



(10) **DE 10 2014 103 588 A1** 2014.10.02

(12) **Offenlegungsschrift**

(21) Aktenzeichen: **10 2014 103 588.7**

(22) Anmeldetag: **17.03.2014**

(43) Offenlegungstag: **02.10.2014**

(51) Int Cl.: **G01B 7/00** (2006.01)

**G01B 7/30** (2006.01)

**G01D 5/20** (2006.01)

**G01P 3/488** (2006.01)

(30) Unionspriorität:  
**2013-073686**      **29.03.2013**    **JP**

(71) Anmelder:  
**TDK Corporation, Tokyo, JP**

(74) Vertreter:  
**Epping Hermann Fischer,**  
**Patentanwalts-gesellschaft mbH, 80639 München,**  
**DE**

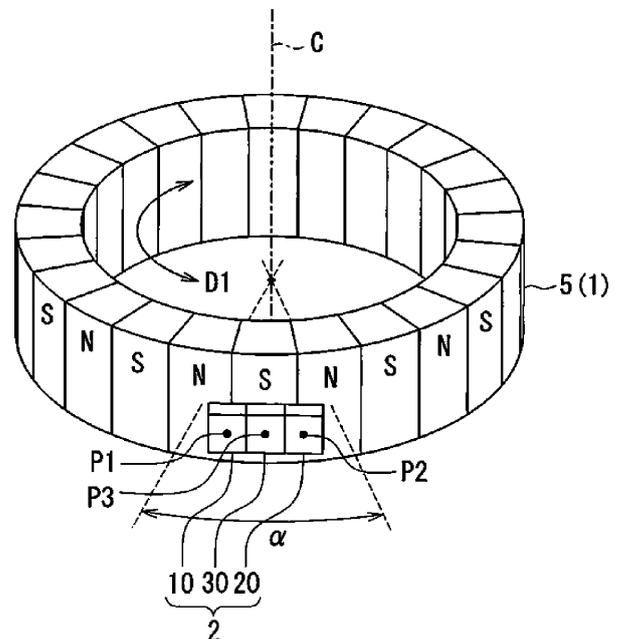
(72) Erfinder:  
**Ueda, Kunihiro, Tokyo, JP; Hirabayashi, Hiraku,**  
**Tokyo, JP; Abe, Satoshi, Tokyo, JP; Tokida,**  
**Homare, Tokyo, JP**

Prüfungsantrag gemäß § 44 PatG ist gestellt.

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

(54) Bezeichnung: **MAGNETSENSORSYSTEM**

(57) Zusammenfassung: Ein Magnetsensorsystem enthält eine Skala und einen Magnetsensor, die in einem relativen Positionsverhältnis angeordnet sind, das in einer ersten Richtung variabel ist, und eine Rechneinheit. Der Magnetsensor enthält eine erste Erfassungsschaltung, eine zweite Erfassungsschaltung und eine dritte Erfassungsschaltung, die an einer ersten Position, einer zweiten Position bzw. einer dritten Position angeordnet sind. Jede von den ersten bis dritten Erfassungsschaltungen enthält ein MR-Spinventilelement. Eine Differenz zwischen zwei der ersten bis dritten Positionen, die in einer ersten Richtung am weitesten voneinander entfernt sind, fällt in ein Teilungsausmaß einer Veränderung im relativen Positionsverhältnis zwischen der Skala und dem Magnetsensor. Die Rechneinheit erzeugt ein erstes und zweites Post-Berechnungssignal mit wechselseitig unterschiedlichen Phasen durch Berechnung unter Verwendung von Erfassungssignalen aus der ersten bis dritten Erfassungsschaltung.



**Beschreibung**

## HINTERGRUND DER ERFINDUNG

## 1. Gebiet der Erfindung

**[0001]** Die vorliegende Erfindung betrifft ein Magnetsensorsystem zum Erfassen einer physikalischen Größe in Zusammenhang mit dem relativen Positionsverhältnis zwischen einer Skala und einem Magnetsensor.

## 2. Beschreibung des Standes der Technik

**[0002]** In den letzten Jahren wurden Sensorsysteme wie Drehgeber und Lineargeber zum Erfassen einer physikalischen Größe in Zusammenhang mit der Drehbewegung oder linearen Bewegung eines sich bewegenden Objekts in einer Reihe von Anwendungen verwendet. Solche Sensorsysteme enthalten für gewöhnlich eine Skala und einen Sensor und der Sensor ist so gestaltet, dass er ein Signal erzeugt, das mit dem relativen Positionsverhältnis zwischen der Skala und dem Sensor in Zusammenhang steht. Von solchen Sensorsystemen wird eines, das einen Magnetsensor als Sensor verwendet, hierin als "Magnetsensorsystem" bezeichnet. Magnetsensorsysteme sind zum Beispiel in JP-H04-5571 A, DE 10311086 A1, und US Patent Nr. 7,078,892 B2 offenbart.

**[0003]** Die Skala des Magnetsensorsystems zur Verwendung mit einem sich drehenden Objekt ist im Allgemeinen ein Drehkörper, der sich als Reaktion auf die Bewegung des sich bewegenden Objekts bewegt. Der Drehkörper kann zum Beispiel ein mehrpolig magnetisierter Magnet mit mehreren Paaren von N- und S-Polen sein, die abwechselnd in einer Umfangsrichtung angeordnet sind, oder ein Zahnrad mit Zähnen, die aus einem magnetischen Material gebildet sind. In diesem Fall erfasst das Magnetsensorsystem zum Beispiel die Drehposition und/oder die Drehzahl des Drehkörpers als die physikalische Größe.

**[0004]** Die Skala des Magnetsensorsystems zur Verwendung mit einem sich linear bewegenden Objekt ist zum Beispiel eine lineare Skala mit mehreren Paaren von N- und S-Polen, die abwechselnd in einem linearen Aufbau angeordnet sind. In diesem Fall bewegt sich entweder die lineare Skala oder der Magnetsensor als Reaktion auf die Bewegung des sich bewegenden Objekts und das Magnetsensorsystem erfasst die relative Position und/oder Geschwindigkeit der linearen Skala in Bezug auf den Magnetsensor als die physikalische Größe.

**[0005]** In dem Magnetsensorsystem verursachen kontinuierliche Veränderungen im relativen Positionsverhältnis zwischen der Skala und dem Magnet-

sensor an einem gewissen Punkt im Magnetsensor periodische Veränderungen in der Richtung eines Magnetfeldes. Hierin wird das Ausmaß einer Veränderung im relativen Positionsverhältnis zwischen der Skala und dem Magnetsensor, die die Richtung des Magnetfeldes an einem gewissen Punkt um eine Periode ändert, als eine Teilung bezeichnet.

**[0006]** Einige bekannte Drehgeber und Lineargeber sind so gestaltet, dass der Sensor eine erste und zweite Erfassungseinheit enthält, die an wechselseitig verschiedenen Positionen angeordnet sind und ein erstes Signal und ein zweites Signal erzeugen, die wechselseitig verschiedene Phasen haben. Diese Konfiguration ermöglicht die Erfassung der Richtung einer relativen Bewegung der Skala in Bezug auf den Sensor durch Feststellung, ob die Phase des zweiten Signals in Bezug auf die Phase des ersten Signals vorgerückt oder verzögert ist.

**[0007]** Es folgt nun eine Beschreibung bezüglich des Problems, das entsteht, wenn das Magnetsensorsystem so gestaltet ist, dass der Magnetsensor die oben erwähnte erste und zweite Erfassungseinheit enthält. In diesem Fall enthält sowohl die erste wie auch die zweite Erfassungseinheit ein magnetosensitives Element. Wie in DE 10311086 A1 und US Patent Nr. 7,078,892 B2 offenbart, verwenden viele herkömmliche Magnetsensorsysteme ein anisotropes magnetoresistives Element als magnetosensitives Element. Das anisotrope magnetoresistive Element erfordert eine relativ große Grundfläche. Um das anisotrope magnetoresistive Element als magnetosensitives Element zu verwenden, muss daher der Abstand zwischen der ersten Erfassungseinheit und der zweiten Erfassungseinheit ausreichend groß sein. Dies führt zu dem Problem, dass die erste Erfassungseinheit und die zweite Erfassungseinheit aufgrund der folgenden verschiedenen Faktoren zu wechselseitig unterschiedlichen Erfassungseigenschaften neigen. Ein Faktor ist, dass die erste Erfassungseinheit und die zweite Erfassungseinheit wechselseitig unterschiedlichen Rauschmagnetfeldern ausgesetzt sein können. Ein anderer Faktor ist, dass sich der physische Abstand zwischen der ersten Erfassungseinheit und der Skala vom physischen Abstand zwischen der zweiten Erfassungseinheit und der Skala unterscheiden kann. Ein weiterer Faktor ist, dass sich der effektive Abstand zwischen der ersten Erfassungseinheit und der Skala vom effektiven Abstand zwischen der zweiten Erfassungseinheit und der Skala zum Beispiel aufgrund des Anhaftens von magnetischem Metallpulver an der Skala unterscheiden kann.

**[0008]** Ferner würde im Fall des anisotropen magnetoresistiven Elements eine Verringerung der Größe einer Teilung es schwierig machen, eine Änderung im Magnetfeld zu erfassen, die durch eine Veränderung im relativen Positionsverhältnis zwischen der Skala und dem Magnetsensor verursacht wird.

**[0009]** JP-H04-5571 A offenbart einen Rotationsdetektor, der einen drehenden Magneten mit nur einem Paar von N- und S-Polen; erste bis dritte magnetoresistive Elemente, die in Abständen von  $120^\circ$  auf demselben Umfang um die Drehachse des Magneten angeordnet sind; einen ersten Differentialbetriebsverstärker zum Berechnen der Differenz zwischen dem Ausgang des ersten magnetoresistiven Elements und dem Ausgang des dritten magnetoresistiven Elements; und einen zweiten Differentialbetriebsverstärker zum Berechnen der Differenz zwischen dem Ausgang des zweiten magnetoresistiven Elements und dem Ausgang des dritten magnetoresistiven Elements enthält.

**[0010]** Das oben beschriebene Problem gilt für diesen Rotationsdetektor, da sich die Positionen der ersten bis dritten magnetoresistiven Elemente wesentlich voneinander unterscheiden. Da ferner die ersten bis dritten magnetoresistiven Elemente groß sind, ist es schwierig, die in JP-H04-5571 A offenbarte Technik bei einem Magnetsensorsystem anzuwenden, das als Skala einen mehrpolig magnetisierter Magneten mit mehreren Paaren von N- und S-Polen verwendet, die abwechselnd in einer Umfangsrichtung angeordnet sind.

**[0011]** Wie aus dem Vorherigen hervorgeht, wurde bisher kein Magnetsensorsystem bereitgestellt, das eine Veränderung im relativen Positionsverhältnis zwischen der Skala und dem Magnetsensor um zwei Teilungen oder mehr ermöglicht, und das imstande ist, mit hoher Genauigkeit eine physikalische Größe zu erfassen, die mit dem relativen Positionsverhältnis zwischen der Skala und dem Magnetsensor in Zusammenhang steht, einschließlich der Richtung der relativen Bewegung der Skala in Bezug auf den Magnetsensor.

#### AUFGABE UND KURZDARSTELLUNG DER ERFINDUNG

**[0012]** Es ist eine Aufgabe der vorliegenden Erfindung, ein Magnetsensorsystem bereitzustellen, das eine Veränderung im relativen Positionsverhältnis zwischen der Skala und dem Magnetsensor um zwei Teilungen oder mehr ermöglicht und das imstande ist, mit hoher Genauigkeit eine physikalische Größe zu erfassen, die mit dem relativen Positionsverhältnis zwischen der Skala und dem Magnetsensor in Zusammenhang steht, einschließlich der Richtung der relativen Bewegung der Skala in Bezug auf den Magnetsensor.

**[0013]** Ein Magnetsensorsystem der vorliegenden Erfindung enthält eine Skala und einen Magnetsensor, die in einem relativen Positionsverhältnis angeordnet sind, das in einer ersten Richtung variabel ist, und ist zum Erfassen einer physikalischen Größe in Zusammenhang mit dem relativen Positions-

verhältnis zwischen der Skala und dem Magnetsensor gestaltet. In dem Magnetsensorsystem der vorliegenden Erfindung enthält der Magnetsensor eine erste Erfassungsschaltung, die an einer ersten Position angeordnet ist, eine zweite Erfassungsschaltung, die an einer zweiten Position angeordnet ist und eine dritte Erfassungsschaltung, die an einer dritten Position angeordnet ist. Die erste Erfassungsschaltung gibt ein erstes Erfassungssignal aus, das abhängig von einem ersten Magnetfeld variiert, das an die erste Erfassungsschaltung angelegt wird. Die zweite Erfassungsschaltung gibt ein zweites Erfassungssignal aus, das abhängig von einem zweiten Magnetfeld variiert, das an die zweite Erfassungsschaltung angelegt wird. Die dritte Erfassungsschaltung gibt ein drittes Erfassungssignal aus, das abhängig von einem dritten Magnetfeld variiert, das an die dritte Erfassungsschaltung angelegt wird. Jede von den ersten bis dritten Erfassungsschaltungen enthält ein magnetoresistives Element. Das magnetoresistive Element enthält: eine in der Magnetisierung fixierte Schicht mit einer Magnetisierung in einer fixierten Richtung; eine freie Schicht mit einer Magnetisierung, die abhängig von einem angelegten Magnetfeld variiert; und eine nicht-magnetische Schicht, die zwischen der in der Magnetisierung fixierten Schicht und der freien Schicht liegt.

**[0014]** Jedes von dem ersten bis dritten Magnetfeld ändert seine Richtung periodisch als Reaktion auf eine Veränderung im relativen Positionsverhältnis zwischen der Skala und dem Magnetsensor. Das relative Positionsverhältnis zwischen der Skala und dem Magnetsensor ist um zwei Teilungen oder mehr veränderbar, wobei eine Teilung ein Ausmaß einer Veränderung im relativen Positionsverhältnis zwischen der Skala und dem Magnetsensor ist, die die Richtung von jedem des ersten bis dritten Magnetfelds um eine Periode verändert. Zwei der ersten bis dritten Positionen, die in der ersten Richtung am weitesten voneinander entfernt sind, unterscheiden sich um eine Teilung oder weniger in der ersten Richtung. Die ersten bis dritten Erfassungssignale ändern sich periodisch als Reaktion auf eine Veränderung im relativen Positionsverhältnis zwischen der Skala und dem Magnetsensor und haben wechselseitig unterschiedliche Phasen. Das Magnetsensorsystem enthält ferner eine Rechneinheit, die ein erstes Post-Berechnungssignal durch Berechnung mit mindestens dem ersten Erfassungssignal und dem dritten Erfassungssignal erzeugt und ein zweites Post-Berechnungssignal durch Berechnung mit mindestens dem zweiten Erfassungssignal und dem dritten Erfassungssignal erzeugt. Das erste Post-Berechnungssignal und das zweite Post-Berechnungssignal ändern sich periodisch als Reaktion auf eine Veränderung im relativen Positionsverhältnis zwischen der Skala und dem Magnetsensor und haben wechselseitig unterschiedliche Phasen.

**[0015]** Im Magnetsensorsystem der vorliegenden Erfindung können sich zwei der ersten bis dritten Positionen, die in der ersten Richtung am weitesten voneinander entfernt sind, um 1/2 Teilung oder weniger in der ersten Richtung voneinander unterscheiden.

**[0016]** Im Magnetsensorsystem der vorliegenden Erfindung kann das erste Post-Berechnungssignal durch eine Berechnung erzeugt werden, die die Ermittlung der Differenz zwischen dem ersten Erfassungssignal und dem dritten Erfassungssignal enthält, und das zweite Post-Berechnungssignal kann durch eine Berechnung erzeugt werden, die die Ermittlung der Differenz zwischen dem zweiten Erfassungssignal und dem dritten Erfassungssignal enthält.

**[0017]** Im Magnetsensorsystem der vorliegenden Erfindung kann die Skala ein Drehkörper sein, der sich um eine vorgegebene Mittelachse dreht. In diesem Fall ändert die Drehung des Drehkörpers das relative Positionsverhältnis zwischen der Skala und dem Magnetsensor. Die erste Richtung ist die Drehrichtung des Drehkörpers. Die eine Teilung ist als Winkel in der Drehrichtung des Drehkörpers dargestellt.

**[0018]** Der Drehkörper kann mehrere Paare von N- und S-Polen aufweisen, die abwechselnd in Umfangsrichtung angeordnet sind. In diesem Fall wird jedes von dem ersten bis dritten Magnetfeld von dem Drehkörper erzeugt und ändert seine Richtung, während sich der Drehkörper dreht. Die eine Teilung ist der Winkel, der durch zwei gerade Linien gebildet wird, die die Mittelachse mit Mittelpunkten von zwei benachbarten N-Polen des Drehkörpers verbinden.

**[0019]** Der Drehkörper kann ein Zahnrad mit Zähnen sein, die aus einem magnetischen Material gebildet sind. Das Magnetsensorsystem kann ferner einen Magneten mit einem fixierten Positionsverhältnis mit dem Magnetsensor enthalten. In diesem Fall wird jedes von dem ersten bis dritten Magnetfeld durch den Magneten erzeugt und ändert seine Richtung, während sich das Zahnrad dreht. Die eine Teilung ist der Winkel, der durch zwei gerade Linien gebildet wird, die die Mittelachse mit Mittelpunkten von zwei benachbarten Zähnen verbinden.

**[0020]** Im Magnetsensorsystem der vorliegenden Erfindung kann die Skala mehrere Paare von N- und S-Polen aufweisen, die abwechselnd in einem linearen Aufbau angeordnet sind. In diesem Fall ist die erste Richtung die Richtung, in der die N- und S-Pole der Skala angeordnet sind. Jedes von dem ersten bis dritten Magnetfeld wird durch die Skala erzeugt. Die eine Teilung ist der Abstand zwischen Mittelpunkten von zwei benachbarten N-Polen der Skala.

**[0021]** Im Magnetsensorsystem der vorliegenden Erfindung kann die nicht-magnetische Schicht des magnetoresistiven Elements eine Tunnelbarriere sein.

**[0022]** Im Magnetsensorsystem der vorliegenden Erfindung enthält jeder der ersten bis dritten Erfassungsschaltungen ein sogenanntes magnetoresistives Spinventilelement, das heißt, ein magnetoresistives Element, das eine in der Magnetisierung fixierte Schicht, eine freie Schicht und eine nicht-magnetische Schicht enthält. Das magnetoresistive Spinventilelement ermöglicht eine signifikante Verringerung der Grundfläche im Vergleich zum anisotropen magnetoresistiven Element. Die vorliegende Erfindung ermöglicht somit, dass im Magnetsensorsystem, in dem das relative Positionsverhältnis zwischen der Skala und dem Magnetsensor um zwei Teilungen oder mehr veränderbar ist, die ersten bis dritten Erfassungsschaltungen so angeordnet sind, dass zwei der ersten bis dritten Positionen, die in der ersten Richtung am weitesten voneinander entfernt sind, sich voneinander in der ersten Richtung um eine Teilung oder weniger unterscheiden. Ferner ermöglichen das erste und zweite Post-Berechnungssignal der vorliegenden Erfindung eine exakte Erfassung einer physikalischen Größe, die mit dem relativen Positionsverhältnis zwischen der Skala und dem Magnetsensor in Zusammenhang steht, einschließlich der Richtung einer relativen Bewegung der Skala in Bezug auf den Magnetsensor. Folglich ermöglicht die vorliegende Erfindung für das Magnetsensorsystem, in dem das relative Positionsverhältnis zwischen der Skala und dem Magnetsensor um zwei Teilungen oder mehr veränderbar ist, ein exaktes Erfassen einer physikalischen Größe, die mit dem relativen Positionsverhältnis zwischen der Skala und dem Magnetsensor in Zusammenhang steht, einschließlich der Richtung einer relativen Bewegung der Skala in Bezug auf den Magnetsensor.

