



(10) **DE 11 2012 000 830 T5** 2013.11.14

(12) **Veröffentlichung**

der internationalen Anmeldung mit der  
(87) Veröffentlichungs-Nr.: **WO 2012/110879**  
in deutscher Übersetzung (Art. III § 8 Abs. 2 IntPatÜG)  
(21) Deutsches Aktenzeichen: **11 2012 000 830.8**  
(86) PCT-Aktenzeichen: **PCT/IB2012/000260**  
(86) PCT-Anmeldetag: **14.02.2012**  
(87) PCT-Veröffentlichungstag: **23.08.2012**  
(43) Veröffentlichungstag der PCT Anmeldung  
in deutscher Übersetzung: **14.11.2013**

(51) Int Cl.: **H02P 21/00 (2013.01)**  
**H02P 25/02 (2013.01)**

(30) Unionspriorität:  
**JP2011029876**      **15.02.2011**      **JP**

(71) Anmelder:  
**TOYOTA JIDOSHA KABUSHIKI KAISHA, Toyota-**  
**shi, Aichi-ken, JP**

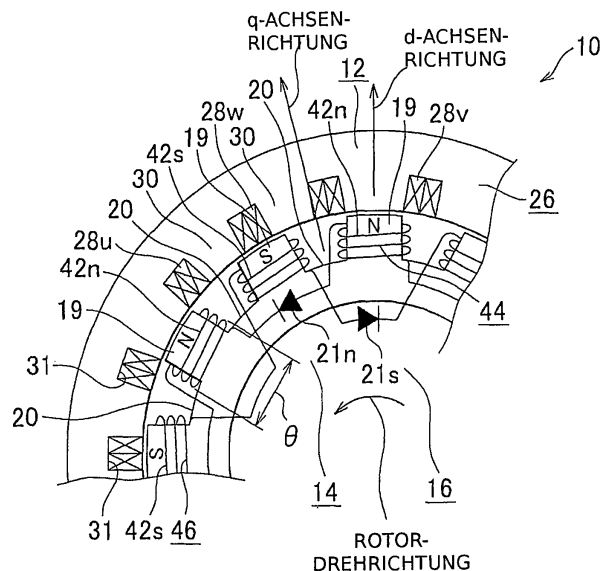
(74) Vertreter:  
**Kuhnen & Wacker Patent- und**  
**Rechtsanwaltsbüro, 85354, Freising, DE**

(72) Erfinder:  
**Hiramoto, Kenji, Aichi, Aichi-ken, JP; Minoshima,**  
**Norimoto, Kariya-shi, Aichi-ken, JP; Yamada, Eiji,**  
**Toyota-shi, Aichi-ken, JP; Mizutani, Ryoji, Toyota-**  
**shi, Aichi-ken, JP; Nakai, Hideo, Aichi, Aichi-ken,**  
**JP**

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

(54) Bezeichnung: **Antriebssystem für rotierende elektrische Maschine**

(57) Zusammenfassung: Ein Stator (12) weist mehrphasige Statorspulen (28u, 28v und 28w) auf, die in konzentrierter Wicklung um einen Stator Kern (26) gewickelt sind. Ein Rotor (14) weist Rotorspulen (42n und 42s), die an mehreren Umfangsrichtungsabständen eines Rotorkerns (16) gewickelt sind, und Dioden (21n und 21s) auf, die als Gleichrichter-einheit dienen, die mit den Rotorspulen (42n und 42s) verbunden ist und die die magnetischen Eigenschaften der jeweiligen Rotorspulen (42n und 42s) in der Umfangsrichtung abwechselt. Ein Antriebssystem einer rotierenden elektrischen Maschine weist eine Abwärts-/Aufwärtsimpuls-Überlagerungseinheit auf, die einen Abwärtsimpulsstrom für eine impulsförmige Abwärtswandlung über einen q-Achsenstrombefehl zum Leiten von Strömen durch die Statorspulen (28u, 28v und 28w) legt und die einen Aufwärtsimpulsstrom für eine impulsförmige Erhöhung über einen d-Achsenstrom legt.



## Beschreibung

### HINTERGRUND DER ERFINDUNG

#### 1. Gebiet der Erfindung

**[0001]** Die Erfindung betrifft ein Antriebssystem für eine rotierende elektrische Maschine, das eine rotierende elektrische Maschine mit einem Stator und einem Rotor, die so angeordnet sind, dass sie einander zugewandt sind, eine Antriebseinheit, die die rotierende elektrische Maschine antreibt, und eine Steuereinheit, die die Antriebseinheit steuert, aufweist.

#### 2. Beschreibung der verwandten Technik

**[0002]** Wie in der offengelegten japanischen Patentanmeldung Nr. 2009-112091 (JP-A-2009-112091) beschrieben, ist eine rotierende elektrische Maschine bekannt, bei der Rotorspulen für einen Rotor vorgesehen sind und durch ein drehendes Magnetfeld Induktionsströme in den Rotorspulen erzeugt werden, um zu bewirken, dass der Rotor ein Drehmoment erzeugt. Das magnetische Drehfeld wird von einem Stator erzeugt und enthält räumliche Harmonische. Außerdem werden mit dieser rotierenden elektrischen Maschine auf wirksame Weise Induktionsströme in den Rotorspulen erzeugt, wodurch bewirkt werden kann, dass das Drehmoment, das auf den Rotor wirkt, wirksam erhöht wird. [Fig. 23](#) bis [Fig. 25](#) zeigen den schematischen Aufbau der rotierenden elektrischen Maschine, die in JP-A-2009-112091 beschrieben ist. [Fig. 23](#) ist eine Ansicht, die den schematischen Aufbau eines Stators und eines Rotors zeigt, die aus einer Richtung betrachtet werden, die parallel ist zur Drehachse des Rotors. [Fig. 24](#) zeigt den schematischen Aufbau des Stators. [Fig. 25](#) zeigt den schematischen Aufbau des Rotors.

**[0003]** Jedoch besteht im Fall der rotierenden elektrischen Maschine **10**, die in [Fig. 23](#) bis [Fig. 25](#) dargestellt ist, immer noch Raum für Verbesserungen in Bezug auf die effiziente Erhöhung des Drehmoments während eines langsamen Rotierens, wenn die Drehzahl der rotierenden elektrischen Maschine **10** niedrig ist. [Fig. 26](#) ist ein Graph, der ein Beispiel für die Beziehung zwischen einer Rotordrehzahl und einem Motordrehmoment in einem Bereich zeigt, in dem die Drehzahl niedrig ist, wenn der gleiche Aufbau wie derjenige der rotierenden elektrischen Maschine, die in [Fig. 23](#) bis [Fig. 25](#) dargestellt ist, als elektrischer Motor (Motor) verwendet wird. Wie in [Fig. 26](#) dargestellt ist, nimmt das Motordrehmoment der rotierenden elektrischen Maschine **10** in dem Bereich, in dem die Drehzahl niedrig ist, deutlich ab. Um es mit Bezug auf [Fig. 23](#) bis [Fig. 25](#) zu beschreiben, so liegt dies daran, dass in der rotierenden elektrischen Maschine **10** in dem Bereich, in dem die Drehzahl niedrig ist, aber die Schnelligkeit der Schwankung von verketteten Magnetflüssen abnimmt, Ro-

tor-Induktionsströme, die durch Rotorspulen **18n** und **18s** fließen, von Schwankungen des Magnetfelds wegen der harmonischen Komponenten des von einem Stator **12** erzeugten magnetischen Drehfelds erzeugt werden, während sich Magnetflüsse, die mit den Rotorspulen **18n** und **18s** verkettet sind, nicht nennenswert ändern, weswegen induzierte elektromotorische Spannungen abnehmen, wodurch die Rotor-Induktionsströme schwächer werden. Daher nimmt das Motordrehmoment während einer Rotation mit niedriger Drehzahl ab. Man beachte, dass in der obigen Beschreibung das Motordrehmoment abnimmt, wenn die rotierende elektrische Maschine **10** als Elektromotor in dem Bereich verwendet wird, in dem die Drehzahl niedrig ist; jedoch kann dann, wenn die rotierende elektrische Maschine **10** als Generator verwendet wird, ein regeneratives Drehmoment im Niedrigdrehzahlbereich aus demselben Grund deutlich abnehmen.

### KURZFASSUNG DER ERFINDUNG

**[0004]** Die Erfinder wissen, dass es möglich ist, Impulsstrom über Wechselströme zu legen, die durch Statorspulen geleitet werden sollen, um Induktionsströme zu verstärken, die in Rotorspulen erzeugt werden, um dadurch eine Erhöhung des Drehmoments einer rotierenden elektrischen Maschine auch in einem Bereich niedriger Drehzahlen zu ermöglichen. Jedoch haben die Erfinder gefunden, dass ohne die Entwicklung eines Verfahrens für eine Induktionsstromüberlagerung die Spitzenwerte von Strömen, die durch die Statorspulen fließen, sehr hoch werden und dass dies zu Nachteilen führen kann, beispielsweise zu einer Vergrößerung und Verteuerung eines Steuersystems, das einen Wechselrichter aufweist, bei dem es sich um eine Antriebseinheit für eine rotierende elektrische Maschine handelt.

**[0005]** Im Gegensatz dazu beschreiben die veröffentlichte japanische Patentanmeldung Nr. 2007-185082 (JP-A-2007-185082), die veröffentlichte japanische Patentanmeldung Nr. 2010-98908 (JP-A-98908) und die veröffentlichte japanische Patentanmeldung Nr. 2010-110079 (JP-A-110079) eine Feldwicklungs-Synchronmaschine, für die eine Impulsstromüberlagerung verwendet wird, jedoch beschreiben diese Veröffentlichungen keine Maßnahmen zur Erhöhung eines Drehmoments bei gleichzeitiger Verhinderung von zu starken Stromflüssen durch die Statorspulen.

**[0006]** Die Erfindung implementiert eine rotierende elektrische Maschine, die in der Lage ist, in einem Antriebssystem für eine rotierende elektrische Maschine ein Drehmoment auch in einem niedrigen Drehzahlbereich zu erhöhen und gleichzeitig zu verhindern, dass zu starke Ströme durch Statorspulen fließen.

**[0007]** Ein erster Aspekt der Erfindung betrifft ein Antriebssystem einer rotierenden elektrischen Maschine, das aufweist: eine rotierende elektrische Maschine mit einem Stator und einem Rotor, die so angeordnet sind, dass sie einander zugewandt sind; eine Antriebseinheit, welche die rotierende elektrische Maschine antreibt; und eine Steuereinheit, welche die Antriebseinheit steuert. Der Stator weist auf: einen Stator Kern mit einer Mehrzahl von Statornuten, die in Umfangsrichtung um eine Drehachse des Rotors voneinander beabstandet sind, und mehrphasige Statorspulen, die in einer konzentrierten Wicklung durch die Statornuten um den Stator Kern gewickelt sind; der Rotor weist auf: einen Rotorkern mit einer Mehrzahl von Rotornuten, die in Umfangsrichtung um eine Drehachse des Rotors voneinander beabstandet sind, Rotorspulen, die an mehreren Umfangsrichtungsabschnitten des Rotorkerns auf solche Weise gewickelt sind, dass sie zumindest zum Teil in den Rotornuten angeordnet sind, und eine Gleichrichtereinheit, die mit den Rotorspulen verbunden ist und magnetische Eigenschaften der entsprechenden Rotorspulen unter der Mehrzahl von Rotorspulen in Umfangsrichtung abwechselnd ändert, und der Rotor ändert magnetische Eigenschaften von Magnetpolabschnitten an mehreren Umfangsrichtungsabschnitten in Umfangsrichtung abwechselnd, wobei die magnetischen Eigenschaften durch Ströme erzeugt werden, die durch die jeweiligen Rotorspulen fließen, und die Steuereinheit weist eine Abwärts-/Aufwärtsimpuls-Überlagerungseinheit auf zum Legen eines Abwärtsimpulsstroms für eine impulsförmige Abwärts wandlung über einen q-Achsenstrombefehl, um Ströme durch die Statorspulen zu leiten, um magnetische Feldflüsse in Richtungen zu erzeugen, die in Bezug auf Magnetpolrichtungen, bei denen es sich um Wicklungs-Mittelachsenrichtungen der jeweiligen Rotorspulen handelt, über einem elektrischen Winkel von 90 Grad nach vorne verschoben sind, und die einen Aufwärtsimpulsstrom für eine impulsförmige Aufwärts wandlung über einen d-Achsenstrombefehl legt, um Ströme durch die Statorspulen zu leiten, um magnetische Feldflüsse in den Magnetpolrichtungen zu erzeugen. Man beachte, dass unter einem Abwärtsimpulsstrom ein Impulsstrom zu verstehen ist, der auf impulsförmige Weise steil abfällt und dann steil ansteigt, und dass unter dem Aufwärtsimpulsstrom ein Impulsstrom zu verstehen ist, der auf impulsförmige Weise steil ansteigt und dann steil abfällt. Außerdem kann die Impulswellenform sowohl des Abwärtsimpulsstroms als auch des Aufwärtsimpulsstroms eine Rechteckswelle, eine Dreieckswelle oder eine Wellenform sein, die aus einer Mehrzahl von Kurven und/oder Linien besteht, die eine vorstehende Form bilden. Man beachte, dass „Rotorkern“ ein integrales Bauteil im Rotor außer den Rotorspulen bezeichnet, das beispielsweise aus Magneten und einem Rotorkernkörper, der aus magnetischem Material gebildet ist, bestehen kann. Außerdem sind die „Rotornuten“ nicht auf Abschnitte beschränkt, die eine Kerbenform

