



(10) **DE 11 2022 007 329 T5** 2025.03.13

(12) **Veröffentlichung**

der internationalen Anmeldung mit der
(87) Veröffentlichungs-Nr.: **WO 2023/233573**
in der deutschen Übersetzung (Art. III § 8 Abs. 2
IntPatÜbkG)
(21) Deutsches Aktenzeichen: **11 2022 007 329.2**
(86) PCT-Aktenzeichen: **PCT/JP2022/022284**
(86) PCT-Anmeldetag: **01.06.2022**
(87) PCT-Veröffentlichungstag: **07.12.2023**
(43) Veröffentlichungstag der PCT Anmeldung
in deutscher Übersetzung: **13.03.2025**

(51) Int Cl.: **H02K 51/00 (2006.01)**

(71) Anmelder:
Mitsubishi Electric Corporation, Tokyo, JP

(72) Erfinder:
Okazaki, Kodai, Tokyo, JP; Kitao, Junji, Tokyo, JP

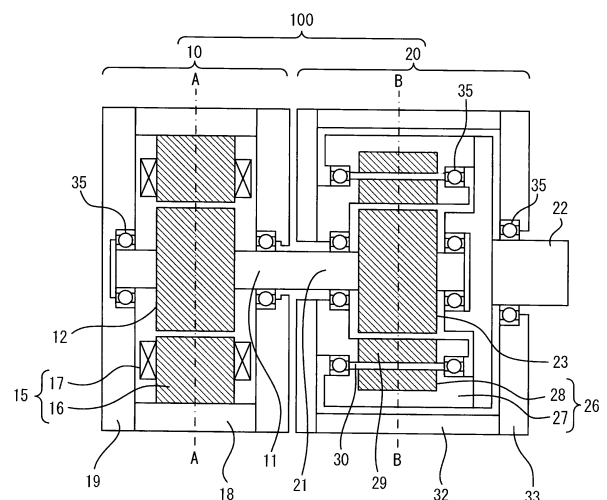
(74) Vertreter:
**Meissner Bolte Patentanwälte Rechtsanwälte
Partnerschaft mbB, 80538 München, DE**

Prüfungsantrag gemäß § 44 PatG ist gestellt.

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen.

(54) Bezeichnung: **Magnetgetriebe-Einrichtung**

(57) Zusammenfassung: Eine Magnetgetriebe-Einrichtung (100) weist Folgendes auf: ein Magnetgetriebe (20), das eine innere Magnetröhre (23) aufweist, die ein Wenigerpol-Mechanismus ist, eine äußere Magnetröhre (26) aufweist, die ein Mehrpol-Mechanismus ist, und Polstücke (29) aufweist, die mit gleichen Intervallen dazwischen in der Umfangsrichtung angeordnet sind und zwischen der inneren Magnetröhre (23) und der äußeren Magnetröhre (26) angeordnet sind, so dass eine von der inneren Magnetröhre (23), der äußeren Magnetröhre (26) und einem Satz der Polstücke (29) als ein erster Rotor verwendet wird, der mit einem Eingangsbereich (21) verbunden ist, eine andere als ein zweiter Rotor verwendet wird, der mit einem Ausgangsbereich (22) verbunden ist, und die verbleibende als ein Stator verwendet wird, und eine rotierende elektrische Maschine (10), die einen Rotor (12) aufweist, der Permanentmagneten (13) hat, und einen Stator (15), der Zähne (16) hat. Zumindest eine von einer ersten Bedingung, dass ein erster Wert auf der Basis des kleinsten gemeinsamen Vielfachen der Anzahl von Polstücken (29) und einer Anzahl von Polen eines von dem ersten und zweiten Rotor mit dem kleinsten gemeinsamen Vielfachen der Anzahl von Polen des Rotors (12) und der Anzahl von Zähnen (16) übereinstimmt, und einer zweiten Bedingung, dass der erste Wert mit einem Wert übereinstimmt, der erhalten wird, indem die Anzahl von Polen des Rotors (12) mit einem Vielfachen von 3 multipliziert wird, ist erfüllt.



Beschreibung

Technisches Gebiet

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft eine Magnetgetriebe-Einrichtung.

Stand der Technik

[0002] In jüngster Zeit hat man ein Magnetgetriebe in Kombination mit einer rotierenden elektrischen Maschine verwendet, um eine gewünschte Ausgangsleistung und gewünschte Wirkungsgrad-Charakteristiken von der rotierenden elektrischen Maschine zu erhalten.

[0003] Bei einem herkömmlichen Magnetgetriebe, das eine Magnetgetriebe-Einrichtung bildet, werden eine zylindrische innere Magnetröhre mit einer Mehrzahl von Magneten, die nebeneinander an einem Außenumfang angeordnet sind, eine zylindrische äußere Magnetröhre mit einer Mehrzahl von Magneten, die nebeneinander an einem Innenumfang angeordnet sind, und eine zylindrische Magnetmaterial-Röhre mit einer Mehrzahl von Magnetelementen, die nebeneinander mit gleichen Intervallen dazwischen in der Umfangsrichtung angeordnet sind, coaxial gehalten, wobei die Magnetmaterial-Röhre zwischen die innere Magnetröhre und die äußere Magnetröhre eingefügt ist, beliebige zwei von der inneren Magnetröhre, der äußeren Magnetröhre und der Magnetmaterial-Röhre als Rotoren verwendet werden und der verbleibende als Stator verwendet wird, so dass ein Rotations-Drehmoment übertragen wird.

[0004] Jedes Magnetelement hat eine Blockform, die parallel zur Axiallängsrichtung der Magnetmaterial-Röhre verläuft, und die Magneten der inneren Magnetröhre und der äußeren Magnetröhre haben Positionsverschiebungen in Richtung derselben Seiten in der Umfangsrichtung, und zwar zwischen dem einen Ende und dem anderen Ende in der Axiallängsrichtung, so dass sie in einer schrägen bzw. verdrehten Weise angeordnet sind.

[0005] Während eine hohe Drehmoment-Dichte gewährleistet wird, wird das Rastmoment bzw. Hakmoment wirksam verringert, so dass die Bewegungsenergie stabil mit verringerter Drehmoment-Schwankung übertragen werden kann.

Literaturverzeichnis

Patentdokument

[0006] Patentdokument 1: Japanisches Patent JP 6 213 573 B2

Zusammenfassung der Erfindung

Mit der Erfindung zu lösendes Problem

[0007] Bei einem herkömmlichen Magnetgetriebe, das im Patentdokument 1 beschrieben ist, müssen Permanentmagneten nacheinander bzw. sequenziell in der Axialrichtung schräg bzw. verdreht sein, und daher ist die Herstellung nicht leicht. Außerdem gilt Folgendes: Während die Drehmoment-Pulsation mit einem Magnetgetriebe allein verringert werden kann, tritt eine Geschwindigkeits-Schwankung infolge der Drehmoment-Pulsation einer rotierenden elektrischen Maschine auch auf der Ausgabeseite des Magnetgetriebes auf.

[0008] Die vorliegende Erfindung wurde konzipiert, um das obige Problem zu lösen, und die Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es, eine Magnetgetriebe-Einrichtung anzugeben, die die Geschwindigkeits-Schwankung auf der Ausgabeseite verringern kann, indem die Drehmoment-Pulsation verringert wird, die aus einer Kombination aus einem Magnetgetriebe und einer rotierenden elektrischen Maschine ausgegeben wird. Ein weiteres Ziel der vorliegenden Erfindung ist es, die Magnetgetriebe-Einrichtung leicht und mit niedrigen Kosten herzustellen.

Wege zum Lösen des Problems

[0009] Eine Magnetgetriebe-Einrichtung gemäß der vorliegenden Erfindung weist Folgendes auf: ein Magnetgetriebe, das eine innere Magnetröhre mit einer Mehrzahl von ersten Permanentmagneten, die an einem Außenumfang angeordnet ist, zum Bilden eines Wenigerpol-Mechanismus aufweist, eine äußere Magnet-

röhre mit einer Mehrzahl von zweiten Permanentmagneten, die an einem Innenumfang angeordnet sind, zum Bilden eines Mehrpol-Mechanismus aufweist, und eine Magnetmaterial-Röhre aufweist, die zwischen der inneren Magnetröhre und der äußeren Magnetröhre angeordnet ist, wobei Magnetspalte sowohl von der inneren Magnetröhre, als auch der äußeren Magnetröhre aus dazwischen eingefügt sind, wobei die Magnetmaterial-Röhre N Polstücke aufweist, die aus einem weichmagnetischen Material gebildet sind und mit gleichen Intervallen dazwischen in Umfangsrichtung angeordnet sind, so dass eine von der inneren Magnetröhre, der äußeren Magnetröhre und der Magnetmaterial-Röhre als ein erster Rotor verwendet wird, der mit einem Eingangsbereich verbunden ist, eine weitere als ein zweiter Rotor verwendet wird, der mit einem Ausgangsbereich verbunden ist, und die verbleibende als ein Stator verwendet wird; und eine rotierende elektrische Maschine, die einen Rotor mit M1 Permanentmagneten und einen Stator mit M2 Zähnen aufweist.

[0010] Das Magnetgetriebe ist so konfiguriert, dass der Eingangsbereich mit einer Drehwelle der rotierenden elektrischen Maschine verbunden ist und eine zugeführte Rotationskraft zum Ausgangsbereich übertragen wird. Zumindest eine von einer ersten Bedingung, dass ein erster Wert auf der Basis des kleinsten gemeinsamen Vielfachen der Anzahl N von Polstücken und der Anzahl von Polen von einem von erstem und zweitem Rotor mit dem kleinsten gemeinsamen Vielfachen M aus M1 und M2, übereinstimmt, und einer zweiten Bedingung, dass der erste Wert mit einem Wert übereinstimmt, der erhalten wird, indem M1 mit einem Vielfachen von 3 multipliziert wird, ist erfüllt.

Wirkung der Erfindung

[0011] Mit der Magnetgetriebe-Einrichtung gemäß der vorliegenden Erfindung kann eine Drehmoment-Pulsation verringert werden, die aus einer Kombination aus Magnetgetriebe und rotierender elektrischer Maschine ausgegeben wird, so dass eine Geschwindigkeits-Schwankung auf der Ausgabeseite unterdrückt werden kann. Außerdem kann die Magnetgetriebe-Einrichtung leicht und mit niedrigen Kosten hergestellt werden.

Kurze Beschreibung der Zeichnungen

Fig. 1 ist eine vertikale Schnittansicht, die die Konfiguration einer Magnetgetriebe-Einrichtung gemäß Ausführungsform 1 zeigt.

Fig. 2 ist eine transversale Schnittansicht, die die Konfiguration einer rotierenden elektrischen Maschine in der Magnetgetriebe-Einrichtung gemäß Ausführungsform 1 zeigt.

Fig. 3 ist eine transversale Schnittansicht, die die Konfiguration eines Magnetgetriebes in der Magnetgetriebe-Einrichtung gemäß Ausführungsform 1 zeigt.

Fig. 4 ist eine teilweise transversale Schnittansicht, die die Positionsrelation von Teilen des Magnetgetriebes gemäß Ausführungsform 1 zeigt.

Fig. 5 ist ein Wellenform-Diagramm, das das Magnetgetriebe-Drehmoment der Magnetgetriebe-Einrichtung gemäß Ausführungsform 1 zeigt.

Fig. 6 ist eine teilweise transversale Schnittansicht, die die Positionsrelation von Teilen der rotierenden elektrischen Maschine gemäß Ausführungsform 1 zeigt.

Fig. 7 ist ein Wellenform-Diagramm, das das Drehmoment der rotierenden elektrischen Maschine in der Magnetgetriebe-Einrichtung gemäß Ausführungsform 1 zeigt, und zwar in einem Fall, in dem kein Strom anliegt.

Fig. 8 ist ein Wellenform-Diagramm, das das Drehmoment der rotierenden elektrischen Maschine, das Magnetgetriebe-Drehmoment und ein kombiniertes Drehmoment in der Magnetgetriebe-Einrichtung gemäß Ausführungsform 1 zeigt, und zwar in einem Fall, in dem kein Strom anliegt.

Fig. 9 ist ein Wellenform-Diagramm, das eine Änderung der Drehmoment-Pulsation des kombinierten Drehmoments bezüglich einer Phasenverschiebung eines Rotors der rotierenden elektrischen Maschine zeigt, und zwar in der Magnetgetriebe-Einrichtung gemäß Ausführungsform 1.

Fig. 10 zeigt Amplituden in einem Frequenzanalyse-Ergebnis des Magnetgetriebe-Drehmoments in der Magnetgetriebe-Einrichtung gemäß Ausführungsform 1.

Fig. 11 zeigt Amplituden in einem Frequenzanalyse-Ergebnis des Drehmoments der rotierenden elektrischen Maschine in der Magnetgetriebe-Einrichtung gemäß Ausführungsform 1.

Fig. 12 ist ein Wellenform-Diagramm, das eine Komponente sechster Ordnung des Drehmoments zeigt, und zwar auf eine verallgemeinerte Weise, in der Magnetgetriebe-Einrichtung gemäß Ausführungsform 1.

Fig. 13 ist ein Wellenform-Diagramm, das eine Komponente zwölfter Ordnung des Drehmoments zeigt, und zwar auf eine verallgemeinerte Weise, in der Magnetgetriebe-Einrichtung gemäß Ausführungsform 1.

Fig. 14 ist ein Wellenform-Diagramm, das Drehmoment-Pulsationen einer Komponente sechster Ordnung und einer Komponente zwölfter Ordnung des kombinierten Drehmoments zeigt, und zwar auf eine verallgemeinerte Weise, in der Magnetgetriebe-Einrichtung gemäß Ausführungsform 1.

Fig. 15 ist eine vertikale Schnittansicht, die die Konfiguration einer Magnetgetriebe-Einrichtung gemäß einem weiteren Beispiel von Ausführungsform 1 zeigt.

Fig. 16 ist ein Wellenform-Diagramm, das das Drehmoment der rotierenden elektrischen Maschine, das Magnetgetriebe-Drehmoment und das kombinierte Drehmoment in einer Magnetgetriebe-Einrichtung gemäß Ausführungsform 2 zeigt, wenn Strom anliegt.

Fig. 17 ist eine vertikale Schnittansicht, die die Konfiguration einer Magnetgetriebe-Einrichtung gemäß Ausführungsform 3 zeigt.

Fig. 18 ist eine vertikale Schnittansicht, die die Konfiguration einer Magnetgetriebe-Einrichtung gemäß Ausführungsform 4 zeigt.

Fig. 19 ist eine vertikale Schnittansicht, die die Konfiguration einer Magnetgetriebe-Einrichtung gemäß Ausführungsform 5 zeigt.

Beschreibung von Ausführungsformen

Ausführungsform 1

[0012] **Fig. 1** ist eine vertikale Schnittansicht, die die Konfiguration einer Magnetgetriebe-Einrichtung gemäß Ausführungsform 1 zeigt. Wie in **Fig. 1** gezeigt, ist eine Magnetgetriebe-Einrichtung 100 als eine Antriebseinheit ausgebildet, die eine rotierende elektrische Maschine 10 und ein Magnetgetriebe 20 aufweist.

[0013] **Fig. 2** ist eine transversale Schnittansicht, die die Konfiguration der rotierenden elektrischen Maschine 10 in der Magnetgetriebe-Einrichtung 100 zeigt, und sie zeigt einen Querschnitt entlang der Linie A-A in **Fig. 1**.

[0014] **Fig. 3** ist eine transversale Schnittansicht, die die Konfiguration des Magnetgetriebes 20 in der Magnetgetriebe-Einrichtung 100 zeigt, und sie zeigt einen Querschnitt entlang der Linie B-B in **Fig. 1**.

[0015] Wie in den Zeichnungen gezeigt, ist eine Welle, die die Drehwelle 11 der rotierenden elektrischen Maschine 10 ist, mit einem Eingangsbereich 21 des Magnetgetriebes 20 verbunden, und das Magnetgetriebe 20 überträgt eine Rotationskraft, die dem Eingangsbereich 21 zugeführt wird, an einen Ausgangsbereich 22. In diesem Fall ist der Eingangsbereich 21 des Magnetgetriebes 20 integral mit der Drehwelle 11 der rotierenden elektrischen Maschine 10 ausgebildet. Die rotierende elektrische Maschine 10 weist einen Rotor 12 und einen Stator 15 auf, der um den Außenumfang des Rotors 12 mit einem dazwischen eingefügten Magnetspalt angeordnet ist.

[0016] Der Rotor 12 ist derart ausgebildet, dass eine Mehrzahl (M1) von, in diesem Fall acht, Permanentmagneten 13, die als Magnetpole dienen, nebeneinander in der Umfangsrichtung an der Außenumfangsfläche eines Rotorkerns 14 angeordnet sind. Die Permanentmagneten 13 sind in der Radialrichtung magnetisiert, und sie sind so angeordnet, dass die Polaritäten einander benachbarter Permanentmagnete 13 zueinander entgegengesetzt sind.

[0017] Der Stator 15 hat eine Mehrzahl (M2) von, in diesem Fall zwölf, Zähnen 16, die in Richtung des Magnetspalts vorstehen, und eine Spule 17 ist um jeden Zahn 16 herumgewickelt. Folglich hat die rotierende elektrische Maschine 10 eine konzentrierte Wicklungsstruktur, als ein Beispiel mit acht Polen und zwölf Nuten, in denen acht Permanentmagneten 13 und zwölf Zähne 16 angeordnet sind. Aus Vereinfachungsgründen sind die Spulen 17 in **Fig. 2** nicht gezeigt.

[0018] Das Magnetgetriebe 20 weist eine innere Magnetröhre 23 auf, die einen Wenigerpol-Mechanismus mit einer kleineren Anzahl von Magnetpolen ausbildet, eine äußere Magnetröhre 26, die einen Mehrpol-Mechanismus mit einer größeren Anzahl von Magnetpolen ausbildet, und eine Magnetmaterial-Röhre 30, die zwischen der inneren Magnetröhre 23 und der äußeren Magnetröhre 26 angeordnet ist, wobei Magnetspalte 31 sowohl von der inneren Magnetröhre 23, als auch der äußeren Magnetröhre 26 aus dazwischen eingefügt sind.

[0019] Die innere Magnetröhre 23 ist so ausgebildet, dass eine Mehrzahl von - in diesem Fall acht - ersten Permanentmagneten 25, die als Magnetpole dienen, nebeneinander in der Umfangsrichtung auf einer Außenumfangsfläche eines zylindrischen Haltekörpers 24 angeordnet sind. Die ersten Permanentmagneten 25 sind in der Radialrichtung magnetisiert, und sie sind so angeordnet, dass die Polaritäten einander benachbarter erster Permanentmagnete 25 zueinander entgegengesetzt sind.

[0020] Die äußere Magnetröhre 26 ist so ausgebildet, dass eine Mehrzahl von - in diesem Fall vierzig - zweiten Permanentmagneten 28, die als Magnetpole dienen, nebeneinander in der Umfangsrichtung an einer Innenumfangsfläche eines zylindrischen Haltekörpers 27 angeordnet sind. Die zweiten Permanentmagneten 28 sind in der Radialrichtung magnetisiert, und sie sind so angeordnet, dass die Polaritäten einander benachbarter zweiter Permanentmagnete 28 zueinander entgegengesetzt sind.

[0021] Die Magnetmaterial-Röhre 30, die zwischen der inneren Magnetröhre 23 und der äußeren Magnet-röhre 26 angeordnet ist, ist so ausgebildet, dass N - in diesem Fall vierundzwanzig - Polstücke 29, die aus weichmagnetischen Materialien gebildet sind, mit gleichen Intervallen dazwischen in der Umfangsrichtung angeordnet sind.