**[0023]** Andere und weitere Aufgaben, Merkmale und Vorteile der vorliegenden Erfindung werden aus der folgenden Beschreibung vollständiger erscheinen.

#### KURZE BESCHREIBUNG DER ZEICHNUNGEN

**[0024]** Fig. 1 ist eine perspektivische Ansicht, die die allgemeine Konfiguration eines Magnetsensorsystems gemäß einer ersten Ausführungsform der Erfindung zeigt.

**[0025]** Fig. 2 ist eine Draufsicht, die die allgemeine Konfiguration des Magnetsensorsystems gemäß der ersten Ausführungsform der Erfindung zeigt.

**[0026]** Fig. 3 ist eine Seitenansicht, die eine Skala und erste bis dritte Erfassungsschaltungen der ersten Ausführungsform der Erfindung zeigt.

**[0027]** Fig. 4 ist ein Blockdiagramm, das die Schaltungskonfiguration des Magnetsensorsystems gemäß der ersten Ausführungsform der Erfindung zeigt.

**[0028]** Fig. 5 ist ein Schaltungsdiagramm, das die Konfiguration der ersten bis dritten Erfassungsschaltungen der ersten Ausführungsform der Erfindung zeigt.

**[0029]** Fig. 6 ist eine Draufsicht, die die erste Erfassungsschaltung der ersten Ausführungsform der Erfindung zeigt.

**[0030]** Fig. 7 ist eine Seitenansicht eines MR-Elements, das in Fig. 6 dargestellt ist.

**[0031]** Fig. 8 ist ein Wellenformdiagramm, das ein erstes Erfassungssignal der ersten Ausführungsform der Erfindung zeigt.

**[0032]** Fig. 9 ist ein Wellenformdiagramm, das ein erstes und zweites Post-Berechnungssignal während der Vorwärtsdrehung in der ersten Ausführungsform der Erfindung zeigt.

**[0033]** Fig. 10 ist ein Wellenformdiagramm, das ein erstes und zweites binär codiertes Signal während der Vorwärtsdrehung in der ersten Ausführungsform der Erfindung zeigt.

**[0034]** Fig. 11 ist ein Wellenformdiagramm, das das erste und zweite Post-Berechnungssignal während der Rückwärtsdrehung in der ersten Ausführungsform der Erfindung zeigt.

**[0035]** Fig. 12 ist ein Wellenformdiagramm, das das erste und zweite binär codierte Signal während der Rückwärtsdrehung in der ersten Ausführungsform der Erfindung zeigt.

**[0036]** Fig. 13 ist eine perspektivische Ansicht, die die allgemeine Konfiguration eines Magnetsensorsystems gemäß einer zweiten Ausführungsform der Erfindung zeigt.

**[0037]** Fig. 14 ist ein erklärendes Diagramm, das den Betrieb des Magnetsensorsystems gemäß der zweiten Ausführungsform der Erfindung zeigt.

**[0038]** Fig. 15 ist eine perspektivische Ansicht, die die allgemeine Konfiguration eines Magnetsensorsystems gemäß einer dritten Ausführungsform der Erfindung zeigt.

**[0039]** Fig. 16 ist eine Draufsicht, die die allgemeine Konfiguration des Magnetsensorsystems gemäß der dritten Ausführungsform der Erfindung zeigt.

**[0040]** Fig. 17 ist eine Seitenansicht, die eine Skala und erste bis dritte Erfassungsschaltungen der dritten Ausführungsform der Erfindung zeigt.

**[0041]** Fig. 18 ist ein Wellenformdiagramm, das ein erstes und zweites Post-Berechnungssignal während der Vorwärtsdrehung in der dritten Ausführungsform der Erfindung zeigt.

**[0042]** Fig. 19 ist ein Wellenformdiagramm, das ein erstes und zweites binär codiertes Signal während der Vorwärtsdrehung in der dritten Ausführungsform der Erfindung zeigt.

**[0043]** Fig. 20 ist ein Wellenformdiagramm, das das erste und zweite Post-Berechnungssignal während der Rückwärtsdrehung in der dritten Ausführungsform der Erfindung zeigt.

**[0044]** Fig. 21 ist ein Wellenformdiagramm, das das erste und zweite binär codierte Signal während der Rückwärtsdrehung in der dritten Ausführungsform der Erfindung zeigt.

**[0045]** Fig. 22 ist eine perspektivische Ansicht, die die allgemeine Konfiguration eines Magnetsensorsystems gemäß einer vierten Ausführungsform der Erfindung zeigt.

## AUSFÜHRLICHE BESCHREIBUNG DER BEVORZUGTEN

### AUSFÜHRUNGSFORMEN

[Erste Ausführungsform]

**[0046]** Es werden nun bevorzugte Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung ausführlich unter Bezugnahme auf die Zeichnungen beschrieben. Zunächst wird auf Fig. 1 bis Fig. 3 Bezug genommen, um die allgemeine Konfiguration eines Magnetsensorsystems gemäß einer ersten Ausführungsform der Erfindung zu beschreiben. Fig. 1 ist eine perspektivische Ansicht, die die allgemeine Konfiguration des Magnetsensorsystems gemäß der ersten Ausführungsform zeigt. Fig. 2 ist eine Draufsicht, die die allgemeine Konfiguration des Magnetsensorsystems gemäß der ersten Ausführungsform zeigt. Fig. 3 ist eine Seitenansicht, die eine Skala und erste bis dritte Erfassungsschaltungen der ersten Ausführungsform zeigt.

**[0047]** Wie in Fig. 1 bis Fig. 3 dargestellt, enthält das Magnetsensorsystem gemäß der ersten Ausführungsform eine Skala **1** und einen Magnetsensor **2**, die in einem relativen Positionsverhältnis angeordnet sind, das in einer ersten Richtung D1 variabel ist, und ist zum Erfassen einer physikalischen Größe in Zusammenhang mit dem relativen Positionsverhältnis zwischen der Skala **1** und dem Magnetsensor **2** ge-

staltet. Die Skala **1** der ersten Ausführungsform ist ein Drehkörper, der um eine vorgegebene Mittelachse C als Reaktion auf die Bewegung eines sich drehenden Objekts (nicht dargestellt) dreht. Die Drehung des Drehkörpers verändert das relative Positionsverhältnis zwischen der Skala **1** und dem Magnetsensor **2**. Die erste Richtung D1 ist die Richtung der Drehung des Drehkörpers. Das Magnetsensorsystem erfasst zum Beispiel die Drehposition und/oder die Drehzahl des Drehkörpers als die physikalische Größe.

**[0048]** Wie in **Fig. 1** und **Fig. 2** dargestellt, ist der Drehkörper der ersten Ausführungsform ein mehrpolig magnetisierter Magnet **5** mit mehreren Paaren von N- und S-Polen, die abwechselnd in einer Umfangsrichtung angeordnet sind. In dem Beispiel, das in **Fig. 1** und **Fig. 2** dargestellt ist, hat der Magnet **5** 12 Paare von N- und S-Polen. Der Magnetsensor **2** ist so angeordnet, dass er der äußeren Umfangsfläche des Magneten **5** zugewandt ist.

**[0049]** Es wird nun die Definition von Richtungen in der ersten Ausführungsform unter Bezugnahme auf **Fig. 1** und **Fig. 2** beschrieben. Zunächst ist die Richtung parallel zur Mittelachse C, die in **Fig. 1** dargestellt ist, und von unten nach oben in **Fig. 1** verläuft, als die Z-Richtung definiert. In **Fig. 2** ist die Z-Richtung als die Richtung außerhalb der Ebene von **Fig. 2** dargestellt. Dann sind zwei Richtungen, die senkrecht zur Z-Richtung und orthogonal zueinander liegen, als die X-Richtung und die Y-Richtung definiert. In **Fig. 2** ist die X-Richtung als die Richtung nach rechts dargestellt und die Y-Richtung ist als die Richtung nach oben dargestellt. Ferner ist die Richtung entgegengesetzt zur X-Richtung als die  $-X$ -Richtung definiert und die Richtung entgegengesetzt zur Y-Richtung ist als die  $-Y$ -Richtung definiert.

**[0050]** Der Magnetsensor **2** enthält eine erste Erfassungsschaltung **10**, eine zweite Erfassungsschaltung **20** und eine dritte Erfassungsschaltung **30**. Für ein besseres Verständnis sind in **Fig. 1** und **Fig. 2** die ersten bis dritten Erfassungsschaltungen **10**, **20** und **30** im Vergleich zu jenen in **Fig. 3** größer dargestellt. Obwohl die ersten bis dritten Erfassungsschaltungen **10**, **20** und **30** in **Fig. 1** als separate Komponenten dargestellt sind, können sie ferner in einer einzigen Komponente integriert sein.

**[0051]** Die erste Erfassungsschaltung **10** ist an einer ersten Position P1 angeordnet, erfasst ein erstes Magnetfeld MF1, das an die erste Erfassungsschaltung **10** angelegt wird, und gibt ein erstes Erfassungssignal S1 aus, das abhängig vom ersten Magnetfeld MF1 variiert. Die zweite Erfassungsschaltung **20** ist an einer zweiten Position P2 angeordnet, erfasst ein zweites Magnetfeld MF2, das an die zweite Erfassungsschaltung **20** angelegt wird, und gibt ein zweites Erfassungssignal S2 aus, das abhängig vom zweiten Magnetfeld MF2 variiert. Die dritte Er-

fassungsschaltung **30** ist an einer dritten Position P3 angeordnet, erfasst ein drittes Magnetfeld MF3, das an die dritte Erfassungsschaltung **30** angelegt wird, und gibt ein drittes Erfassungssignal S3 aus, das abhängig vom dritten Magnetfeld MF3 variiert. In **Fig. 1** bis **Fig. 3** ist die erste Position P1 als die Position des Mittelpunkts der ersten Erfassungsschaltung **10** dargestellt, die zweite Position P2 ist als die Position des Mittelpunkts der zweiten Erfassungsschaltung **20** dargestellt und die dritte Position P3 ist als die Position des Mittelpunkts der dritten Erfassungsschaltung **30** dargestellt.

**[0052]** Die ersten bis dritten Positionen P1 bis P3 unterscheiden sich voneinander in der ersten Richtung D1 und der X-Richtung. In dem Beispiel, das in **Fig. 2** und **Fig. 3** dargestellt ist, ist eine gerade Linie, die die dritte Position P3 und die Mittelachse C verbindet, parallel zur Y-Richtung. Die ersten bis dritten Positionen P1 bis P3 sind in der Y-Richtung und der Z-Richtung dieselben. In dem in **Fig. 2** und **Fig. 3** dargestellten Beispiel sind die ersten bis dritten Positionen P1 bis P3 in der Reihenfolge erste Position P1, dritte Position P3 und zweite Position P2 in der X-Richtung angeordnet. In der vorliegenden Erfindung ist die Reihenfolge der Anordnung der Positionen P1 bis P3 jedoch nicht auf dieses Beispiel beschränkt.

**[0053]** Jedes von dem ersten bis dritten Magnetfeld MF1 bis MF3 ändert seine Richtung periodisch als Reaktion auf eine Veränderung im relativen Positionsverhältnis zwischen der Skala **1** und dem Magnetsensor **2**. In der ersten Ausführungsform wird jedes von dem ersten bis dritten Magnetfeld MF1 bis MF3 vom Magneten **5** erzeugt und ändert seine Richtung, während sich der Drehkörper oder der Magnet **5** dreht. In **Fig. 2** geben die hohlen Pfeile MF1, MF2 und MF3 die Richtungen des ersten Magnetfeldes MF1, des zweiten Magnetfeldes MF2 bzw. des dritten Magnetfeldes MF3 an, wenn das relative Positionsverhältnis zwischen der Skala **1** und dem Magnetsensor **2** wie in **Fig. 2** dargestellt ist. Die Richtung des ersten Magnetfeldes MF1 dreht sich um die erste Position P1 in der XY-Ebene. Die Richtung des zweiten Magnetfeldes MF2 dreht sich um die zweite Position P2 in der XY-Ebene. Die Richtung des dritten Magnetfeldes MF3 dreht sich um die dritte Position P3 in der XY-Ebene.

**[0054]** Hierin ist das Ausmaß einer Veränderung im relativen Positionsverhältnis zwischen der Skala **1** und dem Magnetsensor **2**, die die Richtung jedes der ersten bis dritten Magnetfelder MF1 bis MF3 um eine Periode verändert, als eine Teilung definiert. In der ersten Ausführungsform ist eine Teilung als ein Winkel in der Drehrichtung des Drehkörpers oder des Magneten **5** angegeben. Insbesondere ist eine Teilung der Winkel, der durch zwei gerade Linien gebildet wird, die die Mittelachse C mit den Mittelpunkten zweier nebeneinander liegender N-Pole des Magne-

ten **5** verbinden. In **Fig. 1** und **Fig. 2** sind die oben genannten zwei geraden Linien als gestrichelte Linien dargestellt und der Winkel, der durch die zwei geraden Linien gebildet wird, ist mit dem Symbol  $\alpha$  bezeichnet. In dem Beispiel, das in **Fig. 1** und **Fig. 2** dargestellt ist, ist der Winkel  $\alpha$   $30^\circ$ . In diesem Beispiel bewirkt eine Drehung des Magneten **5**, dass sich die Richtung jedes der ersten bis dritten Magnetfelder MF1 bis MF3 12 Mal dreht, das heißt, sich um 12 Perioden ändert und bewirkt, dass sich das relative Positionsverhältnis zwischen der Skala **1** und dem Magnetsensor **2** um 12 Teilungen ändert. Somit ist das relative Positionsverhältnis zwischen der Skala **1** und dem Magnetsensor **2** um zwei Teilungen oder mehr veränderbar.

**[0055]** In der ersten Ausführungsform unterscheiden sich zwei der ersten bis dritten Positionen P1 bis P3, die in der ersten Richtung D1 am weitesten voneinander entfernt sind, voneinander um eine Teilung oder weniger, vorzugsweise um 1/2 Teilung oder weniger, in der ersten Richtung D1. In der ersten Ausführungsform ist die Differenz zwischen beliebigen zwei der ersten bis dritten Positionen P1 bis P3 in der ersten Richtung D1, die in der Folge als die Positionsdifferenz bezeichnet wird, als ein Winkel in der Drehrichtung des Drehkörpers oder des Magneten **5** definiert, wobei der Winkel durch zwei gerade Linien gebildet wird, die die Mittelachse C mit den zwei Positionen verbinden. In **Fig. 3** ist die Positionsdifferenz zwischen der ersten Position P1 und der dritten Position P3 durch Symbol  $dp_1$  bezeichnet und die Positionsdifferenz zwischen der zweiten Position P2 und der dritten Position P3 ist durch Symbol  $dp_2$  bezeichnet. In dem in **Fig. 3** dargestellten Beispiel sind die Positionsdifferenzen  $dp_1$  und  $dp_2$  beide 1/4 des Winkels  $\alpha$ , das heißt, 1/4 Teilung. Unter Berücksichtigung der Produktionsgenauigkeit des Magnetsensorsystems und anderer Faktoren können die Positionsdifferenzen  $dp_1$  und  $dp_2$  leicht von der 1/4 Teilung abweichen.

**[0056]** In dem Beispiel, das in **Fig. 1** bis **Fig. 3** dargestellt ist, sind die ersten bis dritten Positionen P1 bis P3, die in der ersten Richtung D1 am weitesten voneinander entfernt sind, die erste Position P1 und die zweite Position P2. In diesem Beispiel ist die Positionsdifferenz zwischen der ersten Position P1 und der zweiten Position P2 in der ersten Richtung D1 1/2 des Winkels  $\alpha$ , das heißt, 1/2 Teilung.

**[0057]** Jede der ersten bis dritten Erfassungsschaltungen **10**, **20** und **30** enthält ein magnetoresistives (MR) Element. Wie später ausführlich beschrieben wird, sind alle der MR-Elemente, die in den ersten bis dritten Erfassungsschaltungen **10**, **20** und **30** der ersten Ausführungsform enthalten sind, MR-Spinventilelemente. Jedes MR-Element enthält eine in der Magnetisierung fixierte Schicht mit einer Magnetisierung in einer fixierten Richtung, eine freie Schicht mit

einer Magnetisierung, die abhängig von einem angelegten Magnetfeld variiert, und eine nicht-magnetische Schicht, die zwischen der in der Magnetisierung fixierten Schicht und der freien Schicht liegt. Jede der ersten bis dritten Erfassungsschaltungen **10**, **20** und **30** ist so angeordnet, dass die Ebene der Schichten, die jedes der darin enthaltenen MR-Elemente bilden, senkrecht zu einer geraden Linie verläuft, die die dritte Position P3 und die Mittelachse C verbindet. Es wird angenommen, dass der Abstand zwischen den Mittelpunkten von zwei benachbarten N-Polen entlang der äußeren Umfangsfläche des Magneten **5** 4 mm beträgt. In diesem Fall, damit die Positionsdifferenz zwischen der ersten Position P1 und der zweiten Position P2 in eine Teilung fällt, ist in der ersten Ausführungsform erforderlich, dass der Abstand zwischen der ersten Position P1 und der dritten Position P3, hierin als der erste Abstand bezeichnet, 2 mm oder weniger beträgt, der Abstand zwischen der zweiten Position P2 und der dritten Position P3, hierin als der zweite Abstand bezeichnet, 2 mm oder weniger beträgt und der Abstand zwischen der ersten Position P1 und der zweiten Position P2, hierin als der dritte Abstand bezeichnet, 4 mm oder weniger beträgt. In der ersten Ausführungsform ist insbesondere erforderlich, dass sowohl der erste wie auch der zweite Abstand 1 mm oder weniger betragen und der dritte Abstand 2 mm oder weniger beträgt. MR-Spinventilelemente ermöglichen eine signifikante Verringerung der Grundfläche im Vergleich zu anisotropen magnetoresistiven Elementen. Somit ermöglicht die erste Ausführungsform, dass die ersten bis dritten Erfassungsschaltungen **10**, **20** und **30** so angeordnet sind, dass die ersten bis dritten Positionen P1 bis P3 die zuvor beschriebenen Anforderungen erfüllen, solange die Größe einer Teilung oder der Abstand zwischen den Mittelpunkten von zwei benachbarten N-Pole in einen praktischen Bereich fällt. Die erste Ausführungsform ermöglicht folglich im Magnetsensorsystem, in dem das relative Positionsverhältnis zwischen der Skala **1** und dem Sensor **2** um zwei Teilungen oder mehr veränderlich ist, dass die ersten bis dritten Erfassungsschaltungen **10**, **20** und **30** so angeordnet sind, dass die Positionsdifferenz zwischen den zwei Positionen P1 und P2, die von ersten bis dritten Positionen P1 bis P3 am weitesten in der ersten Richtung D1 voneinander entfernt sind, in eine Teilung fällt.

**[0058]** Die ersten bis dritten Erfassungssignale S1 bis S3 ändern sich periodisch als Reaktion auf eine Veränderung im relativen Positionsverhältnis zwischen der Skala **1** und dem Magnetsensor **2** und haben wechselseitig unterschiedliche Phasen. In dem Beispiel, das in **Fig. 1** und **Fig. 2** dargestellt ist, ist eine Periode der ersten bis dritten Erfassungssignale S1 bis S3, d.h., ein elektrischer Winkel von  $360^\circ$ , gleich einer 1/12 Drehung des Magneten **5**, d.h., einem 30-Grad Winkel einer Drehung des Magneten **5**.

