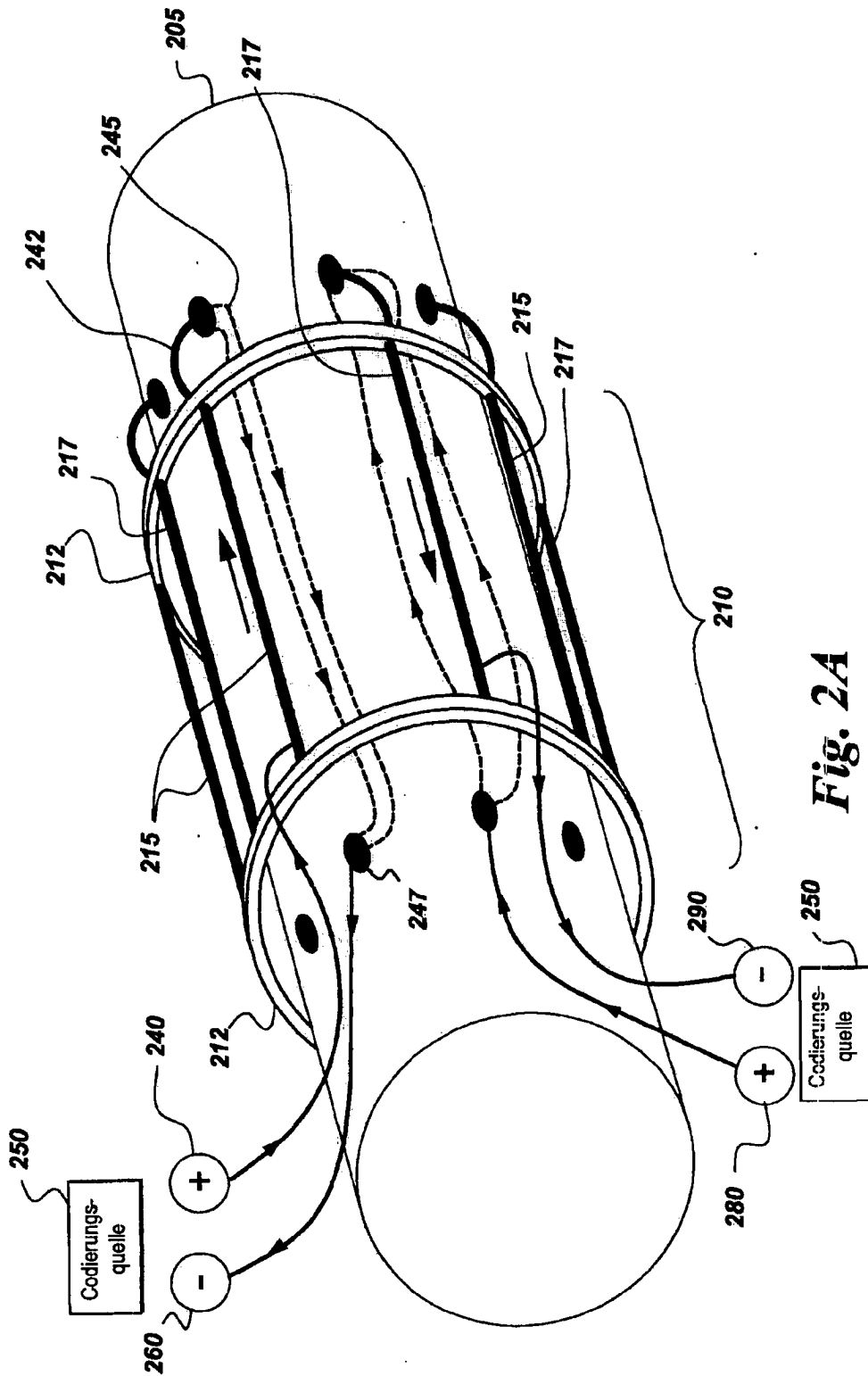


Fig. 2A

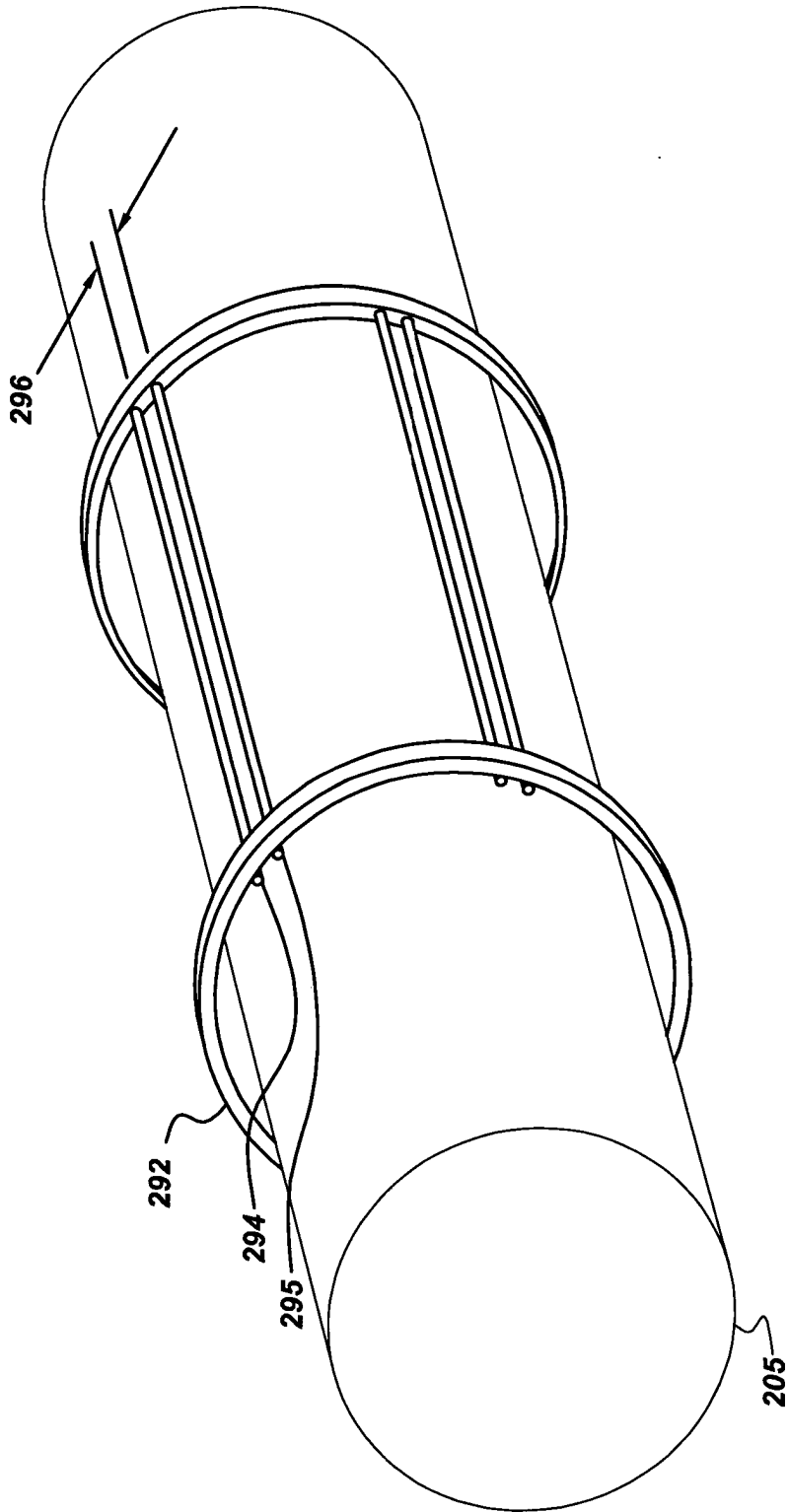