haben und die zur Randfläche des Rotorkerns hin offen sind, und schließen beispielsweise auch Schlitze ein, die nicht zur Randfläche des Rotorkerns hin offen sind und die so ausgebildet sind, dass sie in der axialen Richtung innen durch den Rotorkern verlaufen.

**[0008]** Mit dem Antriebssystem einer rotierenden elektrischen Maschine kann eine rotierende elektrische Maschine verwirklicht werden, die in der Lage ist, auch in einem niedrigen Drehzahlbereich ein Drehmoment zu erhöhen und gleichzeitig zu verhindern, dass zu starke Ströme durch die Statorspulen fließen. Das heißt, durch Überlagern des q-Achsenstrombefehls mit einem Abwärtsimpulsstrom und durch Überlagern des d-Achsenstrombefehls mit einem Aufwärtsimpulsstrom können Induktionsströme, die in den Rotorspulen auftreten, verstärkt werden, während bewirkt wird, dass Ströme aller drei Phasen im erforderlichen Strombeschränkungsbereich liegen. Außerdem wird ein Aufwärtsimpulsstrom über den d-Achsenstrombefehl gelegt, so dass es möglich ist, den Umfang von Schwankungen von Magnetflüssen, die durch die d-Achsenmagnetpfade fließen, die vom d-Achsenstrombefehl erzeugt werden, zu verstärken. Die d-Achsenmagnetpfade sind in der Lage, den Durchgang von Magnetflüssen durch einen Luftspalt im Vergleich zu den q-Achsenmagnetpfaden, die dem q-Achsenstrombefehl entsprechen, zu verringern, wodurch der magnetische Widerstand abnimmt. Daher ist die Erhöhung des Schwankungsumfangs in d-Achsenmagnetflüssen wirksam zur Verstärkung des Drehmoments. Somit ist es möglich, Induktionsströme, die in den Rotorspulen erzeugt werden, auch in einem Bereich niedriger Drehzahl zu verstärken, während die Spitzen von Statorströmen aller Phasen niedrig gehalten werden, daher ist es möglich, das Drehmoment der rotierenden elektrischen Maschine zu verstärken.

**[0009]** Die Abwärts-/Aufwärtsimpuls-Überlagerungseinheit kann den Aufwärtsimpulsstrom über den d-Achsenstrombefehl legen und den Abwärtsimpulsstrom nicht über den q-Achsenstrombefehl legen, wenn ein Ausgangsdrehmoment der rotierenden elektrischen Maschine unter oder bei einem Schwellenwert liegt, und kann den Aufwärtsimpulsstrom über den d-Achsenstrombefehl legen und den Abwärtsimpulsstrom über den q-Achsenstrombefehl legen, wenn das Ausgangsdrehmoment den Schwellenwert übersteigt.

**[0010]** Die Abwärts-/Aufwärtsimpulsstrom-Überlagerungseinheit kann den Abwärtsimpulsstrom über den q-Achsenstrombefehl legen und kann den Aufwärtsimpulsstrom über den d-Achsenstrombefehl legen, so dass ein Stromvektor nach Überlagerung von Statorströmen, die durch die Statorspulen geleitet werden sollen, mit dem Impulsstrom in einem Steuerzirkelkreis liegt, der von einem distalen Ende eines Stromvektors beschrieben wird, der in einem d-q-Ko-

ordinatensystem definiert ist, wenn der Impulsstrom nicht über die Statorströme geleitet wird.

**[0011]** Jede von den Rotorspulen kann mit irgendeinem von den Gleichrichterelementen verbunden sein, die als Gleichrichtereinheit dienen und deren Vorwärtsrichtungen zwischen irgendwelchen zwei in der Umfangsrichtung des Rotors benachbarten Rotorspulen einander entgegengesetzt sind, und die Gleichrichterelemente können Ströme gleichrichten, die durch induzierte elektromotorische Kräfte erzeugt werden und durch die Rotorspulen fließen sollen, um dadurch Phasen von Strömen, die durch irgendwelche zwei in der Umfangsrichtung benachbarte Rotorspulen fließen, zwischen einer A-Phase und einer B-Phase abwechselnd zu ändern.

**[0012]** Die Gleichrichterelemente können ein erstes Gleichrichterelement und ein zweites Gleichrichterelement sein, die jeweils mit den entsprechenden Rotorspulen verbunden sind, und das erste Gleichrichterelement und das zweite Gleichrichterelement können unabhängig voneinander Ströme, die aufgrund der erzeugten induzierten elektromotorischen Kräfte erzeugt werden, gleichrichten, so dass die gleichgerichteten Ströme durch die entsprechenden Rotorspulen fließen, und können die magnetischen Eigenschaften der Magnetpolabschnitte an mehreren Umfangsrichtungsabschnitten in Umfangsrichtung abwechselnd ändern, wobei die magnetischen Eigenschaften durch Ströme erzeugt werden, die durch die entsprechenden Rotorspulen fließen.

**[0013]** Der Rotorkern kann ausgeprägte bzw. Schenkelpole aufweisen, bei denen es sich um die Mehrzahl von Magnetpolabschnitten handelt, die bezogen auf die Umfangsrichtung des Rotors mit Abständen zueinander angeordnet sind und zum Stator hin vorstehen, und die Schenkelpole können magnetisiert werden, wenn Ströme, die von der Gleichrichtereinheit gleichgerichtet werden, durch die Rotorspulen fließen, um dadurch als Magnete zu fungieren, die feste Magnetpole aufweisen.

**[0014]** Der Rotorkern kann Schenkelpole aufweisen, bei denen es sich um die Mehrzahl von Magnetpolabschnitten handelt, die bezogen auf die Umfangsrichtung des Rotorkerns mit Abständen zueinander angeordnet sind und zum Stator hin vorstehen, und die Schenkelpole können magnetisiert werden, wenn Ströme, die von der Gleichrichtereinheit gleichgerichtet werden, durch die Rotorspulen fließen, um dadurch als Magnete zu fungieren, die feste Magnetpole aufweisen, und der Rotor kann ferner Hilfsrotorspulen aufweisen, die an proximalen Abschnitten der jeweiligen Schenkelpole gewickelt sind, irgendwelche zwei von den Hilfsrotorspulen, die um irgendwelche zwei in der Umfangsrichtung des Rotors benachbarte Schenkelpole gewickelt sind, können in Reihe miteinander verbunden sein, um einen Hilfs-

Spulensatz zu bilden, und die einen Enden von irgendwelchen zwei benachbarten Rotorspulen, die um irgendwelche zwei bezogen auf die Umfangsrichtung des Rotors benachbarte Schenkelpole gewickelt sind, können an einem Verbindungspunkt über die jeweils entsprechenden Gleichrichterelemente miteinander verbunden sein, so dass die jeweils entsprechenden Gleichrichterelemente einander aus entgegengesetzten Richtungen zugewandt sind, die anderen Enden der irgendwelchen zwei benachbarten Rotorspulen, die um irgendwelche zwei in der Umfangsrichtung des Rotors benachbarte Schenkelpole gewickelt sind, können mit einem Ende des Hilfs-Spulensatzes verbunden sein, und der Verbindungspunkt kann mit dem anderen Ende des Hilfs-Spulensatzes verbunden sein.

**[0015]** Eine Breite jedes Schenkelpols in der Umfangsrichtung des Rotors kann kleiner sein als eine Breite, die einem elektrischen Winkel von  $180^\circ$  entspricht, und jede von den Rotorspulen kann mit verkürzter Schrittweite um einen der Schenkelpole gewickelt sein.

**[0016]** Eine Breite jeder Rotorspule in der Umfangsrichtung des Rotors kann einer Breite gleich sein, die einem elektrischen Winkel von  $90^\circ$  entspricht.

**[0017]** Mit dem Antriebssystem einer rotierenden elektrischen Maschine gemäß dem Aspekt der Erfindung kann die rotierende elektrische Maschine verwirklicht werden, die in der Lage ist, ein Drehmoment auch in einem niedrigen Drehzahlbereich zu erhöhen, während sie gleichzeitig verhindert, dass zu starke Ströme durch die Statorspulen fließen.

#### KURZE BESCHREIBUNG DER ZEICHNUNGEN

**[0018]** Merkmale und Vorteile sowie die technische und industrielle Bedeutung von Ausführungsbeispielen der Erfindung werden nachstehend mit Bezug auf die begleitenden Zeichnungen beschrieben, in denen gleiche Bezugszahlen gleiche Elemente bezeichnen, und in denen:

**[0019]** [Fig. 1](#) eine Ansicht ist, die einen schematischen Aufbau eines Antriebssystems einer rotierenden elektrischen Maschine gemäß einer Ausführungsform der Erfindung zeigt;

**[0020]** [Fig. 2](#) eine schematische Ansicht ist, die einen Teil eines Abschnitts zeigt, in dem ein Stator einem Rotor in einer Ausführungsform der Erfindung zugewandt ist;

**[0021]** [Fig. 3A](#) eine schematische Ansicht ist, die einen Zustand zeigt, in dem ein Magnetfluss in dem Rotor in der Ausführungsform der Erfindung verläuft;

[0022] [Fig. 3B](#) ein Graph ist, der das Ergebnis zeigt, das durch Berechnen der Amplitude eines mit einer Rotorspule verketteten Magnetflusses erhalten wird, während die Umfangsichtungsbreite  $\theta$  der Rotorspule in der rotierenden elektrischen Maschine, die in [Fig. 2](#) dargestellt ist, geändert wird;

[0023] [Fig. 4](#) ein Blockschema ist, das den Aufbau eines Controllers in der Ausführungsform der Erfindung zeigt;

[0024] [Fig. 5A](#) ein Zeitschema ist, das ein Beispiel für zeitabhängige Veränderungen in Statorströmen unter Verwendung eines überlagerten d-Achsenstrombefehlswerts  $I_{dsum}^*$ , eines überlagerten q-Achsenstrombefehlswerts  $I_{qsum}^*$  und jedes Phasenstroms in der Ausführungsform der Erfindung zeigt;

[0025] [Fig. 5B](#) ein Zeitschema ist, das eine zeitabhängige Veränderung von Rotorstrom, der in den Rotorspulen erzeugt wird, entsprechend [Fig. 5A](#) zeigt;