**[0059]** Das Magnetsensorsystem enthält ferner eine Rechereinheit **40**, die ein erstes Post-Berechnungssignal durch Berechnung mit mindestens dem ersten Erfassungssignal S1 und dem dritten Erfassungssignal S3 erzeugt und ein zweites Post-Berechnungssignal durch Berechnung mit mindestens dem zweiten Erfassungssignal S2 und dem dritten Erfassungssignal S3 erzeugt. Das erste Post-Berechnungssignal und das zweite Post-Berechnungssignal ändern sich periodisch als Reaktion auf eine Veränderung im relativen Positionsverhältnis zwischen der Skala **1** und dem Magnetsensor **2** und haben wechselseitig unterschiedliche Phasen. Die Berechnung zur Erzeugung des ersten Post-Berechnungssignals kann das Ermitteln der Differenz zwischen dem ersten Erfassungssignal S1 und dem dritten Erfassungssignal S3 enthalten. Die Berechnung zur Erzeugung des zweiten Post-Berechnungssignals kann das Ermitteln der Differenz zwischen dem zweiten Erfassungssignal S2 und dem dritten Erfassungssignal S3 enthalten.

**[0060]** Es wird nun die Konfiguration der Rechereinheit **40** unter Bezugnahme auf **Fig. 4** beschrieben. **Fig. 4** ist ein Blockdiagramm, das die Schaltungskonfiguration des Magnetsensorsystems gemäß der ersten Ausführungsform zeigt. Die Rechereinheit **40** enthält zwei Rechnerschaltkreise **41** und **42** und eine Datenverarbeitungsschaltung **43**. Jeder der Rechnerschaltkreise **41** und **42** hat zwei Eingänge und einen Ausgang. Die zwei Eingänge des Rechnerschaltkreises **41** sind an die erste Erfassungsschaltung **10** bzw. die dritte Erfassungsschaltung **30** angeschlossen. Die zwei Eingänge des Rechnerschaltkreises **42** sind an die zweite Erfassungsschaltung **20** bzw. die dritte Erfassungsschaltung **30** angeschlossen. Der Rechnerschaltkreis **41** dient zur Durchführung von Berechnungen unter Verwendung des ersten und dritten Erfassungssignals S1 und S3. Der Rechnerschaltkreis **42** dient zur Durchführung von Berechnungen unter Verwendung des zweiten und dritten Erfassungssignals S2 und S3.

**[0061]** Die Datenverarbeitungsschaltung **43** hat zwei Eingänge. Die zwei Eingänge der Datenverarbeitungsschaltung **43** sind an den Ausgang des Rechnerschaltkreises **41** bzw. den Ausgang des Rechnerschaltkreises **42** angeschlossen. Die Datenverarbeitungsschaltung **43** dient zur Durchführung von Berechnungen unter Verwendung des Ausgangssignals von den Rechnerschaltkreisen **41** und **42** und zum Ermitteln, auf der Basis der Berechnungsergebnisse, des Ausmaßes und/oder der Geschwindigkeit einer Veränderung im relativen Positionsverhältnis zwischen der Skala **1** und dem Magnetsensor **2**, das heißt, der Drehposition und/oder der Drehzahl des Drehkörpers oder des Magneten **5**. Die Datenverarbeitungsschaltung **43** kann zum Beispiel durch einen Mikrocomputer ausgeführt werden. Eine ausführliche Beschreibung bezüglich der Berechnungen durch die Rechnerschaltkreise **41** und **42** und die Datenver-

arbeitungsschaltung **43** und bezüglich des ersten und zweiten Post-Berechnungssignals folgt. Es werden nun die Konfigurationen der ersten bis dritten Erfassungsschaltungen **10**, **20** und **30** ausführlich unter Bezugnahme auf **Fig. 5** und **Fig. 6** beschrieben. **Fig. 5** ist ein Schaltungsdiagramm, das die Konfigurationen der ersten bis dritten Erfassungsschaltungen **10**, **20** und **30** zeigt. **Fig. 6** ist eine Draufsicht, die die erste Erfassungsschaltung **10** zeigt. Die erste Erfassungsschaltung **10** enthält MR-Elementgruppen R11 und R12 die in Serie verbunden sind, einen Leistungsversorgungsanschluss V1, einen Masseanschluss G1 und einen Ausgangsanschluss E1. Jede der MR-Elementgruppen R11 und R12 enthält mehrere in Serie verbundene MR-Elemente **50**. Ein erstes Ende der MR-Elementgruppe R11 ist an den Leistungsversorgungsanschluss V1 angeschlossen. Ein zweites Ende der MR-Elementgruppe R11 ist an ein erstes Ende der MR-Elementgruppe R12 und den Ausgangsanschluss E1 angeschlossen. Ein zweites Ende der MR-Elementgruppe R12 ist an den Masseanschluss G1 angeschlossen. Der Ausgangsanschluss E1 gibt das erste Erfassungssignal S1 aus.

**[0062]** Die zweite Erfassungsschaltung **20** hat eine ähnliche Konfiguration wie die erste Erfassungsschaltung **10**. Insbesondere enthält die zweite Erfassungsschaltung **20** MR-Elementgruppen R21 und R22, die in Serie verbunden sind, einen Leistungsversorgungsanschluss V2, einen Masseanschluss G2 und einen Ausgangsanschluss E2. Jede der MR-Elementgruppen R21 und R22 enthält mehrere in Serie verbundene MR-Elemente **50**. Ein erstes Ende der MR-Elementgruppe R21 ist an den Leistungsversorgungsanschluss V2 angeschlossen. Ein zweites Ende der MR-Elementgruppe R21 ist an ein erstes Ende der MR-Elementgruppe R22 und den Ausgangsanschluss E2 angeschlossen. Ein zweites Ende der MR-Elementgruppe R22 ist an den Masseanschluss G2 angeschlossen. Der Ausgangsanschluss E2 gibt das zweite Erfassungssignal S2 aus.

**[0063]** Die dritte Erfassungsschaltung **30** hat auch eine ähnliche Konfiguration wie die erste Erfassungsschaltung **10**. Insbesondere enthält die dritte Erfassungsschaltung **30** MR-Elementgruppen R31 und R32, die in Serie verbunden sind, einen Leistungsversorgungsanschluss V3, einen Masseanschluss G3, und einen Ausgangsanschluss E3. Jede der MR-Elementgruppen R31 und R32 enthält mehrere MR-Elemente **50**, die in Serie verbunden sind. Ein erstes Ende der MR-Elementgruppe R31 ist an den Leistungsversorgungsanschluss V3 angeschlossen. Ein zweites Ende der MR-Elementgruppe R31 ist an ein erstes Ende der MR-Elementgruppe R32 und den Ausgangsanschluss E3 angeschlossen. Ein zweites Ende der MR-Elementgruppe R32 ist an den Masseanschluss G3 angeschlossen. Der Ausgangsanschluss E3 gibt das dritte Erfassungssignal S3 aus. Der Magnetsensor **2** hat ferner einen Leistungsversorgungs-

anschluss, Va, der mit einer Leistungsversorgungsspannung einer vorbestimmten Größe versorgt wird, und einen Masseanschluss Ga, der an die Masse angeschlossen ist. Die Leistungsversorgungsanschlüsse V1, V2 und V3 sind an den Leistungsversorgungsanschluss Va angeschlossen. Die Masseanschlüsse G1, G2 und G3 sind an den Masseanschluss Ga angeschlossen.

**[0064]** Wie in Fig. 5 dargestellt, sind die MR-Elementgruppen R11, R12, R21, R22, R31 und R32 in der X-Richtung ausgerichtet. Die Anordnung der MR-Elementgruppen R11, R12, R21, R22, R31 und R32 ist jedoch nicht auf das Beispiel beschränkt, das in Fig. 5 dargestellt ist.

**[0065]** In der ersten Ausführungsform sind die MR-Elemente 50 MR-Spiventilelemente, die jeweils eine in der Magnetisierung fixierte Schicht, eine freie Schicht und eine nicht-magnetische Schicht enthalten. Die MR-Elemente 50 können TMR-Elemente oder GMR-Elemente sein. Wenn die MR-Elemente 50 TMR-Elemente sind, ist die nicht-magnetische Schicht eine Tunnelbarriere. Wenn die MR-Elemente 50 GMR-Elemente sind, ist die nicht-magnetische Schicht eine nicht-magnetische leitende Schicht. In jedem MR-Element 50 variiert die Magnetisierung der freien Schicht abhängig vom Magnetfeld, das an die freie Schicht angelegt wird. Insbesondere variieren die Richtung und Größe der Magnetisierung der freien Schicht abhängig von der Richtung und der Größe des Magnetfeldes, das an die freie Schicht angelegt wird. Jedes MR-Element 50 variiert im Widerstand abhängig von der Richtung und der Größe der Magnetisierung der freien Schicht. Wenn zum Beispiel die freie Schicht eine Magnetisierung konstanter Größe hat, erreicht der Widerstand des MR-Elements den Minimalwert, wenn die Magnetisierungsrichtung der freien Schicht dieselbe wie jene der in der Magnetisierung fixierten Schicht ist, und erreicht den Maximalwert, wenn die Magnetisierungsrichtung der freien Schicht jener der in der Magnetisierung fixierten Schicht entgegengesetzt ist. In Fig. 5 geben die vollen Pfeile die Magnetisierungsrichtungen der in der Magnetisierung fixierten Schichten der MR-Elemente 50 in den MR-Elementgruppen R11, R12, R21, R22, R31 und R32 an. In Fig. 6 gibt der Pfeil, der in jedem MR-Element 50 gezeichnet ist, die Magnetisierungsrichtung der in der Magnetisierung fixierten Schicht des MR-Elements 50 an.

**[0066]** In der ersten Erfassungsschaltung 10 sind die in der Magnetisierung fixierten Schichten der mehreren MR-Elemente 50, die in der MR-Elementgruppe R11 enthalten sind, in der -X-Richtung magnetisiert, und die in der Magnetisierung fixierten Schichten der mehreren MR-Elemente 50, die in der MR-Elementgruppe R12 enthalten sind, sind in der X-Richtung magnetisiert. In diesem Fall variiert das Potential am Ausgangsanschluss E1 abhängig von der

Stärke einer Komponente des ersten Magnetfeldes MF1 in einer Richtung parallel zu den X- und -X-Richtungen. Die erste Erfassungsschaltung 10 erfasst somit die Stärke der Komponente des ersten Magnetfeldes MF1 in der Richtung parallel zu den X und -X-Richtungen und gibt das erste Erfassungssignal S1 aus, das die Stärke anzeigt.

**[0067]** In der zweiten Erfassungsschaltung 20 sind die in der Magnetisierung fixierten Schichten der mehreren MR-Elemente 50, die in der MR-Elementgruppe R21 enthalten sind, in der -X-Richtung magnetisiert und die in der Magnetisierung fixierten Schichten der mehreren MR-Elemente 50, die in der MR-Elementgruppe R22 enthalten sind, sind in der X-Richtung magnetisiert. In diesem Fall variiert das Potential am Ausgangsanschluss E2 abhängig von der Stärke einer Komponente des zweiten Magnetfeldes MF2 in der Richtung parallel zu den X- und -X-Richtungen. Die zweite Erfassungsschaltung 20 erfasst somit die Stärke der Komponente des zweiten Magnetfeldes MF2 in der Richtung parallel zu den X- und -X-Richtungen und gibt das zweite Erfassungssignal S2 aus, das die Stärke angibt.

**[0068]** In der dritten Erfassungsschaltung 30 sind die in der Magnetisierung fixierten Schichten der mehreren MR-Elemente 50, die in der MR-Elementgruppe R31 enthalten sind, in der -X-Richtung magnetisiert und die in der Magnetisierung fixierten Schichten der mehreren MR-Elemente 50, die in der MR-Elementgruppe R32 enthalten sind, sind in der X-Richtung magnetisiert. In diesem Fall variiert das Potential am Ausgangsanschluss E3 abhängig von der Stärke einer Komponente des dritten Magnetfeldes MF3 in der Richtung parallel zu den X- und -X-Richtungen. Die dritte Erfassungsschaltung 30 erfasst somit die Stärke der Komponente des dritten Magnetfeldes MF3 in der Richtung parallel zu den X und -X-Richtungen und gibt das dritte Erfassungssignal S3 aus, das die Stärke angibt.

**[0069]** Die MR-Elementgruppen R11, R21 und R31 sind in der Magnetisierungsrichtung der in der Magnetisierung fixierten Schichten der mehreren darin enthaltenen MR-Elemente 50 dieselben. Die MR-Elementgruppen R12, R22 und R32 sind in der Magnetisierungsrichtung der in der Magnetisierung fixierten Schichten der mehreren darin enthaltenen MR-Elemente 50 dieselben. Wie zuvor erwähnt, ist die Positionsdifferenz  $dp_1$  zwischen der ersten Position P1 und der dritten Position P3 gleich  $1/4$  des Winkels  $\alpha$ , das heißt, gleich einem elektrischen Winkel von  $90^\circ$  des ersten und dritten Erfassungssignals S1 und S3. Daher weist das dritte Erfassungssignal S3 eine Phasendifferenz von  $90^\circ$  in Bezug auf das erste Erfassungssignal S1 auf. Ebenso ist die Positionsdifferenz  $dp_2$  zwischen der zweiten Position P2 und der dritten Position P3 gleich  $1/4$  des Winkels  $\alpha$ , das heißt, gleich einem elektrischen Winkel von  $90^\circ$  des zwei-

ten und dritten Erfassungssignals S2 und S3. Daher weist das zweite Erfassungssignal S2 eine Phasendifferenz von  $90^\circ$  in Bezug auf das dritte Erfassungssignal S3 auf. Ferner ist die Positionsdifferenz zwischen der ersten Position P1 und der zweiten Position P2 gleich  $1/2$  des Winkels  $\alpha$ , das heißt, gleich einem elektrischen Winkel von  $180^\circ$  des ersten und zweiten Erfassungssignals S1 und S2. Daher weist das zweite Erfassungssignal S2 eine Phasendifferenz von  $180^\circ$  in Bezug auf das erste Erfassungssignal S1 auf.

**[0070]** In Hinblick auf die Produktionsgenauigkeit der MR-Elemente **50** und andere Faktoren können die in der Magnetisierung fixierten Schichten der mehreren MR-Elemente **50** in den ersten bis dritten Erfassungsschaltungen **10**, **20** und **30** in Richtungen magnetisiert sein, die sich leicht von den zuvor beschriebenen Richtungen unterscheiden.

**[0071]** Jede der MR-Elementgruppen R11, R12, R21, R22, R31 und R32 enthält ferner mehrere untere Elektroden und mehrere obere Elektroden, nicht dargestellt, für einen elektrischen Anschluss der mehreren MR-Elemente **50**. In jeder der MR-Elementgruppen R11, R12, R21, R22, R31 und R32 sind die mehreren unteren Elektroden mit Abstand zwischen jeweils benachbarten auf einer Trägerschicht (nicht dargestellt) so angeordnet, dass sie insgesamt eine Mäanderform aufweisen. Jede untere Elektrode ist in eine Richtung länglich geformt. An der oberen Oberfläche jeder unteren Elektrode sind zwei MR-Elemente **50** nahe gegenüberliegenden Enden in der Längsrichtung angeordnet. Die mehreren oberen Elektroden sind auf den mehreren MR-Elementen **50** angeordnet.

**[0072]** Jede obere Elektrode ist in eine Richtung länglich geformt und verbindet zwei nebeneinander liegende MR-Elemente **50** elektrisch, die auf zwei unteren Elektroden nebeneinander liegend in der Längsrichtung der unteren Elektroden angeordnet sind. Durch eine solche Konfiguration werden die mehreren MR-Elemente **50** in jeder der MR-Elementgruppen R11, R12, R21, R22, R31 und R32 in Serie durch die mehreren unteren und oberen Elektroden verbunden.

**[0073]** Ein Beispiel der Konfiguration jedes MR-Elements **50** wird nun unter Bezugnahme auf **Fig. 7** beschrieben. **Fig. 7** zeigt ein MR-Element **50** von **Fig. 6**. Das in **Fig. 7** dargestellte MR-Element **50** enthält eine Unterlage **51**, eine antiferromagnetische Schicht **52**, eine in der Magnetisierung fixierte Schicht **53**, eine nicht-magnetische Schicht **54**, eine freie Schicht **55** und eine Schutzschicht **56**, die in dieser Reihenfolge gestapelt sind, wobei die Unterlage **51** der unteren Elektrode am nächsten liegt. Die Unterlage **51** und die Schutzschicht **56** sind leitend. Die Unterlage **51** ist zum Eliminieren der Wirkungen der Kristal-

lache der Trägerschicht (nicht dargestellt) und zum Verbessern der Kristallinität und Orientierbarkeit jeder Schicht bereitgestellt, die auf der Unterlage **51** gebildet ist. Die Unterlage **51** kann zum Beispiel aus Ta oder Ru gebildet sein. Die antiferromagnetische Schicht **52** dient zum Fixieren der Magnetisierungsrichtung der in der Magnetisierung fixierten Schicht **53** durch Austauschkopplung mit der in der Magnetisierung fixierten Schicht **53**. Die antiferromagnetische Schicht **52** ist aus einem antiferromagnetischen Material wie IrMn oder PtMn gebildet.

**[0074]** Die Magnetisierungsrichtung der in der Magnetisierung fixierten Schicht **53** wird durch Austauschkopplung zwischen der antiferromagnetischen Schicht **52** und der in der Magnetisierung fixierten Schicht **53** an der Grenzfläche dazwischen fixiert. In dem in **Fig. 7** dargestellten Beispiel enthält die in der Magnetisierung fixierte Schicht **53** eine Außenschicht **531**, eine nicht-magnetische Zwischenschicht **532** und eine Innenschicht **533**, die in dieser Reihenfolge auf der antiferromagnetischen Schicht **52** gestapelt sind, und ist somit als eine sogenannte synthetische fixierte Schicht gebildet. Die Außenschicht **531** und die Innenschicht **533** sind jeweils aus einem weichen magnetischen Material wie CoFe, CoFeB oder CoNiFe gebildet. Die Magnetisierungsrichtung der Außenschicht **531** ist durch Austauschkopplung zwischen der Außenschicht **531** und der antiferromagnetischen Schicht **52** fixiert. Die Außenschicht **531** und die Innenschicht **533** sind antiferromagnetisch aneinander gekoppelt, und ihre Magnetisierungen sind somit in wechselseitig entgegengesetzte Richtungen fixiert. Die nicht-magnetische Zwischenschicht **532** löst eine antiferromagnetische Austauschkopplung zwischen der Außenschicht **531** und der Innenschicht **533** aus, so dass die Magnetisierungen der Außenschicht **531** und der Innenschicht **533** in wechselseitig entgegengesetzte Richtungen fixiert sind. Die nicht-magnetische Zwischenschicht **532** ist aus einem nicht magnetischen Material wie Ru gebildet. Wenn die in der Magnetisierung fixierte Schicht **53** die Außenschicht **531**, die nicht-magnetische Zwischenschicht **532** und die Innenschicht **533** enthält, bezieht sich die Magnetisierungsrichtung der in der Magnetisierung fixierten Schicht **53** auf jene der Innenschicht **533**. Wenn das MR-Element **50** ein TMR-Element ist, ist die nicht-magnetische Schicht **54** eine Tunnelsperrschicht. Die Tunnelsperrschicht kann durch Oxidieren eines Teils oder der Gesamtheit einer Magnesiumschicht gebildet werden. Wenn das MR-Element **50** ein GMR-Element ist, ist die nicht-magnetische Schicht **54** eine nicht-magnetische leitende Schicht. Die freie Schicht **55** ist zum Beispiel aus einem weichen magnetischen Material wie CoFe, CoFeB, NiFe oder CoNiFe gebildet. Die Schutzschicht **56** ist zum Schutz der darunter liegenden Schichten vorgesehen. Die Schutzschicht **56** kann zum Beispiel aus Ta, Ru, W oder Ti gebildet sein.

**[0075]** Die Unterlage **51** ist an die untere Elektrode angeschlossen und die Schutzschicht **56** ist an die obere Elektrode angeschlossen. Das MR-Element **50** ist so gestaltet, dass es mit Strom durch die untere Elektrode und die obere Elektrode versorgt wird. Der Strom wird in eine Richtung geleitet, die die Ebene der Schichten schneidet, die das MR-Element **50** bilden, wie die Richtung senkrecht zur Ebene der Schichten, die das MR-Element **50** bilden.