Fig. 2B

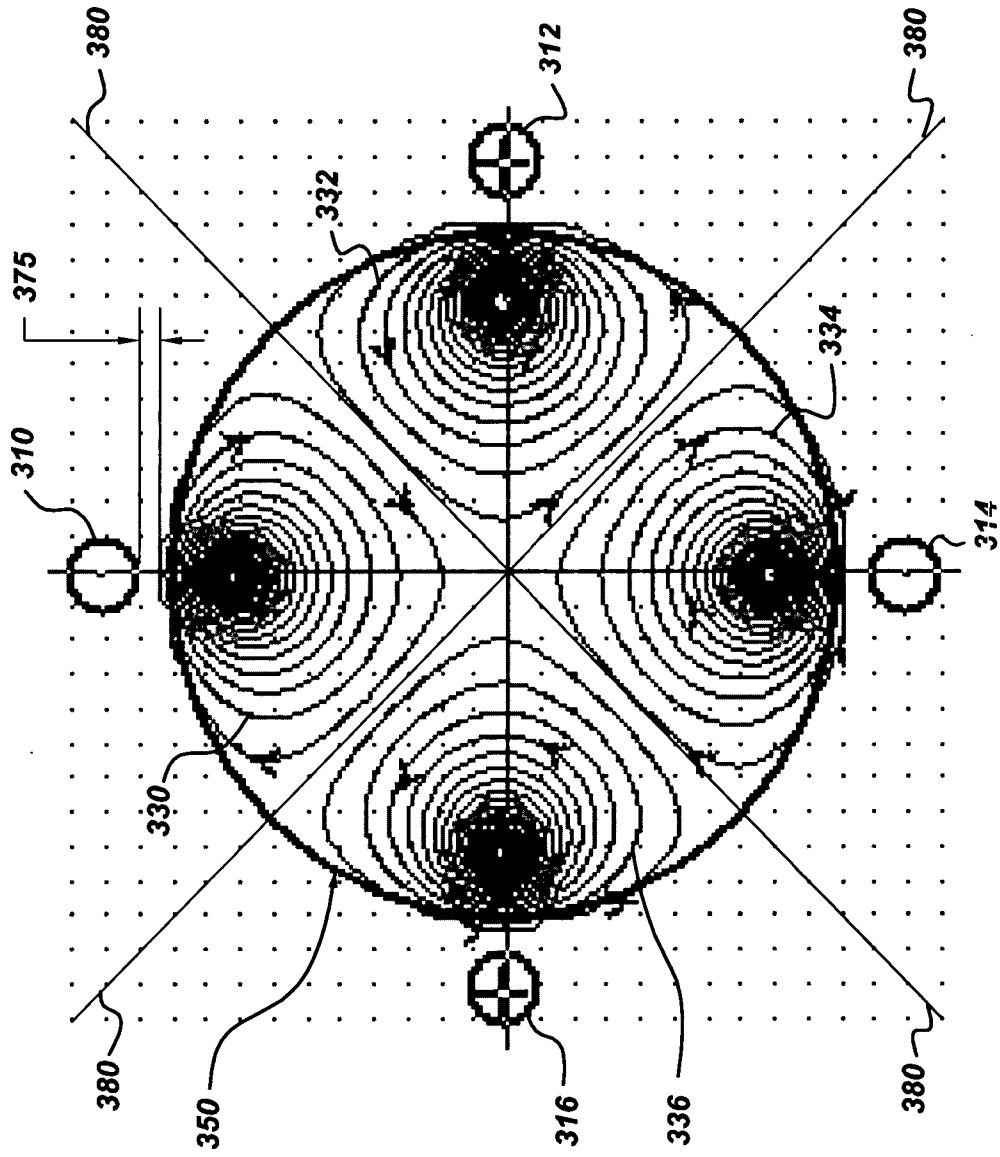


Fig. 3