[0026] [Fig. 6](#) ein Zeitschema ist, das Zeitpunkte  $t_1$  und  $t_2$  darstellt, zu denen mit der Überlagerung von Dreiphasen-Statorströmen mit Impulsstrom in der Ausführungsform der Erfindung begonnen wird;

[0027] [Fig. 7A](#) eine schematische Ansicht ist, die einen Zustand zeigt, in dem Magnetflüsse durch den Stator und den Rotor verlaufen, wenn ein q-Achsenstrom in der Ausführungsform der Erfindung auf einen festen Wert eingestellt ist;

[0028] [Fig. 7B](#) eine schematische Ansicht ist, die einen Zustand zeigt, in dem Magnetflüsse in einer ersten Halbperiode durch den Stator und den Rotor fließen, wenn ein Abwärtsimpulsstrom über einen q-Achsenstrom gelegt wird;

[0029] [Fig. 7C](#) eine schematische Ansicht ist, die einen Zustand zeigt, in dem Magnetflüsse in einer zweiten Halbperiode durch den Stator und den Rotor fließen, wenn ein Abwärtsimpulsstrom über einen q-Achsenstrom gelegt wird;

[0030] [Fig. 8](#) eine schematische Ansicht ist, die einen Zustand zeigt, wo Magnetflüsse wegen des d-Achsenstroms durch den Stator und den Rotor in der Ausführungsform der Erfindung fließen;

[0031] [Fig. 9](#) ein Graph ist, der Stromvektoren vor und nach der Überlagerung mit Impulsstrom in der Ausführungsform der Erfindung zeigt;

[0032] [Fig. 10](#) ein Graph ist, der die Beziehung zwischen der Drehzahl und dem Drehmoment der rotierenden elektrischen Maschine zur Darstellung eines Beispiels zeigt, in dem ein Impulsstrom-Überlagerungszustand in der Ausführungsform der Erfindung geändert wird;

[0033] [Fig. 11](#) eine Ansicht ist, die eine andere Ausführungsform der Erfindung zeigt und die [Fig. 3A](#) entspricht;

[0034] [Fig. 12](#) eine Ansicht ist, die eine Ersatzschaltung von Rotorspulen und Hilfsrotorspulen in der Ausführungsform von [Fig. 11](#) zeigt;

[0035] [Fig. 13](#) eine schematische Querschnitts-Teilansicht ist, die einen Abschnitt, in dem ein Stator einem Rotor zugewandt ist, in einer anderen Ausführungsform der Erfindung zeigt;

[0036] [Fig. 14](#) eine schematische Ansicht ist, die einen Rotor eines anderen Gestaltungsbeispiels der rotierenden elektrischen Maschine zeigt, welche die Ausführungsform der Erfindung darstellt;

[0037] [Fig. 15](#) eine schematische Ansicht ist, die einen Rotor eines anderen Gestaltungsbeispiels der rotierenden elektrischen Maschine zeigt, welche die Ausführungsform der Erfindung darstellt;

[0038] [Fig. 16](#) eine schematische Ansicht ist, die einen Rotor eines anderen Gestaltungsbeispiels der rotierenden elektrischen Maschine zeigt, welche die Ausführungsform der Erfindung darstellt;

[0039] [Fig. 17](#) eine schematische Ansicht ist, die ein anderes Gestaltungsbeispiel der rotierenden elektrischen Maschine zeigt, welche die Ausführungsform der Erfindung darstellt, betrachtet in der Richtung, die parallel ist zur Drehachse des Rotors;

[0040] [Fig. 18](#) eine schematische Ansicht ist, die den Rotor des Gestaltungsbeispiels von [Fig. 17](#) darstellt;

[0041] [Fig. 19](#) eine schematische Ansicht ist, die einen Rotor eines anderen Gestaltungsbeispiels der rotierenden elektrischen Maschine zeigt, welche die Ausführungsform der Erfindung darstellt;

[0042] [Fig. 20](#) eine schematische Ansicht ist, die einen Rotor eines anderen Gestaltungsbeispiels der rotierenden elektrischen Maschine zeigt, welche die Ausführungsform der Erfindung darstellt;

[0043] [Fig. 21](#) eine schematische Ansicht ist, die einen Rotor eines anderen Gestaltungsbeispiels der rotierenden elektrischen Maschine zeigt, welche die Ausführungsform der Erfindung darstellt;

[0044] [Fig. 22](#) eine schematische Ansicht ist, die einen Rotor eines anderen Gestaltungsbeispiels der rotierenden elektrischen Maschine zeigt, welche die Ausführungsform der Erfindung darstellt;

[0045] [Fig. 23](#) eine Ansicht ist, die den schematischen Aufbau eines Stators und eines Rotors zeigt, die aus einer Richtung betrachtet werden, die parallel

ist zur Drehachse des Rotors, in einer existierenden rotierenden elektrischen Maschine;

[0046] **Fig. 24** eine Ansicht ist, die den schematischen Aufbau des Stators in der rotierenden elektrischen Maschine von **Fig. 23** darstellt;

[0047] **Fig. 25** eine Ansicht ist, die den schematischen Aufbau des Stators in der rotierenden elektrischen Maschine von **Fig. 23** darstellt; und

[0048] **Fig. 26** ein Graph ist, der ein Beispiel für die Beziehung zwischen einer Rotordrehzahl und einem Motordrehmoment in dem gleichen Aufbau wie dem der rotierenden elektrischen Maschine von **Fig. 23** darstellt.

#### AUSFÜHRLICHE BESCHREIBUNG VON AUSFÜHRUNGSFORMEN

[0049] **Fig. 1** bis **Fig. 8** und **Fig. 10** sind Ansichten, die eine Ausführungsform der Erfindung darstellen. **Fig. 1** ist eine Ansicht, die den schematischen Aufbau eines Antriebssystems einer rotierenden elektrischen Maschine gemäß der Ausführungsform zeigt. **Fig. 2** ist eine schematische Ansicht, die einen Teil eines Abschnitts zeigt, in dem ein Stator einem Rotor in der Ausführungsform zugewandt ist. **Fig. 3A** ist eine schematische Ansicht, die einen Zustand zeigt, in dem ein Magnetfluss durch den Rotor in der Ausführungsform fließt. **Fig. 3B** ist ein Graph, der das Ergebnis zeigt, das durch Berechnen der Amplitude eines Magnetflusses, der mit einer Rotorspule verknüpft ist, erhalten wird, während die Umfangsrichtungsbreite  $\theta$  der Rotorspule geändert wird, in der rotierenden elektrischen Maschine, die in **Fig. 2** dargestellt ist. **Fig. 4** ist ein Blockschema, das den Aufbau eines Controllers in der Ausführungsform zeigt. Wie in **Fig. 1** dargestellt ist, weist ein Antriebssystem **34** einer rotierenden elektrischen Maschine gemäß der Ausführungsform eine rotierende elektrische Maschine **10**, einen Wechselrichter **36**, einen Controller **38** und eine elektrische Speichervorrichtung **40** auf. Der Wechselrichter **36** ist eine Antriebseinheit, die die rotierende elektrische Maschine **10** antreibt. Der Controller **38** ist eine Steuereinheit, die den Wechselrichter **36** steuert. Die elektrische Speichervorrichtung **40** ist eine Leistungsquelle. Das Antriebssystem **34** einer rotierenden elektrischen Maschine treibt die rotierende elektrische Maschine **10** an. Außerdem weist die elektrische Maschine **10**, die als ein Elektromotor oder als ein Generator dient, einen Stator **12** und einen Rotor **14** auf, wie in **Fig. 2** dargestellt ist. Der Stator **12** ist an einem (nicht dargestellten) Gehäuse festgelegt. Der Rotor **14** ist bezogen auf die radiale Richtung weiter innen als der Stator **12** so angeordnet, dass er dem Stator **12** mit einer vorgegebenen Lücke dazwischen zugewandt ist, und kann sich in Bezug auf den Stator **12** drehen. Man beachte, dass „radiale Richtung“ eine Ausstrahlungsrichtung bedeutet, die

senkrecht ist zur Drehachse des Rotors (im Folgenden ist die Bedeutung von „radiale Richtung“ die gleiche, solange nichts anderes angegeben ist).

[0050] Außerdem weist der Stator **12** einen Stator Kern **26** und mehrphasige (genauer zum Beispiel dreiphasige, d. h. U-Phasen-, V-Phasen- und W-Phasen-) Statorspulen **28u**, **28v** und **28w** auf. Der Stator Kern **26** besteht aus einem magnetischen Material. Die Statorspulen **28u**, **28v** und **28w** sind am Stator Kern **26** angeordnet. Zähne **30** sind an mehreren Umfangsrichtungsabschnitten des Stator Kerns **26** angeordnet. Die Zähne **30** sind eine Mehrzahl von Statorzähnen, die bezogen auf die radiale Richtung zur Innenseite vorstehen (zum Rotor **14** (**Fig. 23**)). Eine Nut **31**, bei der es sich um eine Statornut handelt, ist jeweils zwischen benachbarten Zähnen **30** ausgebildet. Man beachte, dass „Umfangsrichtung“ eine Richtung entlang des Kreises bedeutet, der um die zentrale Drehachse des Rotors beschrieben wird (im Folgenden ist die Bedeutung von „Umfangsrichtung“ gleich, wenn nicht etwas anderes angegeben ist).

[0051] Das heißt, die Mehrzahl von Zähnen **30**, die bezogen auf die radiale Richtung zur Innenseite (zum Rotor **14**) vorstehen, sind auf der Innenrandfläche des Stator Kerns **26** bezogen auf die Umfangsrichtung mit Abständen zueinander um die zentrale Drehachse angeordnet, bei der es sich um die Drehachse des Rotors **14** handelt, und die Nuten **31**, die jeweils zwischen benachbarten Zähnen **30** ausgebildet sind, sind bezogen auf die Umfangsrichtung mit Abständen zueinander ausgebildet. Das heißt, der Stator Kern **26** weist eine Mehrzahl von Nuten **31** auf, die bezogen auf die Umfangsrichtung mit Abständen zueinander um die Drehachse des Rotors **14** ausgebildet sind.

[0052] Die dreiphasigen Statorspulen **28u**, **28v** und **28w** sind mit verkürzter Schrittweite konzentriert durch die Nuten **31** um die entsprechenden Zähne **30** des Stator Kerns **26** gewickelt. Auf diese Weise sind die Statorspulen **28u**, **28v** und **28w** um die entsprechenden Zähne **30** gewickelt, um Magnetpole zu bilden. Weiter werden mehrphasige Wechselströme durch die mehrphasigen Statorspulen **28u**, **28v** und **28w** geschickt, um die Zähne **30**, die in der Umfangsrichtung auf einer Linie liegen, zu magnetisieren. Dadurch können magnetische Drehfelder, die in der Umfangsrichtung drehen, im Stator **12** erzeugt werden. Man beachte, dass die Statorspulen aufbaumäßig nicht so beschränkt sind, dass die Statorspulen auf diese Weise um die entsprechenden Zähne des Stators gewickelt sind; die Statorspulen können auch auf andere Weise als um die Zähne um den Stator Kern gewickelt sein.

[0053] Die drehenden Magnetfelder, die in den Zähnen **30** gebildet werden, werden von den distalen Endflächen der Zähne **30** aus an den Rotor **14** angelegt. In dem in **Fig. 2** dargestellten Beispiel wird

ein Polpaar aus den drei Zähnen **30** gebildet, um die jeweils die dreiphasigen (U-Phasen-, V-Phasen- und W-Phasen-)Statorspulen **28u**, **28v** und **28w** gewickelt sind.