**[0076]** Es werden nun die ersten bis dritten Erfassungssignale S1 bis S3 unter Bezugnahme auf **Fig. 8** beschrieben. **Fig. 8** ist ein Wellenformdiagramm, das das erste Erfassungssignal S1 zeigt. In **Fig. 8** stellt die horizontale Achse den elektrischen Winkel des ersten Erfassungssignals S1 dar, während die vertikale Achse das Potential des ersten Erfassungssignals S1 darstellt. Es ist zu beachten, dass in **Fig. 8** das erste Erfassungssignal S1 normalisiert ist, so dass es einen Maximalwert von **1** und einen Minimalwert von **-1** hat. Wie in **Fig. 8** dargestellt, ändert sich das erste Erfassungssignal S1 periodisch. In dem in **Fig. 8** dargestellten Beispiel hat das erste Erfassungssignal S1 eine Wellenform, die aus einer sinusförmigen Kurve verzerrt ist.

**[0077]** Obwohl nicht dargestellt, hat jedes des zweiten und dritten Erfassungssignals S2 und S3 eine Wellenform wie jene des ersten Erfassungssignals S1, die in **Fig. 8** dargestellt ist. Wie zuvor erwähnt, ist die Phasendifferenz des dritten Erfassungssignals S3 in Bezug auf das erste Erfassungssignal S1  $90^\circ$  und die Phasendifferenz des zweiten Erfassungssignals S2 in Bezug auf das dritte Erfassungssignal S3 ist  $90^\circ$ .

**[0078]** Hier wird die Drehung des Drehkörpers oder des Magneten **5** in eine Richtung gegen den Uhrzeigersinn in **Fig. 2** als Vorwärtsdrehung bezeichnet und jene in eine Richtung im Uhrzeigersinn in **Fig. 2** wird als Rückwärtsdrehung bezeichnet. Während der Vorwärtsdrehung wird die Phase des dritten Erfassungssignals S3 um  $90^\circ$  in Bezug auf die Phase des ersten Erfassungssignals S1 verzögert und um  $90^\circ$  in Bezug auf die Phase des zweiten Erfassungssignals S2 vorgerückt. Während der Rückwärtsdrehung wird die Phase des dritten Erfassungssignals S3 um  $90^\circ$  in Bezug auf die Phase des ersten Erfassungssignals S1 vorgerückt und um  $90^\circ$  in Bezug auf die Phase des zweiten Erfassungssignals S2 verzögert.

**[0079]** Es folgt nun eine Beschreibung bezüglich der Berechnungen durch die Rechnerschaltkreise **41** und **42** und die Datenverarbeitungsschaltung **43** und bezüglich des ersten und zweiten Post-Berechnungssignals. Der Rechnerschaltkreis **41** erzeugt als das erste Post-Berechnungssignal Sa einen Wert, der zum Beispiel durch Normalisieren der Differenz (S1-S3) zwischen dem ersten Erfassungssignal S1 und dem dritten Erfassungssignal S3 erhalten wird. Der Rech-

nerschaltkreis **42** erzeugt als das zweite Post-Berechnungssignal Sb einen Wert, der durch Normalisieren zum Beispiel der Differenz (S2-S3) zwischen dem zweiten Erfassungssignal S2 und dem dritten Erfassungssignal S3 erhalten wird.

**[0080]** **Fig. 9** ist ein Wellenformdiagramm, das das erste und zweite Post-Berechnungssignal Sa und Sb während der Vorwärtsdrehung zeigt. In **Fig. 9** stellt die horizontale Achse einen bestimmten elektrischen Winkel dar, der dem elektrischen Winkel jedes der ersten bis dritten Erfassungssignale S1 bis S3 entspricht, während die vertikale Achse das Potential des ersten und zweiten Post-Berechnungssignals darstellt. Eine Veränderung im elektrischen Winkel auf der horizontalen Achse von **Fig. 9** entspricht einer Veränderung im relativen Positionsverhältnis zwischen der Skala **1** und dem Magnetsensor **2**. In dem in **Fig. 9** dargestellten Beispiel werden das erste und zweite Post-Berechnungssignal Sa und Sb jeweils normalisiert, so dass sie einen Maximalwert von **1** und einen Minimalwert von **-1** haben.

**[0081]** In der ersten Ausführungsform wird das dritte Erfassungssignal S3 sowohl in der Berechnung zur Erzeugung des ersten Post-Berechnungssignals Sa wie auch in der Berechnung zur Erzeugung des zweiten Post-Berechnungssignals Sb verwendet. Es ist zu beachten, dass das erste oder zweite Erfassungssignal S1 oder S2 anstelle des dritten Erfassungssignals S3 sowohl in der Berechnung zur Erzeugung des ersten Post-Berechnungssignals Sa wie auch in der Berechnung zur Erzeugung des zweiten Post-Berechnungssignals Sb verwendet werden kann.

**[0082]** Wie in **Fig. 9** dargestellt, ändern sich das erste und zweite Post-Berechnungssignal Sa und Sb periodisch als Reaktion auf eine Veränderung im elektrischen Winkel auf der horizontalen Achse von **Fig. 9**, das heißt, als Reaktion auf eine Veränderung im relativen Positionsverhältnis zwischen der Skala **1** und dem Magnetsensor **2**, und haben wechselseitig unterschiedliche Phasen. Während der Vorwärtsdrehung ist die Phase des zweiten Post-Berechnungssignals Sb um  $90^\circ$  in Bezug auf die Phase des ersten Post-Berechnungssignals Sa verzögert.

**[0083]** Die Datenverarbeitungsschaltung **43** unterzieht das erste und zweite Post-Berechnungssignal Sa und Sb, die Ausgangssignale aus dem Rechnerschaltkreise **41** bzw. **42** sind, einer Binärcodierung. In der Folge wird ein Signal, das durch Binärcodierung des ersten Post-Berechnungssignals Sa erhalten wird, als das erste binär codierte Signal DSa bezeichnet und ein Signal, das durch Binärcodierung des zweiten Post-Berechnungssignals Sb erhalten wird, wird als das zweite binär codierte Signal DSb bezeichnet.

**[0084]** Fig. 10 ist ein Wellenformdiagramm, das die binär codierten Signale DSa und DSb zeigt, die durch Binärcodierung der Post-Berechnungssignale Sa und Sb während der Vorwärtsdrehung erhalten werden, die in Fig. 9 dargestellt ist. In Fig. 10 stellt die horizontale Achse die Zeit dar und die vertikale Achse stellt den Wert der binär codierten Signale DSa und DSb dar. In dem in Fig. 9 und Fig. 10 dargestellten Beispiel ist der Wert der binär codierten Signale DSa und DSb 1, wenn das Potential der Post-Berechnungssignale Sa und Sb 0 oder größer ist, und der Wert der binär codierten Signale DSa und DSb ist 0, wenn das Potential der Post-Berechnungssignale Sa und Sb kleiner 0 ist. In Fig. 10 sind des besseren Verständnisses wegen die Wellenformen der binär codierten Signale DSa und DSb in die vertikale Richtung von Fig. 10 zueinander versetzt dargestellt. Sämtliche Figuren, die Fig. 10 ähnlich sind, auf die in der Folge zur Beschreibung Bezug genommen wird, verwenden auch dieselbe Art der Darstellung wie in Fig. 10. Während der Vorwärtsdrehung wird die Phase des zweiten binär codierten Signals DSb um  $90^\circ$  in Bezug auf die Phase des ersten binär codierten Signals DSa verzögert. Die Datenverarbeitungsschaltung 43 verwendet die binär codierten Signale DSa und DSb zum Erfassen der Drehrichtung des Magneten 5 und zum Ermitteln der Drehposition und/oder der Drehzahl des Magneten 5.

**[0085]** Es wird nun ein Verfahren zum Erfassen der Drehrichtung des Magneten 5 unter Verwendung des ersten und zweiten Post-Berechnungssignals Sa und Sb und des ersten und zweiten binär codierten Signals DSa und DSb unter Bezugnahme auf Fig. 9 bis Fig. 12 beschrieben. Fig. 11 ist ein Wellenformdiagramm, das das erste und zweite Post-Berechnungssignal Sa und Sb während der Rückwärtsdrehung zeigt. Fig. 12 ist ein Wellenformdiagramm, das das erste und zweite binär codierte Signal DSa und DSb während der Rückwärtsdrehung zeigt. Fig. 11 verwendet dieselben horizontalen und vertikalen Achsen wie jene von Fig. 9. Fig. 12 verwendet dieselben horizontalen und vertikalen Achsen wie jene von Fig. 10. Wie in Fig. 11 dargestellt, wird während der Rückwärtsdrehung die Phase des zweiten Post-Berechnungssignals Sb um  $90^\circ$  in Bezug auf die Phase des ersten Post-Berechnungssignals Sa vorgerückt und die Phase des zweiten binär codierten Signals DSb wird um  $90^\circ$  in Bezug auf die Phase des ersten binär codierten Signals DSa vorgerückt.

**[0086]** Die Datenverarbeitungsschaltung 43 erfasst die Richtung einer relativen Bewegung der Skala 1 in Bezug auf den Magnetsensor 2, das heißt, die Drehrichtung des Magneten 5, auf der Basis, ob die Phase des zweiten binär codierten Signals DSb in Bezug auf die Phase des ersten binär codierten Signals DSa vorgerückt oder verzögert ist. Insbesondere, wie in Fig. 10 dargestellt, wenn die Phase des zweiten binär codierten Signals DSb in Bezug auf die Phase des

ersten binär codierten Signals DSa um die Vorwärtsdrehung des Magneten 5 verzögert ist, ist der Wert des zweiten binär codierten Signals DSb 0, wenn der Wert des ersten binär codierten Signals DSa von 0 auf 1 steigt. Andererseits, wie in Fig. 12 dargestellt, wenn die Phase des zweiten binär codierten Signals DSb in Bezug auf die Phase des ersten binär codierten Signals DSa um die Rückwärtsdrehung des Magneten 5 vorgerückt ist, ist der Wert des zweiten binär codierten Signals DSb 1, wenn der Wert des ersten binär codierten Signals DSa von 0 auf 1 steigt. Durch diese Differenz kann die Datenverarbeitungsschaltung 43 erfassen, ob der Magnet 5 die Vorwärtsdrehung oder die Rückwärtsdrehung ausführt.

**[0087]** Die Drehposition und/oder die Drehzahl des Magneten 5 können zum Beispiel durch Zählen bestimmt werden, wie oft das erste oder zweite binär codierte Signal DSa oder DSb einen Wert 1 annimmt, während die Drehrichtung des Magneten 5 erfasst wird.

**[0088]** Es werden nun die Auswirkungen des Magnetsensorsystems gemäß der ersten Ausführungsform beschrieben. In der ersten Ausführungsform enthält jede der ersten bis dritten Erfassungsschaltungen 10, 20 und 30 MR-Spinventilelemente 50, die eine signifikante Verringerung der Grundfläche im Vergleich zu anisotropen magnetoresistiven Elementen ermöglichen. Die erste Ausführungsform ermöglicht somit, dass im Magnetsensorsystem, in dem das relative Positionsverhältnis zwischen der Skala 1 und dem Magnetsensor 2 um zwei Teilungen oder mehr veränderbar ist, die ersten bis dritten Erfassungsschaltungen 10, 20 und 30 so angeordnet sind, dass die Positionsabweichung zwischen den zwei Positionen P1 und P2, die von den ersten bis dritten Positionen P1 bis P3 in der ersten Richtung D1 am weitesten voneinander entfernt sind, in eine Teilung fällt. Durch Anordnen der ersten bis dritten Erfassungsschaltungen 10, 20 und 30 in einer solchen unmittelbaren Nähe zueinander kann verhindert werden, dass die ersten bis dritten Erfassungsschaltungen 10, 20 und 30 wechselseitig unterschiedlichen Rauschmagnetfeldern ausgesetzt werden und dass sich die physischen Abstände von der Skala 1 zu den ersten bis dritten Erfassungsschaltungen 10, 20 und 30 signifikant voneinander unterscheiden. Es kann auch verhindert werden, dass sich die effektiven Abstände von der Skala 1 zu den ersten bis dritten Erfassungsschaltungen 10, 20 und 30 zum Beispiel aufgrund einer Anhaftung von magnetischem Metallpulver an der Skala 1 signifikant unterscheiden. Auf diese Weise kann die erste Ausführungsform verhindern, dass die ersten bis dritten Erfassungsschaltungen 10, 20 und 30 wechselseitig unterschiedliche Erfassungseigenschaften haben.

**[0089]** Ferner wird in der ersten Ausführungsform das erste Post-Berechnungssignal Sa durch Berech-

nung mit mindestens dem ersten Erfassungssignal S1 und dem dritten Erfassungssignal S3 erzeugt und das zweite Post-Berechnungssignal Sb wird durch Berechnung mit mindestens dem zweiten Erfassungssignal S2 und dem dritten Erfassungssignal S3 erzeugt. Somit wird in der ersten Ausführungsform das dritte Erfassungssignal S3 sowohl in der Berechnung zur Erzeugung des ersten Post-Berechnungssignals Sa wie auch in der Berechnung zur Erzeugung des zweiten Post-Berechnungssignals Sb verwendet. In der ersten Ausführungsform sind die ersten bis dritten Erfassungsschaltungen **10**, **20** und **30** in unmittelbarer Nähe zueinander angeordnet. Wenn daher unerwünschte Variationskomponenten auf den ersten bis dritten Erfassungssignalen S1 bis S3 überlagert werden, zum Beispiel aufgrund von Variationen im Abstand zwischen der Skala **1** und dem Magnetsensor **2** oder eines Rauschmagnetfeldes, das an den Magnetsensor **2** angelegt wird, sind die Variationskomponenten der ersten bis dritten Erfassungssignale S1 bis S3 annähernd phasengleich miteinander. Daher können durch Erzeugen des ersten und zweiten Post-Berechnungssignals Sa und Sb in der oben beschriebenen Weise das erste und zweite Post-Berechnungssignal Sa und Sb mit verringerten unerwünschten Variationskomponenten erhalten werden. Folglich ermöglicht die erste Ausführungsform, unter Verwendung des ersten und zweiten Post-Berechnungssignals Sa und Sb, die exakte Erfassung einer physikalischen Größe, die mit dem relativen Positionsverhältnis zwischen der Skala **1** und dem Magnetsensor **2** in Zusammenhang steht, einschließlich der Richtung der relativen Bewegung der Skala **1** in Bezug auf den Magnetsensor **2**. In der ersten Ausführungsform wird insbesondere das erste Post-Berechnungssignal Sa durch eine Berechnung erzeugt, die die Ermittlung der Differenz zwischen dem ersten Erfassungssignal S1 und dem dritten Erfassungssignal S3 beinhaltet, während das zweite Post-Berechnungssignal Sb durch eine Berechnung erzeugt wird, die die Ermittlung der Differenz zwischen dem zweiten Erfassungssignal S2 und dem dritten Erfassungssignal S3 beinhaltet. Dies ermöglicht, dass das erzeugte erste und zweite Post-Berechnungssignal Sa und Sb keine oder fast keine unerwünschten Variationskomponenten enthalten.

**[0090]** Folglich ermöglicht die erste Ausführungsform die exakte Erfassung einer physikalischen Größe, die mit dem relativen Positionsverhältnis zwischen der Skala **1** und dem Magnetsensor **2** in Zusammenhang steht, einschließlich der Richtung der relativen Bewegung der Skala **1** in Bezug auf den Magnetsensor **2**, für das Magnetsensorsystem, in dem das relative Positionsverhältnis zwischen der Skala **1** und dem Magnetsensor **2** um zwei Teilungen oder mehr veränderbar ist.

[Zweite Ausführungsform]

**[0091]** Es wird nun eine zweite Ausführungsform der Erfindung unter Bezugnahme auf **Fig. 13** und **Fig. 14** beschrieben. **Fig. 13** ist eine perspektivische Ansicht, die die allgemeine Konfiguration eines Magnetsensorsystems gemäß der zweiten Ausführungsform zeigt. **Fig. 14** ist ein erklärendes Diagramm, das den Betrieb des Magnetsensorsystems gemäß der zweiten Ausführungsform zeigt.

**[0092]** Die Konfiguration des Magnetsensorsystems gemäß der zweiten Ausführungsform unterscheidet sich von jener des Magnetsensorsystems gemäß der ersten Ausführungsform auf folgende Weise. Im Magnetsensorsystem gemäß der zweiten Ausführungsform ist die Skala **1** ein Drehkörper, der sich um eine vorgegebene Mittelachse C dreht wie bei der ersten Ausführungsform; der Drehkörper der zweiten Ausführungsform ist jedoch ein Zahnrad **6** mit Zähnen **6a**, die aus einem magnetischen Material gebildet sind. Der Magnetsensor **2** ist so angeordnet, dass er der äußeren Umfangsfläche des Zahnrades **6** zugewandt ist.

**[0093]** Das Magnetsensorsystem gemäß der zweiten Ausführungsform enthält einen Magneten **7** mit einem fixierten Positionsverhältnis zu dem Magnetsensor **2**. **Fig. 13** und **Fig. 14** zeigen ein Beispiel, in dem der Magnet **7** mit dem Magnetsensor **2** zwischen dem Magneten **7** und dem Zahnrad **6** angeordnet ist. Der N-Pol des Magneten **7** weist zum Zahnrad **6**. In **Fig. 14** geben die Pfeile, die mit MF7 bezeichnet sind, einen Magnetfluss an, der vom Magneten **7** erzeugt wird.

**[0094]** Die erste Erfassungsschaltung **10** des Magnetsensors **2** ist an einer ersten Position P1 angeordnet und erfasst ein erstes Magnetfeld MF1, das an die erste Erfassungsschaltung **10** angelegt wird. Die zweite Erfassungsschaltung **20** des Magnetsensors **2** ist an einer zweiten Position P2 angeordnet und erfasst ein zweites Magnetfeld MF2, das an die zweite Erfassungsschaltung **20** angelegt wird. Die dritte Erfassungsschaltung **30** des Magnetsensors **2** ist an einer dritten Position P3 angeordnet und erfasst ein drittes Magnetfeld MF3, das an die dritte Erfassungsschaltung **30** angelegt wird.

**[0095]** In der zweiten Ausführungsform wird jedes der ersten bis dritten Magnetfelder MF1 bis MF3 durch den Magnet **7** erzeugt und ändert seine Richtung, wenn sich das Zahnrad **6** dreht. In **Fig. 14** geben die hohlen Pfeile MF1, MF2 und MF3 die Richtungen des ersten Magnetfeldes MF1, des zweiten Magnetfeldes MF2 bzw. des dritten Magnetfeldes MF3 an. Die Richtungen des ersten, zweiten und dritten Magnetfeldes MF1, MF2 und MF3 entsprechen den Richtungen des Magnetflusses MF7, wenn dieser

durch die erste, zweite bzw. dritte Erfassungsschaltung **10**, **20** und **30** geht.

**[0096]** Wie im Abschnitt der ersten Ausführungsform beschrieben, ist eine Teilung das Ausmaß einer Veränderung im relativen Positionsverhältnis zwischen der Skala **1** und dem Magnetsensor **2**, die die Richtung jedes des ersten bis dritten Magnetfeldes MF1 bis MF3 um eine Periode ändert. In der zweiten Ausführungsform ist eine Teilung in einem Winkel in der Drehrichtung des Drehkörpers oder des Zahnrades **6** angegeben. Insbesondere ist eine Teilung der Winkel, der durch zwei gerade Linien gebildet wird, die die Mittelachse C mit den Mittelpunkten zweier nebeneinander liegender Zähne **6a** des Zahnrades **6** verbinden. In **Fig. 13** sind die obengenannten geraden Linien als gestrichelte Linien dargestellt und der Winkel, der durch die zwei geraden Linien gebildet wird, ist mit dem Symbol  $\beta$  bezeichnet. In dem Beispiel, das in **Fig. 13** dargestellt ist, ist der Winkel  $\beta$   $15^\circ$ . In diesem Beispiel bewirkt eine Drehung des Zahnrades **6**, dass sich die Richtung jedes der ersten bis dritten Magnetfelder MF1 bis MF3 um **24** Perioden ändert, und bewirkt, dass sich das relative Positionsverhältnis zwischen der Skala **1** und dem Magnetsensor **2** um **24** Teilungen ändert. Eine Periode der ersten bis dritten Erfassungssignale S1 bis S3, d.h., ein elektrischer Winkel von  $360^\circ$ , ist gleich einer  $1/24$  Drehung des Zahnrades **6**, d.h., einem  $15$ -Grad Winkel der Drehung des Zahnrades **6**.