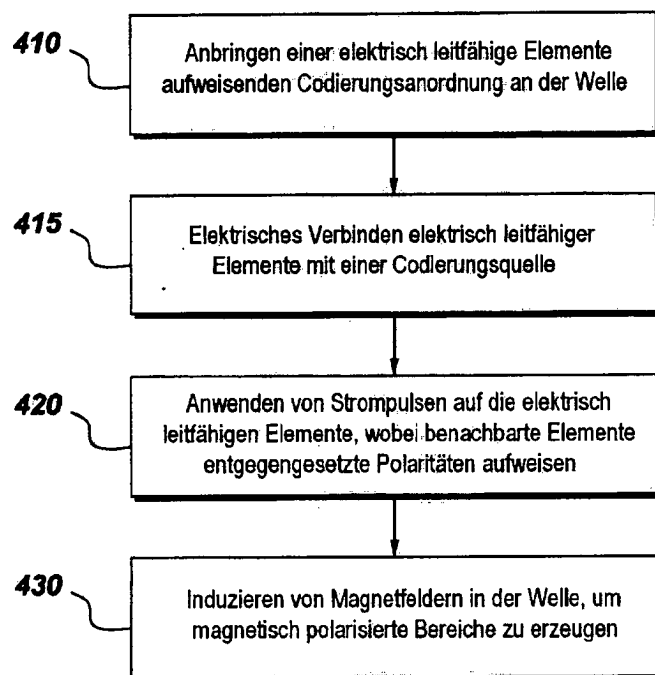


Fig. 4

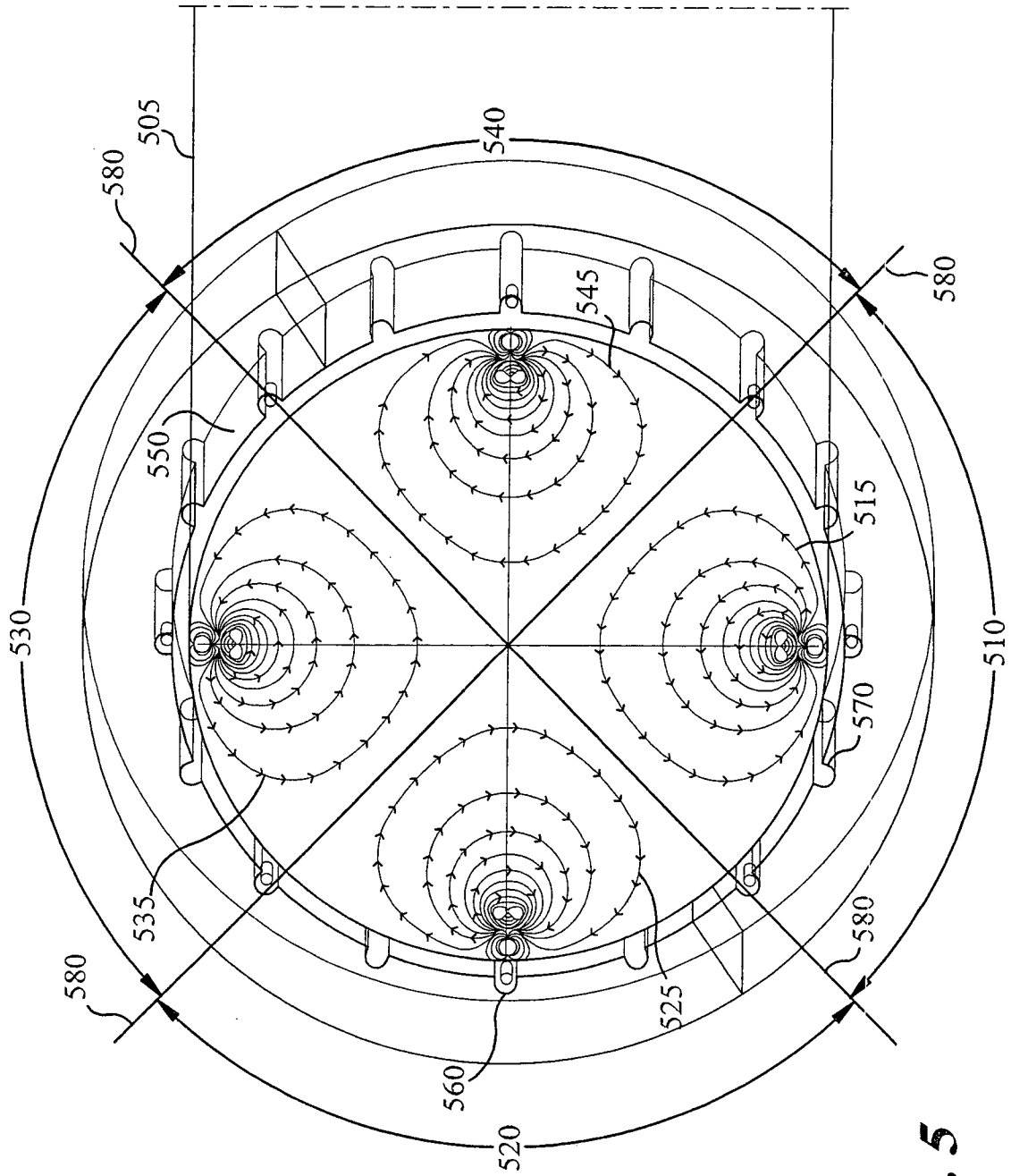


Fig. 5