[0022] Teile, wo eine Antriebskraft und ein Getriebevorgang auftreten (schraffierte Teile in **Fig. 1**), und zwar in der rotierenden elektrischen Maschine 10 und dem Magnetgetriebe 20, sind aus einem magnetischen Material gebildet. Diese Teile werden von Rahmen (einem Rahmen 18 der rotierenden elektrischen Maschine und einem Magnetgetriebe-Rahmen 32) und Lagerschalen (einer Lagerschale 19 der rotierenden elektrischen Maschine und einer Magnetgetriebe-Lagerschale 33) geschützt, die von Strukturelementen aus Eisen, einem nichtmagnetischen Material oder dergleichen gebildet werden.

[0023] Im Magnetgetriebe 20 sind die innere Magnetröhre 23, die äußere Magnetröhre 26 und die Magnetmaterial-Röhre 30 konzentrisch angeordnet, eine der drei Röhren wird als ein erster Rotor verwendet, der mit dem Eingangsbereich 21 verbunden ist, eine andere wird als ein zweiter Rotor verwendet, der mit dem Ausgangsbereich 22 verbunden ist, und die verbleibende wird als Stator verwendet.

[0024] Nicht bloß die ersten und zweiten Permanentmagneten 25 und 28 des Magnetgetriebes 20, sondern auch die N Polstücke 29 aus einem weichmagnetischen Material werden als Magnetpole des Rotors oder des Stators bezeichnet.

[0025] In der vorliegenden Ausführungsform wird die innere Magnetröhre 23 als der erste Rotor verwendet, die äußere Magnetröhre 26 wird als der zweite Rotor verwendet, und die Magnetmaterial-Röhre 30 wird als der Stator verwendet. Der Rotor 12 der rotierenden elektrischen Maschine 10 und der erste Rotor (innere Magnetröhre 23) und der zweite Rotor (äußere Magnetröhre 26) des Magnetgetriebes 20 werden von einer Mehrzahl von Lagern 35 gehalten.

[0026] Das heißt, bei der vorliegenden Ausführungsform sind der Rotor 12 der rotierenden elektrischen Maschine 10 und der erste Rotor (innere Magnetröhre 23) des Magnetgetriebes 20 coaxial angeordnet, und der erste Rotor (innere Magnetröhre 23) des Magnetgetriebes 20 rotiert zusammen mit der Drehwelle 11 der rotierenden elektrischen Maschine 10.

[0027] Die ersten Permanentmagneten 25 des ersten Rotors (innere Magnetröhre 23) rotieren, während sie sequenziell an den Polstücken 29 der Magnetmaterial-Röhre 30 vorbeigehen, die der Stator ist, so dass sich eine Durchflutung an den zweiten Permanentmagneten 28 des zweiten Rotors (äußere Magnetröhre 26) ausbildet. Dann rotiert der zweite Rotor (äußere Magnetröhre 26) in einer Richtung entgegengesetzt zum ersten Rotor (innere Magnetröhre 23).

[0028] Bei der Magnetgetriebe-Einrichtung 100, die konfiguriert ist wie oben beschrieben, wird die Antriebskraft, die von der rotierenden elektrischen Maschine 10 erzeugt wird, einer Geschwindigkeitsverringern und einer Drehmomenterhöhung oder einer Geschwindigkeitserhöhung und einer Drehmomentverringern

unterworfen, und zwar durch das Magnetgetriebe 20, und die sich ergebende Kraft wird vom Ausgangsbereich 22 entsprechend einer Ausgangswelle des Magnetgetriebes 20 ausgegeben. Bei der vorliegenden Ausführungsform ist eine Konfiguration zum Durchführen einer Geschwindigkeitsverringerung und einer Drehmomenterhöhung gezeigt.

[0029] Die Anzahl von ersten Permanentmagneten 25 des ersten Rotors (innere Magnetrohre 23) beträgt acht, die Anzahl von zweiten Permanentmagneten 28 des zweiten Rotors (äußere Magnetrohre 26) beträgt vierzig, und die Anzahl von Polstücken 29 beträgt vierundzwanzig. Daher hat das Übersetzungsverhältnis des Magnetgetriebes 20 einen Wert von $(40/2)/(8/2) = 5$. Das heißt, durch das Magnetgetriebe 20 wird die Rotationskraft, die dem Eingangsbereich 21 zugeführt wird, einer 1/5-fachen Geschwindigkeitsverringerung und einer 5-fachen Drehmomenterhöhung unterzogen, und die sich ergebende Kraft wird an den Ausgangsbereich 22 ausgegeben.

[0030] Fig. 4 ist eine teilweise transversale Schnittansicht, die die Positionsrelation von Teilen des Magnetgetriebes 20 zeigt. In Fig. 4 ist einer der ersten Permanentmagneten 25 des ersten Rotors (innere Magnetrohre 23) zusammen mit den Polstücken 29 der Magnetmaterial-Röhre 30 gezeigt. Das heißt, ein Umfangsrichtungs-Bereich von 45° ($= (360^\circ/8)$) im mechanisch definierten Winkel (nachfolgend als mechanischer Winkel bezeichnet) ist gezeigt.

[0031] Fig. 5 ist ein Wellenform-Diagramm, das das Magnetgetriebe-Drehmoment der Magnetgetriebe-Einrichtung 100 zeigt. In Fig. 5 ist eine Drehmoment-Wellenform des ersten Rotors (innere Magnetrohre 23) gezeigt, wenn der erste Rotor (innere Magnetrohre 23) um 360° im elektrisch definierten Winkel rotiert wird (nachfolgend als elektrischer Winkel bezeichnet), d. h. 90° ($= (360^\circ/(8/2))$) im mechanischen Winkel.

[0032] Wie in Fig. 5 dargestellt, zeigt sich, dass im Magnetgetriebe-Drehmoment eine Drehmoment-Pulsation sechsmal auftritt, während der erste Rotor (innere Magnetrohre 23) um einen elektrischen Winkel von 360° rotiert. Die Drehmoment-Pulsation tritt auf, wenn die Polstücke 29 aus einem magnetischen Material ähnlich in regelmäßigen Intervallen an Positionen entgegengesetzt zu den ersten Permanentmagneten 25 angeordnet sind, die in regelmäßigen Intervallen angeordnet sind, und dies wird auch als Rastmoment bezeichnet.

[0033] Die Anzahl von Malen der Drehmoment-Pulsation wird durch die Relation zwischen den Anzahlen der ersten Permanentmagneten 25 und der Polstücke 29 bestimmt. Als eine allgemeine Theorie ist bekannt, dass - in einem Fall, in dem der erste Rotor (innere Magnetrohre 23) mit den ersten Permanentmagneten 25 um 360° im mechanischen Winkel rotiert - die Anzahl von Malen der Drehmoment-Pulsation ein Vielfaches des kleinsten gemeinsamen Vielfaches LCM der Anzahl von ersten Permanentmagneten 25 und der Anzahl von Polstücken 29 ist.

[0034] In diesem Fall hat $\text{LCM}(8, 24)$ einen Wert von 24, und das Magnetgetriebe-Drehmoment enthält eine Komponente, die $24K$ (K ist eine natürliche Zahl) Mal in einem mechanischen Winkelbereich von 360° rotiert. Folglich oszilliert das Magnetgetriebe-Drehmoment $6K$ ($= (24K/(8/2))$) Mal in einem elektrischen Winkelbereich von 360° , und eine Komponente, die sechsmal bei $K = 1$ oszilliert, ist in einem großen Wert enthalten, was mit dem Ergebnis übereinstimmt, das in Fig. 5 gezeigt ist.

[0035] In Fig. 5 ist die Phase der Drehmoment-Wellenform so gezeigt, dass der Winkel, wenn es einen Querschnitt gibt, in dem eine Umfangsrichtungs-Magnetpolzentrum-Position des ersten Rotors (innere Magnetrohre 23) befindet, der in Richtung des Pfeils 40 rotiert, mit einer Umfangsrichtungs-Zentrumsposition des Polstück 29 übereinstimmt, wie mit einer Mittellinie 41 in Fig. 4 gezeigt, als ein anfänglicher Winkel von 0° definiert ist.

[0036] Fig. 6 ist eine teilweise transversale Schnittansicht, die eine Positionsrelation von Teilen der rotierenden elektrischen Maschine 10 zeigt. In Fig. 6 sind in einem Umfangsrichtungs-Bereich (mechanischer Winkelbereich von 45°) eines der Permanentmagneten 13 des Rotors 12 der rotierenden elektrischen Maschine 10 der Rotorkern 14, der Permanentmagnet 13 und einer der Zähne 16 des Stators 15 gezeigt.

[0037] In Fig. 6 wird der Zustand, in dem die Umfangsrichtungs-Magnetpolzentrum-Position (Mittellinie 43) des Rotors 12, der in Richtung des Pfeils 42 rotiert, mit der Umfangsrichtungs-Zentrumsposition (Mittellinie 44) des Zahns 16 übereinstimmt, als Referenz verwendet, und die Phasenverschiebung der Umfangsrichtungs-Magnetpolzentrum-Position (Mittellinie 43) des Rotors 12 von der Umfangsrichtungs-Zentrumsposition (Mittellinie 44) des Zahns 16 ist mit θ bezeichnet.

[0038] Fig. 7 ist ein Wellenform-Diagramm, das das Drehmoment der rotierenden elektrischen Maschine in einem Fall zeigt, in dem kein Strom anliegt. In Fig. 7 ist die Drehmoment-Wellenform des Rotors 12, wenn der Rotor 12 um einen elektrischen Winkel von 360° rotiert wird, d. h. um einen mechanischen Winkel von $90^\circ (= (360^\circ/(8/2))$ in einem Zustand gezeigt, in dem kein Strom an die Spule 17 der rotierenden elektrischen Maschine 10 angelegt wird.

[0039] Hier ist eine Drehmoment-Wellenform ohne Phasenverschiebung mit einer gepunkteten Linie dargestellt, und eine Drehmoment-Wellenform mit einer Phasenverschiebung θ ist mit einer durchgezogenen Linie dargestellt. Für die Drehmoment-Wellenform ohne Phasenverschiebung ist der Winkel, wenn es einen Querschnitt gibt, in dem die Umfangsrichtungs-Magnetpolzentrum-Position des Rotors 12 mit der Umfangsrichtungs-Zentrumsposition des Zahns 16 übereinstimmt, als ein anfänglicher Winkel von 0° definiert.

[0040] Für die Drehmoment-Wellenform mit der Phasenverschiebung θ ist der Winkel, wenn es einen Querschnitt gibt, in dem die Umfangsrichtungs-Magnetpolzentrum-Position des Rotors 12 von der Umfangsrichtungs-Zentrumsposition des Zahns 16 um die Phase θ verschoben ist, als ein anfänglicher Winkel von 0° definiert.

[0041] Wie in Fig. 7 gezeigt, hat das Drehmoment der rotierenden elektrischen Maschine eine Drehmoment-Pulsation, die eine Hauptkomponente enthält, die sechsmal oszilliert, wie in dem oben beschriebenen Magnetgetriebe-Drehmoment.

[0042] Auch ist das Prinzip zum Bestimmen der Anzahl von Malen (Reihenfolge) der Oszillation der rotierenden elektrischen Maschine 10 das gleiche wie in dem Fall des Magnetgetriebes 20, mit der Ausnahme, dass die Polstücke 29, die in regelmäßigen Intervallen angeordnet sind, den Zähnen 16 entsprechen. Das heißt, die Anzahl von Malen der Drehmoment-Pulsation in einem Fall, in dem der Rotor 12 um 360° im mechanischen Winkel rotiert, ist ein Vielfaches des kleinsten gemeinsamen Vielfachen M der Anzahl von Polen des Rotors 12, die die Anzahl von Permanentmagneten 13 und die Anzahl von Zähnen 16 ist.

[0043] In diesem Fall hat das kleinste gemeinsame Vielfache $M(8, 12)$ einen Wert von 24, und das Drehmoment der rotierenden elektrischen Maschine enthält eine Komponente, die $24K$ (K ist eine natürliche Zahl) Mal in einem mechanischen Winkelbereich von 360° oszilliert. Folglich oszilliert das Drehmoment der rotierenden elektrischen Maschine $6K (= (24K/(8/2))$ Mal im elektrischen Winkelbereich von 360° , und eine Komponente, die sechsmal bei $K = 1$ oszilliert, ist in einem großen Wert enthalten, was mit dem Ergebnis übereinstimmt, das in Fig. 7 gezeigt ist.

[0044] In der Magnetgetriebe-Einrichtung 100 sind der Rotor 12 der rotierenden elektrischen Maschine 10 und der erste Rotor (innere Magnettröhre 23) des Magnetgetriebes 20 verbunden, und ein kombiniertes Drehmoment aus dem Drehmoment der rotierenden elektrischen Maschine und dem Magnetgetriebe-Drehmoment ist das gesamte Drehmoment.

[0045] Bei der vorliegenden Ausführungsform stimmt das kleinste gemeinsame Vielfache LCM der Anzahl von ersten Permanentmagneten 25 des ersten Rotors (innere Magnettröhre 23) des Magnetgetriebes 20 und der Anzahl von Polstückes 29 mit dem kleinsten gemeinsamen Vielfachen M der Anzahl von Polen des Rotors 12 und der Anzahl von Zähnen 16 der rotierenden elektrischen Maschine 10 überein.

[0046] Das heißt, die Hauptordnungs-Komponente der Drehmoment-Pulsation pro einer Umdrehung (Rotation um einen mechanischen Winkel von 360°) des ersten Rotors (innere Magnettröhre 23) des Magnetgetriebes 20 und die Hauptordnungs-Komponente der Drehmoment-Pulsation pro einer Umdrehung (Rotation um einen mechanischen Winkel von 360°) des Rotors 12 der rotierenden elektrischen Maschine 10 betragen beide vierundzwanzig und stimmen miteinander überein.

[0047] Folglich heben sich die Drehmoment-Pulsation des Drehmoments der rotierenden elektrischen Maschine und die Drehmoment-Pulsation des Magnetgetriebe-Drehmoments auf, so dass sie verringert werden.

[0048] Die Drehmoment-Pulsationen ändern sich mit der relativen Relation zweier Positionsrelationen, wie unten gezeigt. Die erste ist die Positionsrelation zwischen den Polstücken 29 des Magnetgetriebes 20 und den Zähnen 16 der rotierenden elektrischen Maschine 10. Die zweite ist die Positionsrelation zwischen den Permanentmagneten 13 des Rotors 12 der rotierenden elektrischen Maschine 10 und den ersten Permanent-

magneten 25 des ersten Rotors (innere Magnetröhre 23) des Magnetgetriebes 20, verbunden durch die Welle (Drehwelle 11) mit dem Rotor 12 der rotierenden elektrischen Maschine 10.

[0049] Das heißt, die Phase θ , um die das Umfangsrichtungs-Magnetpolzentrum des Rotors 12 von der Umfangsrichtungs-Zentrumsposition des Zahns 16 verschoben ist, wenn das Umfangsrichtungs-Magnetpolzentrum des ersten Rotors (innere Magnetröhre 23) mit dem Umfangsrichtungs-Magnetpolzentrum des Stators (Magnetmaterial-Röhre 30) übereinstimmt, d. h. die Umfangsrichtungs-Zentrumsposition des Polstücks 29, wird als ein Parameter verwendet, der ein vorgegebener Winkel ist, so dass es möglich wird, die obige relative Relation vorzuschreiben, die eine Relation zur Phase der Drehmoment-Pulsation hat.

[0050] Der in **Fig. 4** gezeigte Zustand entspricht demjenigen, wenn das Umfangsrichtungs-Magnetpolzentrum des ersten Rotors (innere Magnetröhre 23) mit der Umfangsrichtungs-Zentrumsposition des Polstücks 29 übereinstimmt. Dann wird in diesem Zustand die Phasenverschiebung θ der Umfangsrichtungs-Magnetpolzentrum-Position (Mittellinie 43) des Rotors 12 von der Umfangsrichtungs-Zentrumsposition (Mittellinie 44) des Zahns 16 eingestellt (siehe **Fig. 6**). Folglich wird die Drehmoment-Pulsation wirksam verringert, so dass eine Geschwindigkeits-Schwankung infolge von Drehmoment-Pulsation unterdrückt werden kann.

[0051] **Fig. 8** ist ein Wellenform-Diagramm, das das Drehmoment der rotierenden elektrischen Maschine, das Magnetgetriebe-Drehmoment und ein kombiniertes Drehmoment in der Magnetgetriebe-Einrichtung 100 zeigt, und zwar in einem Fall, in dem kein Strom anliegt. In diesem Fall sind eine Drehmoment-Wellenform (unterbrochene Linie) der rotierenden elektrischen Maschine 10, eine Drehmoment-Wellenform (gepunktete Linie) des Magnetgetriebes 20 und eine kombinierte Drehmoment-Wellenform (durchgezogene Linie) gezeigt, die erhalten wird, wenn beide Wellenformen addiert werden, wobei die Phasenverschiebung θ auf 21° vorgegeben ist.

[0052] Wie in **Fig. 8** gezeigt, wird die Stärke α der Drehmoment-Pulsation der kombinierten Drehmoment-Wellenform, d. h. die Differenz (P-P) zwischen dem Maximalwert und dem Minimalwert der Wellenform, signifikant kleiner als jene der Drehmoment-Wellenform der rotierenden elektrischen Maschine 10 und der Drehmoment-Wellenform des Magnetgetriebes 20, und folglich wird die Drehmoment-Pulsation signifikant verringert.

[0053] **Fig. 9** ist ein Wellenform-Diagramm, das eine Änderung der Drehmoment-Pulsation des kombinierten Drehmoments bezüglich der Phasenverschiebung θ des Rotors 12 der rotierenden elektrischen Maschine 10 zeigt, und zwar in der Magnetgetriebe-Einrichtung 100. Hier ändert sich die Phasenverschiebung θ in einem Bereich einer Periode einer Komponente, die sechsmal pro elektrischem Winkel von 360° oszilliert, was eine Hauptkomponente der Drehmoment-Pulsation im Drehmoment der rotierenden elektrischen Maschine und Magnetgetriebe-Drehmoment ist, d. h. in einem elektrischen Winkelbereich von $60^\circ (= (360/6))$. Dann ist die Änderung der Stärke (P-P) der Drehmoment-Pulsation bezüglich der Phasenverschiebung θ gezeigt.

[0054] Die kleinere von der Stärke der Drehmoment-Pulsation des Drehmoments der rotierenden elektrischen Maschine und der Stärke der Drehmoment-Pulsation des Magnetgetriebe-Drehmoments ist mit τ_β bezeichnet. Unter Bezugnahme auf **Fig. 6** und **Fig. 7** ist in diesem Fall τ_β die Stärke der Drehmoment-Pulsation des Magnetgetriebe-Drehmoments und beträgt ungefähr 5,0.

[0055] Wie in **Fig. 9** gezeigt, hat mit θ definiert als elektrischer Winkel die Drehmoment-Pulsation des kombinierten Drehmoments einen Minimalwert α in der Umgebung von $\theta = 21^\circ$ und wird kleiner als die Drehmoment-Pulsationen des Magnetgetriebe-Drehmoments und des Drehmoments der rotierenden elektrischen Maschine in einem Bereich von θ ($12,3^\circ < \theta < 25,5^\circ$).

[0056] Der Bereich der Phasenverschiebung θ , in dem die Wirkung zum Verringern der Drehmoment-Pulsation erhalten wird, ändert sich in Abhängigkeit von Merkmalen, wie z. B. Formen und Anordnungen der Permanentmagneten und Magnelementen (Polstücke, Zähne usw.) des Rotors. Daher wird unten der Bereich von θ diskutiert, in dem die Verringerungswirkung allgemein erwartet wird.

[0057] **Fig. 10** zeigt Amplituden in einem Frequenzanalyse-Ergebnis des Magnetgetriebe-Drehmoments in der Magnetgetriebe-Einrichtung 100. **Fig. 11** zeigt Amplituden in einem Frequenzanalyse-Ergebnis des Drehmoments der rotierenden elektrischen Maschine in der Magnetgetriebe-Einrichtung 100.