**[0097]** Wie in **Fig. 13** dargestellt, sind die Positionsdifferenz  $dp_1$  zwischen der ersten Position P1 und der dritten Position P3 und die Positionsdifferenz  $dp_2$  zwischen der zweiten Position P2 und der dritten Position P3 beide  $1/4$  des Winkels  $\beta$ , das heißt,  $1/4$  Teilung. Zwei der ersten bis dritten Positionen P1 bis P3, die in der ersten Richtung D1 am weitesten voneinander entfernt sind, sind die erste Position P1 und die zweite Position P2. Die Positionsdifferenz zwischen der ersten Position P1 und der zweiten Position P2 in der ersten Richtung D1 ist  $1/2$  des Winkels  $\beta$ , das heißt,  $1/2$  Teilung.

**[0098]** Teile (a), (b), (c) und (d) von **Fig. 14** zeigen vier relative Positionsverhältnisse zwischen der Skala **1** und dem Magnetsensor **2**. Teil (a) zeigt einen Zustand, in dem der Mittelpunkt einer der Zähne **6a** des Zahnrades **6** dem Magneten **7** am nächsten liegt. Teil (b) zeigt einen Zustand, in dem das Zahnrad **6** um  $3^\circ$  in eine Richtung gegen den Uhrzeigersinn aus dem Zustand, der in Teil (a) gezeigt ist, gedreht wurde. Teil (c) zeigt einen Zustand, in dem das Zahnrad **6** um  $4,5^\circ$  in eine Richtung gegen den Uhrzeigersinn aus dem Zustand der in Teil (b) gezeigt ist, gedreht wurde, insbesondere einen Zustand, in dem das Zahnrad **6** um  $1/2$  Teilung ( $7,5^\circ$ ) in eine Richtung gegen den Uhrzeigersinn aus dem Zustand, der in Teil (a) gezeigt ist, gedreht wurde. Teil (d) zeigt einen Zustand, in dem das Zahnrad **6** um  $4,5^\circ$  in eine Richtung ge-

gen den Uhrzeigersinn aus dem Zustand, der in Teil (c) gezeigt ist, gedreht wurde.

**[0099]** Jedes der ersten bis dritten Magnetfelder MF1 bis MF3 ändert seine Richtung auf folgende Weise, wenn sich das Zahnrad **6** dreht. Hier wird die Aufmerksamkeit auf zwei nebeneinander liegende Zähne 6a1 und 6a2 des Zahnrades **6** gerichtet. In den Zuständen, die in Teilen (a) und (b) von **Fig. 14** gezeigt sind, ist der Abstand zwischen dem Zahn 6a1 und dem Magneten **7** kleiner als der Abstand zwischen dem Zahn 6a2 und dem Magneten **7**. In dem Zustand, der in Teil (c) von **Fig. 14** dargestellt ist, ist der Abstand zwischen dem Zahn 6a1 und dem Magneten **7** gleich dem Abstand zwischen dem Zahn 6a2 und dem Magneten **7**. In dem Zustand, der in Teil (d) von **Fig. 14** dargestellt ist, ist der Abstand zwischen dem Zahn 6a2 und dem Magneten **7** kleiner als der Abstand zwischen dem Zahn 6a1 und dem Magneten **7**.

**[0100]** Zunächst wird die Richtung des ersten Magnetfeldes MF1 beschrieben. Zunächst wird in dem Zustand, der in Teil (a) von **Fig. 14** dargestellt ist, das erste Magnetfeld MF1 in die Richtung von der ersten Position P1 zum Zahn 6a1 orientiert, das heißt, in die Richtung nach unten links in **Fig. 14**. Wenn sich dann das Zahnrad **6** in den Zustand dreht, der in Teil (b) von **Fig. 14** dargestellt ist, ist das erste Magnetfeld MF1 in die Richtung von der ersten Position P1 zum Mittelpunkt zwischen dem Zahn 6a1 und dem Zahn 6a2 orientiert, das heißt, im Wesentlichen in die Abwärtsrichtung in **Fig. 14**. Wenn sich dann das Zahnrad **6** in den Zustand dreht, der in Teil (c) von **Fig. 14** dargestellt ist, ist das erste Magnetfeld MF1 in die Richtung von der ersten Position P1 zum Zahn 6a2 orientiert, das heißt, in die Richtung nach unten rechts in **Fig. 14**. Wenn sich dann das Zahnrad **6** in den Zustand dreht, der in Teil (d) von **Fig. 14** dargestellt ist, ist das erste Magnetfeld MF1 in die Richtung von der ersten Position P1 zum Zahn 6a2 orientiert, das heißt, im Wesentlichen in der Abwärtsrichtung in **Fig. 14**.

**[0101]** Es wird nun die Richtung des zweiten Magnetfeldes MF2 beschrieben. Zunächst wird in dem Zustand, der in Teil (a) von **Fig. 14** beschrieben ist, das zweite Magnetfeld MF2 in die Richtung von der zweiten Position P2 zum Zahn 6a1 orientiert, das heißt, in der Abwärtsrichtung in **Fig. 14**. Wenn sich dann das Zahnrad **6** in den Zustand dreht, der in Teil (b) von **Fig. 14** dargestellt ist, ist das zweite Magnetfeld MF2 in die Richtung von der zweiten Position P2 zum Zahn 6a1 orientiert, das heißt, im Wesentlichen in der Abwärtsrichtung in **Fig. 14**. Wenn sich dann das Zahnrad **6** in den Zustand dreht, der in Teil (c) von **Fig. 14** dargestellt ist, ist das zweite Magnetfeld MF2 in die Richtung von der zweiten Position P2 zum Zahn 6a1 orientiert, das heißt, in die Richtung nach unten links in **Fig. 14**. Wenn sich dann das Zahnrad **6** in den Zustand dreht, der in Teil (d) von **Fig. 14**

dargestellt ist, ist das zweite Magnetfeld MF2 in die Richtung von der zweiten Position P2 zum Mittelpunkt zwischen dem Zahn 6a1 und dem Zahn 6a2 orientiert, das heißt, im Wesentlichen in der Abwärtsrichtung in Fig. 14.

**[0102]** Es wird nun die Richtung des dritten Magnetfeld MF3 beschrieben. Zunächst ist in dem Zustand, der in Teil (a) von Fig. 14 dargestellt ist, das dritte Magnetfeld MF3 in die Richtung von der dritten Position P3 zum Zahn 6a1 orientiert, das heißt, in der Abwärtsrichtung in Fig. 14. Wenn sich dann das Zahnrad 6 in den Zustand dreht, der in Teil (b) von Fig. 14 dargestellt ist, ist das dritte Magnetfeld MF3 in die Richtung von der dritten Position P3 zum Zahn 6a1 orientiert, das heißt, in die Richtung nach unten links in Fig. 14. Wenn sich dann das Zahnrad 6 in den Zustand dreht, der in Teil (c) von Fig. 14 dargestellt ist, ist das dritte Magnetfeld MF3 in die Richtung von der dritten Position P3 zum Mittelpunkt zwischen dem Zahn 6a1 und dem Zahn 6a2 orientiert, das heißt, in der Abwärtsrichtung in Fig. 14. Wenn sich dann das Zahnrad 6 in den Zustand dreht, der in Teil (d) von Fig. 14 dargestellt ist, ist das dritte Magnetfeld MF3 in die Richtung von der dritten Position P3 zum Zahn 6a2 orientiert, das heißt, in die Richtung nach unten rechts in Fig. 14.

**[0103]** Auf diese Weise ändert jedes der ersten bis dritten Magnetfelder MF1 bis MF3 seine Richtung, wenn sich das Zahnrad 6 dreht. In dem in Fig. 14 dargestellten Beispiel ändert sich die Richtung des ersten Magnetfeldes MF1 periodisch von der Richtung nach unten links zur Abwärtsrichtung, dann zu der Richtung nach unten rechts und dann zur Abwärtsrichtung in dieser Reihenfolge. Die Richtung des zweiten Magnetfeldes MF2 ändert sich periodisch von der Richtung nach unten rechts zur Abwärtsrichtung, dann zur Richtung nach unten links und dann zur Abwärtsrichtung in dieser Reihenfolge. Die Richtung des dritten Magnetfeldes MF3 ändert sich periodisch von der Abwärtsrichtung zur Richtung nach unten links, dann zur Abwärtsrichtung und dann zur Richtung nach unten rechts in dieser Reihenfolge.

**[0104]** Die erste Erfassungsschaltung 10 erfasst zum Beispiel die Stärke einer Komponente des ersten Magnetfeldes MF1 in der horizontalen Richtung in Fig. 14 und gibt ein erstes Erfassungssignal aus, das die Stärke angibt. Die zweite Erfassungsschaltung 20 erfasst zum Beispiel die Stärke einer Komponente des zweiten Magnetfeldes MF2 in der horizontalen Richtung in Fig. 14 und gibt ein zweites Erfassungssignal aus, das die Stärke angibt. Die dritte Erfassungsschaltung 30 erfasst zum Beispiel die Stärke einer Komponente des dritten Magnetfeldes MF3 in der horizontalen Richtung in Fig. 14 und gibt ein drittes Erfassungssignal aus, das die Stärke angibt. Das dritte Erfassungssignal weist eine Phasendifferenz von  $90^\circ$  in Bezug auf das erste Erfassungssignal

auf. Das zweite Erfassungssignal weist eine Phasendifferenz von  $90^\circ$  in Bezug auf das dritte Erfassungssignal auf. Das zweite Erfassungssignal weist eine Phasendifferenz von  $180^\circ$  in Bezug auf das erste Erfassungssignal auf.

**[0105]** Die übrigen Konfigurationen, Funktionen und Auswirkungen der zweiten Ausführungsform sind ähnlich jenen der ersten Ausführungsform.

[Dritte Ausführungsform]

**[0106]** Es wird nun eine dritte Ausführungsform der Erfindung beschrieben. Zunächst wird die Konfiguration eines Magnetsensorsystems gemäß der dritten Ausführungsform unter Bezugnahme auf Fig. 15 bis Fig. 17 beschrieben. Fig. 15 ist eine perspektivische Ansicht, die die allgemeine Konfiguration des Magnetsensorsystems gemäß der dritten Ausführungsform zeigt. Fig. 16 ist eine Draufsicht, die die allgemeine Konfiguration des Magnetsensorsystems gemäß der dritten Ausführungsform zeigt. Fig. 17 ist eine Seitenansicht, die die Skala und die ersten bis dritten Erfassungsschaltungen der dritten Ausführungsform zeigt.

**[0107]** Die Konfiguration des Magnetsensorsystems gemäß der dritten Ausführungsform unterscheidet sich von jener des Magnetsensorsystems gemäß der ersten Ausführungsform auf folgende Weise. In der dritten Ausführungsform, wie in Fig. 15 bis Fig. 17 dargestellt, unterscheiden sich die Positionsdifferenz  $dp_1$  zwischen der ersten Position P1 und der dritten Position P3, die Positionsdifferenz  $dp_2$  zwischen der zweiten Position P2 und der dritten Position P3 und die Positionsdifferenz zwischen der ersten Position P1 und der zweiten Position P2 von jenen der ersten Ausführungsform. In der dritten Ausführungsform sind beide Positionsdifferenzen  $dp_1$  und  $dp_2$   $1/8$  des Winkels  $\alpha$ , das heißt,  $1/8$  Teilung. Zwei der ersten bis dritten Positionen P1 bis P3, die in der ersten Richtung D1 am weitesten voneinander entfernt sind, sind die erste Position P1 und die zweite Position P2. Die Positionsdifferenz zwischen der ersten Position P1 und der zweiten Position P2 in der ersten Richtung D1 ist  $1/4$  des Winkels  $\alpha$ , das heißt,  $1/4$  Teilung.

**[0108]** Das dritte Erfassungssignal S3 weist eine Phasendifferenz von  $45^\circ$  in Bezug auf das erste Erfassungssignal S1 auf. Das zweite Erfassungssignal S2 weist eine Phasendifferenz von  $45^\circ$  in Bezug auf das dritte Erfassungssignal S3 auf. Das zweite Erfassungssignal S2 weist eine Phasendifferenz von  $90^\circ$  in Bezug auf das erste Erfassungssignal S1 auf.

**[0109]** Es werden nun das erste und zweite Post-Berechnungssignal der dritten Ausführungsform unter Bezugnahme auf Fig. 18 bis Fig. 21 beschrieben. Fig. 18 ist ein Wellenformdiagramm, das das erste und zweite Post-Berechnungssignal Sa und Sb wäh-

rend der Vorwärtsdrehung zeigt. **Fig. 19** ist ein Wellenformdiagramm, das das erste und zweite binär codierte Signal DSa und DSb während der Vorwärtsdrehung zeigt. **Fig. 20** ist ein Wellenformdiagramm, das das erste und zweite Post-Berechnungssignal Sa und Sb während der Rückwärtsdrehung zeigt. **Fig. 21** ist ein Wellenformdiagramm, das das erste und zweite binär codierte Signal DSa und DSb während der Rückwärtsdrehung zeigt. **Fig. 18 bis Fig. 21** verwenden dieselben horizontalen und vertikalen Achsen wie jene von **Fig. 9 bis Fig. 12**. Die Post-Berechnungssignale Sa und Sb und die binär codierten Signale DSa und DSb werden auf dieselbe Weise wie in der ersten Ausführungsform erzeugt.

**[0110]** Während der Vorwärtsdrehung, wie in **Fig. 18** und **Fig. 19** dargestellt, ist die Phase des zweiten Post-Berechnungssignals Sb um  $45^\circ$  in Bezug auf die Phase des ersten Post-Berechnungssignals Sa verzögert und die Phase des zweiten binär codierten Signals DSb ist um  $45^\circ$  in Bezug auf die Phase des ersten binär codierten Signals DSa verzögert. Während der Rückwärtsdrehung, wie in **Fig. 20** und **Fig. 21** dargestellt, ist die Phase des zweiten Post-Berechnungssignals Sb um  $45^\circ$  in Bezug auf die Phase des ersten Post-Berechnungssignals Sa vorgerückt und die Phase des zweiten binär codierten Signals DSb ist um  $45^\circ$  in Bezug auf die Phase des ersten binär codierten Signals DSa vorgerückt. In der dritten Ausführungsform ermöglicht die Verwendung des ersten und zweiten binär codierten Signals DSa und DSb die Erfassung der Drehrichtung des Magneten **5** und die Ermittlung der Drehposition und/oder der Drehzahl des Magneten **5**, wie bei der ersten Ausführungsform.

**[0111]** In der dritten Ausführungsform liegen die ersten bis dritten Positionen P1 bis P3 näher beieinander als in der ersten Ausführungsform. Somit sind die Auswirkungen, die im Abschnitt der ersten Ausführungsform beschrieben sind, in der dritten Ausführungsform bemerkenswerter.

**[0112]** Der Drehkörper der dritten Ausführungsform kann das Zahnrad **6** sein, das im Abschnitt der zweiten Ausführungsform beschrieben ist. Die übrigen Konfigurationen, Funktionen und Auswirkungen der dritten Ausführungsform sind ähnlich jenen der ersten oder zweiten Ausführungsform.

[Vierte Ausführungsform]

**[0113]** Es wird nun eine vierte Ausführungsform der Erfindung unter Bezugnahme auf **Fig. 22** beschrieben. **Fig. 22** ist eine perspektivische Ansicht, die die allgemeine Konfiguration eines Magnetsensorsystems gemäß der vierten Ausführungsform zeigt. Das Magnetsensorsystem gemäß der vierten Ausführungsform unterscheidet sich von jenem gemäß der ersten Ausführungsform auf folgende Weise. Im Magnetsensorsystem gemäß der vierten Ausfüh-

rungsform ist die Skala **1** eine lineare Skala **8** mit mehreren Paaren von N- und S-Polen, die abwechselnd in einem linearen Aufbau angeordnet sind. In dem in **Fig. 22** dargestellten Beispiel hat die lineare Skala **8** eine Seitenfläche **8a** parallel zu der Richtung, in der die N- und S-Pole angeordnet sind. Der Magnetsensor **2** ist so angeordnet, dass er der Seitenfläche **8a** der linearen Skala **8** zugewandt ist.

**[0114]** Entweder die lineare Skala **8** oder der Magnetsensor **2** bewegt sich linear als Reaktion auf die Bewegung eines sich bewegenden Objekts (nicht dargestellt). Dies verändert das relative Positionsverhältnis zwischen der Skala **1** und dem Magnetsensor **2**. Das Magnetsensorsystem erfasst die relative Position und/oder Geschwindigkeit der linearen Skala **8** in Bezug auf den Magnetsensor **2** als die physikalische Größe in Zusammenhang mit dem relativen Positionsverhältnis zwischen der Skala **1** und dem Magnetsensor **2**. Die erste Richtung D1, in der sich das relative Positionsverhältnis zwischen der Skala **1** und dem Magnetsensor **2** ändert, ist die Richtung, in der die N- und S-Pole der linearen Skala **8** angeordnet sind.

**[0115]** Die erste Erfassungsschaltung **10** des Magnetsensors **2** ist an einer ersten Position P1 angeordnet und erfasst ein erstes Magnetfeld, das an die erste Erfassungsschaltung angelegt wird **10**. Die zweite Erfassungsschaltung **20** des Magnetsensors **2** ist an einer zweiten Position P2 angeordnet und erfasst ein zweites Magnetfeld, das an die zweite Erfassungsschaltung **20** angelegt wird. Die dritte Erfassungsschaltung **30** des Magnetsensors **2** ist an einer dritten Position P3 angeordnet und erfasst ein drittes Magnetfeld, das an die dritte Erfassungsschaltung **30** angelegt wird. Die ersten bis dritten Positionen P1 bis P3 unterscheiden sich voneinander in der ersten Richtung D1. In dem in **Fig. 22** dargestellten Beispiel sind die ersten bis dritten Positionen P1 bis P3 in der Reihenfolge erste Position P1, dritte Position P3 und zweite Position P2 von links in **Fig. 22** angeordnet. In der vorliegenden Erfindung ist jedoch die Reihenfolge der Anordnung der Positionen P1 bis P3 nicht auf dieses Beispiel beschränkt. Die ersten bis dritten Positionen P1 bis P3 sind in eine Richtung orthogonal zur Seitenfläche **8a** und in der vertikalen Richtung in **Fig. 22** dieselben.

**[0116]** In der vierten Ausführungsform wird jedes der ersten bis dritten Magnetfelder durch die lineare Skala **8** erzeugt und ändert seine Richtung als Reaktion auf eine Veränderung im relativen Positionsverhältnis zwischen der linearen Skala **8** und dem Magnetsensor **2**. Obwohl nicht dargestellt, dreht sich die Richtung des ersten Magnetfeldes um die erste Position P1 in einer Ebene senkrecht zur Seitenfläche **8a** und parallel zur ersten Richtung D1. Die Richtung des zweiten Magnetfeldes dreht sich um die zweite Position P2 in die Ebene senkrecht zur Seitenfläche

**8a** und parallel zur ersten Richtung D1. Die Richtung des dritten Magnetfeldes dreht sich um die dritte Position P3 in der Ebene senkrecht zur Seitenfläche **8a** und parallel zur ersten Richtung D1.

**[0117]** Wie im Abschnitt der ersten Ausführungsform beschrieben, ist eine Teilung das Ausmaß einer Veränderung im relativen Positionsverhältnis zwischen der Skala **1** und dem Magnetsensor **2**, die die Richtung sowohl des ersten wie auch zweiten Magnetfeldes um eine Periode verändert. In der vierten Ausführungsform ist eine Teilung der Abstand L zwischen den Mittelpunkten von zwei benachbarten N-Polen der linearen Skala **8**.