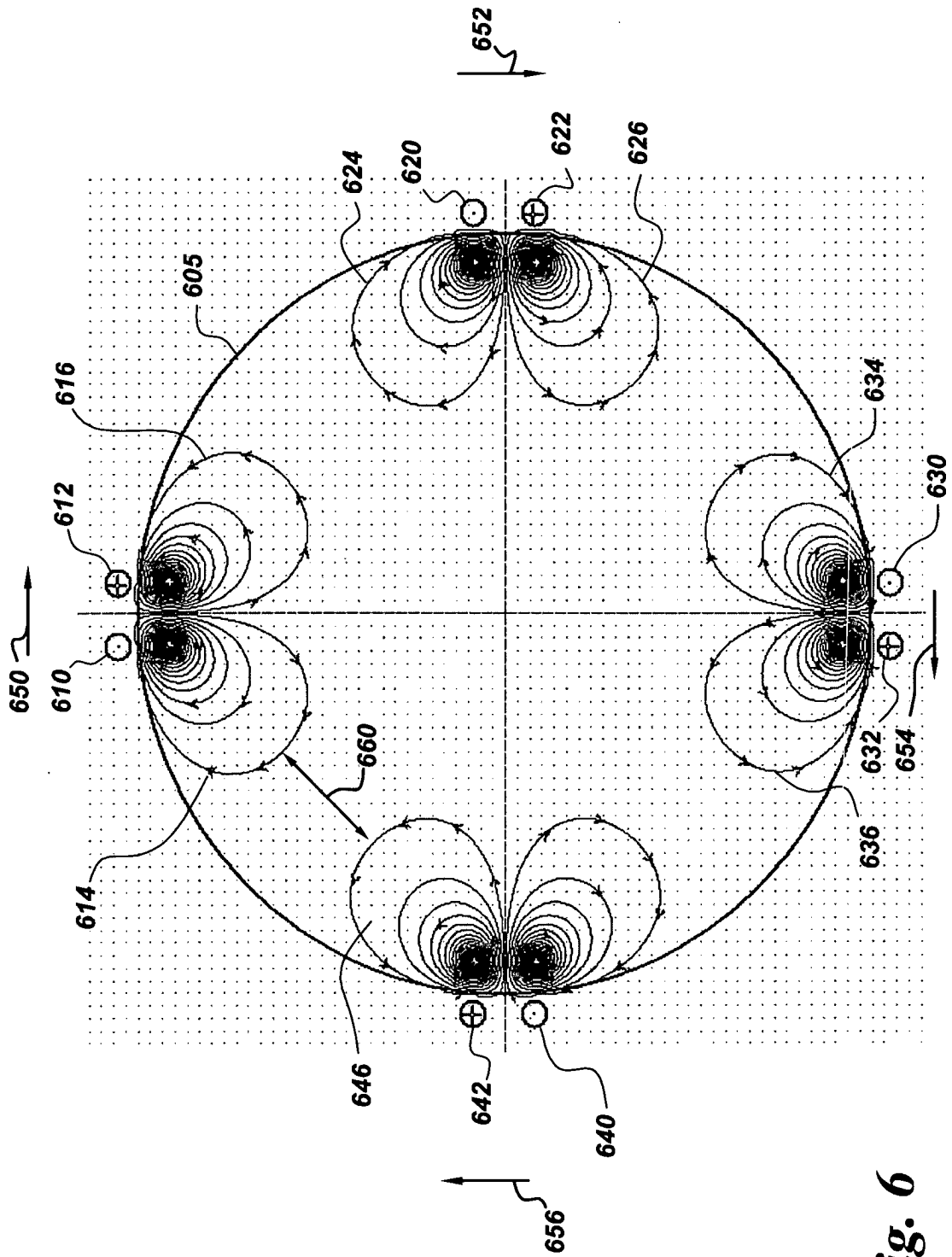


Fig. 6

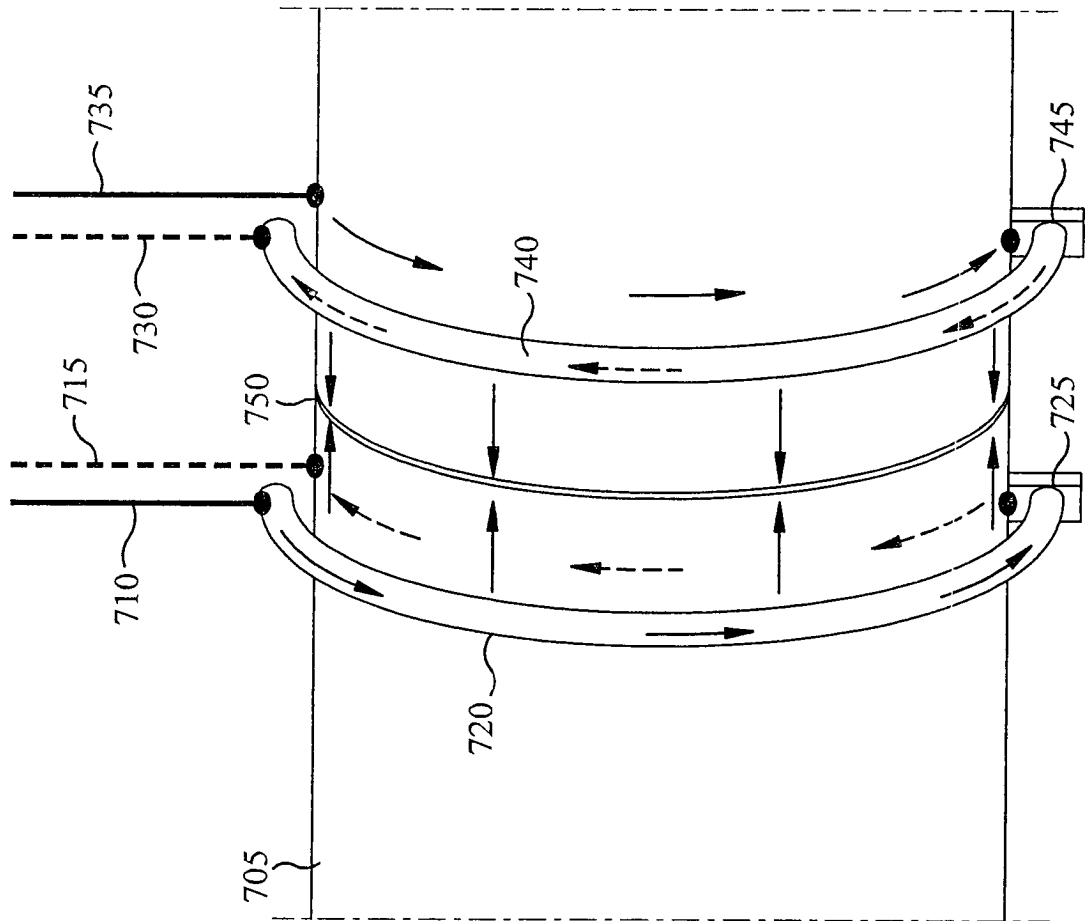