**[0054]** Außerdem weist der Rotor **14** einen Rotorkern **16**, der aus einem magnetischen Material besteht, und eine Mehrzahl von Rotorspulen **42n** und **42s** auf. Zähne **19** sind an mehreren Umfangrichtungsabschnitten der Außenrandfläche des Rotorkerns **16** so vorgesehen, dass sie in der radialen Richtung zur Außenseite (zum Stator **12**) vorstehen, und sind mit Abständen zueinander entlang der Außenrandfläche des Rotorkerns **16** angeordnet. Die Zähne **19** sind eine Mehrzahl von Magnetpolabschnitten (Vorsprünge und Schenkelpole) und sind Rotorzähne. Die Zähne **19** sind dem Stator **12** zugewandt. Außerdem sind Nuten **20**, von denen jede eine Rotornut zwischen jeweils benachbarten Zähnen **19** des Rotorkerns **16** ist, bezogen auf die Umfangsrichtung mit Abständen zueinander ausgebildet. Das heißt, der Rotorkern **16** weist die Mehrzahl von Nuten **20** auf, die bezogen auf die Umfangsrichtung mit Abständen zueinander um die Drehachse des Rotors **14** ausgebildet sind.

**[0055]** Wegen der Zähne **19** ändern sich magnetische Widerstände in dem Fall, wo Magnetflüsse vom Stator **12** (von den Zähnen **30**) aus verlaufen, mit der Drehrichtung des Rotors **14**. Ein magnetischer Widerstand ist an der Position der einzelnen Zähne **19** niedrig, und ein magnetischer Widerstand ist an der Position zwischen jeweils benachbarten Zähnen **19** hoch. Weiter sind die Rotorspulen **42n** und **42s** so um diese Zähne **19** gewickelt, dass die Rotorspulen **42n** und die Rotorspulen **42s** in der Umfangsrichtung abwechselnd ausgerichtet sind. Hierbei fällt die Wicklungsmittelachse von jeder der Rotorspulen **42n** und **42s** mit der radialen Richtung zusammen.

**[0056]** Außerdem sind die in Mehrzahl vorhandenen ersten Rotorspulen **42n** durch konzentrierte Wicklung um bezogen auf die Umfangsrichtung des Rotors **14** jeweils übernächste Zähne **19** gewickelt, und die in Mehrzahl vorhandenen Rotorspulen **42s** sind durch konzentrierte Wicklung um die jeweils anderen Zähne **19** gewickelt. Die anderen Zähne **19** sind den Zähnen **19**, um die die ersten Rotorspulen **42n** gewickelt sind, benachbart und es handelt sich dabei um bezogen auf die Umfangsrichtung jeweils übernächste Zähne. Außerdem sind Dioden **21n** und **21s** mit einer ersten Rotorspulenschaltung **44** bzw. einer zweiten Rotorspulenschaltung **46** verbunden. Die erste Rotorspulenschaltung **46** beinhaltet die Mehrzahl von ersten Rotorspulen **42n**. Die zweite Rotorspulenschaltung **46** beinhaltet die Mehrzahl von zweiten Rotorspulen **42s**. Das heißt, die in Mehrzahl vorhandenen ersten Rotorspulen **42n**, die bezogen auf die Umfangsrichtung des Rotors **14** abwechselnd angeordnet sind, sind miteinander elektrisch in Reihe verbun-

den und sind endlos verbunden, und die Diode **21n** ist an einem Abschnitt zwischen irgendwelchen zwei aus der Mehrzahl von ersten Rotorspulen **42n** mit jeder von den ersten Rotorspulen **42n** in Reihe verbunden, um dadurch die erste Rotorspulenschaltung **44** zu bilden. Die Diode **21n** ist eine Gleichrichtereinheit (ein Gleichrichterelement) und ist eine erste Diode. Die ersten Rotorspulen **42n** sind um die Zähne **19** gewickelt, die als die gleichen Magnetpole (Nordpole) fungieren.

**[0057]** Außerdem sind die in Mehrzahl vorhandenen zweiten Rotorspulen **42s** miteinander elektrisch in Reihe verbunden und endlos verbunden, und die Diode **21s** ist an einem Abschnitt zwischen beliebigen zwei aus der Mehrzahl von zweiten Rotorspulen **42s** mit jeder von den zweiten Rotorspulen **42s** in Reihe verbunden, um dadurch die zweite Rotorspulenschaltung **46** zu bilden. Die Diode **21s** ist eine Gleichrichtereinheit (ein Gleichrichterelement) und ist eine zweite Diode. Die zweiten Rotorspulen **42s** sind um die Zähne **19** gewickelt, die als die gleichen Magnetpole (Südpole) fungieren. Außerdem sind die Rotorspulen **42n** und **42s**, die um bezogen auf die Umfangsrichtung jeweils benachbarte Zähne **19** gewickelt sind (die Magnete mit verschiedenen Magnetpolen bilden), elektrisch gegeneinander isoliert. Auf diese Weise sind die Rotorspulen **42n** und **42s** an mehreren Umfangsrichtungsabschnitten des Außenrandabschnitts des Rotorkerns **16** auf solche Weise gewickelt, dass sie zum Teil in den entsprechenden Nuten **20** angeordnet sind.

**[0058]** Außerdem sind die Gleichrichtungsrichtungen, in denen Ströme, die durch die Rotorspulen **42n** und **42s** fließen, jeweils von den Dioden **21n** und **21s** gleichgerichtet werden, entgegengesetzt, so dass in bezogen auf die Umfangsrichtung jeweils benachbarten Zähnen **19** des Rotors **14** Magnete mit unterschiedlichen Magnetpolen gebildet werden. Das heißt, die Dioden **21n** und **21s** sind mit den Rotorspulen **42n** und **42s** jeweils in einander entgegengesetzten Richtungen auf solche Weise verbunden, dass die Richtungen von elektrischen Strömen, die jeweils durch irgendwelche zwei in Umfangsrichtung des Rotors **14** benachbarte Rotorspulen **42n** und **42s** fließen (die Gleichrichtungsrichtungen der jeweiligen Dioden **21n** und **21s**), das heißt die Vorwärtsrichtungen, einander entgegengesetzt sind. Weiter sorgen die Dioden **21n** und **21s** jeweils für eine Gleichrichtung von elektrischen Strömen, die wegen der induzierten elektromotorischen Kräfte, die von vom Stator **12** erzeugten drehenden Magnetfeldern, welche räumliche harmonische Schwingungen enthalten, erzeugt werden, durch die entsprechenden Rotorspulen **42n** und **42s** fließen. Dadurch wechseln sich die Phasen von Strömen, die durch irgendwelche zwei in Umfangsrichtung des Rotors **14** benachbarte Rotorspulen **42n** und **42s** fließen, zwischen einer A-Phase und einer B-Phase ab. Die A-Phase dient dazu, den

Nordpol auf der Seite des distalen Endes eines entsprechenden einen von den Zähnen **19** auszubilden. Die B-Phase dient dazu, den Südpol auf der Seite des distalen Endes eines entsprechenden einen von den Zähnen **19** auszubilden. Das heißt, die Gleichrichterelemente, die für den Rotor **14** vorgesehen sind, sind die Diode **21n**, bei der es sich um ein erstes Gleichrichterelement handelt, und die Diode **21s**, bei der es sich um zweites Gleichrichterelement handelt. Die Diode **21n** und die Diode **21s** sind jeweils mit den entsprechenden Rotorspulen **42n** und **42s** verbunden. Außerdem sorgen die Dioden **21n** und **21s** jeweils unabhängig für eine Gleichrichtung von Strömen, die wegen der erzeugten induktiven elektromotorischen Kräfte durch die entsprechenden Rotorspulen **42n** und **42s** fließen, und bewirken, dass sich die magnetischen Eigenschaften der Zähne **19** an mehreren Umfangsrichtungsabschnitten in Umfangsrichtung abwechseln. Die magnetischen Eigenschaften der Zähne **19** werden von Strömen erzeugt, die durch die jeweiligen Rotorspulen **42n** und **42s** fließen. Auf diese Weise ändern die in Mehrzahl vorhandenen Dioden **21n** und **21s** die magnetischen Eigenschaften in Umfangsrichtung abwechselnd. Die magnetischen Eigenschaften werden in den in Mehrzahl vorhandenen Zähnen **19** jeweils von in den Rotorspulen **42n** und **42s** erzeugten induzierten elektromotorischen Kräften erzeugt. Das heißt, die Dioden **21n** und **21s** sind mit den entsprechenden Rotorspulen **42n** und **42s** verbunden und ändern die magnetischen Eigenschaften der jeweiligen Rotorspulen **42n** und **42s** in Umfangsrichtung abwechselnd unter den in Mehrzahl vorhandenen Rotorspulen **42n** und **42s**. Mit diesem Aufbau kann anders als im Falle des Aufbaus, der in **Fig. 23** bis **Fig. 25** dargestellt ist, die Anzahl der Dioden **21n** und **21s** auf zwei verringert werden, so dass die Spulenstruktur des Rotors **14** vereinfacht werden kann. Außerdem ist der Rotor **14** auf der bezogen auf die radiale Richtung äußeren Seite einer Drehwelle **22** konzentrisch befestigt (siehe **Fig. 23**, **Fig. 25** und dergleichen, in **Fig. 2** nicht dargestellt). Die Drehwelle **22** ist von einem (nicht dargestellten) Gehäuse drehbar gelagert. Man beachte, dass in der vorliegenden Ausführungsform die Gleichrichterelemente mit den entsprechenden Rotorspulen **42n** und **42s** verbunden sind; jedoch muss in dem Aspekt der Erfindung lediglich die Gleichrichtereinheit, die dafür sorgt, dass sich die magnetischen Eigenschaften der Rotorspulen in der Umfangsrichtung unter den in Mehrzahl vorhandenen Rotorspulen abwechseln, mit den Rotorspulen verbunden sein, und die Gleichrichtereinheit kann einen Aufbau haben, der anders ist als die Gleichrichterelemente. Man beachte, dass die Rotorspulen **42n** und **42s** über Isolatoren oder dergleichen, die aus elektrisch isolierende Eigenschaften aufweisendem Harz oder dergleichen bestehen, um die entsprechenden Zähne **19** gewickelt sein können.

**[0059]** Außerdem ist die Breite  $\theta$  von jeder der Rotorspulen **42n** und **42s** in der Umfangsrichtung des Rotors **14** so eingerichtet, dass sie kleiner ist als die Breite, die einem elektrischen Winkel des Rotors von  $180^\circ$  entspricht, und die Rotorspulen **42n** und **42s** sind jeweils mit verkürzten Schrittweiten um die Zähne **19** gewickelt. Stärker bevorzugt ist die Breite  $\theta$  von jeder von den Rotorspulen **42n** und **42s** in der Umfangsrichtung des Rotors **14** der Breite, die einem elektrischen Winkel des Rotors **14** von  $90^\circ$  entspricht, gleich oder im Wesentlichen gleich. Hierbei kann die Breite  $\theta$  von jeder von den Rotorspulen **42n** und **42s** durch die Mittenbreite des Querschnitts von jeder von den Rotorspulen **42n** und **42s** bei Betrachtung der Querschnittsfläche von jeder von den Rotorspulen **42n** und **42s** ausgedrückt werden. Das heißt, die Breite  $\theta$  von jeder von den Rotorspulen **42n** und **42s** kann durch den Mittelwert der Breite der Innenrandfläche und der Breite der Außenrandfläche von jeder von den Rotorspulen **42n** und **42s** ausgedrückt werden. Man beachte, dass der elektrische Winkel des Rotors **14** durch einen Wert ausgedrückt wird, der durch Multiplizieren des mechanischen Winkels des Rotors **14** mit der Zahl  $p$  der Polpaare des Rotors **14** erhalten wird (elektrischer Winkel = mechanischer Winkel  $\times p$ ). Daher erfüllt die Umfangsrichtungsbreite  $\theta$  von jeder von den Rotorspulen **42n** und **42s** den folgenden mathematischen Ausdruck (1), wo  $r$  der Abstand von der zentralen Drehachse des Rotors **14** zu jeder von den Rotorspulen **42n** und **42s** ist.

$$\theta < \pi \times r/p \quad (1)$$

Der Grund dafür, dass die Breite  $\theta$  durch den mathematischen Ausdruck (1) beschränkt wird, wird weiter unten ausführlich erklärt.