**[0118]** In der vierten Ausführungsform ist die Positionsdifferenz zwischen beliebigen zwei der ersten bis dritten Positionen P1 bis P3 in der ersten Richtung D1 durch den Abstand zwischen den zwei Positionen in der ersten Richtung D1 definiert. Die Positionsdifferenzen dp1 zwischen der ersten Position P1 und der dritten Position P3 und die Positionsdifferenz dp2 zwischen der zweiten Position P2 und der dritten Position P3 sind beide 1/4 des Abstandes L, das heißt, 1/4 Teilung. Zwei der ersten bis dritten Positionen P1 bis P3, die in der ersten Richtung D1 am weitesten voneinander entfernt sind, sind die erste Position P1 und die zweite Position P2. Die Positionsdifferenz zwischen der ersten Position P1 und der zweiten Position P2 in der ersten Richtung D1 ist 1/2 des Abstandes L, das heißt, 1/2 Teilung.

**[0119]** Jede der ersten bis dritten Erfassungsschaltungen **10**, **20** und **30** enthält die MR-Elemente **50**, die im Abschnitt der ersten Ausführungsform beschrieben sind (siehe **Fig. 7**). Die ersten bis dritten Erfassungsschaltungen **10**, **20** und **30** sind so angeordnet, dass die Ebene der Schichten, die die darin enthaltenen MR-Elemente **50** bilden, parallel zur Seitenfläche **8a** der linearen Skala **8** liegt.

**[0120]** Die ersten bis dritten Erfassungsschaltungen **10**, **20** und **30** der vierten Ausführungsform können auf dieselbe Weise gestaltet sein wie das in **Fig. 5** dargestellte Beispiel, das im Abschnitt der ersten Ausführungsform beschrieben ist. In diesem Fall können die ersten bis dritten Erfassungsschaltungen **10**, **20** und **30** so angeordnet sein, dass die erste Richtung D1 der vierten Ausführungsform parallel zur X-Richtung verläuft, die in **Fig. 5** dargestellt ist, und dass die Richtung orthogonal zur Seitenfläche **8a** der linearen Skala **8** parallel zur Y-Richtung verläuft, die in **Fig. 5** dargestellt ist.

**[0121]** Ferner können, wie in der dritten Ausführungsform, beide Positionsdifferenzen dp1 und dp2 1/8 des Abstandes L, das heißt, 1/8 Teilung sein. In diesem Fall ist die Positionsdifferenz zwischen der ersten Position P1 und der zweiten Position P2 1/4 des Abstandes L, das heißt, 1/4 Teilung. Der Rest der

Konfiguration, Funktion und Auswirkungen der vierten Ausführungsform ist ähnlich jenen der ersten oder dritten Ausführungsform.

**[0122]** Die vorliegende Erfindung ist nicht auf die vorangehenden Ausführungsformen beschränkt und es können verschiedene Modifizierungen an ihr vorgenommen werden. Zum Beispiel sind der Inhalt in der Berechnung zur Erzeugung des ersten Post-Berechnungssignals Sa und der Inhalt in der Berechnung zur Erzeugung des zweiten Post-Berechnungssignals Sb nicht auf die Beispiele beschränkt, die in den vorangehenden Ausführungsformen gezeigt sind, sondern können nach Wunsch modifiziert werden, insofern als die Anforderungen der beiliegenden Ansprüche erfüllt sind. Mindestens eines des ersten und zweiten Post-Berechnungssignals Sa und Sb kann durch Berechnung unter Verwendung der ersten bis dritten Erfassungssignale S1 bis S3 erzeugt werden. Zum Beispiel kann das erste Post-Berechnungssignal Sa durch eine Berechnung erzeugt werden, die  $S1 - (S2 + S3)/\sqrt{2}$  enthält, und das zweite Post-Berechnungssignal Sb kann durch eine Berechnung erzeugt werden, die  $S2 - (S1 + S3)/\sqrt{2}$  enthält.

**[0123]** Es ist offensichtlich, dass die vorliegende Erfindung angesichts der vorangehenden Beschreibungen in verschiedenen Formen und Modifizierungen ausgeführt werden kann. Daher kann die vorliegende Erfindung im Umfang der folgenden Ansprüche und ihrer Entsprechungen in anderen Formen als den vorangehenden besonders bevorzugten Ausführungsformen ausgeführt werden.

**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 Patentliteratur**

- JP 045571 A [0002, 0009, 0010]
- DE 10311086 A1 [0002, 0007]
- US 7078892 B2 [0002, 0007]

## Patentansprüche

1. Magnetsensorsystem, aufweisend eine Skala und einen Magnetsensor, die in einem relativen Positionsverhältnis angeordnet sind, das in einer ersten Richtung variabel ist, wobei das Magnetsensorsystem zum Erfassen einer physikalischen Größe in Zusammenhang mit dem relativen Positionsverhältnis zwischen der Skala und dem Magnetsensor gestaltet ist, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Magnetsensor eine erste Erfassungsschaltung, die an einer ersten Position angeordnet ist, eine zweite Erfassungsschaltung, die an einer zweiten Position angeordnet ist, und eine dritte Erfassungsschaltung, die an einer dritten Position angeordnet ist, enthält, die erste Erfassungsschaltung ein erstes Erfassungssignal ausgibt, das abhängig von einem ersten Magnetfeld variiert, das an die erste Erfassungsschaltung angelegt wird, die zweite Erfassungsschaltung ein zweites Erfassungssignal ausgibt, das abhängig von einem zweiten Magnetfeld variiert, das an die zweite Erfassungsschaltung angelegt wird, die dritte Erfassungsschaltung ein drittes Erfassungssignal ausgibt, das abhängig von einem dritten Magnetfeld variiert, das an die dritte Erfassungsschaltung angelegt wird, jede von den ersten bis dritten Erfassungsschaltungen ein magnetoresistives Element enthält, das magnetoresistive Element enthält: eine in der Magnetisierung fixierte Schicht mit einer Magnetisierung in einer fixierten Richtung; eine freie Schicht mit einer Magnetisierung, die abhängig von einem angelegten Magnetfeld variiert; und eine nicht-magnetische Schicht, die zwischen der in der Magnetisierung fixierten Schicht und der freien Schicht liegt, jedes von den ersten bis dritten Magnetfeldern seine Richtung periodisch als Reaktion auf eine Veränderung im relativen Positionsverhältnis zwischen der Skala und dem Magnetsensor ändert, das relative Positionsverhältnis zwischen der Skala und dem Magnetsensor um zwei Teilungen oder mehr veränderbar ist, wobei eine Teilung ein Ausmaß einer Veränderung im relativen Positionsverhältnis zwischen der Skala und dem Magnetsensor ist, die die Richtung von jedem von den ersten bis dritten Magnetfeldern um eine Periode verändert, zwei der ersten bis dritten Positionen, die in der ersten Richtung am weitesten voneinander entfernt sind, sich voneinander um eine Teilung oder weniger in der ersten Richtung unterscheiden, die ersten bis dritten Erfassungssignale sich periodisch als Reaktion auf eine Veränderung im relativen Positionsverhältnis zwischen der Skala und dem Magnetsensor ändern und wechselseitig unterschiedliche Phasen haben, das Magnetsensorsystem des Weiteren eine Rechereinheit aufweist, die ein erstes Post-Berechnungssignal durch eine Berechnung erzeugt, die mindestens das erste Erfassungssignal und das dritte Er-

fassungssignal benutzt und ein zweites Post-Berechnungssignal durch eine Berechnung erzeugt, die mindestens das zweite Erfassungssignal und das dritte Erfassungssignal benutzt, und das erste Post-Berechnungssignal und das zweite Post-Berechnungssignal sich periodisch als Reaktion auf eine Veränderung im relativen Positionsverhältnis zwischen der Skala und dem Magnetsensor ändern und wechselseitig unterschiedliche Phasen haben.

2. Magnetsensorsystem nach Anspruch 1, wobei sich zwei der ersten bis dritten Positionen, die in der ersten Richtung am weitesten voneinander entfernt sind, voneinander um 1/2 Teilung oder weniger in der ersten Richtung unterscheiden.

3. Magnetsensorsystem nach Anspruch 1, wobei das erste Post-Berechnungssignal durch eine Berechnung erzeugt wird, die das Ermitteln einer Differenz zwischen dem ersten Erfassungssignal und dem dritten Erfassungssignal beinhaltet, und das zweite Post-Berechnungssignal durch eine Berechnung erzeugt wird, die das Ermitteln einer Differenz zwischen dem zweiten Erfassungssignal und dem dritten Erfassungssignal beinhaltet.

4. Magnetsensorsystem nach einem der Ansprüche 1 bis 3, wobei die Skala ein Drehkörper ist, der sich um eine vorgegebene Mittelachse dreht, die Drehung des Drehkörpers das relative Positionsverhältnis zwischen der Skala und dem Magnetsensor ändert, die erste Richtung eine Richtung einer Drehung des Drehkörpers ist, und die eine Teilung als Winkel in der Drehrichtung des Drehkörpers angegeben ist.

5. Magnetsensorsystem nach Anspruch 4, wobei der Drehkörper mehrere Paare von N- und S-Polen hat, die abwechselnd in einer Umfangsrichtung angeordnet sind, jedes der ersten bis dritten Magnetfelder durch den Drehkörper erzeugt wird und seine Richtung ändert, während sich der Drehkörper dreht, und die eine Teilung ein Winkel ist, der durch zwei gerade Linien gebildet wird, die die Mittelachse mit Mittelpunkt von zwei benachbarten N-Polen des Drehkörpers verbinden.

6. Magnetsensorsystem nach Anspruch 4, wobei der Drehkörper ein Zahnrad mit Zähnen ist, die aus einem magnetischen Material gebildet sind, das Magnetsensorsystem des Weiteren einen Magneten mit einer fixierten Position in Bezug zu dem Magnetsensor aufweist, jedes von den ersten bis dritten Magnetfeldern durch den Magneten erzeugt wird und ihre Richtung ändern, während sich das Zahnrad dreht, und

die eine Teilung ein Winkel ist, der durch zwei gerade Linien gebildet wird, die die Mittelachse mit Mittelpunkten von zwei benachbarten Zähnen verbinden.

7. Magnetsensorsystem nach einem der Ansprüche 1 bis 3, wobei die Skala mehrere Paare von N- und S-Polen aufweist, die abwechselnd in einem linearen Aufbau angeordnet sind, die erste Richtung eine Richtung ist, in die die N- und S-Pole der Skala angeordnet sind, jedes der ersten bis dritten Magnetfelder durch die Skala erzeugt wird und die eine Teilung ein Abstand zwischen Mittelpunkten von zwei benachbarten N-Polen der Skala ist.