Fig. 7

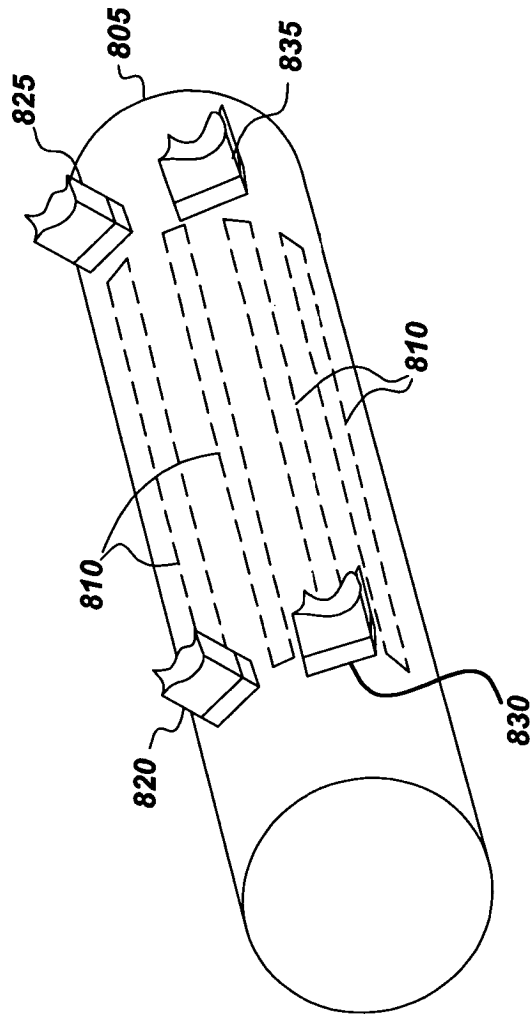


Fig. 8

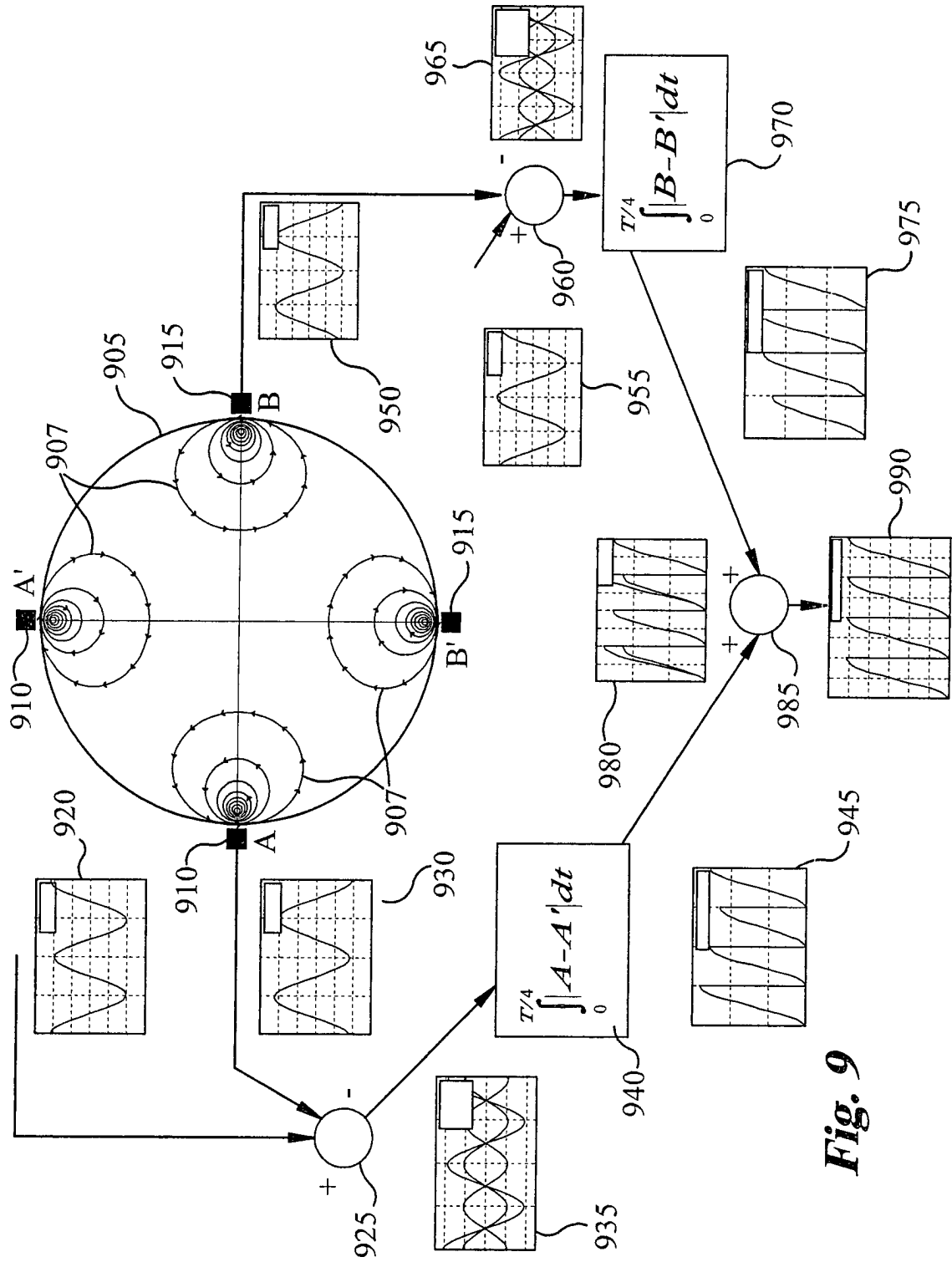