[0058] Wie oben beschrieben, schließen die Hauptkomponenten der Drehmoment-Pulsationen des Magnetgetriebe-Drehmoments und des Drehmoments der rotierenden elektrischen Maschine Komponenten von

Vielfachen der kleinsten gemeinsamen Vielfachen der Anzahlen von Permanentmagneten (25 und 13) und der Magnelemente (Zähne 16 und Polstücke 29) ein, und insbesondere sind die 1-fach-Komponenten und die 2-fach-Komponenten dominant. In der vorliegenden Ausführungsform sind die Ordnungen der Drehmoment-Pulsation in einem elektrischen Winkelbereich von 360° mit 6K bezeichnet, und daher zeigt sich, dass eine Komponente sechster Ordnung ($K = 1$) und eine Komponente zwölfter Ordnung ($K = 2$) dominant sind. Außerdem ist allgemein bekannt, dass diese 1-fachen ($K = 1$) und 2-fachen ($K = 2$) Komponenten in vielen Strukturen dominant sind, und daher wird das Hauptaugenmerk auf die Verringerung dieser zwei Komponenten gelegt. Die Stärke-Relation zwischen den zwei Komponenten unterscheidet sich in Abhängigkeit der Strukturen der rotierenden elektrischen Maschine 10 und des Magnetgetriebes 20.

[0059] Fig. 12 ist ein Wellenform-Diagramm, das eine Komponente sechster Ordnung des Drehmoments in einer verallgemeinerten Weise in der Magnetgetriebe-Einrichtung 100 zeigt. Hier wird beim Magnetgetriebe-Drehmoment und Drehmoment der rotierenden elektrischen Maschine nur eine Komponente sechster Ordnung extrahiert, und deren Drehmoment-Wellenform, verallgemeinert mit deren Amplitude definiert als 1, ist in einem elektrischen Winkelbereich von 360° gezeigt. In diesem Fall hat die Stärke TA der Drehmoment-Pulsation einen Wert von 2,0.

[0060] Fig. 13 ist ein Wellenform-Diagramm, das eine Komponente zwölfter Ordnung des Drehmoments in einer verallgemeinerten Weise in der Magnetgetriebe-Einrichtung 100 zeigt. Hier wird beim Magnetgetriebe-Drehmoment und Drehmoment der rotierenden elektrischen Maschine nur eine Komponente zwölfter Ordnung extrahiert, und deren Drehmoment-Wellenform, verallgemeinert mit deren Amplitude definiert als 1, ist in einem elektrischen Winkelbereich von 360° gezeigt. In diesem Fall hat die Stärke TB der Drehmoment-Pulsation einen Wert von 2,0.

[0061] In Fig. 12 und Fig. 13 ist eine Drehmoment-Wellenform, deren Maximalwert bei einem anfänglichen Winkel liegt, mit einer gepunkteten Linie gezeigt, und eine Drehmoment-Wellenform mit einer Phase, die um die Phasenverschiebung θ verschoben ist, ist mit einer durchgezogenen Linie gezeigt.

[0062] Wie oben beschrieben, gilt bei der vorliegenden Ausführungsform Folgendes: Beim Erhalten eines kombinierten Drehmoments, indem das Drehmoment der rotierenden elektrischen Maschine und das Magnetgetriebe-Drehmoment addiert werden, wird die Phasenverschiebung θ der Umfangsrichtungs-Magnetpolzentrum-Position des Rotors 12 von der Umfangsrichtungs-Zentrumsposition des Zahns 16 eingestellt, so dass die Drehmoment-Pulsation wirksam verringert werden kann.

[0063] In Fig. 12 und Fig. 13 wird die Drehmoment-Wellenform ohne Phasenverschiebung (gepunktete Linie) als Magnetgetriebe-Drehmoment angenommen, die Drehmoment-Wellenform mit der Phasenverschiebung θ (durchgezogene Linie) wird als Drehmoment der rotierenden elektrischen Maschine angenommen, und beide Wellenformen werden addiert, so dass die Drehmoment-Wellenformen einer Komponente sechster Ordnung und einer Komponente zwölfter Ordnung eines kombinierten Drehmoments erzeugt werden kann.

[0064] Fig. 14 ist ein Wellenform-Diagramm, das Drehmoment-Pulsationen einer Komponente sechster Ordnung und einer Komponente zwölfter Ordnung des kombinierten Drehmoments auf verallgemeinerte Weise in der Magnetgetriebe-Einrichtung 100 zeigt.

[0065] In Fig. 14 ist eine Änderung der Drehmoment-Pulsation bezüglich der Phasenverschiebung θ für jedes von dem kombinierten Drehmoment der Komponente sechster Ordnung und dem kombinierten Drehmoment der Komponente zwölfter Ordnung gezeigt, die auf der Basis von Fig. 12 und Fig. 13 erzeugt werden. Also wird in diesem Fall die Phasenverschiebung θ in einem Bereich einer Periode einer Komponente geändert, die sechsmal pro elektrischem Winkel von 360° oszilliert, welches eine Hauptkomponente der Drehmoment-Pulsation im Drehmoment der rotierenden elektrischen Maschine und Magnetgetriebe-Drehmoment ist, d. h. in einem elektrischen Winkelbereich von $60^\circ (= (360/6))$. Dann ist die Änderung der Stärke (P-P) der Drehmoment-Pulsation bezüglich der Phasenverschiebung θ gezeigt.

[0066] Mit θ definiert als elektrischer Winkel wird die Drehmoment-Pulsation des kombinierten Drehmoments der Komponente sechster Ordnung kleiner als Drehmoment-Pulsationen TA, TB ($= 2,0$) der Drehmomente vor der Kombination, und zwar in einem Bereich von $20^\circ < \theta < 40^\circ$. Außerdem wird die Drehmoment-Pulsation des kombinierten Drehmoments der Komponente zwölfter Ordnung kleiner als die Drehmoment-Pulsationen TA, TB ($= 2,0$) der Drehmomente vor der Kombination, und zwar in Bereichen von $10^\circ < \theta < 20^\circ$ und $40^\circ < \theta < 50^\circ$.

[0067] Das heißt, es zeigt sich, dass die Drehmoment-Pulsation des kombinierten Drehmoments der Komponente sechster Ordnung oder zwölfter Ordnung kleiner als die Drehmoment-Pulsation des Drehmoments vor der Kombination wird, und zwar in einem θ -Bereich von $10^\circ < \theta < 50^\circ$.

[0068] Der Bereich von θ ($12,3^\circ < \theta < 25,5^\circ$), der in **Fig. 9** gezeigt ist, ist ein Beispiel auf der Basis der Konfigurationen der rotierenden elektrischen Maschine 10 und des Magnetgetriebes 20 der Magnetgetriebe-Einrichtung 100 gemäß der vorliegenden Ausführungsform, und ist im obigen θ -Bereich ($10^\circ < \theta < 50^\circ$) enthalten. Folglich kann beschrieben werden, dass sich die Verringerungs-Wirkung infolge der Kombination zeigt.

[0069] In der vorliegenden Ausführungsform ist das kleinste gemeinsame Vielfache M der Anzahl von Polen des Rotors 12 und der Anzahl von Zähnen 16 der rotierenden elektrischen Maschine 10 auf die Ordnung der Drehmoment-Pulsation vorgegeben, so dass Komponenten, die M-mal und 2M-mal pro Rotation des Rotors 12 um einen mechanischen Winkel von 360° oszillieren, verringert werden können.

[0070] Dann wird die obige Diskussion auf der Basis des elektrischen Winkels auf den mechanischen Winkel angewendet, so dass der Bereich der Phasenverschiebung φ (mechanischer Winkel), in dem die Drehmoment-Pulsation verringert werden kann, als $(360/M/6)^\circ < \varphi < ((360/M/6) \times 5)^\circ$ erhalten wird.

[0071] Das heißt, die Drehmoment-Pulsation wird wirksam mit einer solchen Positionsrelation verringert, dass das Umfangsrichtungs-Magnetpolzentrum des Rotors 12 von der Umfangsrichtungs-Zentrumsposition des Zahns 16 um die Phase (mechanischer Winkel) φ verschoben wird, und zwar in einem Bereich von $(360/M/6)^\circ < \varphi < ((360/M/6) \times 5)^\circ$, wenn die Umfangsrichtungs-Magnetpolzentrum des ersten Rotors (innere Magnettröhre 23) mit der Umfangsrichtungs-Zentrumsposition des fixen Polstücks 29 übereinstimmt.

[0072] Wie oben beschrieben, gilt in der vorliegenden Ausführungsform Folgendes: Das kleinste gemeinsame Vielfache LCM der Anzahl N von Polstücken 29 und der Anzahl von Polen des ersten Rotors (innere Magnettröhre 23) des Magnetgetriebes 20 stimmt mit dem kleinsten gemeinsamen Vielfachen M der Anzahl von Polen des Rotors 12 und der Anzahl von Zähnen 16 der rotierenden elektrischen Maschine 10 überein.

[0073] Folglich kann die Magnetgetriebe-Einrichtung 100, die eine Kombination des Magnetgetriebes 20 und der rotierenden elektrischen Maschine 10 ist, die Drehmoment-Pulsation verringern, die ausgegeben werden soll, so dass die Geschwindigkeits-Schwankung auf der Ausgabeseite unterdrückt werden kann. Außerdem ist eine spezielle Bearbeitung für die ersten und zweiten Permanentmagneten 25 und 27 nicht notwendig, die im Magnetgetriebe 20 verwendet werden sollen, und daher kann die Magnetgetriebe-Einrichtung 100 leicht und mit niedrigen Kosten hergestellt werden.

[0074] Außerdem gilt Folgendes, Wenn das Umfangsrichtungs-Magnetpolzentrum des ersten Rotors (innere Magnettröhre 23) mit der Umfangsrichtungs-Zentrumsposition des fixen Polstücks 29 übereinstimmt, wird die Umfangsrichtungs-Magnetpolzentrum des Rotors 12 von der Umfangsrichtungs-Zentrumsposition des Zahn 16 um einen vorgegebenen Winkel phasenverschoben, so dass die Drehmoment-Pulsation der rotierenden elektrischen Maschine 10 und die Drehmoment-Pulsation des Magnetgetriebes 20 miteinander verringert werden.

[0075] Folglich wird die Drehmoment-Pulsation des kombinierten Drehmoments, das aus der Magnetgetriebe-Einrichtung 100 ausgegeben wird, wirksam verringert, so dass eine Geschwindigkeits-Schwankung auf der Ausgabeseite unterdrückt wird.

[0076] Außerdem stimmt bei der vorliegenden Ausführungsform die Anzahl von Polen des ersten Rotors (innere Magnettröhre 23) des Magnetgetriebes 20 mit der Anzahl von Polen des Rotors 12 der rotierenden elektrischen Maschine 10 überein. Folglich kann der Entwurf so erfolgen, dass Produkte mit gleicher Spezifikation für die Permanentmagneten 13 des Rotors 12 der rotierenden elektrischen Maschine 10 und die ersten Permanentmagneten 25 des ersten Rotors (innere Magnettröhre 23) des Magnetgetriebes 20 verwendet werden, so dass die Herstellungskosten verringert werden können.

[0077] Außerdem werden in der Magnetgetriebe-Einrichtung 100 normalerweise unter dem Gesichtspunkt der Ausgangsleistung und des Wirkungsgrads die notwendigen Spezifikationen für die rotierenden elektrischen Maschine 10 zuerst bestimmt, und dann werden die Anzahl von Polen des Rotors 12 und die Anzahl von Zähnen 16 entsprechend bestimmt.

[0078] Als Nächstes wird das Magnetgetriebe 20 so ausgewählt, dass die Drehmoment-Pulsation des Magnetgetriebe-Drehmoments und die Drehmoment-Pulsation des Drehmoments der rotierenden elektrischen Maschine verringert werden, indem sie einander aufheben. Das heißt, die Hauptordnung der Drehmoment-Pulsation, die vom Magnetgetriebe 20 erzeugt wird, ist gleich groß oder größer als die Ordnung der Drehmoment-Pulsation, die von der rotierenden elektrischen Maschine 10 erzeugt wird.

[0079] Im Magnetgetriebe 20 ist es wünschenswert, dass die Anzahl von Polen des ersten Rotors (innere Magnetronne 23), die mit der Ausgangswelle der rotierenden elektrischen Maschine 10 verbunden ist, gleich groß wie oder größer als die Anzahl von Polen des Rotors 12 der rotierenden elektrischen Maschine 10 ist. Wie oben beschrieben, ist unter den Ordnungen der Drehmoment-Pulsation des Magnetgetriebes 20 das kleinste gemeinsame Vielfache LCM der Anzahl N der Polstücke 29 und der Anzahl von Polen des ersten Rotors (innere Magnetronne 23) dominant.

[0080] In einem Fall, in dem die Anzahl von Polen des ersten Rotors (innere Magnetronne 23) kleiner als die Anzahl von Polen des Rotors 12 der rotierenden elektrischen Maschine 10 ist, kann daher eine Komponente für eine Ordnung kleiner als die Ordnungen der Komponenten der Drehmoment-Pulsation steigen, die von der rotierenden elektrischen Maschine 10 erzeugt wird, so dass die Wirkung zum Verringern der Drehmoment-Pulsation nicht insgesamt erhalten werden kann.

[0081] Die vorliegende Ausführungsform hat die Magnetgetriebe-Einrichtung 100 gezeigt, bei der die rotierende elektrische Maschine 10 mit acht Polen und zwanzig Nuten und das Magnetgetriebe 20, das den ersten Rotor (innere Magnetronne 23) mit acht Polen aufweist, der einen Wenigerpol-Mechanismus bildet, den zweiten Rotor (äußere Magnetronne 26) mit vierzig Polen aufweist, der einen Mehrpol-Mechanismus bildet, und vierundzwanzig Polstücke 29, die die Magnetmaterial-Röhre 30 bildet, kombiniert sind.

[0082] Um dieses Beispiel zu verallgemeinern: Wenn X und Y als Ganzzahlen definiert sind, wird nachstehend das Magnetgetriebe 20 diskutiert, bei dem die Anzahl von Polen des ersten Rotors (innere Magnetronne 23) einen Wert von 2X hat, die Anzahl von Polen des zweiten Rotors (äußere Magnetronne 26) einen Wert von 2Y hat und die Anzahl von Polstücken 29 einen Wert von hat (X + Y).

[0083] In diesem Magnetgetriebe 20 gilt Folgendes: Während der erste Rotor (innere Magnetronne 23) um 360° im elektrischen Winkel rotiert, d. h. um $(360/X)^\circ$ im mechanischen Winkel rotiert, oszilliert das Magnetgetriebe-Drehmoment die gleiche Anzahl von Malen wie (kleinstes gemeinsames Vielfaches $\text{LCM}(2X, (X + Y))/X$). Daher beträgt die Anzahl von Malen, die das Magnetgetriebe-Drehmoment oszilliert, während der erste Rotor (innere Magnetronne 23) eine Umdrehung durchführt,

$$(\text{LCM}(2X, (X + Y)) / X) \times (360 / (360 / X)) = \text{LCM}(2X, (X + Y)).$$

[0084] Es zeigt sich folglich, dass - wenn das kleinste gemeinsame Vielfache M der Anzahl von Polen des Rotors 12 und der Anzahl von Zähnen 16 der rotierenden elektrischen Maschine 10 mit dem kleinsten gemeinsamen Vielfachen LCM der Anzahl von Polen des ersten Rotors (innere Magnetronne 23), der mit der Drehwelle 11 der rotierenden elektrischen Maschine 10 verbunden ist, und der Anzahl von Polstücken 29 übereinstimmt, wird es möglich, eine solche Einstellung vorzunehmen, dass die Drehmoment-Pulsation des Magnetgetriebe-Drehmoments und die Drehmoment-Pulsation des Drehmoment der rotierenden elektrischen Maschine durch Aufhebung verringert werden können.

[0085] Bei der obigen Ausführungsform ist die Drehwelle 11 der rotierenden elektrischen Maschine 10 integral mit dem Eingangsbereich 21 des Magnetgetriebes 20 ausgebildet. Die vorliegende Erfindung ist darauf jedoch nicht beschränkt.

[0086] Fig. 15 ist eine vertikale Schnittansicht, die die Konfiguration der Magnetgetriebe-Einrichtung 100 gemäß einem weiteren Beispiel von Ausführungsform 1 zeigt.

[0087] Wie in Fig. 15 gezeigt, ist die Drehwelle 11 der rotierenden elektrischen Maschine 10 mit dem Eingangsbereich 21 des Magnetgetriebes 20 via einen Verbindungsmechanismus 36 für die Rotationskraft verbunden, z. B. eine Wellenkupplung. Der Verbindungsmechanismus 36 kann auch ein Gurt, ein mechanisches Getriebe, eine Magnetkupplung oder dergleichen sein, anstelle einer Wellenkupplung.

[0088] Auch in einem Fall, in dem die Drehwelle 11 der rotierenden elektrischen Maschine 10 mit dem Eingangsbereich 21 des Magnetgetriebes 20 via den Verbindungsmechanismus 36 für die Rotationskraft verbunden ist, werden folglich die gleichen Wirkungen wie bei der obigen Ausführungsform 1 erzielt.

[0089] Bei der obigen Ausführungsform ist das Beispiel gezeigt, bei dem die Polstücke 29 fixiert sind. Die Polstücke 29 können jedoch auch rotierbar sein, so dass eine Phasen-Anpassung beliebig durchgeführt werden kann, so dass die gleichen Wirkungen erzielt werden.

Ausführungsform 2

[0090] Bei der obigen Ausführungsform 1 ist die Verringerung der Drehmoment-Pulsation in der Magnetgetriebe-Einrichtung 100 in einem Fall beschrieben, in dem kein Strom anliegt. Bei der vorliegenden Ausführungsform 2 wird die Verringerung der Drehmoment-Pulsation in der Magnetgetriebe-Einrichtung 100 in einem Fall beschrieben, in dem Strom an die rotierende elektrische Maschine 10 angelegt wird. Die Struktur der Magnetgetriebe-Einrichtung 100 in der vorliegenden Ausführungsform ist die gleiche wie jene, die in **Fig. 1** bis **Fig. 3** bei der obigen Ausführungsform 1 gezeigt ist.

[0091] **Fig. 16** ist ein Wellenform-Diagramm, das das Drehmoment der rotierenden elektrischen Maschine, das Magnetgetriebe-Drehmoment und das kombinierte Drehmoment in einer Magnetgetriebe-Einrichtung gemäß Ausführungsform 2 zeigt, wenn Strom anliegt.

[0092] Wie oben beschrieben, sind in der Magnetgetriebe-Einrichtung 100 der Rotor 12 der rotierenden elektrischen Maschine 10 und der erste Rotor (innere Magnetröhre 23) des Magnetgetriebes 20 verbunden, und ein kombiniertes Drehmoment aus dem Drehmoment der rotierenden elektrischen Maschine und dem Magnetgetriebe-Drehmoment ist das gesamte Drehmoment.

[0093] **Fig. 16** zeigt eine Drehmoment-Wellenform (unterbrochene Linie) der rotierenden elektrischen Maschine 10, eine Drehmoment-Wellenform (gepunktete Linie) des Magnetgetriebes 20, und eine kombinierte Drehmoment-Wellenform (durchgezogene Linie), die erhalten wird, indem beide Wellenformen addiert werden, und zwar in einem Fall, in dem Strom an die Spulen 17 der rotierenden elektrischen Maschine 10 angelegt wird.

[0094] Die Wellenform des Magnetgetriebe-Drehmoments ist die gleiche wie die Drehmoment-Wellenform, die in **Fig. 5** bei der obigen Ausführungsform 1 gezeigt ist, d. h. die Drehmoment-Pulsation tritt sechsmal auf, während der erste Rotor (innere Magnetröhre 23) um einen elektrischen Winkel von 360° rotiert.