8. Magnetsensorsystem nach einem der Ansprüche 1 bis 7, wobei die nicht-magnetische Schicht eine Tunnelsperrschicht ist.

Es folgen 15 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

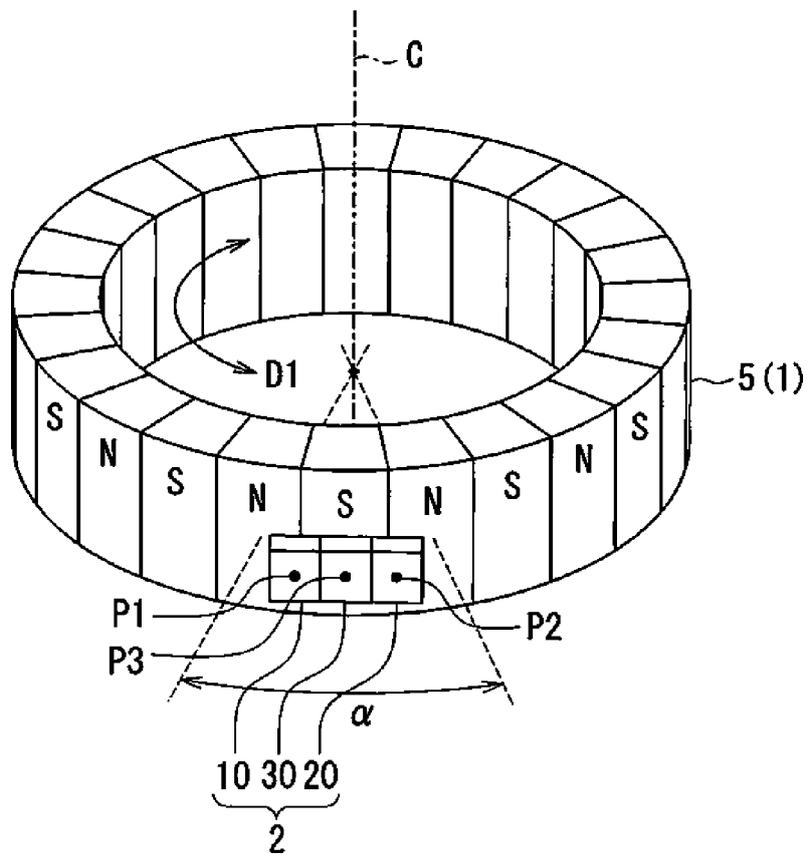


FIG. 1

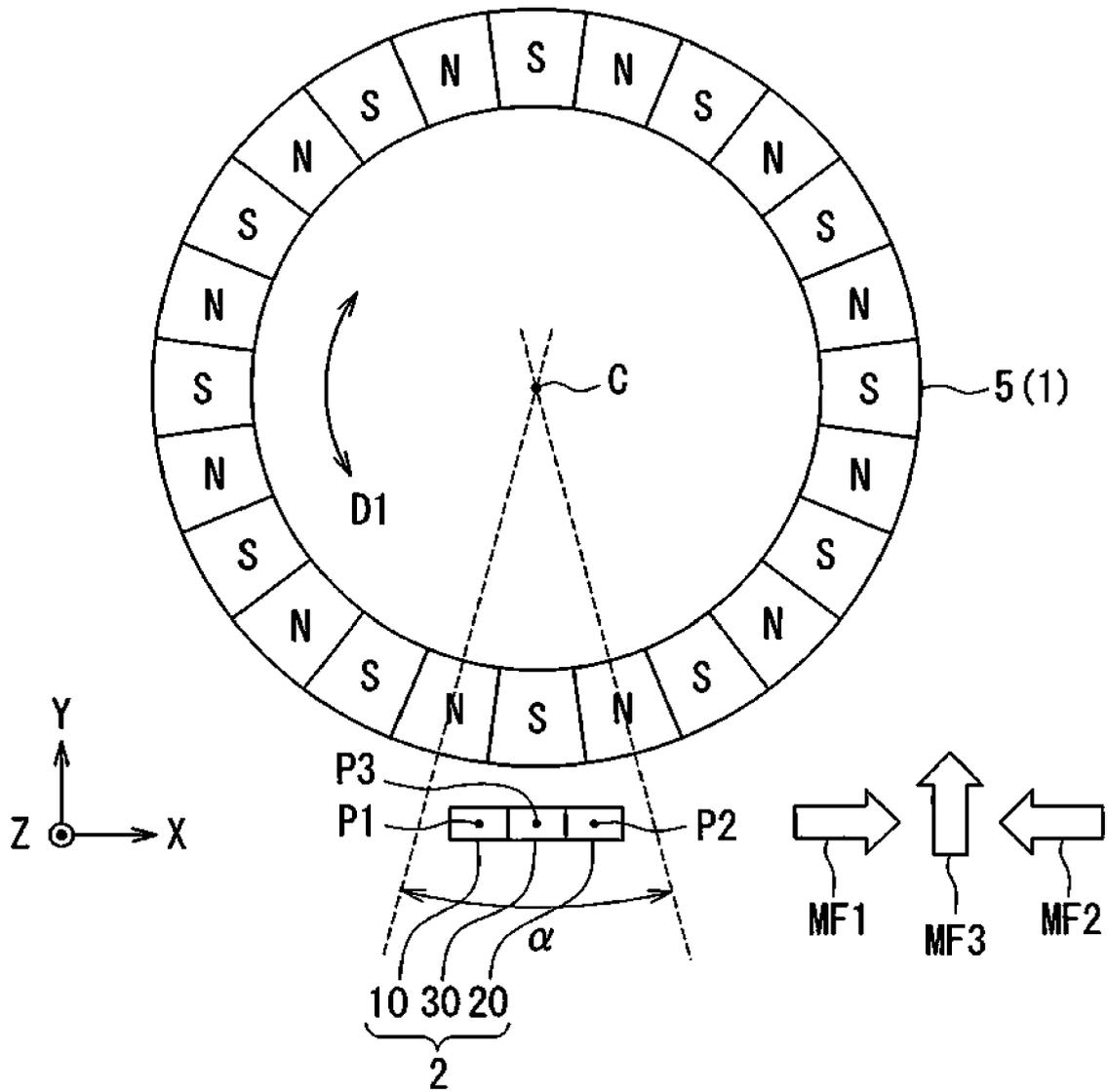


FIG. 2

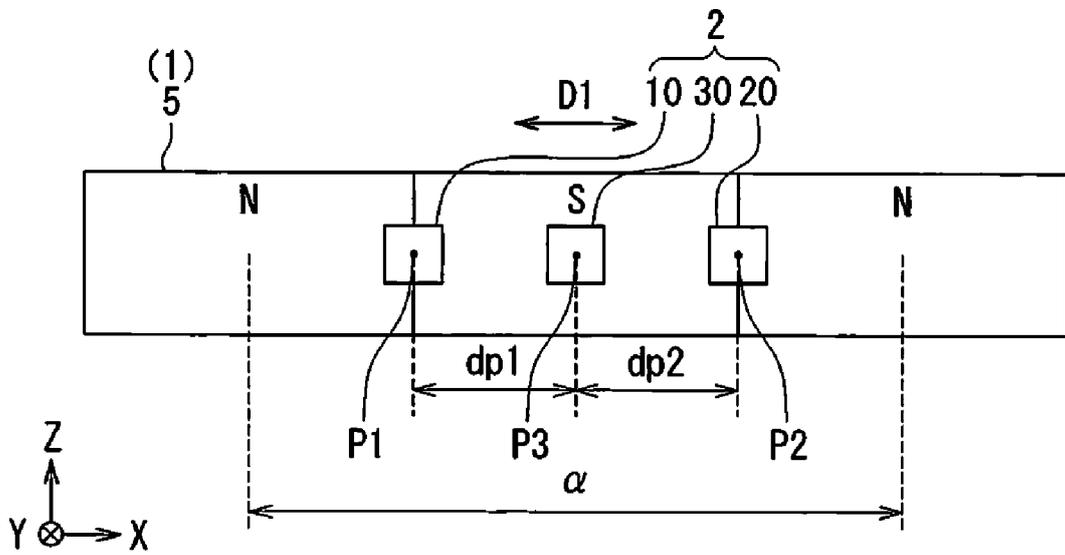


FIG. 3

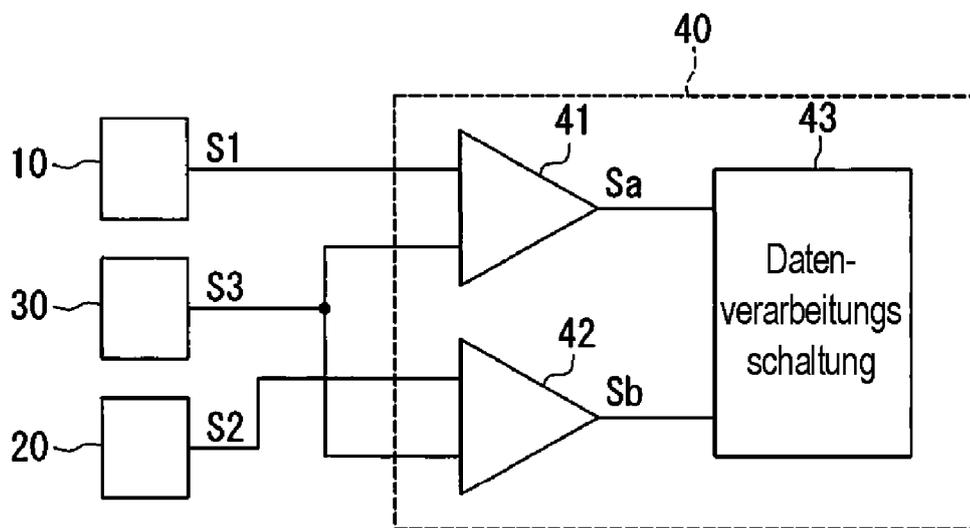


FIG. 4

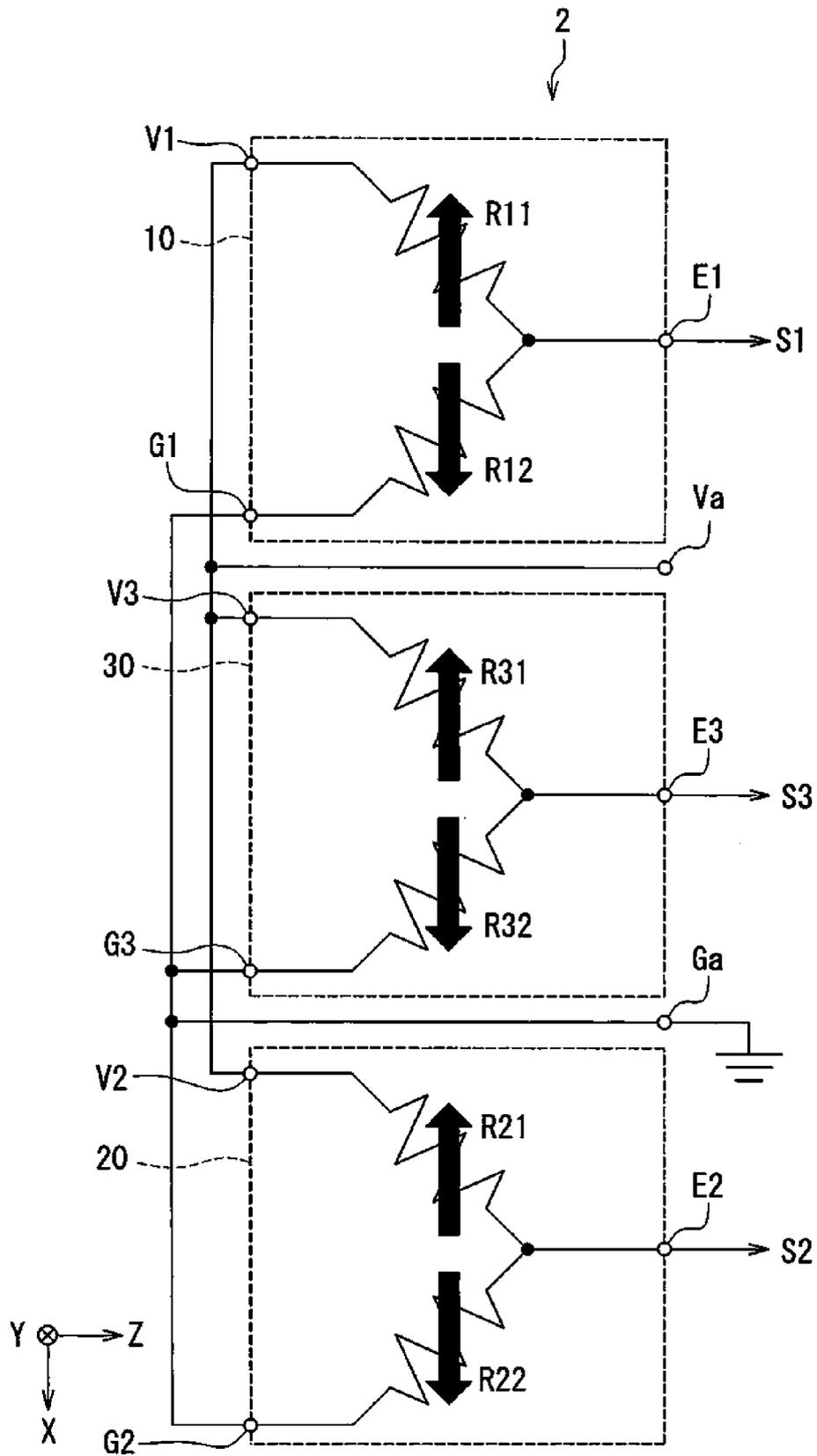


FIG. 5

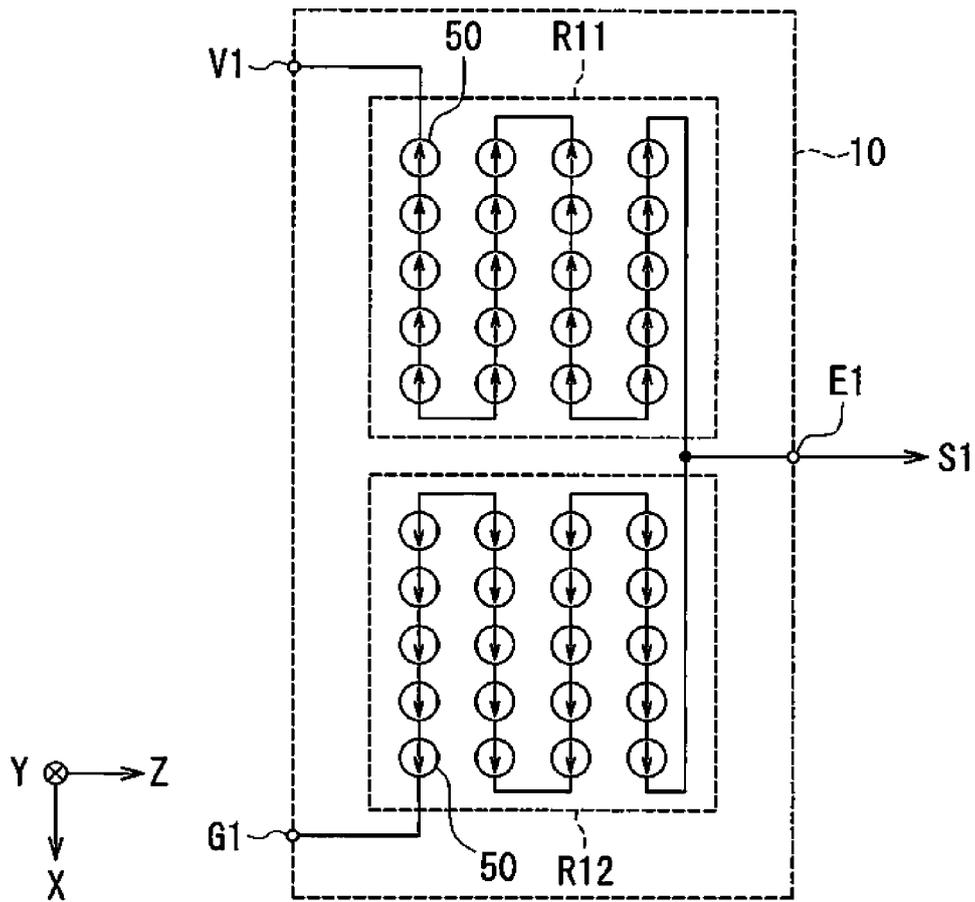


FIG. 6

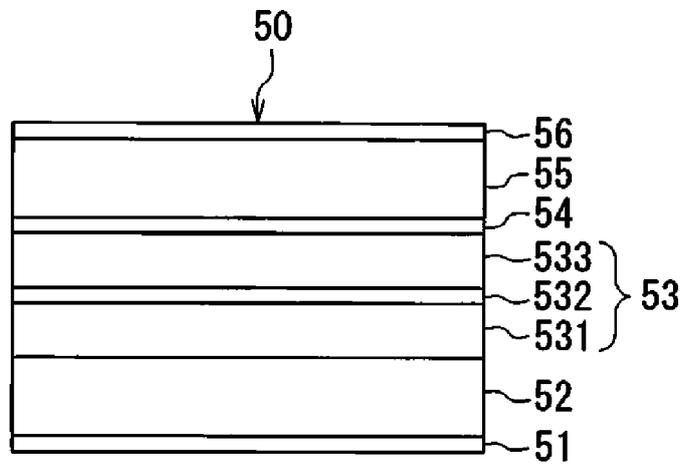


FIG. 7

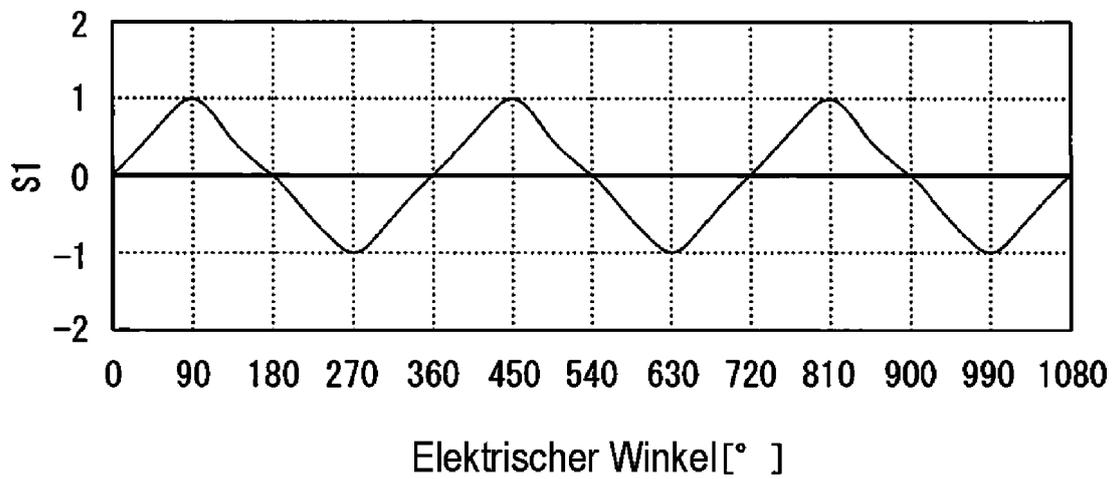


FIG. 8

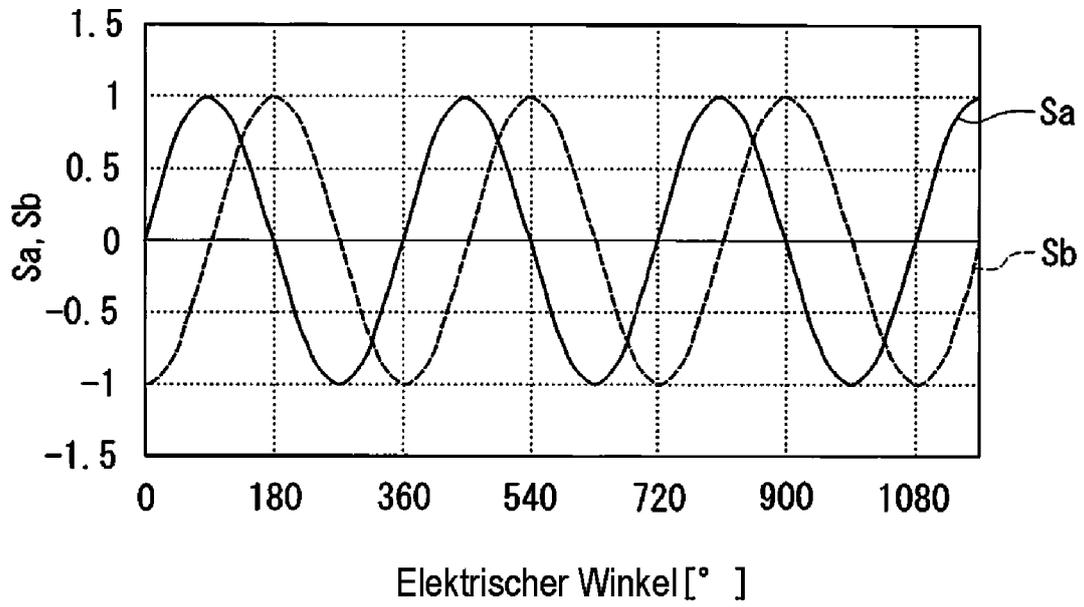


FIG. 9