Fig. 9

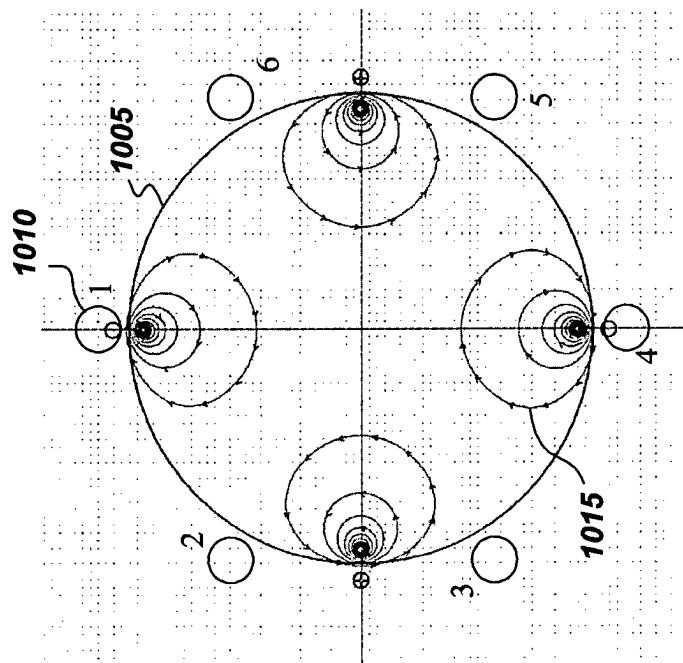


Fig. 10A