[0095] Wie oben beschrieben, gilt Folgendes: Da das kleinste gemeinsame Vielfache LCM der Anzahl von Polen des ersten Rotors (innere Magnetröhre 23), die die Anzahl von ersten Permanentmagneten 25 und die Anzahl von Polstücken 29 ist, 24 ist, oszilliert das Magnetgetriebe-Drehmoment $6K (= (24K/(8/2)))$ Mal in einem elektrischen Winkelbereich von 360° . Folglich ist eine Komponente, die sechsmal bei $K = 1$ oszilliert, mit einem großen Wert enthalten.

[0096] Wie in **Fig. 16** dargestellt, zeigt sich, dass im Drehmoment der rotierenden elektrischen Maschine eine Drehmoment-Pulsations-Komponente sechster Ordnung, die sechsmal oszilliert, während der Rotor 12 um einen elektrischen Winkel von 360° rotiert, dominant ist. Es ist allgemein bekannt, dass in der rotierenden elektrischen Maschine 10 Folgendes gilt: Wenn Strom anliegt, nimmt die Drehmoment-Pulsations-Komponente zu, die $(6 \times N1)$ Mal ($N1$ ist eine natürliche Zahl) während der Rotation um 360° im elektrischen Winkel oszilliert.

[0097] Wie in **Fig. 16** gezeigt, wird die Stärke T_y der Drehmoment-Pulsation der kombinierten Drehmoment-Wellenform, d. h. die Differenz (P-P) zwischen dem Maximalwert und dem Minimalwert der Wellenform, signifikant kleiner als jene der Drehmoment-Wellenform der rotierenden elektrischen Maschine 10 und der Drehmoment-Wellenform des Magnetgetriebes 20, und folglich wird die Drehmoment-Pulsation signifikant verringert.

[0098] Auch bei der vorliegenden Ausführungsform 2 gilt wie bei der obigen Ausführungsform 1 Folgendes: Wenn die Hauptordnung der Drehmoment-Pulsation der rotierenden elektrischen Maschine 10 mit der Hauptordnung der Drehmoment-Pulsation des Magnetgetriebes 20 übereinstimmt, wird die Wirkung zum Verringern der Drehmoment-Pulsation im kombinierten Drehmoment durch phasenbezogene Einstellung erhalten.

[0099] Das heißt, wenn die Bedingung erfüllt ist, dass die Anzahl von Polen des Rotors 12 der rotierenden elektrischen Maschine $10 \times (3 \times N_1)$ mit dem kleinsten gemeinsamen Vielfachen LCM der Anzahl von Polen des ersten Rotors (innere Magnetröhre 23), der mit der Drehwelle 11 der rotierenden elektrischen Maschine 10 verbunden ist, und der Anzahl von Polstücken 29 übereinstimmt, wird die Wirkung zum Verringern der Drehmoment-Pulsation erhalten, wenn Strom an die rotierende elektrische Maschine 10 angelegt wird.

[0100] In diesem Fall ist das kleinste gemeinsame Vielfache LCM (= 24) das Dreifache der Anzahl von Polen (= 8) des Rotors 12 der rotierenden elektrischen Maschine 10, und folglich erfüllt es die obige Bedingung bei $N_1 = 1$, so dass die Wirkung zum Verringern der Drehmoment-Pulsation erhalten wird.

[0101] Die Phase der Drehmoment-Pulsation der rotierenden elektrischen Maschine 10, wenn Strom angelegt wird, ändert sich in Abhängigkeit der Zustände der Amplitude und der Phase des Stroms, sowie der Schnittform der rotierenden elektrischen Maschine 10. Demzufolge wird die Phasen-Anpassung durchgeführt, indem eine solche Anordnung erfolgt, dass Drehmoment-Pulsationen in gewünschten Zuständen der Amplitude und der Phase des Stroms aufgehoben wird, wo die Oszillations-Verringerung benötigt wird.

[0102] Beispielsweise wird ein Antriebsmotor für ein Fahrzeug oft in einem niedrigen bis mittleren Drehmomentbereich-Betrieb verwendet, und daher wird die Phasenrelation so ausgewählt, dass Drehmoment-Pulsationen in der Bedingung aufgehoben werden, in der die Amplitude und die Phase des Stroms im obigen Drehmoment-Bereich sind.

[0103] Die Phasen-Anpassung zu dieser Zeit kann auch durchgeführt werden, indem die Phase (Phasenverschiebung θ) zwischen dem Umfangsrichtungs-Magnetpolzentrum des Rotors 12 und die Umfangsrichtungs-Zentrumsposition des Zahns 16 eingestellt werden, wenn das Umfangsrichtungs-Magnetpolzentrum des ersten Rotors (innere Magnetröhre 23) mit der Umfangsrichtungs-Zentrumsposition des Polstücks 29 übereinstimmt, wie bei der obigen Ausführungsform 1.

[0104] Indem eine Phasen-Anpassung durchgeführt wird, so dass die Drehmoment-Pulsation der rotierenden elektrischen Maschine 10 und die Drehmoment-Pulsation des Magnetgetriebes 20 miteinander verringert werden, wird dann die Drehmoment-Pulsation wirksam verringert, so dass eine Geschwindigkeits-Schwankung infolge der Drehmoment-Pulsation unterdrückt werden kann.

[0105] Die Bedingung, dass das kleinste gemeinsame Vielfache LCM der Anzahl N von Polstücken 29 und der Anzahl von Polen des ersten Rotors (innere Magnetröhre 23) des Magnetgetriebes 20 mit dem kleinsten gemeinsamen Vielfache M der Anzahl von Polen des Rotors 12 und der Anzahl von Zähnen 16 der rotierenden elektrischen Maschine 10 übereinstimmt, wie bei der obigen Ausführungsform 1 beschrieben, ist als eine erste Bedingung definiert.

[0106] Dann ist die Bedingung, dass das kleinste gemeinsame Vielfache LCM der Anzahl N von Polstücken 29 und der Anzahl von Polen des ersten Rotors (innere Magnetröhre 23) des Magnetgetriebes 20 mit der Anzahl von Polen des Rotors 12 der rotierenden elektrischen Maschine $10 \times (3 \times N_1)$ übereinstimmt, wie bei der vorliegenden Ausführungsform beschrieben, als eine zweite Bedingung definiert. Mit der ersten Bedingung und der zweiten Bedingung, die wie oben beschrieben vorgegeben sind, gilt Folgendes: Wenn zumindest eine von der ersten Bedingung und der zweiten Bedingung erfüllt ist, wird die Wirkung zum Verringern der Drehmoment-Pulsation erhalten.

[0107] In der Magnetgetriebe-Einrichtung 100, die in der vorliegenden Ausführungsform verwendet wird, stimmt das kleinste gemeinsame Vielfache LCM (= 24) der Anzahl N von Polstücken 29 und der Anzahl von Polen des ersten Rotors (innere Magnetröhre 23) des Magnetgetriebes 20 mit dem kleinsten gemeinsamen Vielfachen M (= 24) der Anzahl von Polen des Rotors 12 und der Anzahl von Zähnen 16 der rotierenden elektrischen Maschine 10 überein, und es stimmt mit dem Dreifachen der Anzahl von Polen des Rotors 12 überein.

[0108] Daher sind sowohl die erste Bedingung, als auch die zweite Bedingung erfüllt. Folglich kann die Magnetgetriebe-Einrichtung 100 die Wirkung zum Verringern der Drehmoment-Pulsation in beiden Fällen erzielen, nämlich wenn kein Strom anliegt und wenn Strom anliegt.

Ausführungsform 3

[0109] Fig. 17 ist eine vertikale Schnittansicht, die die Konfiguration einer Magnetgetriebe-Einrichtung gemäß Ausführungsform 3 zeigt.

[0110] Wie in Fig. 17, gezeigt, ist eine Magnetgetriebe-Einrichtung 100A als eine Antriebseinheit ausgebildet, die die rotierende elektrische Maschine 10 und ein Magnetgetriebe 20A aufweist.

[0111] Die rotierende elektrische Maschine 10 ist die gleiche wie bei der obigen Ausführungsform 1. Das Magnetgetriebe 20A weist die innere Magnetröhre 23 auf, die einen Wenigerpol-Mechanismus mit einer kleineren Anzahl von Magnetpolen ausbildet, eine äußere Magnetröhre 26A, die einen Mehrpol-Mechanismus mit einer größeren Anzahl von Magnetpolen ausbildet, und eine Magnetmaterial-Röhre 30A, die zwischen der inneren Magnetröhre 23 und der äußeren Magnetröhre 26A angeordnet ist, wobei Magnetspalte 31 sowohl von der inneren Magnetröhre 23, als auch der äußeren Magnetröhre 26A dazwischen eingefügt sind.

[0112] Deren transversale Schnittansicht ist die gleiche wie jene in Fig. 3, aber eine Kombination der Anzahl von ersten Permanentmagneten 25 der inneren Magnetröhre 23, der Anzahl von zweiten Permanentmagneten 28 der äußeren Magnetröhre 26A und der Anzahl von Polstücken 29 der Magnetmaterial-Röhre 30A ist unterschiedlich. Im Magnetgetriebe 20A sind die innere Magnetröhre 23, die äußere Magnetröhre 26A und die Magnetmaterial-Röhre 30A konzentrisch angeordnet, eine der drei Röhren wird als ein erster Rotor verwendet, der mit dem Eingangsbereich 21 verbunden ist, eine andere wird als ein zweiter Rotor verwendet, der mit dem Ausgangsbereich 22 verbunden ist, und die verbleibende wird als Stator verwendet.

[0113] Bei der vorliegenden Ausführungsform wird die innere Magnetröhre 23 als der erste Rotor verwendet, die Magnetmaterial-Röhre 30A wird als der zweite Rotor verwendet, und die äußere Magnetröhre 26A wird als der Stator verwendet.

[0114] Die übrigen Konfigurationen sind die gleichen wie bei der obigen Ausführungsform 1.

[0115] Das heißt, bei der vorliegenden Ausführungsform sind der Rotor 12 der rotierenden elektrischen Maschine 10 und der erste Rotor (innere Magnetröhre 23) des Magnetgetriebes 20A koaxial angeordnet, und der erste Rotor (innere Magnetröhre 23) des Magnetgetriebes 20A rotiert zusammen mit der Drehwelle 11 der rotierenden elektrischen Maschine 10.

[0116] Folglich wird eine Durchflutung an den Polstücken 29 des zweiten Rotors (Magnetmaterial-Röhre 30A) angelegt, die zwischen dem Stator (äußere Magnetröhre 26A) und dem ersten Rotor (innere Magnetröhre 23) platziert ist. Dann rotiert der zweite Rotor (Magnetmaterial-Röhre 30A) in derselben Richtung wie der erste Rotor (innere Magnetröhre 23).

[0117] Folglich wird in der Magnetgetriebe-Einrichtung 100A eine Antriebskraft, die von der rotierenden elektrischen Maschine 10 erzeugt wird, einer Geschwindigkeitsverringerung und einer Drehmomenterhöhung oder einer Geschwindigkeitserhöhung und einer Drehmomentverringerung durch das Magnetgetriebe 20A unterworfen, und dann wird die sich ergebende Kraft vom Ausgangsbereich 22 entsprechend einer Ausgangswelle des Magnetgetriebes 20A ausgegeben.

[0118] Die Kombination aus der Anzahl von ersten Permanentmagneten 25 der inneren Magnetröhre 23, der Anzahl von zweiten Permanentmagneten 28 der äußeren Magnetröhre 26A und der Anzahl N von Polstücken 29 der Magnetmaterial-Röhre 30A im Magnetgetriebe 20A ist nachstehend gezeigt. Wenn X und Y ($>X$) als natürliche Zahlen definiert sind, hat die Anzahl von ersten Permanentmagneten 25 der inneren Magnetröhre 23 einen Wert von $2X$, die Anzahl von zweiten Permanentmagneten 28 der äußeren Magnetröhre 26A hat einen Wert von $2Y$, und die Anzahl N von Polstücken 29 der Magnetmaterial-Röhre 30A hat einen Wert von $(X + Y)$.

[0119] Während der erste Rotor (innere Magnetröhre 23) relativ zum zweiten Rotor (Magnetmaterial-Röhre 30) um 360° im elektrischen Winkel rotiert, d. h. $(360/X + 360/Y)^\circ$ im mechanischen Winkel, oszilliert das Magnetgetriebe-Drehmoment die gleiche Anzahl von Malen wie der Wert, der erhalten wird, indem das kleinste gemeinsame Vielfache LCM der Anzahl N von Polstücken 29 und der Anzahl von Polen des ersten Rotors (innere Magnetröhre 23) durch X geteilt wird, d. h. $(\text{LCM}(2X, (X + Y))/X)$ Mal. Das heißt, die Anzahl von Malen, die das Magnetgetriebe-Drehmoment oszilliert, während der erste Rotor (innere Magnetröhre 23) um

360° im mechanischen Winkel oszilliert, ist $(\text{LCM}(2X, (X + Y))/X) \times (360/(360/X + 360/Y)) = \text{LCM}(2X, (X + Y)) \times (Y/(X + Y))$.

[0120] Daher wird das Magnetgetriebe 20A konfiguriert, indem eine Kombination der Anzahl von ersten Permanentmagneten 25 der inneren Magnetröhre 23, der Anzahl von zweiten Permanentmagneten 28 der äußeren Magnetröhre 26A und der Anzahl N von Polstücken 29 der Magnetmaterial-Röhre 30A bestimmt wird, so dass das kleinste gemeinsame Vielfache M der Anzahl von Polen des Rotors 12 und der Anzahl von Zähnen 16 der rotierenden elektrischen Maschine 10 mit $\text{LCM}(2X, (X + Y)) \times (Y/(X + Y))$ übereinstimmt.

[0121] Das heißt, der Wert, der erhalten wird, indem das kleinste gemeinsame Vielfache LCM der Anzahl N von Polstücken 29 und der Anzahl von Polen des ersten Rotors (innere Magnetröhre 23) mit $((\text{Anzahl von Polen des Stators (äußere Magnetröhre 26A)})/N)$ multipliziert wird, als ein erster Wert definiert wird, und die Vorgabe so getroffen wird, dass die erste Bedingung erfüllt ist, dass der erste Wert mit dem kleinsten gemeinsamen Vielfachen M der Anzahl von Polen des Rotors 12 und der Anzahl von Zähnen 16 der rotierenden elektrischen Maschine 10 übereinstimmt..

[0122] Folglich gilt in einem Fall, in dem kein Strom in der rotierenden elektrischen Maschine 10 angelegt wird, Folgendes: Wenn die Hauptordnung der Drehmoment-Pulsation der rotierenden elektrischen Maschine 10 und die Hauptordnung der Drehmoment-Pulsation des Magnetgetriebes 20A miteinander übereinstimmen, können diese Drehmoment-Pulsationen aufgehoben werden, so dass sie verringert werden, und zwar durch phasenbezogene Einstellung, so dass die Drehmoment-Pulsation im kombinierten Drehmoment verringert wird.

[0123] Auch in diesem Fall gilt wie bei der obigen Ausführungsform 1 Folgendes: Die Phase (Phasenverschiebung θ) zwischen dem Umfangsrichtungs-Magnetpolzentrum des Rotors 12 und der Umfangsrichtungs-Zentrumsposition des Zahns 16, wenn das Umfangsrichtungs-Magnetpolzentrum des ersten Rotors (innere Magnetröhre 23) mit dem Umfangsrichtungs-Magnetpolzentrum des Stators (äußere Magnetröhre 26A) übereinstimmt, wird eingestellt.

[0124] Indem eine Phasen-Anpassung durchgeführt wird, so dass die Drehmoment-Pulsation der rotierenden elektrischen Maschine 10 und die Drehmoment-Pulsation des Magnetgetriebes 20 miteinander verringert werden, wird dann die Drehmoment-Pulsation wirksam verringert, so dass eine Geschwindigkeits-Schwankung infolge der Drehmoment-Pulsation unterdrückt werden kann.

[0125] Demzufolge kann die Magnetgetriebe-Einrichtung 100A die auszugebende Drehmoment-Pulsation verringern, so dass eine Geschwindigkeits-Schwankung auf der Ausgabeseite unterdrückt werden kann.

[0126] Außerdem ist - wie bei der obigen Ausführungsform 1 - eine besondere Bearbeitung der ersten und zweiten Permanentmagneten 25 und 28 nicht notwendig, die im Magnetgetriebe 20A verwendet werden sollen, und daher kann die Magnetgetriebe-Einrichtung 100A leicht und bei niedrigen Kosten hergestellt werden.

[0127] Die Konfiguration der Magnetgetriebe-Einrichtung 100A kann so vorgegeben werden, dass sie die zweite Bedingung erfüllt, dass der erste Wert, der erhalten wird, indem das kleinste gemeinsame Vielfache LCM der Anzahl N von Polstücken 29 und der Anzahl von Polen des ersten Rotors (innere Magnetröhre 23) mit $((\text{Anzahl von Polen des Stators (äußere Magnetröhre 26A)})/N)$ multipliziert wird, mit der Anzahl von Polen des Rotors 12 der rotierenden elektrischen Maschine 10 $\times (3 \times N1)$ übereinstimmt.

[0128] In diesem Fall - wie bei der obigen Ausführungsform 2 gezeigt - wird die Wirkung zum Verringern der Drehmoment-Pulsation erzielt, und zwar in einem Fall, in dem Strom in der rotierenden elektrischen Maschine 10 angelegt wird.

[0129] Das heißt, wenn zumindest eine von der ersten Bedingung und der zweiten Bedingung erfüllt ist, wird die Wirkung zum Verringern der Drehmoment-Pulsation durch phasenbezogene Einstellung erzielt. Wenn sowohl die erste Bedingung, als auch die zweite Bedingung erfüllt sind, kann außerdem die Magnetgetriebe-Einrichtung 100A die Wirkung zum Verringern der Drehmoment-Pulsation sowohl in dem Fall erzielen, in dem Strom nicht angelegt wird, als auch in dem Fall, in dem Strom angelegt wird.

[0130] Außerdem wird in der vorliegenden Ausführungsform eine Struktur angenommen, bei der die Magnetmaterial-Röhre 30A, die Polstücke 29 aufweist, als der erste Rotor rotiert, so dass das Übersetzungsverhältnis verglichen mit der obigen Ausführungsform 1 verbessert werden kann. Da die äußere Magnetröhre 26A

am äußersten Umfangsbereich des Magnetgetriebes 20A der Stator ist, kann außerdem die Struktur vereinfacht werden, und die Herstellungskosten können verringert werden.

[0131] Außerdem ist es wünschenswert, dass das Magnetgetriebe 20A zumindest eine Bedingung erfüllt, dass die Anzahl von Polen des ersten Rotors (innere Magnetrohre 23), die mit der Ausgangswelle der rotierenden elektrischen Maschine 10 verbunden ist, gleich groß wie oder größer als die Anzahl von Polen des Rotors 12 der rotierenden elektrischen Maschine 10 ist, und eine Bedingung, dass die Anzahl von Polstücken 29 des zweiten Rotors (Magnetmaterial-Röhre 30A) gleich groß wie oder größer als die Anzahl von Zähnen 16 der rotierenden elektrischen Maschine 10 ist.

[0132] Folglich kann gewährleistet werden, dass das Magnetgetriebe 20A so ausgewählt wird, dass die Hauptordnung der Drehmoment-Pulsation, die vom Magnetgetriebe 20A erzeugt wird, gleich groß wie oder größer als die Ordnung der Drehmoment-Pulsation wird, die von der rotierenden elektrischen Maschine 10 erzeugt wird, so dass die Drehmoment-Pulsation aus dem kombinierten Drehmoment, das von der Magnetgetriebe-Einrichtung 100A ausgegeben wird, unterdrückt werden kann.

[0133] Bei der obigen Ausführungsform ist ein Beispiel gezeigt, bei dem der Stator (äußere Magnetrohre 26A) fixiert ist. Der Stator (äußere Magnetrohre 26A) kann jedoch rotierbar sein, so dass eine Phasen-Anpassung beliebig durchgeführt werden kann, so dass die gleichen Wirkungen erzielt werden.