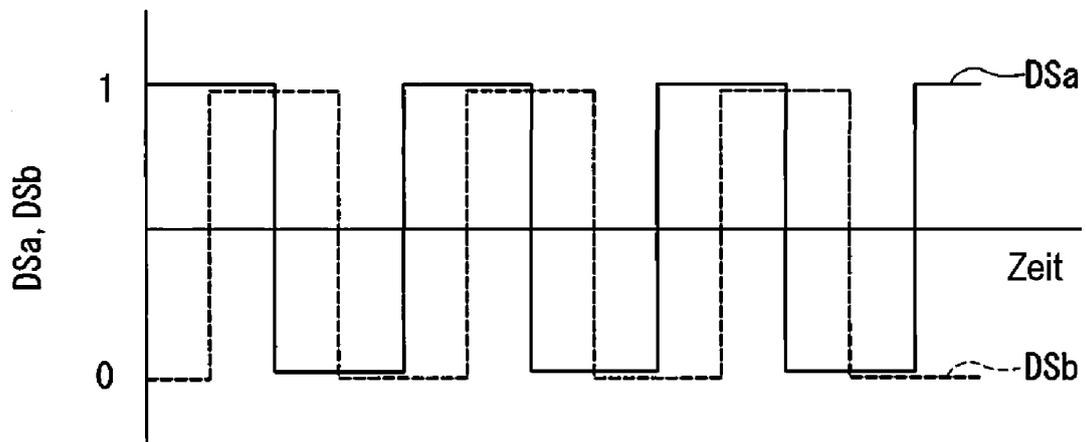


FIG. 10

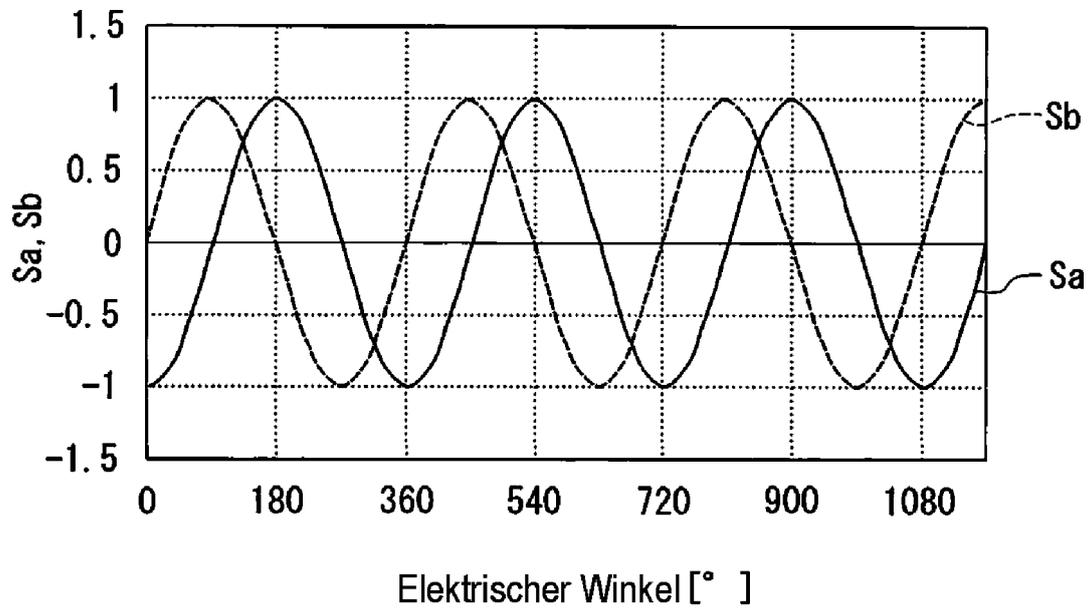


FIG. 11

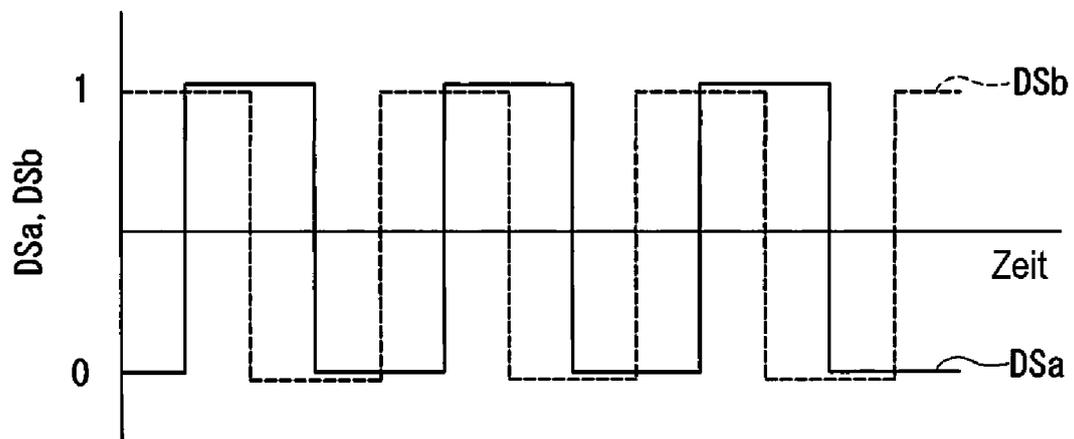


FIG. 12

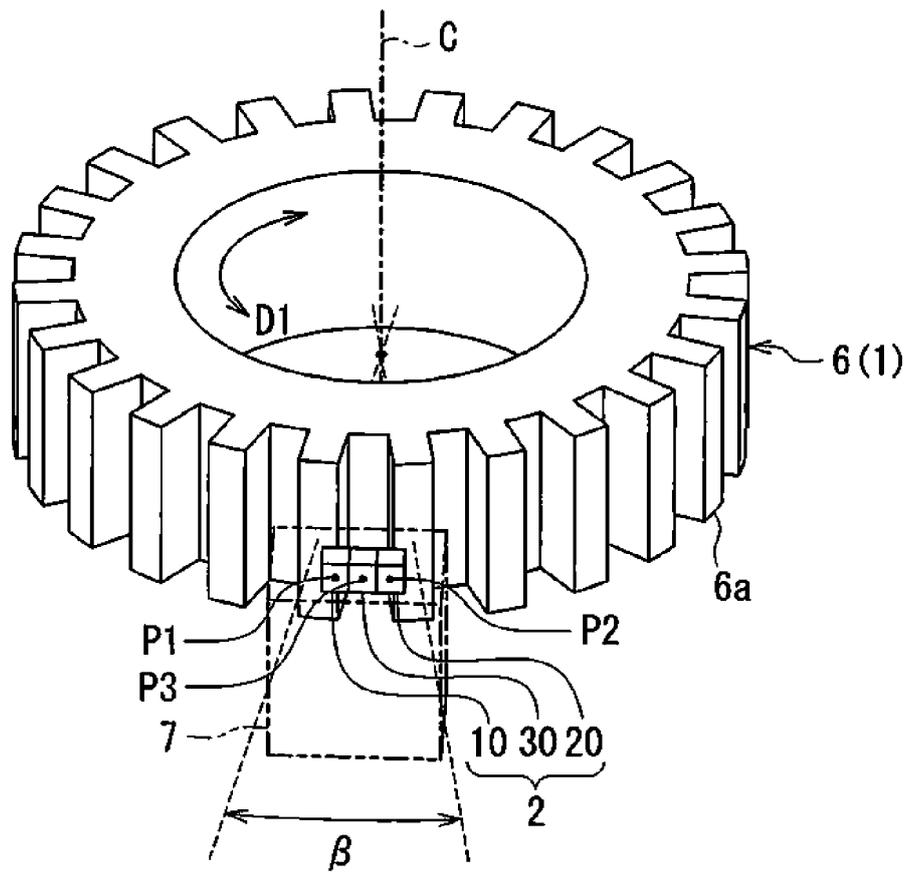


FIG. 13

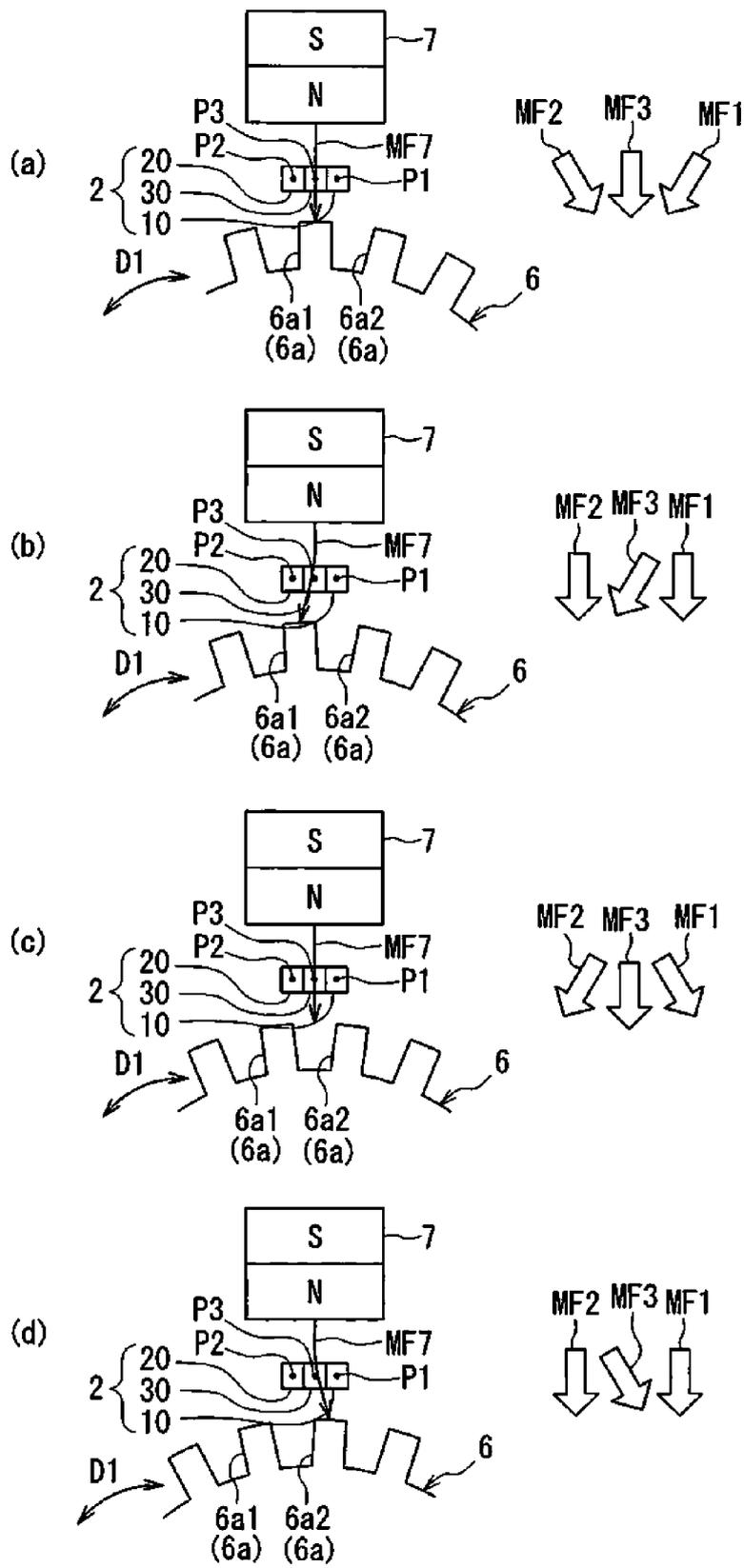


FIG. 14

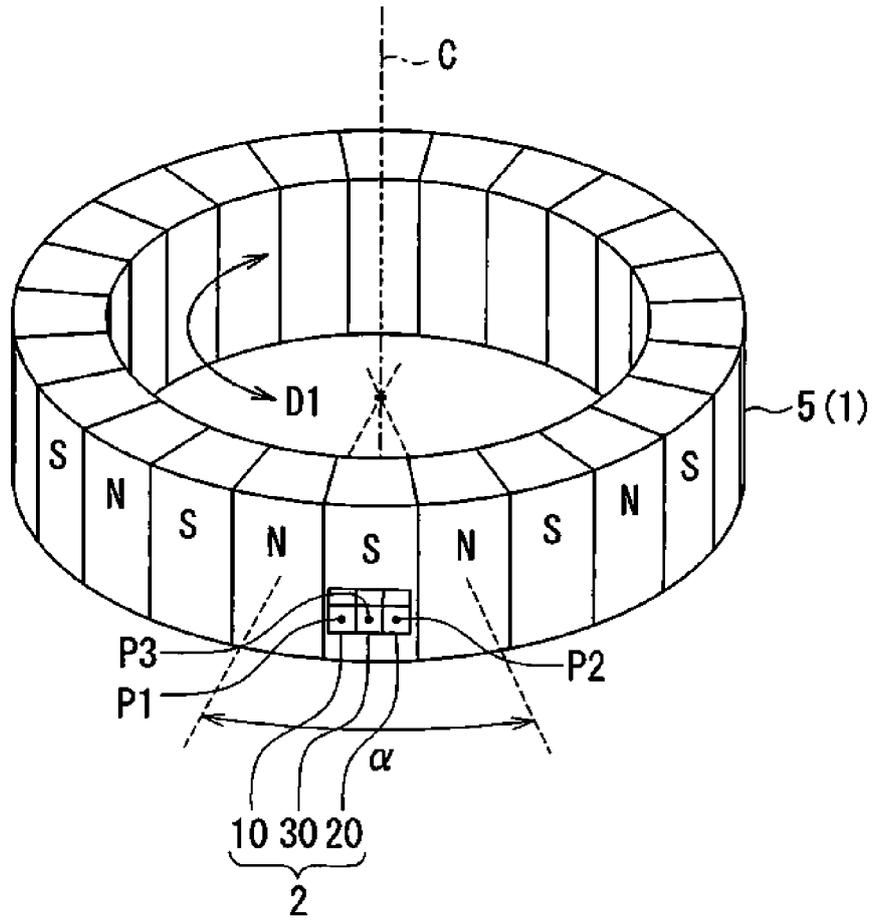


FIG. 15

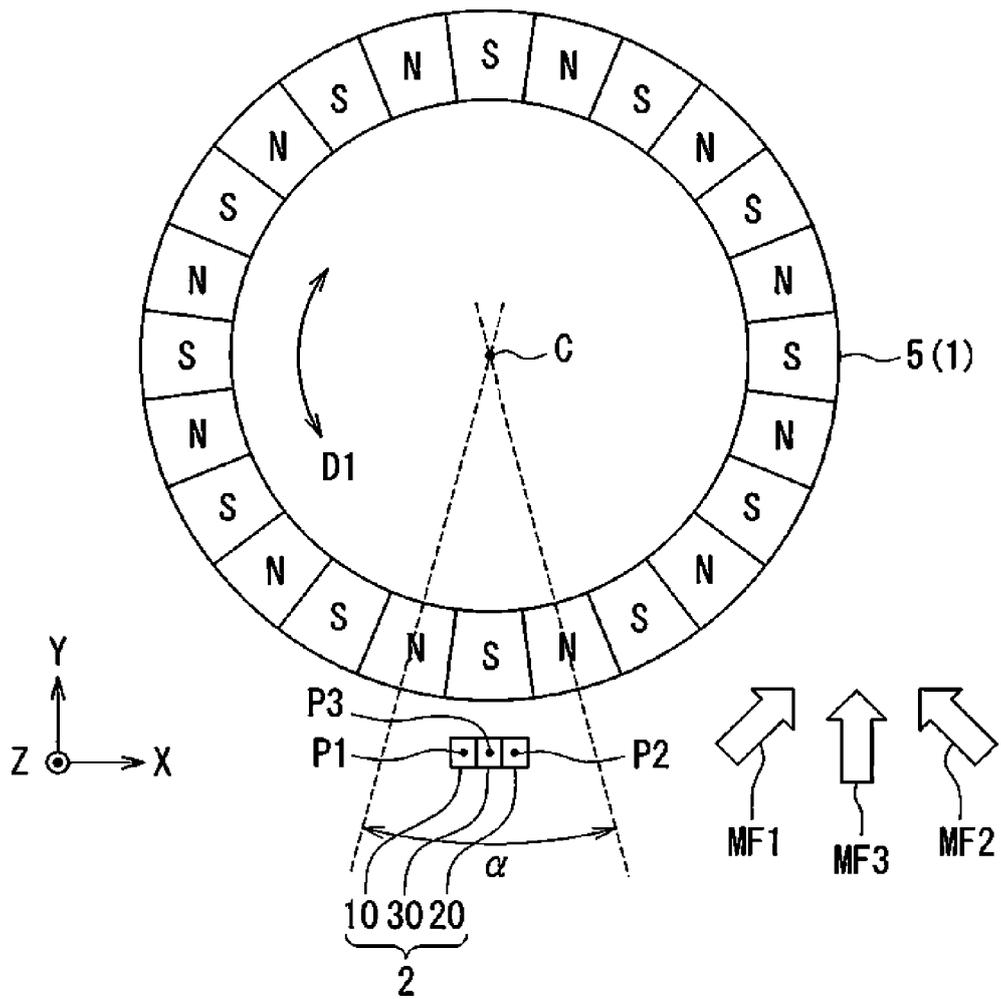


FIG. 16

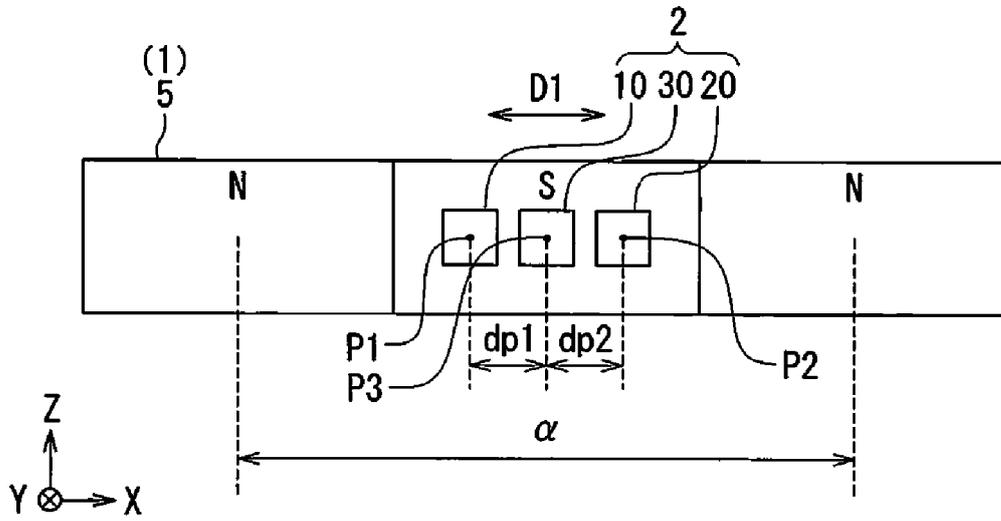


FIG. 17

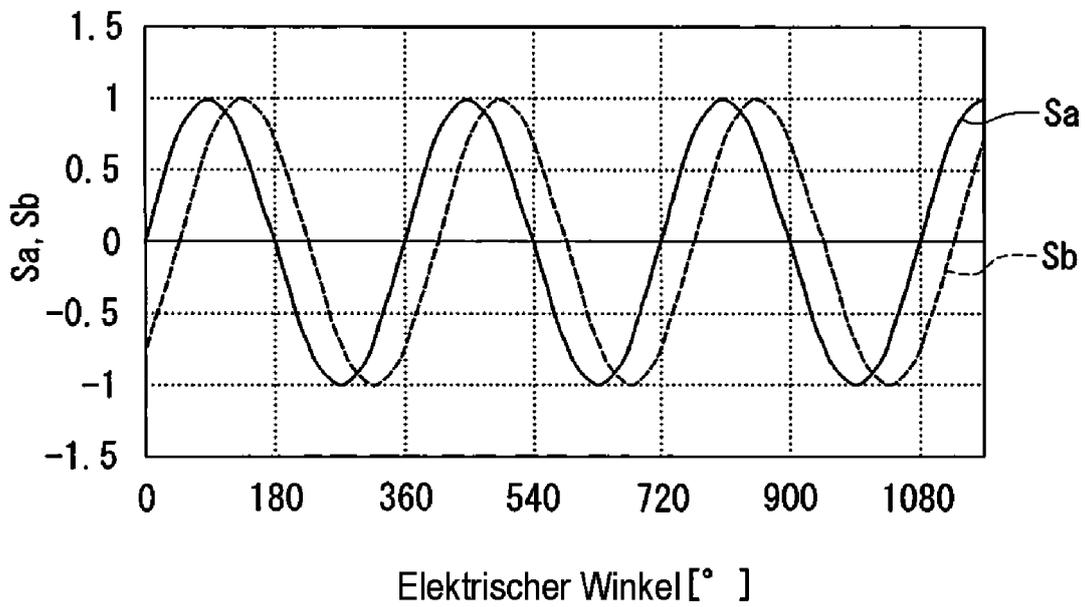


FIG. 18

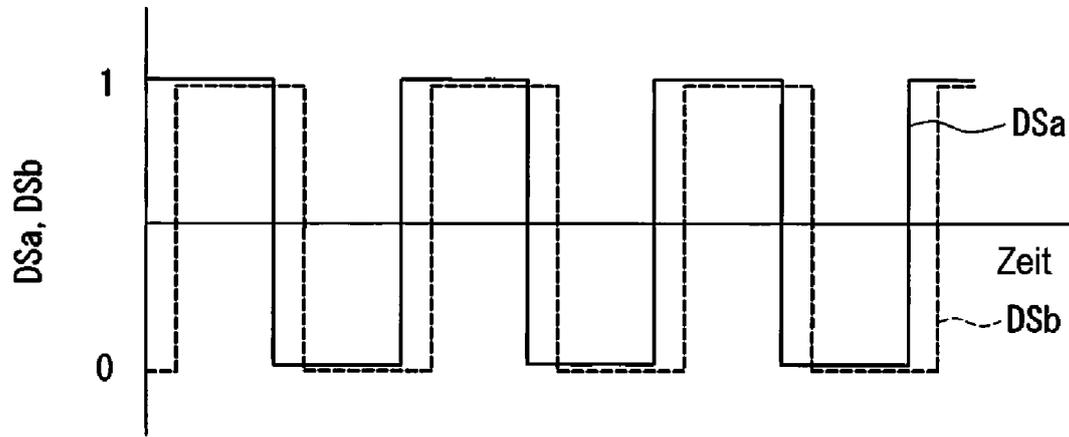


FIG. 19

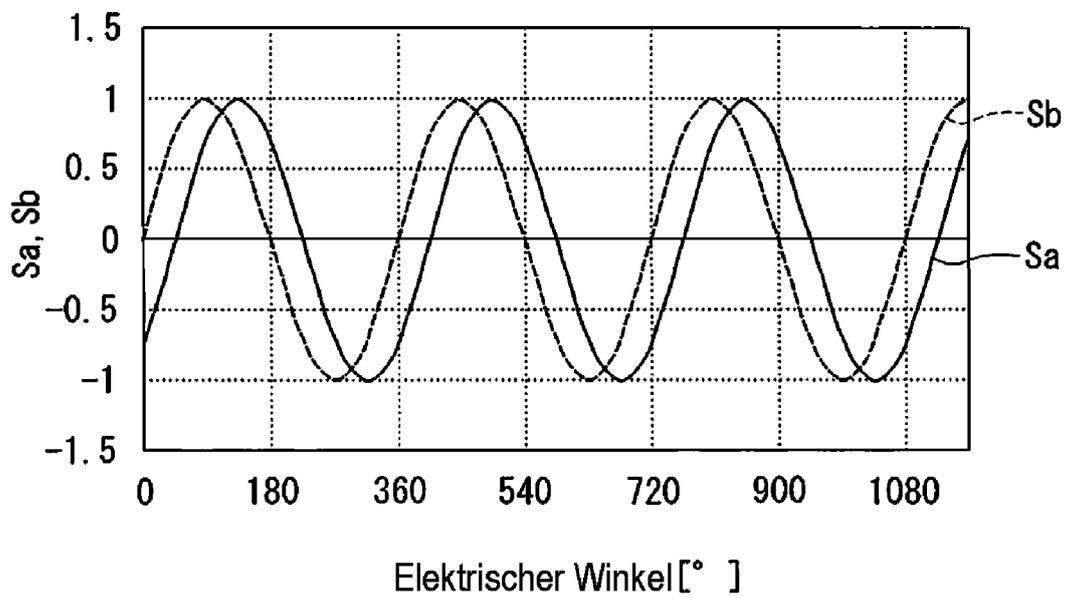


FIG. 20

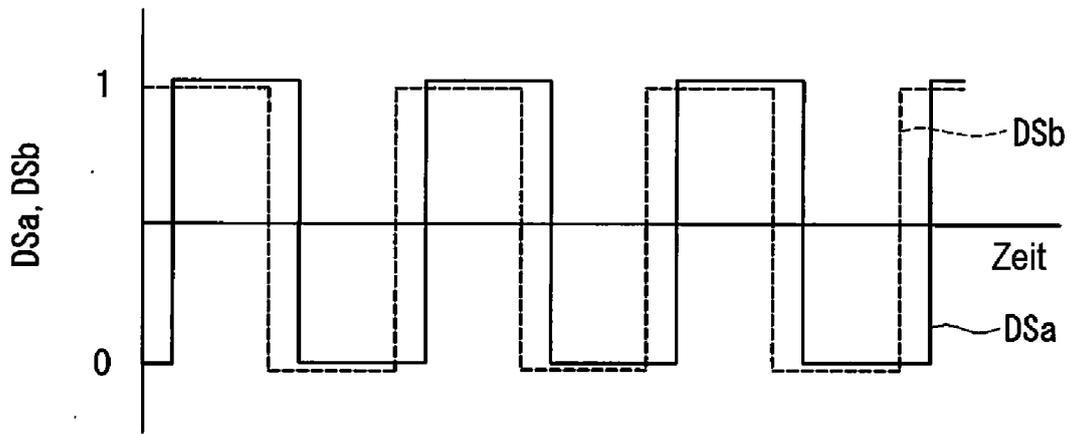


FIG. 21

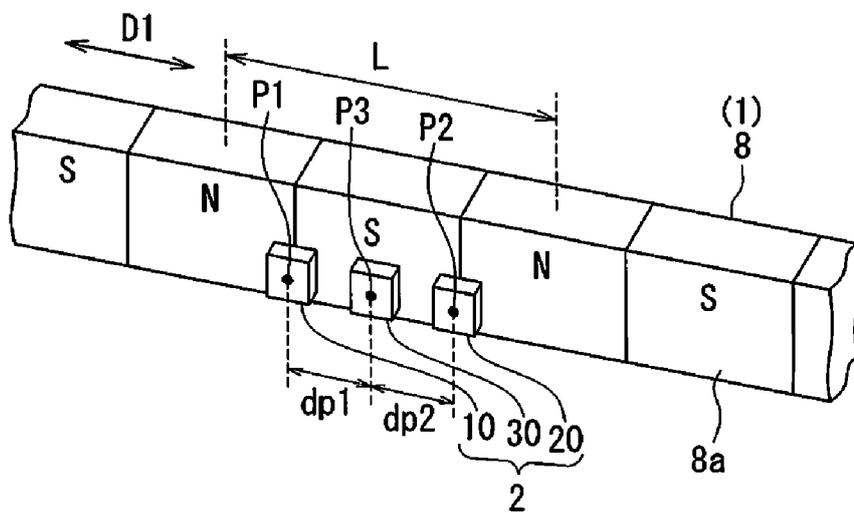


FIG. 22