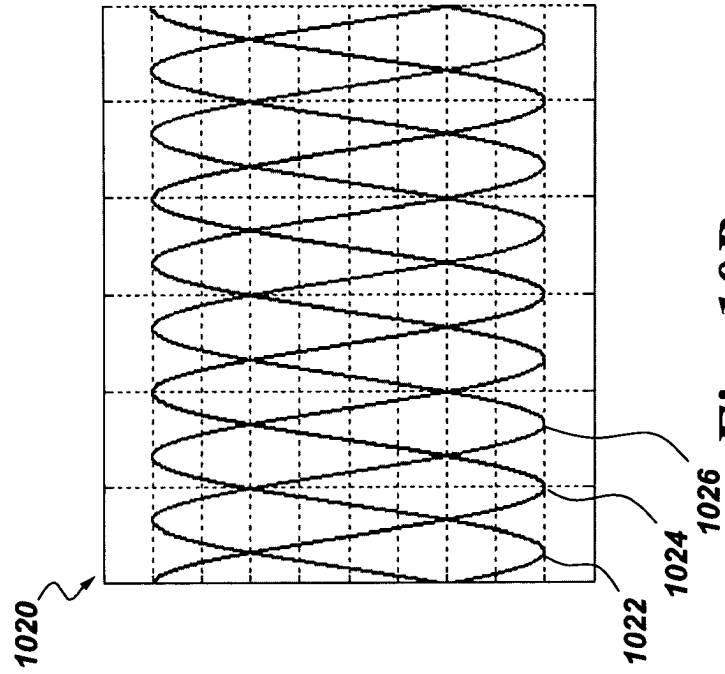


Fig. 10B

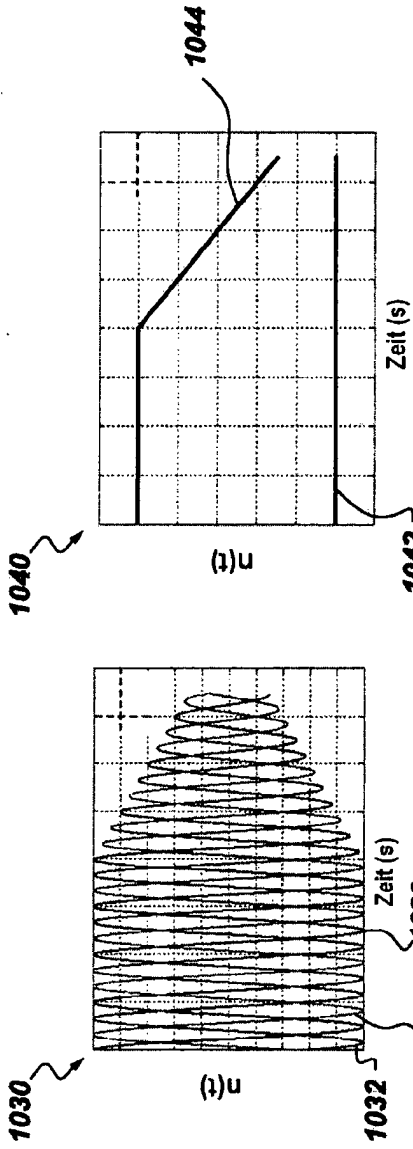