[0134] Bei der obigen Ausführungsformen ist das Beispiel gezeigt, bei dem die Drehwelle 11 der rotierenden elektrischen Maschine 10 und die Drehwelle (Eingangsbereich 21) des Magnetgetriebes 20, 20A koaxial angeordnet sind, aber die vorliegende Erfindung ist darauf nicht beschränkt. Die gleichen Wirkungen werden erzielt, solange die Drehwelle 11 der rotierenden elektrischen Maschine 10 und der Eingangsbereich 21 des Magnetgetriebes 20, 20A verbunden sind.

Ausführungsform 4

[0135] Bei der vorliegenden Ausführungsform 4 sind der Rotor 12 der rotierenden elektrischen Maschine 10 und der erste Rotor (innere Magnetrohre 23) des Magnetgetriebes 20 in der Magnetgetriebe-Einrichtung 100A der obigen Ausführungsform 3 integral ausgebildet.

[0136] Fig. 18 ist eine vertikale Schnittansicht, die die Konfiguration einer Magnetgetriebe-Einrichtung gemäß Ausführungsform 4 zeigt.

[0137] Wie in Fig. 18 gezeigt, ist eine Magnetgetriebe-Einrichtung 100B als eine Antriebseinheit ausgebildet, die eine rotierende elektrische Maschine 10A und ein Magnetgetriebe 20B aufweist. In diesem Fall ist ein Rotor 12A der rotierenden elektrischen Maschine 10A integral mit dem ersten Rotor (innere Magnetrohre 23A) des Magnetgetriebes 20B ausgebildet. Die übrigen Konfigurationen sind die gleichen wie bei der obigen Ausführungsform 3.

[0138] Bei der vorliegenden Ausführungsform wird ein Rotorkern-Material zwischen dem Magnetgetriebe 20B und der rotierenden elektrischen Maschine 10A gemeinsam genutzt, so dass Strukturelemente weiter verringert werden können. Folglich können die Herstellungskosten weiter verringert werden.

[0139] Auch in diesem Fall gilt Folgendes: Wenn zumindest eine von der ersten Bedingung und der zweiten Bedingung erfüllt ist, die bei der obigen Ausführungsform 3 angegeben sind, kann wie bei der obigen Ausführungsform 3 die Drehmoment-Pulsation durch phasenbezogene Einstellung verringert werden, so dass eine Geschwindigkeits-Schwankung auf der Ausgabeseite unterdrückt werden kann.

[0140] Wenn der Wert, der erhalten wird, indem das kleinste gemeinsame Vielfache LCM der Anzahl N von Polstücken 29 und der Anzahl von Polen des ersten Rotors (innere Magnetrohre 23A mit $((\text{Anzahl von Polen des Stators (äußere Magnetrohre 26A)})/N)$ multipliziert wird, als ein erster Wert definiert wird, ist die erste Bedingung eine Bedingung, dass der erste Wert mit dem kleinsten gemeinsamen Vielfachen M der Anzahl von Polen des Rotors 12 und der Anzahl von Zähnen 16 der rotierenden elektrischen Maschine 10 übereinstimmt. Die zweite Bedingung ist eine Bedingung, dass der erste Wert mit der Anzahl von Polen des Rotors 12 der rotierenden elektrischen Maschine $10 \times (3 \times N1)$ übereinstimmt.

[0141] Bei der obigen Ausführungsform 4 ist die Struktur gezeigt, bei der die rotierende elektrische Maschine 10A und das Magnetgetriebe 20B im selben Rahmen 18A aufgenommen sind. Sie können jedoch auch in separaten Rahmen aufgenommen sein.

[0142] Bei den obigen Ausführungsformen 1 bis 4 ist das Beispiel gezeigt, bei dem das Magnetgetriebe 20, 20A, 20B ein geschwindigkeitsverringendes Getriebe ist, die eine Geschwindigkeitsverringerung und Drehmomenterhöhung durchführt. In einem Fall jedoch, in dem die äußere Magnetrohre 26, die ein Mehrpol-Mechanismus des Magnetgetriebes 20, 20A, 20B ist, als der erste Rotor verwendet wird und mit der Drehwelle 11 der rotierenden elektrischen Maschine 10, 10A verbunden ist, kann ein geschwindigkeitserhöhendes Getriebe erhalten werden, das eine Geschwindigkeitserhöhung und Drehmomentverringerung durchführt. Auch in diesem Fall werden die gleichen Wirkungen wie bei den obigen Ausführungsformen erhalten.

Ausführungsform 5

[0143] Fig. 19 ist eine vertikale Schnittansicht, die die Konfiguration einer Magnetgetriebe-Einrichtung gemäß Ausführungsform 5 zeigt.

[0144] Wie in Fig. 19, gezeigt, ist eine Magnetgetriebe-Einrichtung 100C als eine Antriebseinheit ausgebildet, die die rotierende elektrische Maschine 10 und ein Magnetgetriebe 20C aufweist.

[0145] In der vorliegenden Ausführungsform sind im Magnetgetriebe 20C eine innere Magnetrohre 23B, die äußere Magnetrohre 26A und eine Magnetmaterial-Röhre 30B koaxial angeordnet, die Magnetmaterial-Röhre 30B wird als ein erster Rotor verwendet, eine von der inneren Magnetrohre 23B und der äußeren Magnetrohre 26A wird als ein zweiter Rotor verwendet, und die übrige wird als Stator verwendet.

[0146] Hier ist ein Fall gezeigt, in dem die innere Magnetrohre 23B als der zweite Rotor verwendet wird und die äußere Magnetrohre 26A als der Stator verwendet wird. Die übrigen Konfigurationen sind die gleichen wie bei der obigen Ausführungsform 1.

[0147] In diesem Fall ist der Wert, der erhalten wird, indem das kleinste gemeinsame Vielfache der Anzahl N von Polstücken 29 und der Anzahl von Polen des zweiten Rotors (innere Magnetrohre 23B oder äußere Magnetrohre 26A) mit $((\text{Anzahl von Polen des Stators (äußere Magnetrohre 26A oder innere Magnetrohre 23B)})/N)$ multipliziert wird, als ein erster Wert definiert.

[0148] Dann erfolgt die Vorgabe derart, dass die erste Bedingung, dass der erste Wert mit dem kleinsten gemeinsamen Vielfache M der Anzahl von Polen des Rotors 12 und der Anzahl von Zähnen 16 der rotierenden elektrischen Maschine 10 übereinstimmt.

[0149] Folglich gilt in einem Fall, in dem kein Strom in der rotierenden elektrischen Maschine 10, angelegt wird, Folgendes: Wenn die Hauptordnung der Drehmoment-Pulsation der rotierenden elektrischen Maschine 10 und die Hauptordnung der Drehmoment-Pulsation des Magnetgetriebes 20C miteinander übereinstimmen, können diese Drehmoment-Pulsationen aufgehoben werden, so dass sie verringert werden, und zwar durch phasenbezogene Einstellung, so dass die Drehmoment-Pulsation im kombinierten Drehmoment verringert wird.

[0150] Auch in diesem Fall gilt wie bei der obigen Ausführungsform 1 Folgendes: Die Phase (Phasenverschiebung θ) zwischen dem Umfangsrichtungs-Magnetpolzentrum des Rotors 12 und der Umfangsrichtungs-Zentrumsposition des Zahns 16, wenn das Umfangsrichtungs-Magnetpolzentrum des ersten Rotors (Magnetmaterial-Röhre 30B), d. h. die Umfangsrichtungs-Zentrumsposition des Polstücks 29, mit dem Umfangsrichtungs-Magnetpolzentrum des Stators (äußere Magnetrohre 26A oder innere Magnetrohre 23B) übereinstimmt, wird eingestellt.

[0151] Indem eine Phasen-Anpassung durchgeführt wird, so dass die Drehmoment-Pulsation der rotierenden elektrischen Maschine 10 und die Drehmoment-Pulsation des Magnetgetriebes 20C miteinander verringert werden, wird somit die Drehmoment-Pulsation wirksam verringert, so dass eine Geschwindigkeits-Schwankung infolge der Drehmoment-Pulsation unterdrückt werden kann.

[0152] Die Vorgabe kann so erfolgen, dass die zweite Bedingung erfüllt ist, dass der erste Wert mit der Anzahl von Polen des Rotors 12 der rotierenden elektrischen Maschine $10 \times (3 \times N1)$ übereinstimmt. In diesem Fall - wie bei der obigen Ausführungsform 2 gezeigt - wird die Wirkung zum Verringern der Drehmo-

ment-Pulsation erzielt, und zwar in einem Fall, in dem Strom in der rotierenden elektrischen Maschine 10 angelegt wird. Das heißt, wenn zumindest eine von der ersten Bedingung und der zweiten Bedingung erfüllt ist, wird die Wirkung zum Verringern der Drehmoment-Pulsation durch phasenbezogene Einstellung erzielt.

[0153] Bei den obigen Ausführungsformen ist die Anzahl von Permanentmagneten, die jeden Magnetpol der rotierenden elektrischen Maschine 10 und des Magnetgetriebes 20, 20A, 20B, 20C ausbilden, nicht auf Eins beschränkt. Die gleichen Wirkungen werden auch in einem Fall erzielt, in dem der Permanentmagnet in der Magnetisierungsrichtung, einer Richtung senkrecht zur Magnetisierungsrichtung, der Axialrichtung oder einer anderen Richtung geteilt wird.

[0154] Bei den obigen Beispielen sind die rotierende elektrische Maschine 10 und das Magnetgetriebe 20, 20A, 20B, 20C vom Radialtyp, wobei ein Magnetspalt in einer Richtung senkrecht zur Drehwelle ausgebildet ist. Die gleichen Wirkungen werden auch beim Axialtyp erzielt, wobei ein Magnetspalt in einer Richtung parallel zur Drehwelle ausgebildet ist.

[0155] Bei den obigen Ausführungsformen hat die rotierende elektrische Maschine 10 acht Pole und zwölf Nuten. Die gleichen Wirkungen werden aber auch mit einer Konfiguration erzielt, die eine andere Anzahl von Polen und Nuten hat, solange die Relation zwischen der Anzahl von Polen des Rotors und der Anzahl von Polstücken 29 des Magnetgetriebes 20, 20A, 20B, 20C die oben beschriebene Bedingung erfüllt, wie bei den obigen Ausführungsformen gezeigt.

[0156] Bei der obigen Ausführungsform 1 ist das Beispiel gezeigt, in dem der Wenigerpol-Mechanismus (innere Magnetröhre 23) des Magnetgetriebes 20 acht Pole hat, der Mehrpol-Mechanismus (äußere Magnet-röhre 26) vierzig Pole hat und die Anzahl von Polstücken 29 vierundzwanzig beträgt. Beispielsweise können diese Anzahlen jedoch auch wie folgt kombiniert werden.

[0157] Wenn die Anzahl von N_s Polen des Wenigerpol-Mechanismus kleiner als die Anzahl N_m von Polen des Mehrpol-Mechanismus ist, N_p die Anzahl von Polstücken 29 ist und 1 und m natürliche Zahlen sind, dann ist $(21 - 1)N_p = N_m \pm (2m - 1)N_s$ erfüllt. Dann werden die Anzahlen kombiniert, so dass sie die Verringerungs-Bedingung für die Drehmoment-Pulsation erfüllen, wie bei den obigen Ausführungsformen gezeigt. Auch in diesem Fall werden die gleichen Wirkungen erhalten.

[0158] Bei den obigen Ausführungsformen haben die Zähne 16, die Polstücke 29 und die Permanentmagneten 13, 25, 28 der rotierenden elektrischen Maschine 10 und des Magnetgetriebes 20, 20A, 20B, 20C einfachste Formen. Es können jedoch auch die folgenden Formen verwendet werden. Beispielsweise können die Zähne 16 und die Polstücke 29 Formen haben, die sich in Richtung des Magnetspalts verbreitern oder verjüngen, bei Verlauf in Radialrichtung.

[0159] Als Permanentmagneten 13, 25, 28, können Verbundmagneten verwendet werden, oder zwei oder mehr Permanentmagneten können pro einem Magnetpol verwendet werden und können in einer V-Form eingebettet sein. In jedem Fall werden die gleichen Wirkungen erzielt, solange Pol-Anordnungen, die relevant für Magnetspalte sind, Relationen ähnlich jenen bei den obigen Ausführungsformen haben.

[0160] Obwohl die Erfindung vorstehend in Form von verschiedenen beispielhaften Ausführungsformen und Implementierungen beschrieben ist, versteht es sich, dass die verschiedenen Merkmale, Aspekte und Funktionalitäten, die bei einer oder mehreren der einzelnen Ausführungsformen beschrieben sind, in ihrer Anwendbarkeit nicht auf die spezielle Ausführungsform beschränkt sind, mit der sie beschrieben sind, sondern stattdessen - allein oder in verschiedenen Kombinationen - auf eine oder mehrere der Ausführungsformen der Erfindung angewendet werden können.

[0161] Es versteht sich daher, dass zahlreiche Modifikationen, die nicht beispielhaft beschrieben sind, verwendet werden können, ohne vom Umfang der vorliegenden Erfindung abzuweichen. Beispielsweise kann zumindest eine der Komponenten modifiziert, hinzugefügt oder weggelassen werden. Zumindest eine der Komponenten, die in zumindest einer der bevorzugten Ausführungsformen genannt ist, kann ausgewählt und mit den Komponenten kombiniert werden, die in einer anderen bevorzugten Ausführungsform genannt sind.

Liste der Bezugszeichen

10, 10A

rotierende elektrische Maschine

11	Drehwelle
12, 12A	Rotor
13	Permanentmagnet
15	Stator
16	Zahn
20, 20A	Magnetgetriebe
20B, 20C	Magnetgetriebe
21	Eingangsbereich
22	Ausgangsbereich
23, 23A, 23B	innere Magnetröhre
25	erster Permanentmagnet
26, 26A	äußere Magnetröhre
28	zweiter Permanentmagnet
29	Polstück
30, 30A, 30B	Magnetmaterial-Röhre
31	Magnetspalt
100, 100A, 100B, 100C	Magnetgetriebe-Einrichtung
θ , φ	Phasenverschiebung

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 6 213 573 B2 [0006]

Patentansprüche

1. Magnetgetriebe-Einrichtung, die Folgendes aufweist:

- ein Magnetgetriebe, das eine innere Magnetröhre mit einer Mehrzahl von ersten Permanentmagneten, die an einem Außenumfang angeordnet ist, zum Bilden eines Wenigerpol-Mechanismus aufweist, eine äußere Magnetröhre mit einer Mehrzahl von zweiten Permanentmagneten, die an einem Innenumfang angeordnet sind, zum Bilden eines Mehrpol-Mechanismus aufweist, und eine Magnetmaterial-Röhre aufweist, die zwischen der inneren Magnetröhre und der äußeren Magnetröhre angeordnet ist, wobei Magnetspalte sowohl von der inneren Magnetröhre, als auch der äußeren Magnetröhre aus dazwischen eingefügt sind, wobei die Magnetmaterial-Röhre N Polstücke aufweist, die aus einem weichmagnetischen Material gebildet sind und mit gleichen Intervallen dazwischen in Umfangsrichtung angeordnet sind, so dass eine von der inneren Magnetröhre, der äußeren Magnetröhre und der Magnetmaterial-Röhre als ein erster Rotor verwendet wird, der mit einem Eingangsbereich verbunden ist, eine weitere als ein zweiter Rotor verwendet wird, der mit einem Ausgangsbereich verbunden ist, und die verbleibende als ein Stator verwendet wird; und
- eine rotierende elektrische Maschine, die einen Rotor aufweist, der M1 Permanentmagneten hat, und einen Stator, der M2 Zähnen hat,

wobei das Magnetgetriebe so konfiguriert ist, dass der Eingangsbereich mit einer Drehwelle der rotierenden elektrischen Maschine verbunden ist und eine zugeführte Rotationskraft zum Ausgangsbereich übertragen wird, und

wobei zumindest eine von einer ersten Bedingung, dass ein erster Wert auf der Basis des kleinsten gemeinsamen Vielfachen der Anzahl N von Polstücken und der Anzahl von Polen von einem von erstem und zweitem Rotor mit dem kleinsten gemeinsamen Vielfachen M aus M1 und M2 übereinstimmt, und einer zweiten Bedingung erfüllt ist, dass der erste Wert mit einem Wert übereinstimmt, der erhalten wird, indem M1 mit einem Vielfachen von 3 multipliziert wird.

2. Magnetgetriebe-Einrichtung nach Anspruch 1, wobei die Phase zwischen dem Umfangsrichtungs-Magnetpolzentrum des Rotors und der Umfangsrichtungs-Zentrumsposition des Zahns der rotierenden elektrischen Maschine, wenn das Umfangsrichtungs-Magnetpolzentrum des ersten Rotors mit dem Umfangsrichtungs-Magnetpolzentrum des Stators des Magnetgetriebes übereinstimmt, so eingestellt wird, dass eine Drehmoment-Pulsation der rotierenden elektrischen Maschine und eine Drehmoment-Pulsation des Magnetgetriebes miteinander verringert werden.

3. Magnetgetriebe-Einrichtung nach Anspruch 1 oder 2,

wobei die Magnetmaterial-Röhre als Stator des Magnetgetriebes verwendet wird, und

wobei das kleinste gemeinsame Vielfache der Anzahl N von Polstücken und der Anzahl von Polen des ersten Rotors der erste Wert ist.

4. Magnetgetriebe-Einrichtung nach Anspruch 3, wobei, wenn das Umfangsrichtungs-Magnetpolzentrum des ersten Rotors mit der Umfangsrichtungs-Zentrumsposition des Polstücks übereinstimmt, das ein Magnetpol des Stators ist, das Umfangsrichtungs-Magnetpolzentrum des Rotors der rotierenden elektrischen Maschine von einer Umfangsrichtungs-Zentrumsposition des Zahns um einen vorgegebenen Winkel phasenverschoben ist, so dass eine Drehmoment-Pulsation der rotierenden elektrischen Maschine und eine Drehmoment-Pulsation des Magnetgetriebes miteinander verringert werden.

5. Magnetgetriebe-Einrichtung nach Anspruch 4, wobei der vorgegebene Winkel größer als $(360/M/6)$ Grad und kleiner als $((360/M/6) \times 5)$ Grad ist.

6. Magnetgetriebe-Einrichtung nach Anspruch 1 oder 2,

wobei die Magnetmaterial-Röhre als der zweite Rotor des Magnetgetriebes verwendet wird, und

wobei ein Wert, der erhalten wird, indem das kleinste gemeinsame Vielfache der Anzahl N von Polstücken und der Anzahl von Polen des ersten Rotors mit $((\text{Anzahl von Polen des Stators})/N)$ multipliziert wird, der erste Wert ist.

7. Magnetgetriebe-Einrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 6, wobei Folgendes erfüllt ist: Anzahl von Polen des ersten Rotors $\geq M1$.

8. Magnetgetriebe-Einrichtung nach Anspruch 7, wobei Folgendes erfüllt ist:

Anzahl von Polen des ersten Rotors = M1.

9. Magnetgetriebe-Einrichtung nach Anspruch 1 oder 2, wobei die Magnetmaterial-Röhre als der erste Rotor des Magnetgetriebes verwendet wird, und wobei ein Wert, der erhalten wird, indem das kleinste gemeinsame Vielfache der Anzahl N von Polstücken und der Anzahl von Polen des zweiten Rotors mit ((Anzahl von Polen des Stators)/N) multipliziert wird, der erste Wert ist.

10. Magnetgetriebe-Einrichtung nach Anspruch 9, wobei $N \geq M2$ erfüllt ist.

11. Magnetgetriebe-Einrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 10, wobei der Eingangsbereich des Magnetgetriebes integral mit der Drehwelle der rotierenden elektrischen Maschine gebildet ist.