**[0060]** Außerdem ist die elektrische Speichervorrichtung **40**, wie in **Fig. 1** dargestellt, als Gleichstrom-Leistungsquelle vorgesehen. Die elektrische Speichervorrichtung **40** kann aufgeladen und entladen werden und besteht zum Beispiel aus einer Sekundärbatterie. Der Wechselrichter **36** weist drei Arme, d. h. U-Phasen-, V-Phasen- und W-Phasenarme,  $A_u$ ,  $A_v$  und  $A_w$ , auf. In jedem von den Armen mit den drei Phasen,  $A_u$ ,  $A_v$  und  $A_w$ , sind zwei Schaltelemente  $S_w$  in Reihe miteinander verbunden. Die Schaltelemente  $S_w$  sind Transistoren, IGBTs oder dergleichen. Außerdem ist eine Diode  $D_i$  antiparallel mit jedem von den Schaltelementen  $S_w$  verbunden. Ferner sind die Mittelpunkte der Arme  $A_u$ ,  $A_v$  und  $A_w$  jeweils mit einem Ende der Statorspulen **28u**, **28v** bzw. **28w** der entsprechenden Phase, aus denen die rotierende elektrische Maschine **10** besteht, verbunden. Von den Statorspulen **28u**, **28v** und **28w** sind die Statorspulen von gleicher Phase in Reihe miteinander verbunden, und die Statorspulen **28u**, **28v** und **28w** von verschiedenen Phasen sind an einem Sternpunkt miteinander verbunden.

**[0061]** Außerdem sind die Seite einer positiven Elektrode und die Seite einer negativen Elektrode der elektrischen Speichervorrichtung **40** jeweils mit der Seite einer positiven Elektrode und der Seite einer negativen Elektrode **36** des Wechselrichters **36** verbunden, und ein Kondensator **68** ist parallel zum Wechselrichter **36** zwischen die elektrische Speichervorrichtung **40** und den Wechselrichter **36** geschaltet. Der Controller **38** berechnet zum Beispiel das Soll-Drehmoment der rotierenden elektrischen Maschine **10** als Reaktion auf ein Beschleunigungsbefehlssignal, das zum Beispiel von einem (nicht dargestellten) Gaspedalsensor eines Fahrzeugs eingegeben wird, und steuert dann Schaltoperationen der Schaltelemente Sw auf Basis eines Strombefehls werts gemäß dem Soll-Drehmoment und dergleichen. Signale, die Stromwerte anzeigen, die von Stromsensoren **70** erfasst werden, welche für Statorspulen mindestens zweier Phasen (zum Beispiel **28u** und **28v**) von den dreiphasigen Statorspulen vorgesehen sind, und ein Signal, das den Drehwinkel des Rotors **14** der rotierenden elektrischen Maschine **10** anzeigt, der von einer Drehwinkel-Erfassungseinheit **82** (**Fig. 2**), beispielsweise einem Drehmelder, erfasst wird, werden in den Controller **38** eingegeben. Der Controller **38** beinhaltet einen Mikrocomputer, der eine CPU, einen Speicher und dergleichen aufweist. Der Controller **38** steuert das Schalten der Schaltelemente Sw des Wechselrichters **36**, um das Drehmoment der rotierenden elektrischen Maschine **10** zu regeln. Der Controller **38** kann aus einer Mehrzahl von Controller bestehen, die nach Funktion aufgeteilt sind.

**[0062]** Der so aufgebaute Controller **38** ist in der Lage, Gleichstromleistung von der elektrischen Speichervorrichtung **40** durch die Schaltoperationen der Schaltelemente Sw, die Bestandteile des Wechselrichters **36** sind, in Wechselstromleistung von drei Phasen, U, V und W, umzuwandeln, um die dreiphasigen Statorspulen **28u**, **28v** und **28w** mit Leistung der entsprechenden Phasen zu versorgen. Mit dem solchermaßen aufgebauten Controller **38** kann das Drehmoment des Rotors **14** (**Fig. 2**) durch Steuern der Phasen (Vorwärtsverschiebungen) von Wechselströmen, die durch die Statorspulen **28u**, **28v** und **28w** fließen, geregelt werden.

**[0063]** Außerdem werden mit der in **Fig. 2** dargestellten rotierenden elektrischen Maschine **10** von den drehenden Magnetfeldern Induktionsströme in den Rotorspulen **42n** und **42s** erzeugt, wodurch bewirkt werden kann, dass der Rotor **14** ein Drehmoment erzeugt. Die drehenden Magnetfelder werden vom Stator **12** erzeugt und beinhalten räumliche Harmonische. Das heißt, die Verteilung von magnetomotorischen Kräften, die bewirken, dass der Stator **12** drehende Magnetfelder erzeugt, ist keine sinusförmige Verteilung (mit nur der Fundamental), sondern beinhaltet aufgrund der Anordnung der dreiphasigen Statorspulen **28u**, **28v** und **28w** und der Form des

Statorkerns **26** wegen der Zähne **30** und der Nuten **31** harmonische Komponenten. Insbesondere überschneiden sich die dreiphasigen Statorspulen **28u**, **28v** und **28w** in der konzentrierten Wicklung nicht, so dass die Höhe der Amplitude von harmonischen Komponenten, die in der Verteilung der magnetomotorischen Kraft des Stators **12** auftreten, zunimmt. Wenn die Statorspulen **28u**, **28v** und **28w** zum Beispiel von einer dreiphasigen konzentrierten Wicklung gebildet werden, nimmt die Höhe der Amplitude einer sekundären räumlichen Komponente, bei der es sich um die (temporäre) tertiäre Komponente von eingegebener elektrischer Frequenz handelt, als harmonische Komponenten zu. Die harmonischen Komponenten, die wegen der Anordnung der Statorspulen **28u**, **28v** und **28w** und der Form des Statorkerns **26** auf diese Weise in magnetomotorischen Kräften auftreten, werden als räumliche Harmonische bezeichnet.

**[0064]** Wenn die dreiphasigen Wechselströme, die durch die dreiphasigen Statorspulen **28u**, **28v** und **28w** geschickt werden, um zu bewirken, dass die drehenden Magnetfelder (die fundamentalen Komponenten), die in den Zähnen **30** gebildet werden, an den Rotor **14** angelegt werden, werden die Zähne **19** außerdem auf solche Weise von den drehenden Magnetfeldern der Zähne **30** angezogen, dass der magnetische Widerstand des Rotors **14** sinkt. Dadurch wirkt ein Drehmoment (eine Trägheitsmoment) auf den Rotor **14**.

**[0065]** Da die drehenden Magnetfelder, die in den Zähnen **30** gebildet werden und räumliche Harmonische enthalten, mit den Rotorspulen **42n** und **42s** des Rotors **14** verkettet sind, treten ferner wegen der räumlichen harmonischen Komponenten Magnetflussschwankungen mit anderer Frequenz als die Drehfrequenz (die fundamentalen Komponenten der drehenden Magnetfelder) des Rotors **14** in den Rotorspulen **42n** und **42s** auf. Wegen der Magnetflussschwankungen werden induzierte elektromotorische Kräfte in den Rotorspulen **42n** und **42s** erzeugt. Mit den erzeugten elektromotorischen Kräften werden Ströme, die durch die Rotorspulen **42n** und **42s** fließen, von den Dioden **21n** und **21s** jeweils gleichgerichtet, so dass sie nur eine Richtung aufweisen (Gleichstrom). Dann werden die Zähne **19**, bei denen es sich um die Rotorzähne handelt, magnetisiert, wenn Gleichströme, die von den Dioden **21n** und **21s** gleichgerichtet werden, durch die Rotorspulen **42n** und **42s** fließen. Dadurch fungiert jeder von den Zähnen **19** als Magnet mit einem festen Magnetpol (entweder dem Nordpol oder dem Südpol). Wie oben beschrieben, sind die Gleichrichtungsrichtungen, in denen Ströme, die durch die Rotorspulen **42n** und **42s** fließen, von den Dioden **21n** und **21s** gleichgerichtet werden, einander entgegengesetzt, so dass Magnete, die in den jeweiligen Zähnen **19** erzeugt werden, so sind, dass die Nordpole und die Südpole

le in der Umfangsrichtung abwechselnd angeordnet sind. Dann wechselwirken die Magnetfelder der Zähne **19** (Magnete mit festen Magnetpolen) mit den drehenden Magnetfeldern (fundamentalen Komponenten), die vom Stator **12** erzeugt werden, um Anziehungs- und Abstoßungswirkungen zu erzeugen. Ein Drehmoment (das dem magnetischen Moment entspricht) kann selbst durch elektromagnetische Wechselwirkung (Anziehungs- und Abstoßungswirkungen) zwischen den drehenden Magnetfeldern (den fundamentalen Komponenten), die vom Stator **12** und den Magnetfeldern der Zähne **19** (Magnete) erzeugt werden, an den Rotor **14** angelegt werden, und der Rotor **14** wird synchron mit den drehenden Magnetfeldern (den fundamentalen Komponenten), die vom Stator **12** erzeugt werden, drehend angetrieben. Auf diese Weise kann die rotierende elektrische Maschine **10** als Elektromotor fungieren, der elektrische Leistung nutzt, die zu den Statorspulen **28u**, **28v** und **28w** geliefert wird, um zu bewirken, dass der Rotor **14** elektrische Leistung (mechanische Leistung) erzeugt.

**[0066]** In diesem Fall sind die verschiedenen Dioden **21n** und **21s** im Rotor **14** jeweils mit den Rotorspulen **42n** und **42s** verbunden, die um bezogen auf die Umfangsrichtung jeweils benachbarte Zähne **19** des Rotors **14** gewickelt sind. Die drehenden Magnetfelder, die vom Stator **12** (**Fig. 2**) erzeugt werden und Harmonische enthalten, sind mit den Rotorspulen **42n** und **42s** verkettet. Dadurch werden Induktionsströme, deren Richtungen von den Dioden **21n** und **21s** reguliert werden, in den Rotorspulen **42n** und **42s** induziert, und die Zähne **19** werden zwischen jeweils benachbarten Zähnen **19** als unterschiedliche Magnetpolabschnitte magnetisiert. In diesem Fall verläuft ein Magnetfluss, der durch einen Induktionsstrom verursacht wird, durch die Zähne **19** und einen Abschnitt des Rotorkerns **16** außer den Zähnen **19** in der Richtung, die vom Pfeil  $\alpha$  in **Fig. 3A** angegeben wird.

**[0067]** Außerdem wird das Antriebssystem **34** einer rotierenden elektrischen Maschine, das in **Fig. 1** dargestellt ist, in einem Hybridfahrzeug, einem Brennstoffzellen-Fahrzeug, einem Elektrofahrzeug oder dergleichen als Fahrzeugantriebsleistung erzeugende Vorrichtung eingebaut und verwendet. Das Hybridfahrzeug beinhaltet einen Verbrennungsmotor und einen Antriebsmotor als Antriebsquellen. Man beachte, dass es auch in Frage kommt, dass ein Gleichspannungswandler, bei dem es sich um eine Spannungswandlungseinheit handelt, zwischen die elektrische Speichervorrichtung **40** und den Wechselrichter **36** geschaltet wird, und die Spannung der elektrischen Speichervorrichtung **40** hochtransformiert und zum Wechselrichter geliefert wird.