Fig. 10D

Fig. 10C

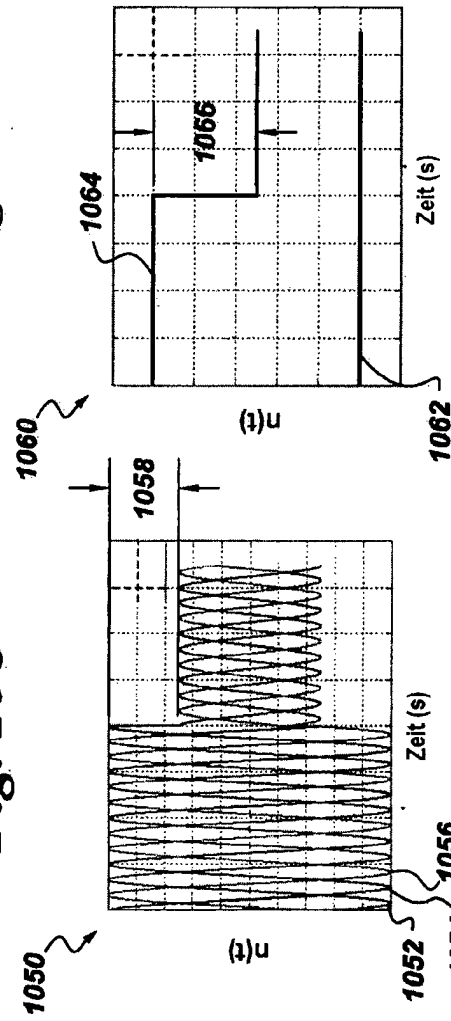


Fig. 10E

Fig. 10F