Es folgen 19 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

FIG. 1

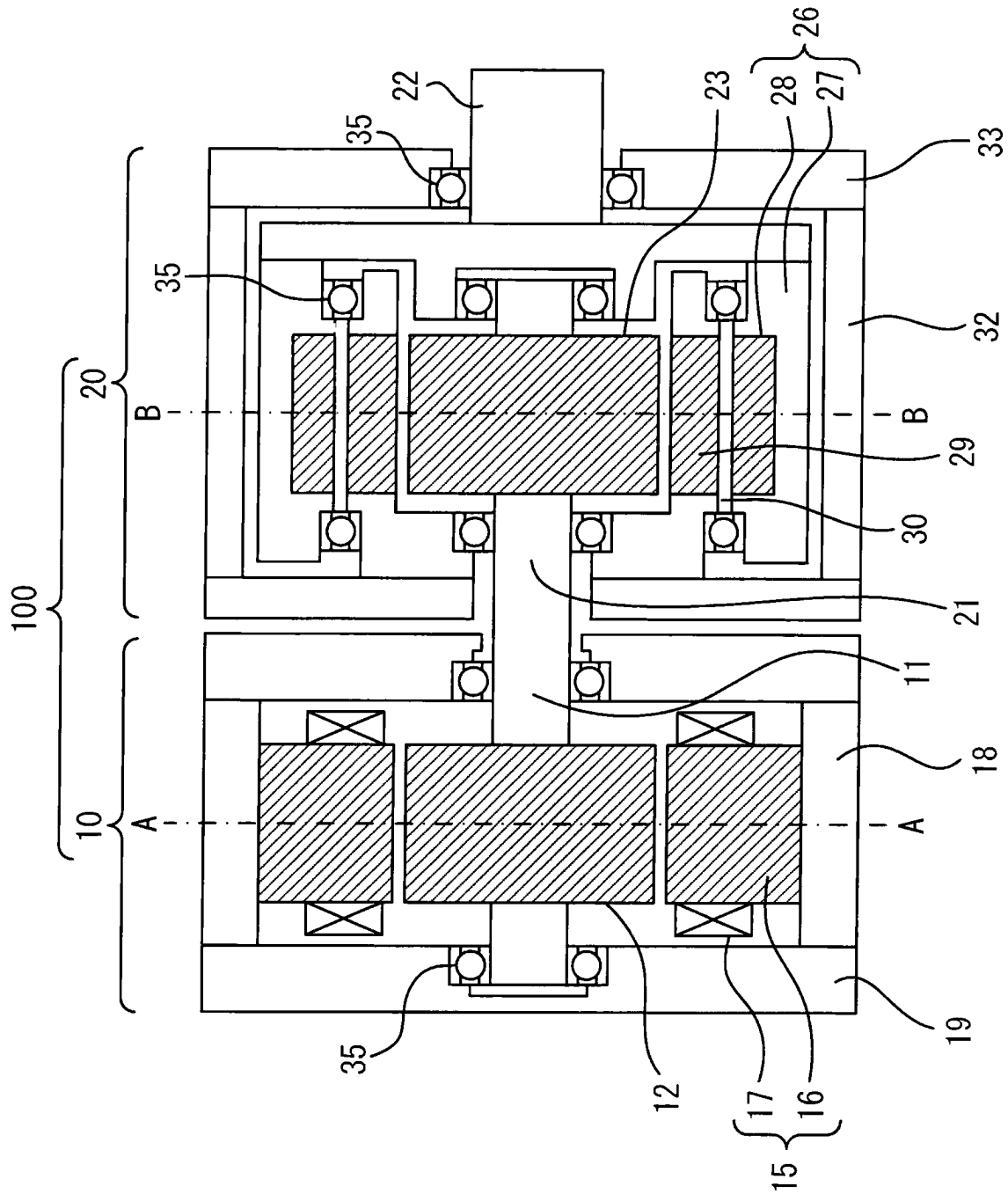


FIG. 2

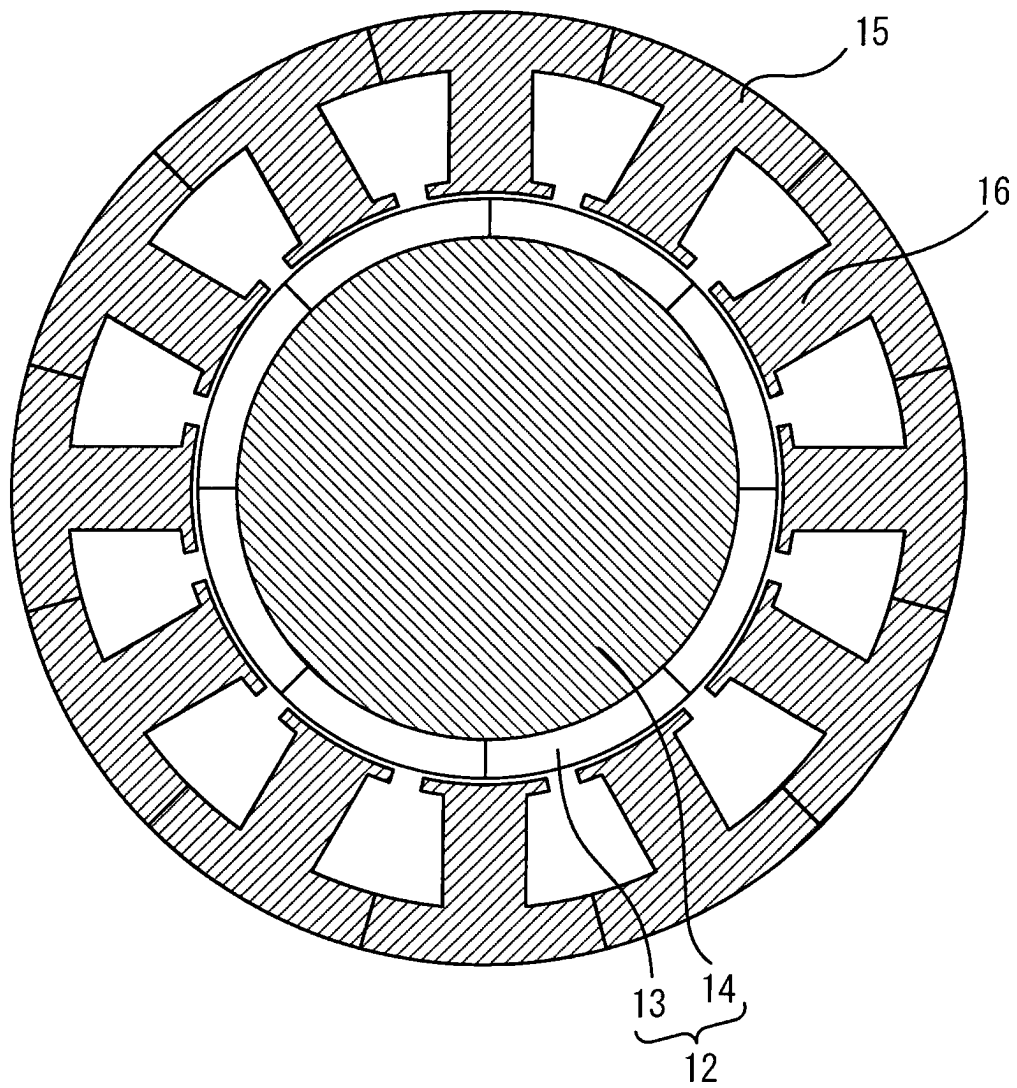


FIG. 3

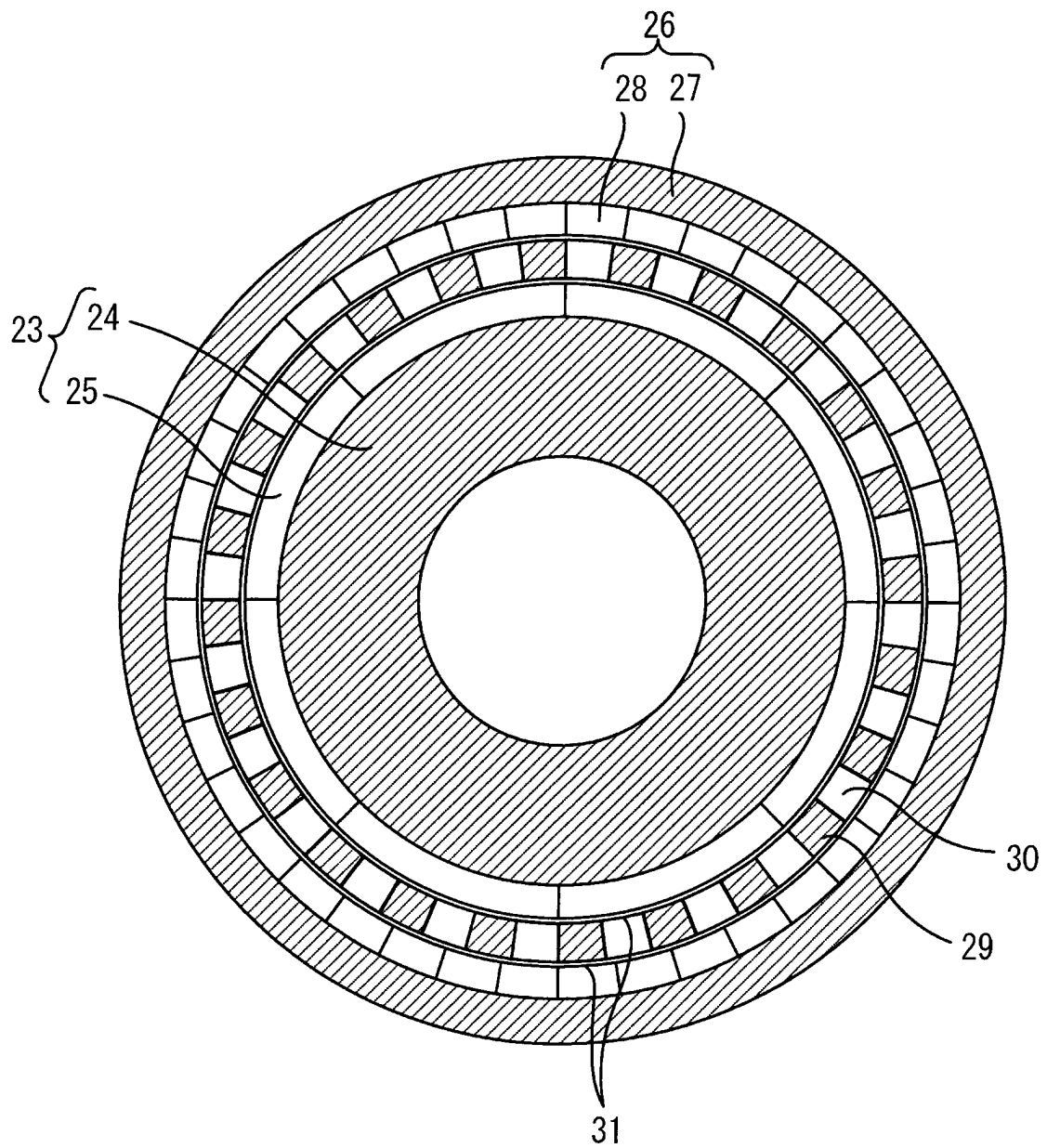


FIG. 4

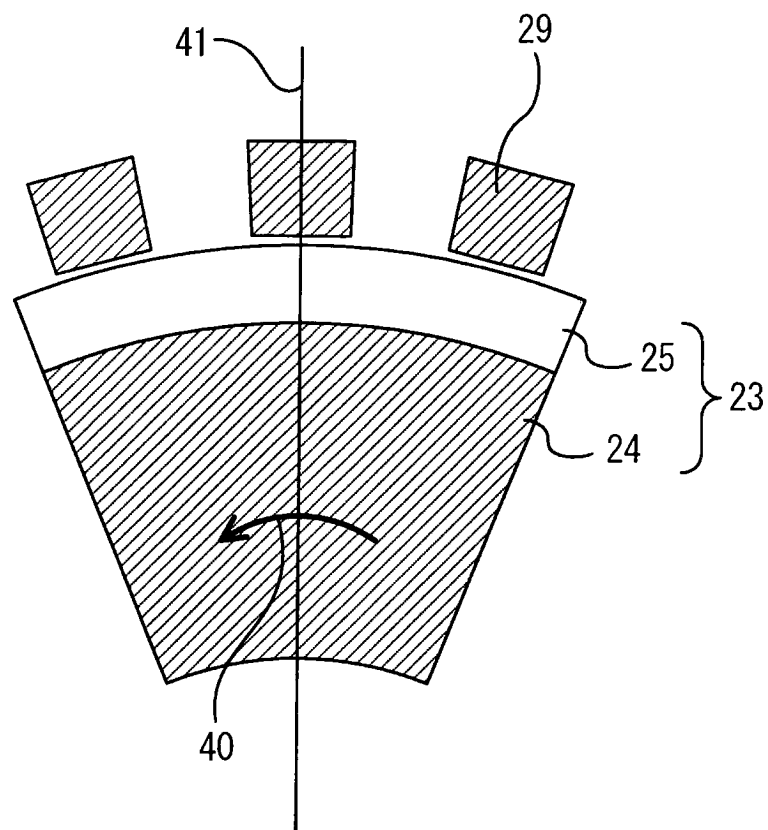


FIG. 5

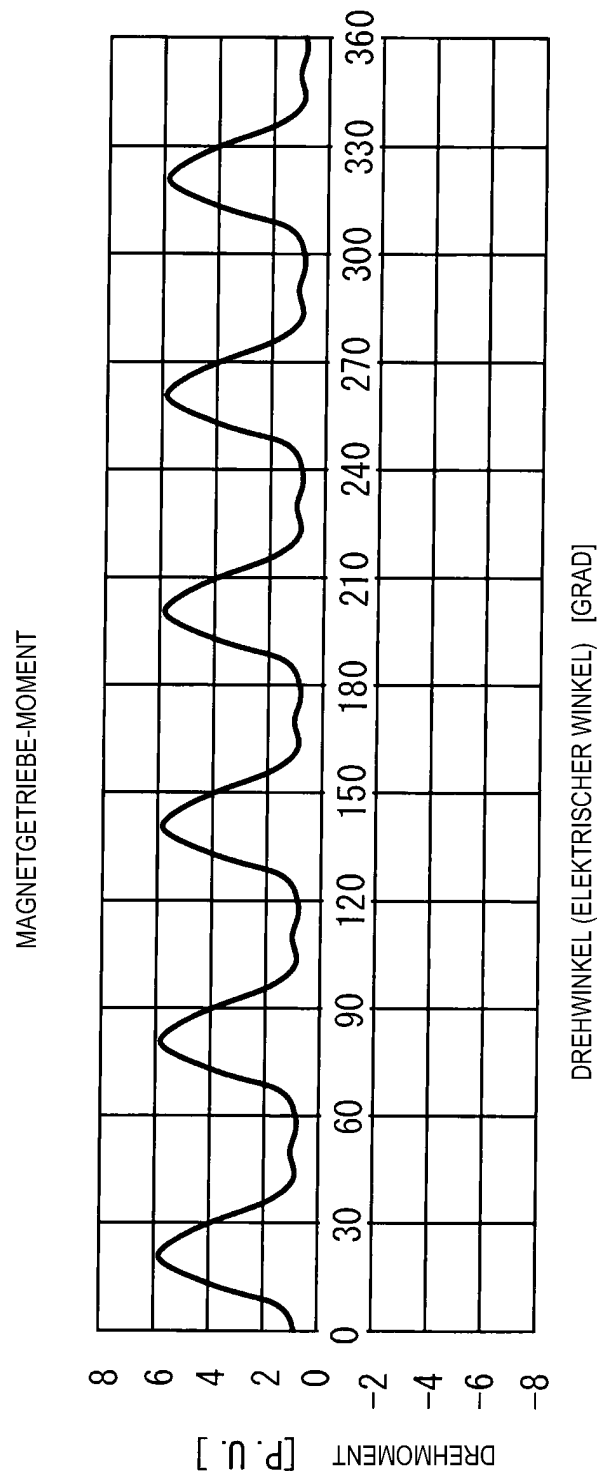


FIG. 6