**[0068]** Außerdem weist der Controller **38** des Antriebssystems **34** einer rotierenden elektrischen Maschine eine Abwärts-/Aufwärtsimpuls-Überlage-

rungseinheit **72** auf (**Fig. 4**). Die Abwärts-/Aufwärtsimpuls-Überlagerungseinheit **72** legt einen Abwärtsimpulsstrom für eine impulsförmige Abwärtswandlung über einen q-Achsenstrombefehl zum Leiten von Strömen durch die Statorspulen **28u**, **28v** und **28w** auf solche Weise, dass magnetische Feldflüsse in q-Achsenrichtungen erzeugt werden (später beschrieben), und legt einen Aufwärtsimpulsstrom für eine impulsförmige Aufwärtswandlung über einen d-Achsenstrombefehl zum Leiten Strömen durch die Statorspulen **28u**, **28v** und **28w** auf solche Weise, dass magnetische Feldflüsse in d-Achsenrichtungen erzeugt werden (später beschrieben). Dies wird ausführlich mit Bezug auf **Fig. 4** beschrieben. **Fig. 4** ist eine Ansicht, die den Aufbau einer Wechselrichter-Steuereinheit im Controller **38** zeigt. Der Controller **38** weist auf: eine (nicht dargestellte) Strombefehl-Berechnungseinheit, die Abwärts-/Aufwärtsimpuls-Überlagerungseinheit **72**, Subtrahierungseinheiten **74** und **75**, PI-Operationseinheiten **76** und **77**, eine Dreiphasen-Zweiphasen-Wandlungseinheit **78**, eine Zweiphasen-Dreiphasen-Wandlungseinheit **80**, die Drehwinkel-Erfassungseinheit **82**, eine PWM-Signalerzeugungseinheit (nicht dargestellt) und eine Gate-Schaltung (nicht dargestellt).

**[0069]** Die Strombefehl-Berechnungseinheit berechnet Strombefehlswerte  $I_d^*$  und  $I_q^*$ , die der d-Achse und der q-Achse entsprechen, entsprechend einer vorbereiteten Tabelle und dergleichen auf Basis des Drehmomentbefehls werts der rotierenden elektrischen Maschine **10**, der als Reaktion auf einen Beschleunigungsbefehl berechnet wird, der von einem Nutzer eingegeben wird. Hierbei bedeutet die d-Achse eine Magnetpolrichtung, bei der es sich um die auf die Umfangsrichtung bezogene Mittelachsenrichtung der Wicklung jeder einzelnen von den Rotorspulen **42n** und **42s** der rotierenden elektrischen Maschine **10** handelt, und die q-Achse bedeutet eine Richtung, die um einen elektrischen Winkel von 90 Grad in Bezug auf die d-Achse vorverlegt ist. Wenn die Drehrichtung des Rotors **14** beispielsweise definiert ist wie in **Fig. 2** dargestellt, sind die d-Achsenrichtung und die q-Achsenrichtung von der Beziehung definiert, die von den Pfeilen in **Fig. 2** angegeben ist. Außerdem sind die Strombefehls werte  $I_d^*$  und  $I_q^*$  ein d-Achsenstrombefehls werts, bei dem es sich um einen Befehls werts für eine d-Achsenstromkomponente handelt, bzw. ein q-Achsenstrombefehls werts, bei dem es sich um einen Befehls werts für eine q-Achsenstromkomponente handelt. Somit werden die d-Achse und die q-Achse verwendet, um eine Bestimmung der Ströme, die durch die Statorspulen **28u**, **28v** und **28w** geschickt werden sollen, durch eine Vektorsteuerung zu ermöglichen.

**[0070]** Die Dreiphasen-Zweiphasen-Wandlungseinheit **78** berechnet einen d-Achsenstromwert  $I_d$  und einen q-Achsenstromwert  $I_q$ , bei denen es sich um zweiphasige Ströme handelt, aus dem Drehwinkel  $\theta$

der rotierenden elektrischen Maschine **10**, der von der Drehwinkel-Erfassungseinheit **82** erfasst wird, die für die rotierende elektrische Maschine **10** vorgesehen ist, und den zweiphasigen Strömen (zum Beispiel V-Phasen- und W-Phasenströmen  $I_v$  und  $I_w$ ), die von den Stromsensoren **70** erfasst werden. Man beachte, dass der Grund dafür, dass von den Stromsensoren **70** nur zweiphasige Ströme erfasst werden, der ist, dass die Summe der zweiphasigen Ströme (des d-Achsenstromwerts  $I_d$  und des q-Achsenstromwerts  $I_q$ ) 0 ist und daher der andere Phasenstrom berechnet werden kann. Jedoch ist es genauso gut denkbar, dass die U-Phasen-, V-Phasen- und W-Phasenströme erfasst werden und dann der d-Achsenstromwert  $I_d$  und der q-Achsenstromwert  $I_q$  aus diesen Stromwerten berechnet werden.

**[0071]** Die Abwärts-/Aufwärtsimpuls-Überlagerungseinheit **72** weist eine Abwärts-/Aufwärtsimpuls-Erzeugungseinheit **84** und Addierungseinheit **86** und **87** auf. Die Abwärts-/Aufwärtsimpuls-Erzeugungseinheit **84** erzeugt einen Abwärtsimpulsstrom, der über einen q-Achsenstrom gelegt werden soll, und einen Aufwärtsimpulsstrom, der über einen d-Achsenstrom gelegt werden soll. Die Addierungseinheiten **86** und **87** werden verwendet, um einen Aufwärtsimpulsstrom und einen Abwärtsimpulsstrom über einen d-Achsenstrom bzw. einen q-Achsenstrom zu legen. Die Addierungseinheit **86** für den d-Achsenstrom legt in festgelegten Abständen einen Aufwärtsimpulsstrom  $I_{dp}^*$  über einen d-Achsenstrombefehlswert  $I_d^*$  bzw. addiert ihn dazu, und gibt nach der Addition dann einen überlagerten d-Achsenstrombefehlswert  $I_{dsum}^*$  an die entsprechende Subtrahierungseinheit **74** aus. Die Addierungseinheit **87** für den q-Achsenstrom legt in festgelegten Abständen einen Abwärtsimpulsstrom  $I_{qp}^*$  über einen q-Achsenstrombefehlswert  $I_q^*$  bzw. addiert ihn dazu, und gibt nach der Addition dann einen überlagerten q-Achsenstrombefehlswert  $I_{qsum}^*$  an die entsprechende Subtrahierungseinheit **75** aus. Außerdem ermittelt die Subtrahierungseinheit **74**, die der d-Achse entspricht, eine Abweichung  $\delta I_d$  zwischen dem überlagerten d-Achsenstrombefehlswert  $I_{dsum}^*$  und dem d-Achsenstrom  $I_d$ , der von der Dreiphasen-Zweiphasen-Umwandlungseinheit **78** umgewandelt wird, und gibt dann die Abweichung  $\delta I_d$  in die PI-Operationseinheit **76** ein, die der d-Achse entspricht.

**[0072]** Außerdem ermittelt die Subtrahierungseinheit **75**, die der q-Achse entspricht, eine Abweichung  $\delta I_q$  zwischen dem überlagerten q-Achsenstrombefehlswert  $I_{qsum}^*$  und dem q-Achsenstrom  $I_q$ , der von der Dreiphasen-Zweiphasen-Umwandlungseinheit **78** umgewandelt wird, und gibt dann die Abweichung  $\delta I_q$  in die PI-Operationseinheit **77** ein, die der q-Achse entspricht. Die PI-Operationseinheiten **76** und **77** führen jeweils eine PI-Operation über den eingegebenen Abweichungen  $\delta I_d$  und  $\delta I_q$  mit einer vorgegebenen Verstärkung durch, um Regelungsab-

weichungen zu ermitteln, und berechnen dann einen d-Achsen-Spannungsbefehlswert  $V_d^*$  und einen q-Achsen-Spannungsbefehlswert  $V_q^*$ , die den Regelungsabweichungen entsprechen.

**[0073]** Die Zweiphasen-Dreiphasen-Umwandlungseinheit **80** wandelt die Spannungsbefehlswerte  $V_d^*$  und  $V_q^*$ , die von den PI-Operationseinheiten **76** und **77** eingegeben werden, unter Verwendung eines vorausgesagten Winkels, der aus dem Drehwinkel  $\theta$  der rotierenden elektrischen Maschine **10** ermittelt wird und der als eine Position **1,5** Steuerintervalle später vorausgesagt wird, in drei U-Phasen-, V-Phasen- und W-Phasen-Spannungsbefehlswerte  $V_u$ ,  $V_v$  und  $V_w$  um. Die Spannungsbefehlswerte  $V_u$ ,  $V_v$  und  $V_w$  werden von einer (nicht dargestellten) PWM-Signalerzeugungseinheit in PWM-Signale umgewandelt, und die PWM-Signale werden an die (nicht dargestellte) Gate-Schaltung ausgegeben. Die Gate-Schaltung wählt die Schaltelemente  $S_w$  aus, an die die Steuersignale angelegt werden, um dadurch Ein/Aus-Zustände der Schaltelemente  $S_w$  zu steuern. Auf diese Weise wandelt der Controller **38** Statorströme, die durch die Statorspulen **28u**, **28v** und **28w** fließen, in ein d-q-Achsen-Koordinatensystem um, um eine d-Achsenstromkomponente und eine q-Achsenstromkomponente zu ermitteln, und steuert den Wechselrichter **36** so, dass er in der Lage ist, durch eine Vektorsteuerung einschließlich einer Rückkopplungsregelung die Statorströme mit den jeweiligen Phasen zu erhalten, die dem angestrebten Drehmoment entsprechen.

**[0074]** [Fig. 5A](#) ist ein Zeitschema, das ein Beispiel für zeitabhängige Veränderungen in Statorströmen unter Verwendung eines überlagerten d-Achsenstrombefehlswerts  $I_{dsum}^*$ , eines überlagerten q-Achsenstrombefehlswerts  $I_{qsum}^*$  und jedes Phasenstroms in der Ausführungsform zeigt. [Fig. 5B](#) ist ein Zeitschema, das entsprechend [Fig. 5A](#) eine zeitabhängige Veränderung eines Rotorstroms zeigt, der in den Rotorspulen erzeugt wird. Man beachte, dass [Fig. 5A](#) und [Fig. 5B](#) Simulationsergebnisse zeigen, während eine extrem kurze Zeitspanne zeitlich gedehnt wird, das heißt, in der horizontalen Richtung in den Zeichnungen gedehnt wird. Somit bilden die U-Phasen-, V-Phasen- und W-Phasenströme eigentlich jeweils Sinuswellen, wenn die rotierende elektrische Maschine angetrieben wird; jedoch sind diese drei Phasenströme in [Fig. 5A](#) vor und nach der Überlagerung des Impulsstroms linear dargestellt. Man beachte, dass in der folgenden Beschreibung gleiche Bezugszahlen Komponenten bezeichnen, die den Elementen, die in [Fig. 1](#) bis [Fig. 4](#) dargestellt sind, gleich sind.

**[0075]** Wie in [Fig. 5A](#) dargestellt ist, legt die Abwärts-/Aufwärtsimpuls-Überlagerungseinheit **72**, die in [Fig. 4](#) dargestellt ist, einen Aufwärtsimpulsstrom über den d-Achsenstrombefehlswert  $I_d^*$  und legt gleichzeitig einen Abwärtsimpulsstrom über den q-

Achsenstrombefehlswert  $I_q^*$ . Sowohl für den d-Achsenstrombefehlswert  $I_d^*$  als auch den q-Achsenstrombefehlswert  $I_q^*$  wird ein Stromwert, über den kein Impulsstrom gelegt worden ist, entsprechend einem Drehmomentbefehl berechnet. Auf diese Weise wird ein Strombefehl, der auf impulsförmige Weise abnimmt und dann zunimmt, von der Abwärts-/Aufwärtsimpuls-Überlagerungseinheit **72** in festgelegten Abständen über den q-Achsenstrombefehlswert  $I_q^*$  gelegt, und ein Strombefehl, der auf impulsförmige Weise zunimmt und dann abnimmt, wird von der Abwärts-/Aufwärtsimpuls-Überlagerungseinheit **72** über den d-Achsenstrombefehlswert  $I_d^*$  gelegt. Man beachte, dass selbst dann, wenn ein Impulsstrom als rechteckige Wellenform befohlen wird, wie in [Fig. 5A](#) dargestellt, der Impulsstrom wegen einer Ansprechverzögerung eigentlich eine impulsförmige Wellenform aufweisen kann, die Kurven kombiniert, wie von den durchbrochenen Linien  $\beta$  angegeben. Außerdem kann die impulsförmige Wellenform sowohl des Aufwärtsimpulsstroms als auch des Abwärtsimpulsstroms eine rechteckige Welle, eine dreieckige Welle oder eine Wellenform sein, die aus einer Mehrzahl von Kurven und/oder Linien zu einer vorstehenden Form gebildet ist.

**[0076]** Wenn der Impulsstrom auf diese Weise übergelegt wird, kann beispielsweise eine Änderung des Stroms, der durch zumindest eine Phasenspule des Stators fließt, verstärkt werden, während die Spitzenwerte von Strömen auch dann unterdrückt werden, wenn der maximale Strom durch eine Phasenspule des Stators fließt, gleiche Ströme jeweils durch die anderen beiden Phasenspulen des Stators fließen und die Summe der gleichen Ströme, die durch die beiden anderen Phasenspulen des Stators fließen, durch die eine Phasenspule des Stators fließt. Als Beispiel zeigt das untere Zeitschema von [Fig. 5A](#) den Fall, wo der maximale Strom durch die W-Phasen-Statorspulen **28w** fließt, gleiche Ströme jeweils durch die beiden anderen, U-Phasen- und V-Phasen-Statorspulen **28u** und **28v** fließen und die Summe der gleichen Ströme, die durch die beiden anderen, U-Phasen- und V-Phasen-Statorspulen **28u** und **28v** fließen, durch die W-Phasen-Statorspule **28w** fließt. [Fig. 6](#) ist ein Zeitschema, das Zeitpunkte  $t_1$  und  $t_2$  darstellt, zu denen in der Ausführungsform mit der Überlagerung von Dreiphasen-Statorströmen mit Impulsstrom begonnen wird; Wie in [Fig. 6](#) dargestellt ist, sind die Phasen der Dreiphasen-Statorströme um  $120^\circ$  zueinander versetzt. Im Gegensatz dazu wird in [Fig. 5A](#) und [Fig. 5B](#) Impulsstrom zum Zeitpunkt  $t_1$ ,  $t_2$ , ..., zu dem der W-Phasen-Statorstrom minimal ist, über den d-Achsenstrombefehl  $I_d^*$  und den q-Achsenstrombefehl  $I_q^*$  gelegt. Man beachte, dass in der folgenden Beschreibung ein Impulsstrom zu den Zeitpunkten  $t_1$  und  $t_2$  in [Fig. 6](#) übergelegt wird; jedoch soll die Ausführungsform den Zeitpunkt, zu dem ein Impulsstrom übergelegt wird, nicht beschränken. In

[Fig. 6](#) wird ein Impulsstrom in festgelegten Abständen  $t_a$  übergelegt.

**[0077]** In diesem Fall zeigt der Pfeil  $\gamma$  einen Stromgrenzbereich an und die durchbrochenen Linien P und Q sind die zulässigen Stromgrenzen, die hinsichtlich des Designs notwendig sind. Das heißt, Stromwerte müssen auf Basis der Beziehung zwischen den Komponenten, beispielsweise einer Kapazität, des Wechselrichters **36**, zwischen den gestrichelten Linien P und Q zu liegen kommen. Weiter liegt ein Stromwert, der durch die W-Phasen-Statorspulen **28w** fließt, nahe an einer der zulässigen Stromgrenzen. In diesem Fall kann durch Überlagern mit einem Aufwärtsimpulsstrom und einem Abwärtsimpulsstrom eine Änderung in mindestens einem Phasenstrom (beispielsweise dem V-Phasenstrom) vergrößert werden, während bewirkt wird, dass Ströme aller drei Phasen im erforderlichen Stromgrenzbereich ( $\gamma$ -Bereich) liegen. Daher werden Änderungen in Magnetflüssen von räumlichen harmonischen Komponenten, die in den drehenden Magnetfeldern enthalten sind, die vom Stator **12** erzeugt werden, mit Stromänderungen größer. In diesem Fall nimmt Strom, der durch die W-Phasenstatorspulen **28w** fließt und der nahe an einem der zulässigen Grenzwerte ist, zur Mitte des Stromgrenzwerts hin ab, und Strom, der durch die U-Phasenstatorspule **28u** fließt und der weit weg von den zulässigen Grenzwerten ist, wird stärker, aber das Maß der Zunahme kann verringert werden. Daher können Induktionsströme, die in den Rotorspulen **42n** und **42s** auftreten, verstärkt werden, während verhindert wird, dass zu starke Ströme durch sämtliche Statorspulen **28u**, **28v** und **28w** fließen. Darüber hinaus wird der Aufwärtsimpulsstrom  $I_{dp}^*$  über den d-Achsenstrombefehl  $I_d^*$  gelegt, so dass es möglich ist, den Umfang von Schwankungen von Magnetflüssen, die durch die d-Achsenmagnetpfade fließen und die vom d-Achsenstrombefehl  $I_d^*$  erzeugt werden, zu verstärken. Die d-Achsenmagnetpfade sind in der Lage, den Durchgang von Magnetflüssen durch eine Lücke, bei der es sich um einen Luftspalt zwischen dem Stator **12** und dem Rotor **14** handelt, im Vergleich zu den q-Achsenmagnetpfaden, die dem q-Achsenstrombefehl entsprechen, zu verringern, wodurch der magnetische Widerstand abnimmt. Daher werden Änderungen in Magnetflüssen von räumlichen harmonischen Komponenten, die in den drehenden Magnetfeldern enthalten sind, die vom Stator **12** erzeugt werden, mit Stromänderungen größer. Somit wird der Rotorstrom stärker, wie in [Fig. 5B](#) dargestellt ist, und das Motordrehmoment nimmt zu. Außerdem kann bewirkt werden, dass Dreiphasenströme im Stromgrenzbereich liegen (dem Bereich des Pfeiles  $\gamma$  in [Fig. 5A](#)). Somit ist es möglich, Induktionsströme, die in den Rotorspulen **42n** und **42s** erzeugt werden, auch in einem Bereich niedriger Drehzahl zu verstärken, während die Spitzen von Statorströmen aller Phasen niedrig gehalten werden, daher ist es möglich, das Drehmo-

ment der rotierenden elektrischen Maschine **10** zu verstärken.

**[0078]** Dies wird ausführlich mit Bezug auf [Fig. 7A](#) bis [Fig. 7C](#) und [Fig. 8](#) beschrieben. In [Fig. 7A](#) bis [Fig. 7C](#) und [Fig. 8](#) werden Variationen von magnetischen Flüssen aufgrund eines q-Achsenstroms ([Fig. 7A](#) bis [Fig. 7C](#)) und Variationen in Magnetflüssen aufgrund eines d-Achsenstroms ([Fig. 8](#)) getrennt beschrieben. [Fig. 7A](#) bis [Fig. 7C](#) sind schematische Ansichten, die jeweils einen Zustand, in dem Magnetflüsse durch den Stator und den Rotor fließen, wenn ein q-Achsenstrom auf einen festen Wert eingestellt ist, einen Zustand, in dem Magnetflüsse durch den Stator und den Rotor fließen, wenn ein Abwärtsimpulsstrom über den q-Achsenstrom gelegt wird, in einer ersten Halbperiode bzw. einen Zustand, in dem Magnetflüsse durch den Stator und den Rotor fließen, wenn ein Abwärtsimpulsstrom über einen q-Achsenstrom gelegt wird, in einer zweiten Halbperiode zeigen. In jeder von [Fig. 7A](#) bis [Fig. 7C](#) sind die Zähne **30**, um welche die Dreiphasen-Statorspulen **28u**, **28v** und **28w** gewickelt sind, den Zähnen **19**, um welche die Rotorspulen **42n** und **42s** gewickelt sind, radial nicht zugewandt, so dass einer von den Zähnen **30** der bezogen auf die Umfangsrichtung des Rotors **14** mittleren Position zwischen zwei benachbarten Zähnen **19** zugewandt ist. Wie von den durchgezogenen Pfeilen R1 und den gestrichelten Pfeilen R2 in [Fig. 7A](#) bis [Fig. 7C](#) angegeben ist, sind in diesem Zustand die Magnetflüsse, die durch den Stator **12** und den Rotor **14** fließen, q-Achsenmagnetflüsse.

**[0079]** [Fig. 7A](#) entspricht dem A1-Zustand in [Fig. 5A](#), wo der überlagerte q-Achsenstrombefehlswert  $I_{qsum}^*$  ein fester Wert ist. [Fig. 7B](#) entspricht dem Zustand, wo ein Abwärtsimpulsstrom im überlagerten q-Achsenstrombefehlswert  $I_{qsum}^*$  in einer ersten Halbperiode auftritt, das heißt, dem A2-Zustand in [Fig. 5A](#), wo  $I_{qsum}^*$  steil abfällt. Außerdem entspricht [Fig. 7C](#) dem Zustand, wo ein Abwärtsimpulsstrom im überlagerten q-Achsenstrombefehlswert  $I_{qsum}^*$  in einer zweiten Halbperiode vorkommt, d. h. dem A3-Zustand in [Fig. 5A](#), wo  $I_{qsum}^*$  steil ansteigt.

**[0080]** Wie in [Fig. 7A](#) dargestellt ist, verlaufen in dem Zustand, wo der überlagerte q-Achsenstrombefehlswert  $I_{qsum}^*$  ein fester Wert ist, bevor ein Abwärtsimpulsstrom auftritt, Magnetflüsse zuerst vom W-Phasenzahn **30** durch die „A“- und „B“-Zähne **19** über den Abstand zwischen den „A“- und „B“-Zähnen **19** und dann zu den U-Phasen- und V-Phasenzähnen **30**. In diesem Fall fließen positive Ströme durch die U-Phasen- und V-Phasen-Statorspulen **28u** und **28v**, und ein starker negativer Strom fließt durch die W-Phasen-Statorspule **28w**. In diesem Fall treten jedoch keine Änderungen der Magnetflüsse aufgrund der Fundamentalten auf, die durch jeden von den Zähnen **30** hindurchgeht.

**[0081]** Wie in [Fig. 7B](#) dargestellt ist, verändert sich im Gegensatz dazu in dem Zustand, wo ein Abwärtsimpulsstrom in der ersten Halbperiode auftritt, das heißt in dem Zustand, wo ein q-Achsenstrom steil abfällt, der absolute Wert des Stromes, der durch jede von den Statorspulen **28u**, **28v** und **28w** fließt, so, dass er kleiner wird, und offensichtlich verlaufen Magnetflüsse wegen der Änderung in der entgegengesetzten Richtung zu [Fig. 7A](#), wie von den durchbrochenen Pfeilen R2 dargestellt ist. Man beachte, dass für die Änderungen der Magnetflüsse die Vorzeichen der Statorstromwerte umgekehrt sein können, so dass die Magnetflüsse eigentlich in der Richtung verlaufen, die der von [Fig. 7A](#) entgegengesetzt ist. In jedem Fall verläuft der Magnetfluss in einer Richtung, in der er im Zahn **19** von „A“ vom Nordpol zum Südpol wechselt, Induktionsstrom versucht, durch die Rotorspule **42n** in einer Richtung zu fließen, die den Verlauf des Magnetflusses behindert, und der Verlauf des Induktionsstroms in Richtung des Pfeiles T in [Fig. 7B](#) wird von der Diode **21n** nicht blockiert. Im Gegensatz dazu verläuft der Magnetfluss im Zahn **19** von „B“ in der Richtung, die den Südpol verstärkt, und Induktionsstrom versucht, in der Richtung durch die Rotorspule **42s** zu fließen, die den Verlauf des Magnetflusses behindert, das heißt, in der Richtung, in der der Zahn **19** von „B“ in den Nordpol geändert wird; jedoch wird das Fließen von Induktionsstrom in dieser Richtung durch die Diode **21s** blockiert, so dass kein Strom in der Region „B“ fließt.