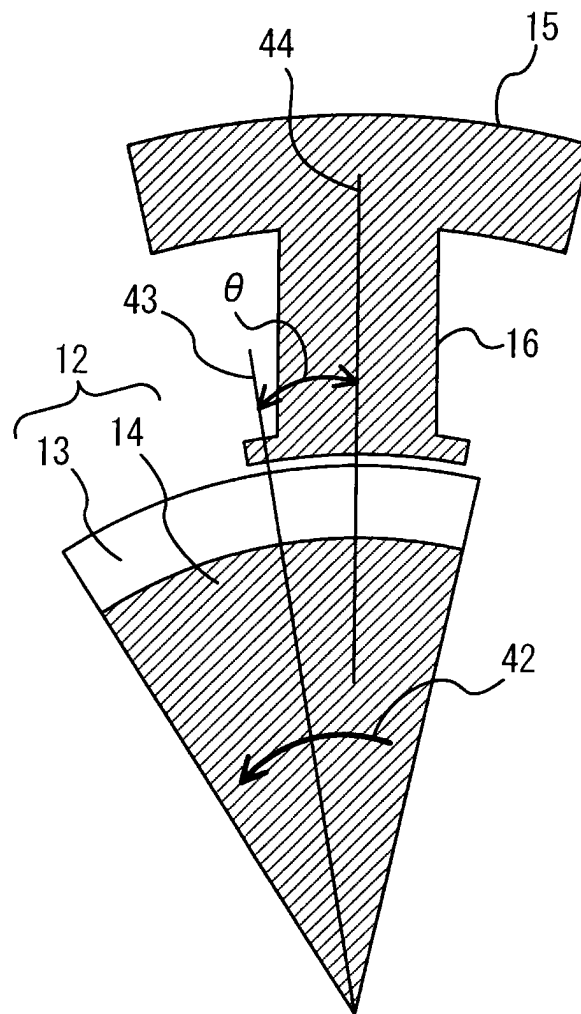


FIG. 7

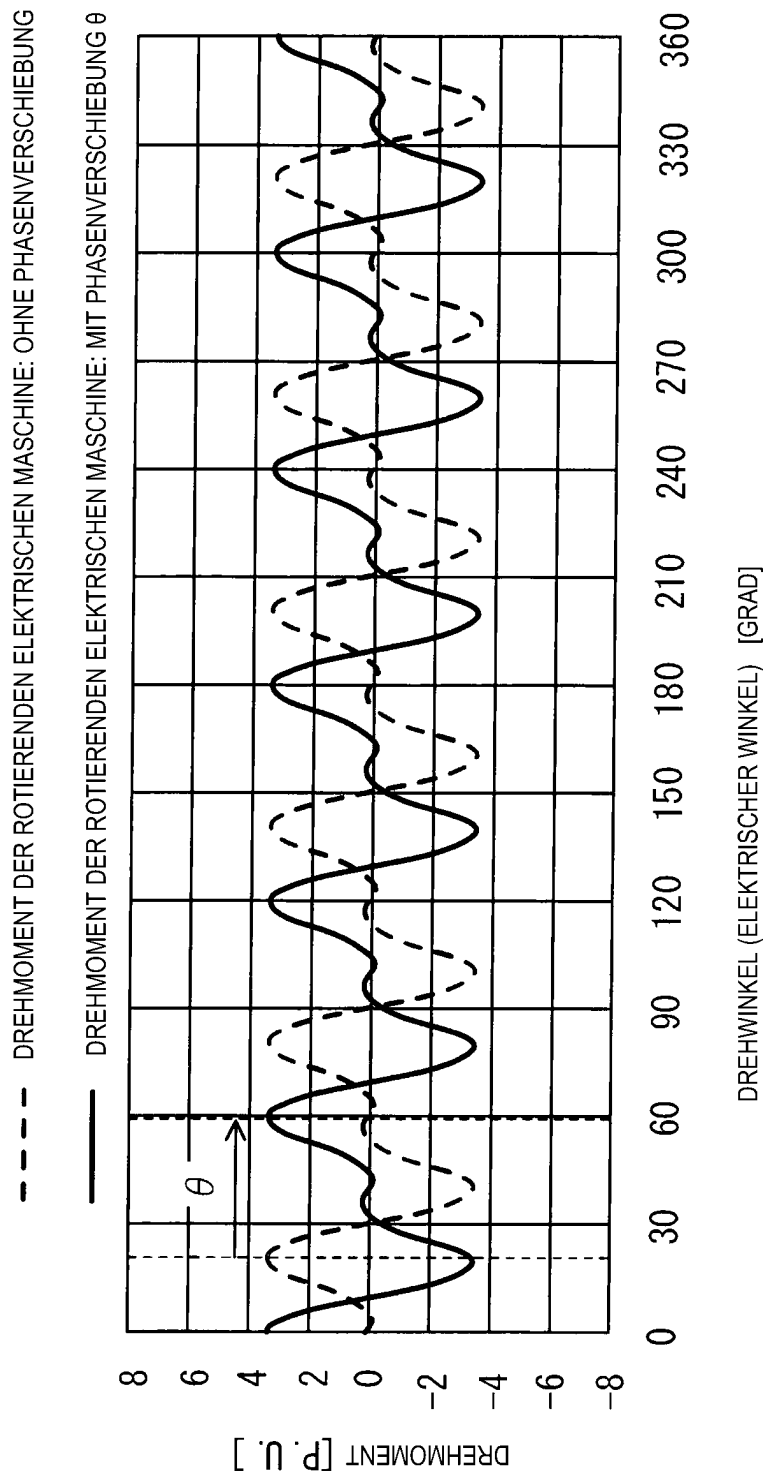


FIG. 8

$\theta = 21^\circ$

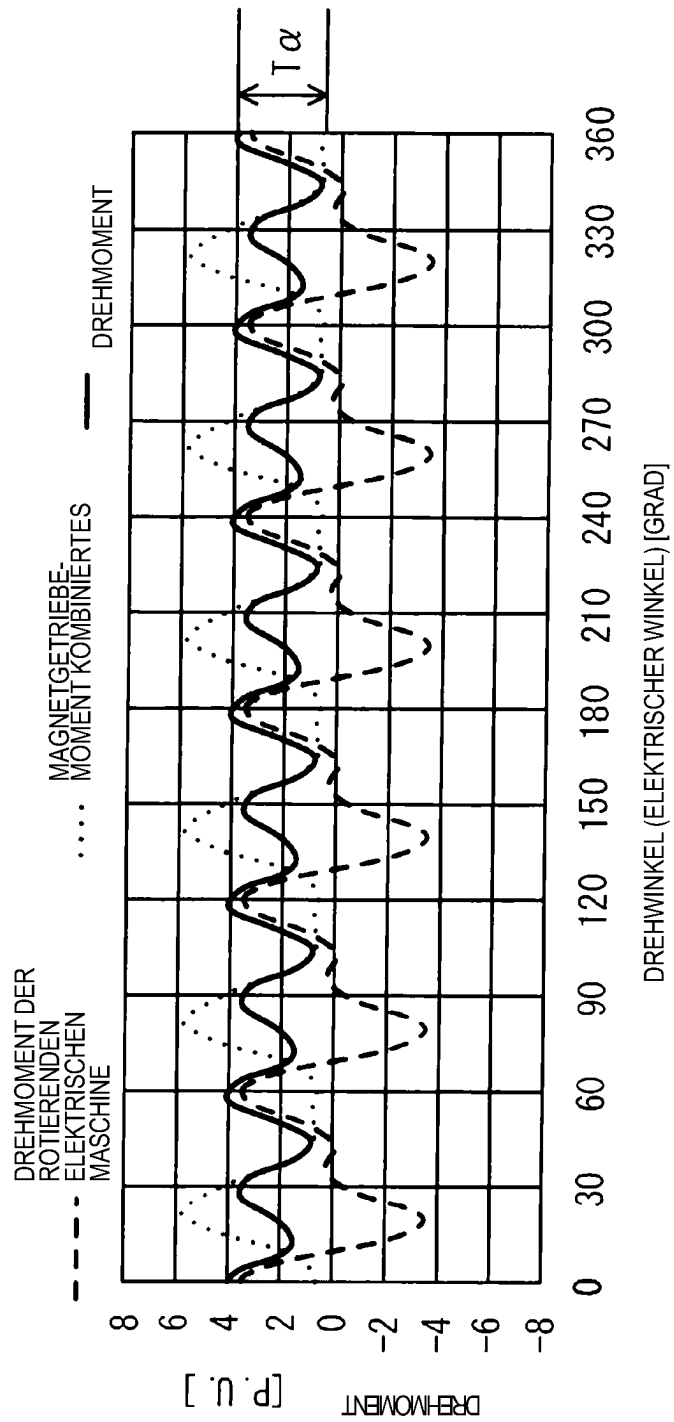


FIG. 9

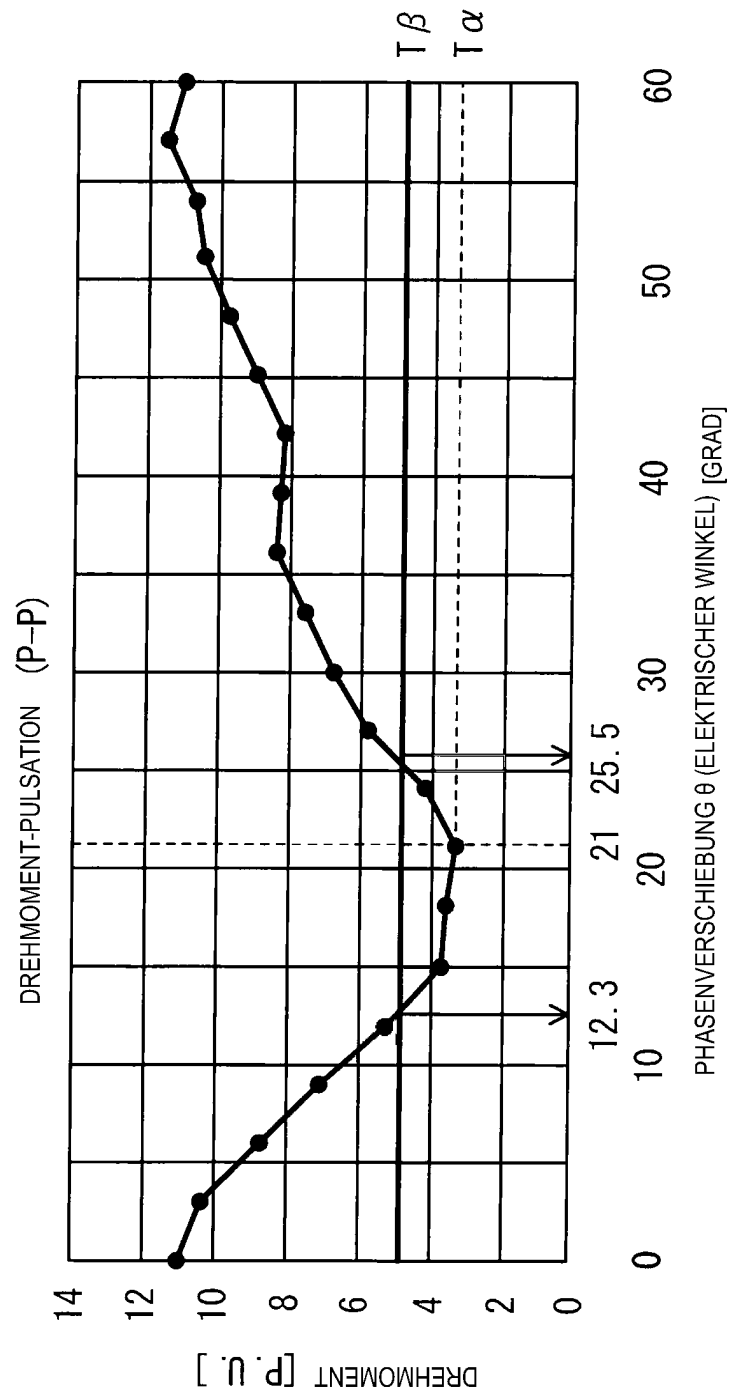


FIG. 10

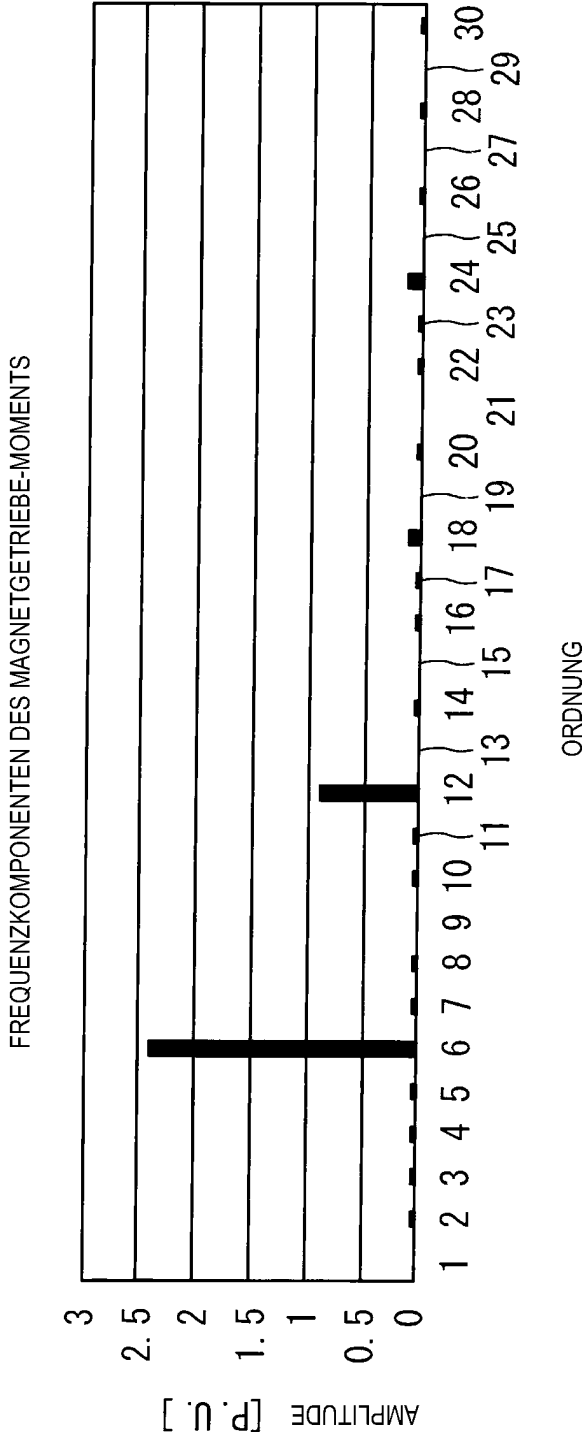


FIG. 11

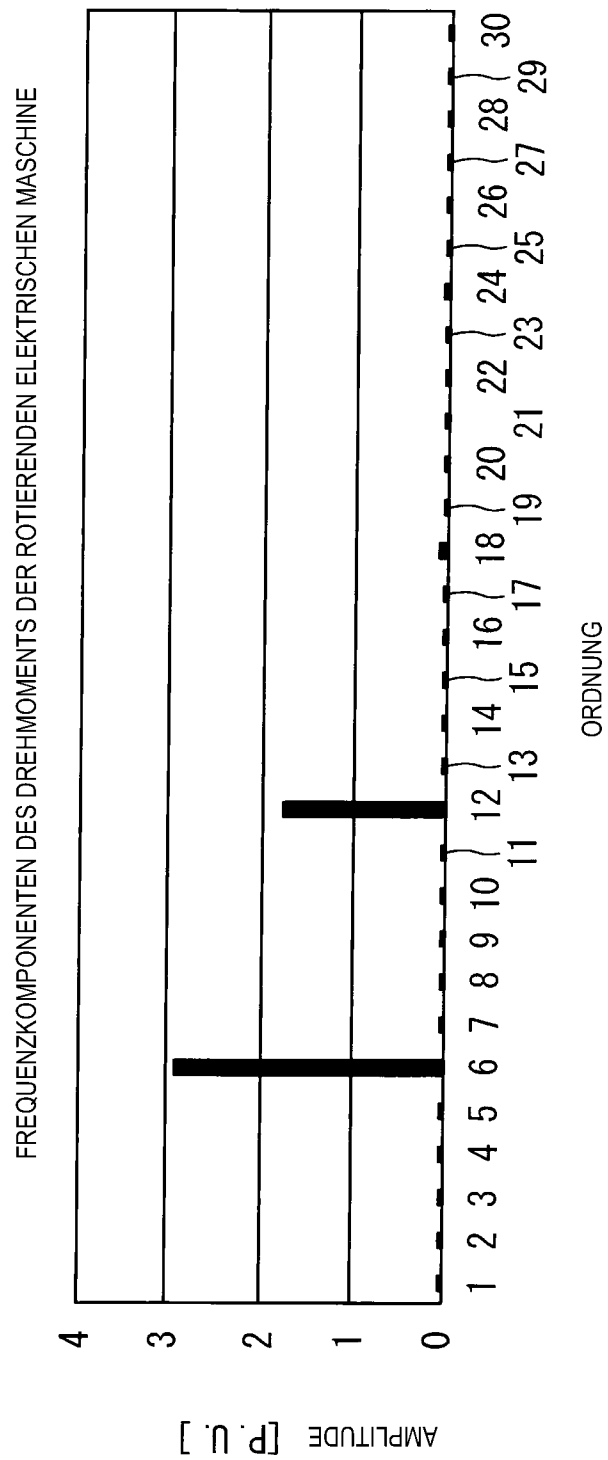


FIG. 12

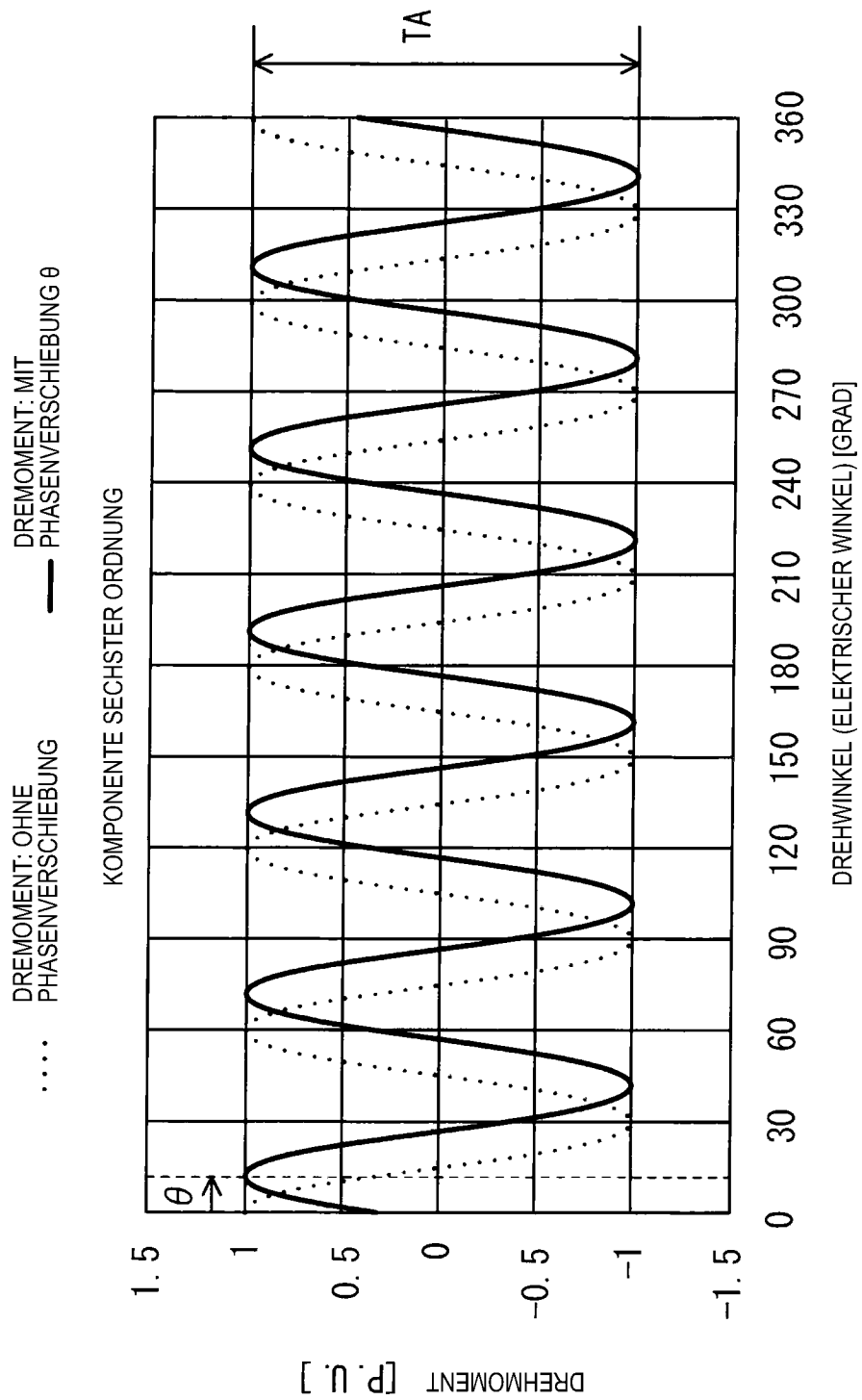


FIG. 13

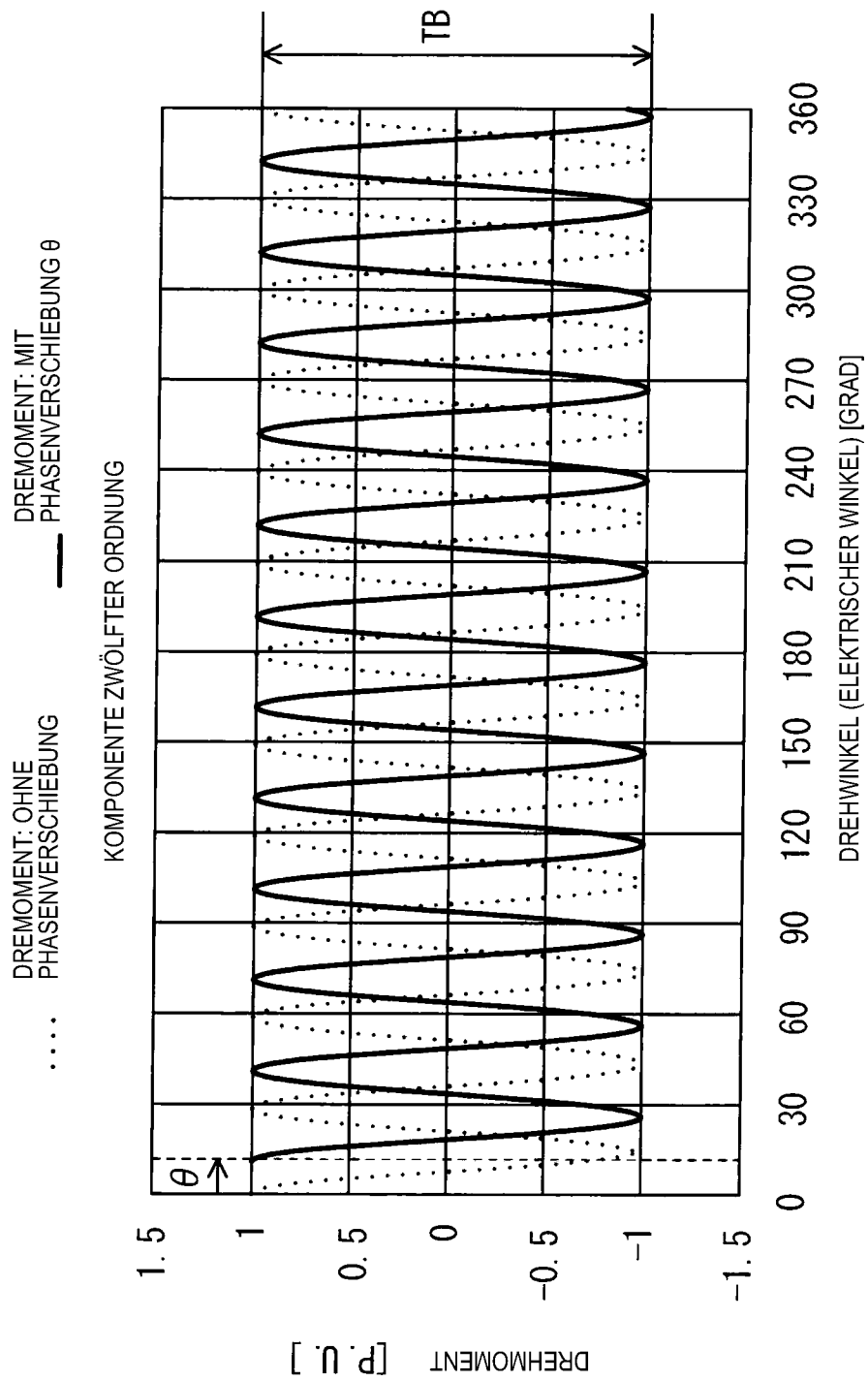


FIG. 14

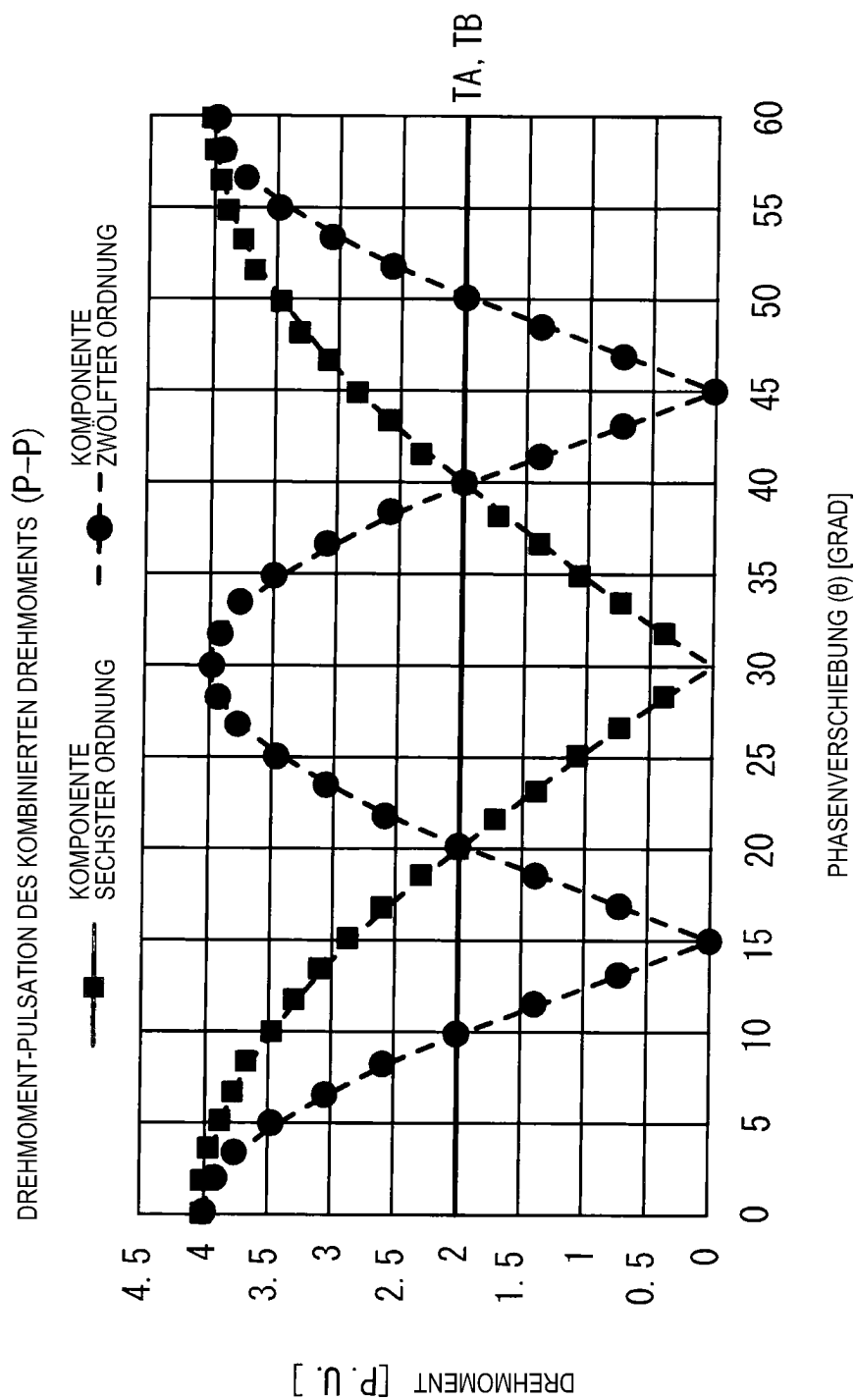


FIG. 15

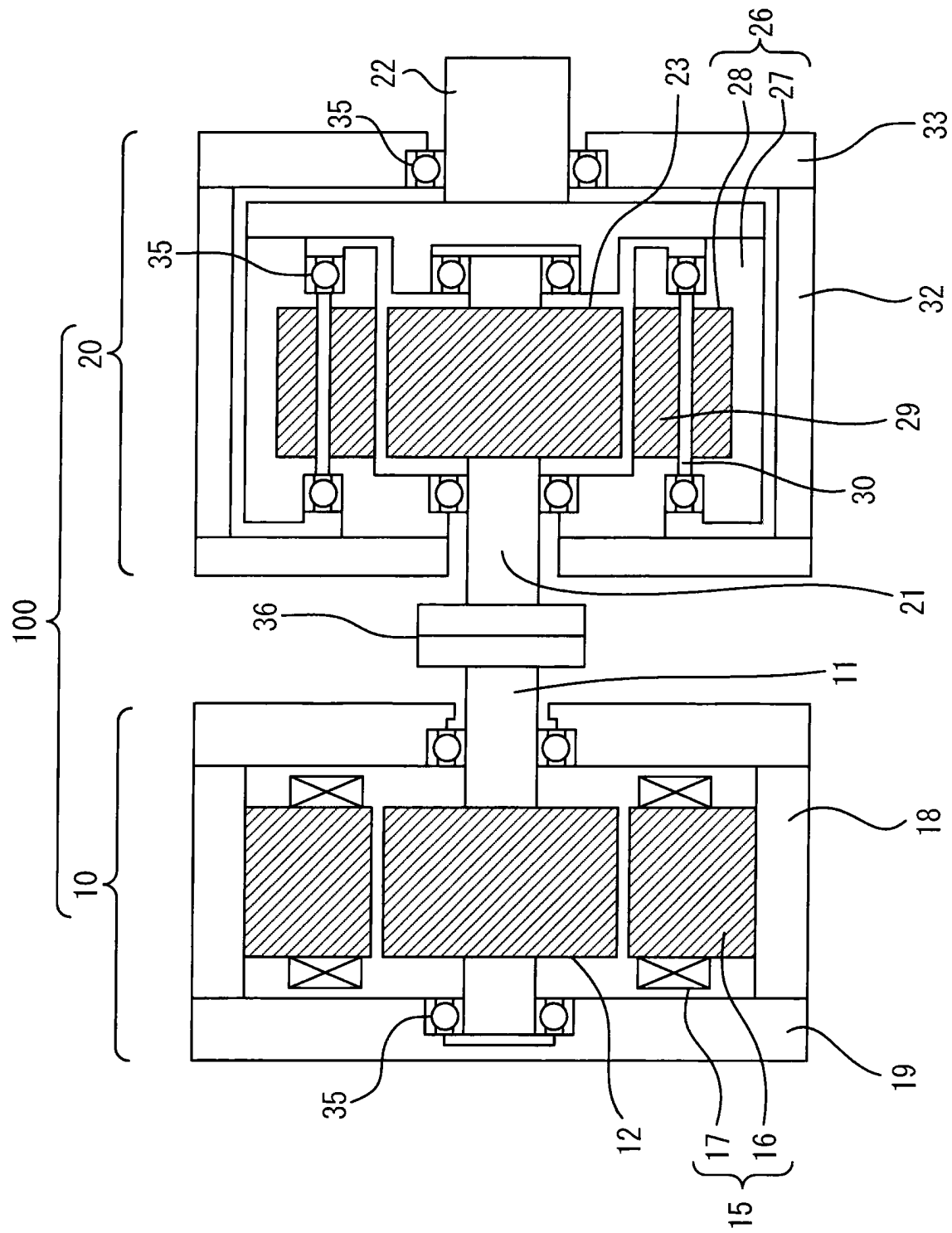


FIG. 16

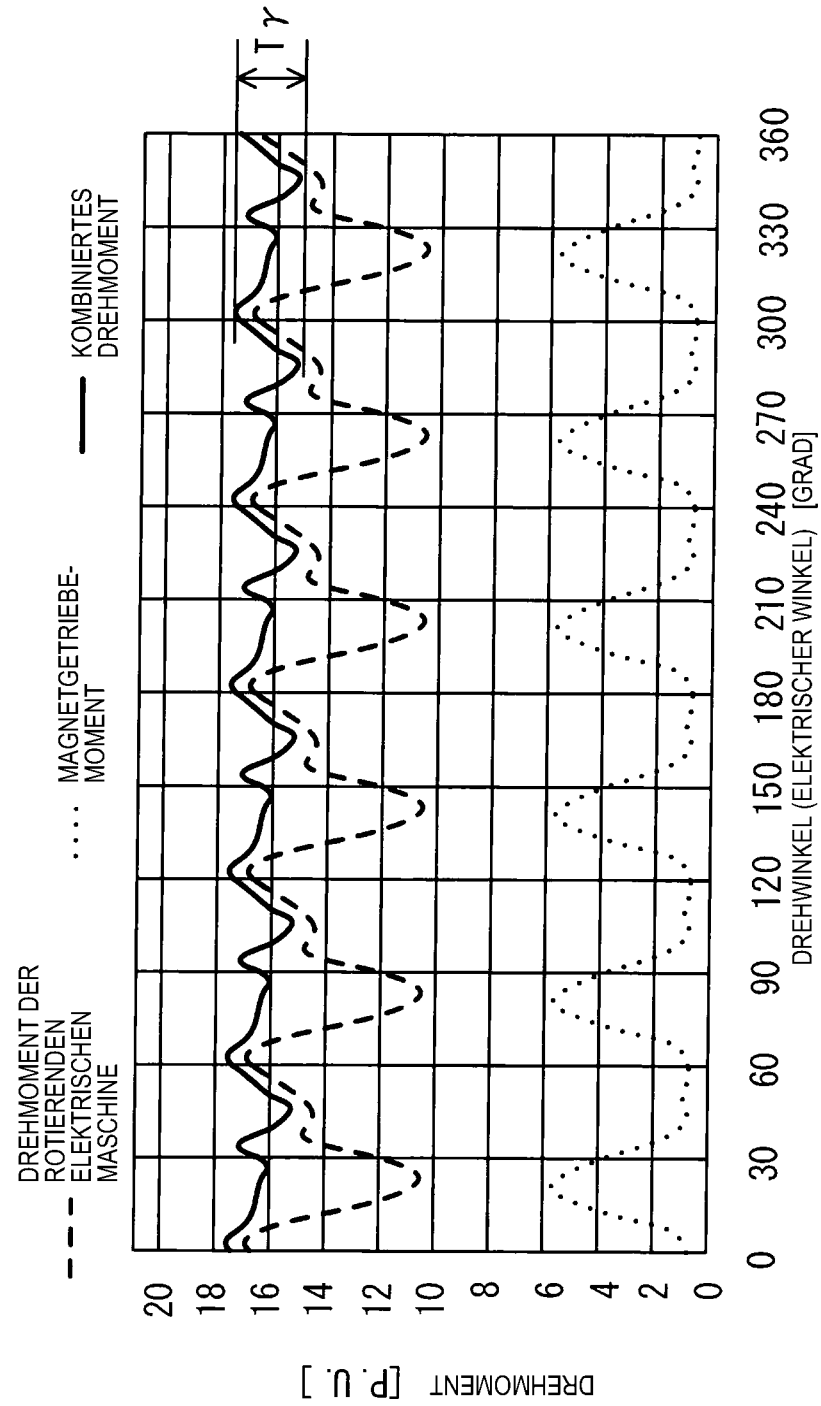


FIG. 17

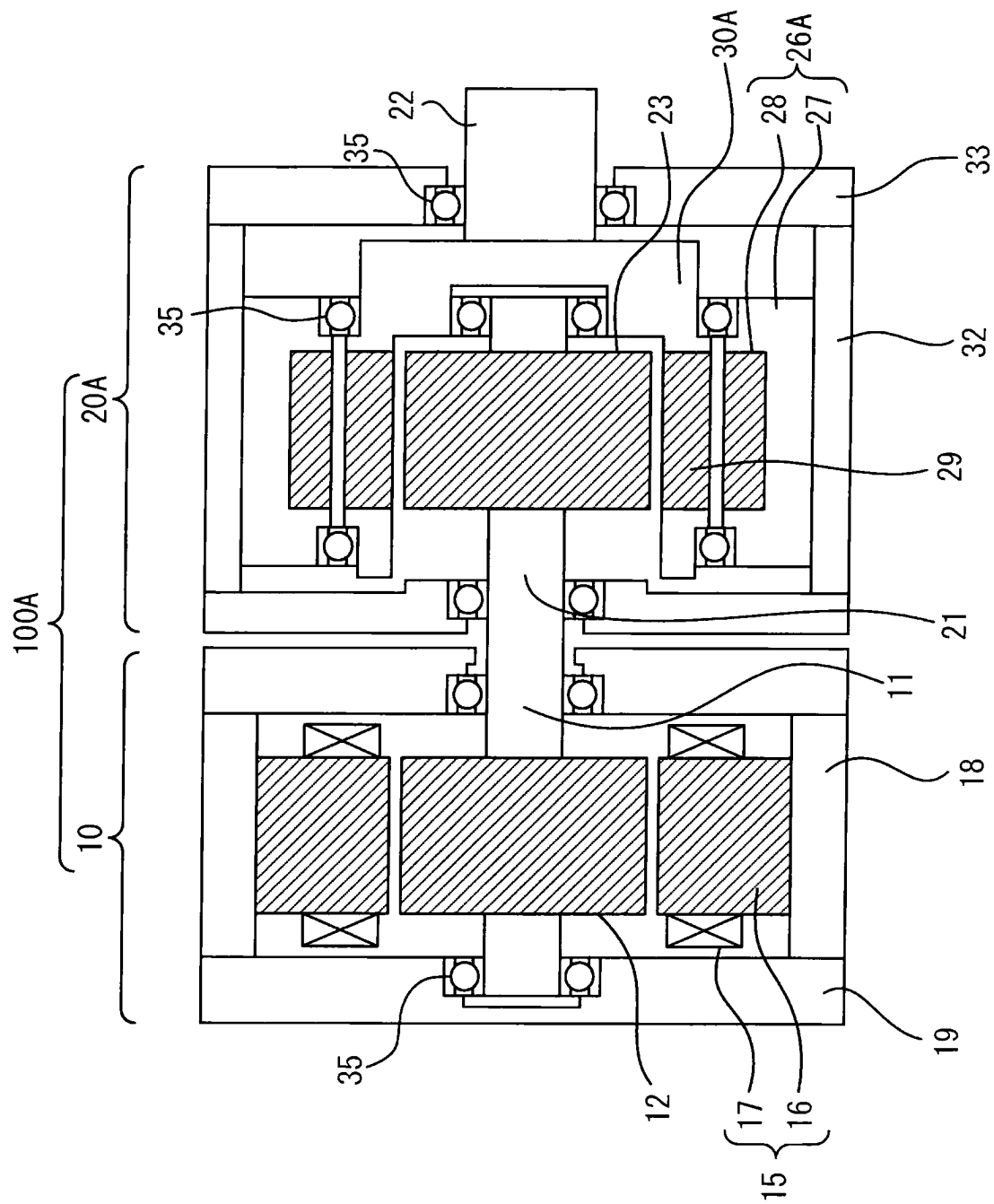


FIG. 18

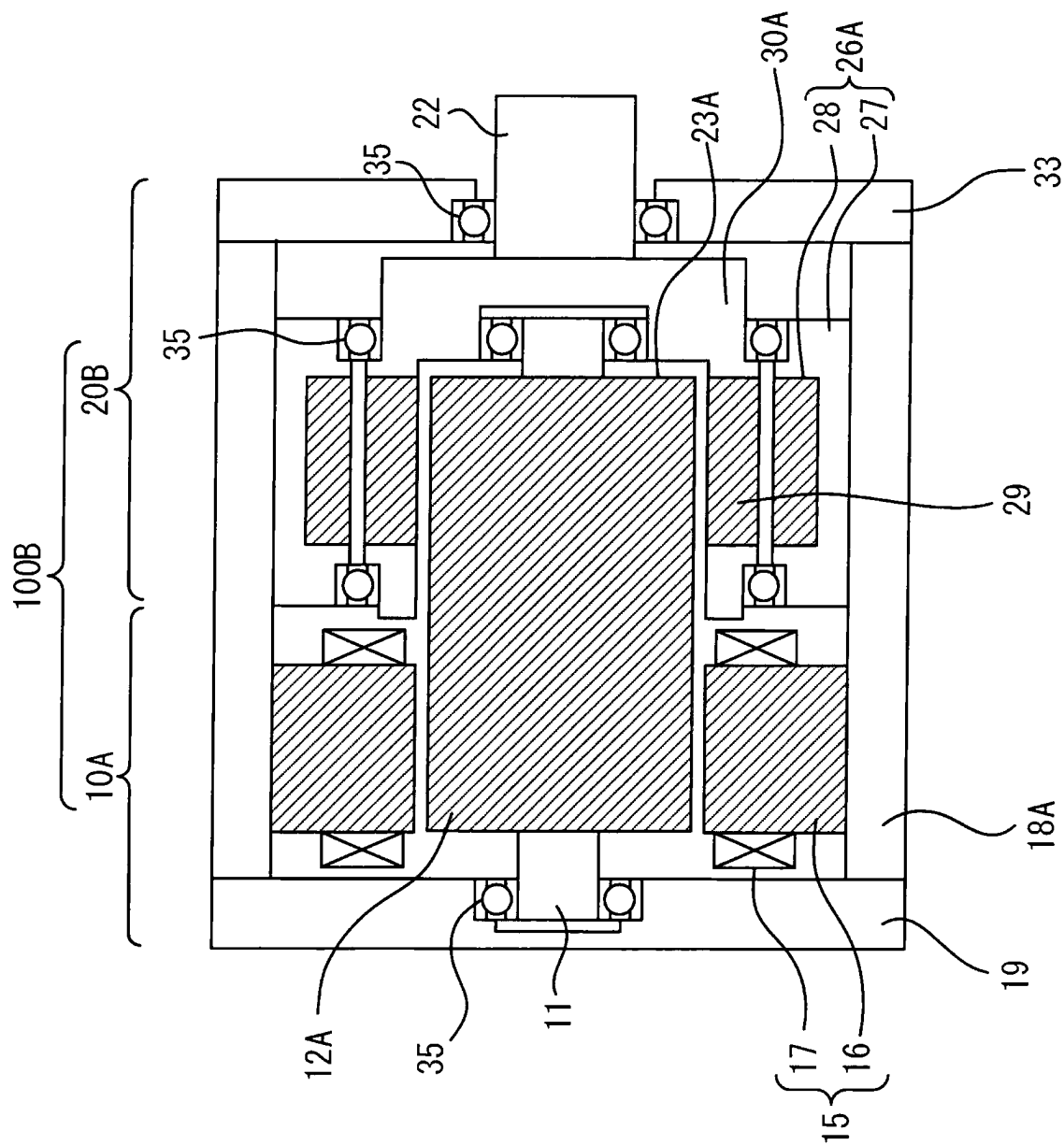


FIG. 19