**[0082]** Wie in [Fig. 7C](#) dargestellt ist, ändert sich anschließend in einem Zustand, wo ein Abwärtsimpulsstrom in der zweiten Halbperiode auftritt, d. h. in einem Zustand, wo der q-Achsenstrom steil ansteigt, der absolute Wert des Stromes, der durch jede von den Statorspulen **28u**, **28v** und **28w** fließt, so, dass er größer wird, und dann verlaufen Magnetflüsse in der Richtung, die zu der von [Fig. 7B](#) entgegengesetzt ist, wie von den durchgezogenen Pfeilen R1 angezeigt ist. In diesem Fall verläuft der Magnetfluss in der Richtung, die den Nordpol im Zahn **19** von „A“ verstärkt, und Induktionsstrom versucht, in der Richtung durch die Rotorspule **42n** zu fließen, um den Durchgang des Magnetflusses zu verhindern, das heißt, in der Richtung, um den Zahn **19** von „A“ in den Südpol zu ändern (in der X-Richtung, die der der Diode **21n** entgegengesetzt ist); jedoch ist in [Fig. 7B](#) bereits Strom geflossen, daher wird der Strom zumindest für eine bestimmte Zeitspanne schwächer, aber fließt in der Richtung, die der X-Richtung entgegengesetzt ist. Außerdem verläuft der Magnetfluss in der Richtung, die den Südpol in den Nordpol im Zahn **19** von „B“ ändert, Induktionsstrom versucht, durch die Rotorspule **42s** in der Richtung zu fließen, um den Verlauf des Magnetflusses zu behindern, und das Fließen des Induktionsstroms in Richtung des Pfeiles  $\gamma$  in [Fig. 7C](#) wird von der Diode **21s** nicht blockiert.

**[0083]** Wenn der Abwärtsimpulsstrom 0 wird und wieder zu dem Zustand zurückkehrt, der in [Fig. 7A](#) dargestellt ist, werden außerdem Ströme, die durch die Rotorspulen **42n** und **42s** fließen, allmählich schwächer. Oberstehend wurden Änderungen von q-Achsenmagnetflüssen, wenn ein Abwärtsimpulsstrom über den q-Achsenstrom gelegt wird, beschrieben; jedoch wird ein Aufwärtsimpulsstrom zum gleichen Zeitpunkt über den d-Achsenstrom gelegt, zu dem der Abwärtsimpulsstrom übergelegt wird. In diesem Fall fließen d-Achsenmagnetflüsse wie in [Fig. 8](#) dargestellt. [Fig. 8](#) ist eine schematische Ansicht, die einen Zustand in der Ausführungsform zeigt, wo Magnetflüsse wegen des d-Achsenstroms durch den Stator und den Rotor fließen; Das heißt, d-Achsenmagnetflüsse fließen wie vom Pfeil R3 in [Fig. 8](#) dargestellt, wegen d-Achsenströmen der Statorspulen **28u**, **28v** und **28w**. Der Pfeil R3 in [Fig. 8](#) zeigt den Fluss in Vorwärtsrichtung der d-Achsenmagnetflüsse an. Die d-Achsenmagnetflüsse verlaufen vom V-Phasenzahn **30** durch den „B“-Zahn **19**, das hintere Joch des Rotorkerns **16** und den „A“-Zahn **19** zum U-Phasenzahn **30**. Auf diese Weise verlaufen die d-Achsenmagnetpfade, durch die die d-Achsenmagnetflüsse verlaufen, nicht über einen großen Luftspalt, anders als im Falle der q-Achsenmagnetpfade, durch die die q-Achsenmagnetflüsse verlaufen, wie in [Fig. 7A](#) bis [Fig. 7C](#) dargestellt ist, so dass ein großer Teil der Magnetflüsse hindurch gelassen wird, daher können Änderungen der Magnetflüsse verstärkt werden. Außerdem steigt der Verlauf von d-Achsenmagnetflüssen wegen des d-Achsenstroms steil an und fällt steil ab, wenn ein Aufwärtsimpulsstrom über den d-Achsenstrom gelegt wird. Wie aus [Fig. 7B](#), [Fig. 7C](#) und [Fig. 8](#) hervorgeht, wird somit, wenn man sowohl die d-Achsenmagnetflüsse als auch die q-Achsenmagnetflüsse in Betracht zieht, der V-Phasen-Statorstrom deutlich schwächer und wird dann wieder stärker, und der U-Phasen-Statorstrom wird mit einer geringen Steigerungsrate stärker und wird dann wieder schwächer. Infolgedessen wird ein Impulsstrom übergelegt, um die Dreiphasen-Statorströme zu ändern, wie in [Fig. 5A](#) dargestellt, und es ist möglich, eine Änderung des V-Phasen-Statorstroms zu verstärken, während bewirkt wird, dass die Statorströme aller Phasen im Stromgrenzbereich liegen, so dass es möglich ist, das Drehmoment der elektrischen Maschine **10** zu verstärken.

**[0084]** [Fig. 9](#) ist ein Graph, der Stromvektoren vor nach der Überlagerung mit Impulsstrom in der Ausführungsform zeigt; [Fig. 9](#) zeigt Stromvektoren von Statorströmen in einem d-q-Koordinatensystem. In [Fig. 9](#) zeigt der Stromvektor I ein Beispiel für einen Anfangs-Stromvektor, bevor ein Impulsstrom, der aus einem Soll-Drehmoment und dergleichen bestimmt wird, darüber gelegt wird. Außerdem ist der Stromvektor I<sub>a</sub> ein Stromvektor, der auf solche Weise erhalten wird, dass im Anfangs-Stromvektor ein Aufwärtsimpulsstrom über einen d-Achsenstrom gelegt

wird und ein Abwärtsimpulsstrom über einen q-Achsenstrom gelegt wird. Der Stromvektor ändert sich, wenn ein Impulsstrom auf diese Weise darüber gelegt wird. Jedoch wird auch in diesem Fall in der vorliegenden Ausführungsform ein Abwärtsimpulsstrom so über den q-Achsenstrombefehl gelegt, und ein Aufwärtsimpulsstrom wird so über den d-Achsenstrom gelegt, dass der Stromvektor I<sub>a</sub>, nachdem der Impulsstrom über Statorströme gelegt worden ist, in einem Steuerzirkelkreis X liegt, der vom distalen Ende des Anfangs-Stromvektors beschrieben wird. Daher kann bewirkt werden, dass Statorströme im Stromgrenzbereich liegen. Im Gegensatz dazu zeigt der Stromvektor I<sub>b</sub> einen Stromvektor, der gemäß einer Vergleichsausführungsform gestaltet ist, in der nur ein Aufwärtsimpulsstrom über einen d-Achsenstrom gelegt wird und kein Abwärtsimpulsstrom über einen q-Achsenstrom gelegt wird. In diesem Fall ist es offensichtlich, dass der Stromvektor I<sub>b</sub> über den Steuerzirkelkreis hinausgeht und Statorströme den Stromgrenzbereich überschreiten.

**[0085]** Auf diese Weise legt in der vorliegenden Ausführungsform die Abwärts-/Aufwärtsimpuls-Überlagerungseinheit **72** des Controllers **38** einen Abwärtsimpulsstrom so über den q-Achsenstrombefehl und legt einen Aufwärtsimpulsstrom so über den d-Achsenstrombefehl, dass der Stromvektor I<sub>a</sub>, nachdem der Impulsstrom über Statorströme gelegt worden ist, in dem Steuerzirkelkreis liegt, der vom distalen Ende des Anfangs-Stromvektors beschrieben wird, der im d-q-Koordinatensystem definiert ist, wenn kein Impulsstrom über Statorströme gelegt wird. Daher bestimmt die Abwärts-/Aufwärtsimpuls-Erzeugungseinheit **84**, die in [Fig. 4](#) dargestellt ist, den Aufwärtsimpulsstrom I<sub>dp</sub>\* und den Abwärtsimpulsstrom I<sub>qp</sub>\* auf Basis des Strommoments und der Drehzahl der rotierenden elektrischen Maschine **10**.

**[0086]** [Fig. 10](#) ist ein Graph, der die Beziehung zwischen der Drehzahl und dem Drehmoment der rotierenden elektrischen Maschine zeigt, um ein Beispiel darzustellen, in dem ein Impulsstrom-Überlagerungszustand in der Ausführungsform geändert wird. Wie in [Fig. 10](#) dargestellt ist, kann in der vorliegenden Ausführungsform der Modus, in dem ein Impulsstrom übergelegt wird, in drei Stufen auf Basis des Bereichs der Drehzahl und des Drehmoments der rotierenden elektrischen Maschine **10** geändert werden. [Fig. 10](#) zeigt die Beziehung zwischen der Drehzahl und dem Drehmoment der rotierenden elektrischen Maschine, wenn kein Impulsstrom übergelegt wird, in der vorliegenden Ausführungsform. In dem Bereich, in dem die Drehzahl niedrig ist, und der vom Pfeil Z dargestellt wird, besteht daher die Möglichkeit, dass das Drehmoment der rotierenden elektrischen Maschine aus dem Grund, der in der Kurzfassung der Erfindung beschrieben ist, abnimmt. Somit bestand in der Technik der Wunsch nach einer Erhöhung des Drehmoments im schraffierten Bereich von [Fig. 10](#). Im Ge-

gensatz dazu wird in der vorliegenden Ausführungsform, wenn die Beziehung zwischen einem Drehmoment und einer Drehzahl in einer H1-Region, einer H2-Region und einer H3-Region definiert ist, ein Impulsstrom auf verschiedene Weise entsprechend den jeweiligen Regionen über den d-Achsenstrom und/oder den q-Achsenstrom gelegt.

**[0087]** Zunächst führt in der H1-Region, das heißt, wenn die Drehzahl des Rotors **14** unter oder bei einer vorgegebenen Drehzahl ( $J \text{ min}^{-1}$ ) liegt und das Ausgangsdrehmoment der rotierenden elektrischen Maschine **10** unter oder bei einem Schwellenwert ( $K1 \text{ Nm}$ ) liegt, die Abwärts-/Aufwärtsimpuls-Überlagerungseinheit **72** einen Aufwärtsimpulsmodus aus, in dem ein Aufwärtsimpulsstrom  $I_{dp}^*$  über den d-Achsenstrombefehl  $I_{d^*}$  gelegt wird, aber kein Abwärtsimpulsstrom über den q-Achsenstrombefehl  $I_{q^*}$  gelegt wird. Wenn sich auf diese Weise ein Spielraum gegenüber den Stromgrenzen ergibt, ist der Aufwärtsimpulsmodus, der nur Änderungen der d-Achsenmagnetflüsse verwendet, in der Lage, Rotorströme zu induzieren.

**[0088]** Dagegen führt in der H2-Region, das heißt, wenn die Drehzahl des Rotors **14** unter oder bei einer vorgegebenen Drehzahl ( $J \text{ min}^{-1}$ ) liegt und das Ausgangsdrehmoment der rotierenden elektrischen Maschine **10** höher ist als der Schwellenwert ( $K1 \text{ Nm}$ ) und niedriger ist als ein zweiter Schwellenwert ( $K2 \text{ Nm}$ ), die Abwärts-/Aufwärtsimpuls-Überlagerungseinheit **72** einen Abwärts-/Aufwärtsimpulsmodus aus, in dem ein Aufwärtsimpulsstrom  $I_{dp}^*$  über den d-Achsenstrombefehl  $I_{d^*}$  gelegt wird und ein Abwärtsimpulsstrom  $I_{qp}^*$  über den q-Achsenstrombefehl  $I_{q^*}$  gelegt wird. Wenn sich auf diese Weise ein geringer Spielraum gegenüber den Stromgrenzen gibt, ist der Abwärts-/Aufwärtsimpulsmodus, der Änderungen der d-Achsenmagnetflüsse und Änderungen der q-Achsenmagnetflüsse verwendet, in der Lage, Rotorströme innerhalb des Bereichs der Stromgrenzen zu induzieren.

**[0089]** Außerdem führt in der H3-Region, das heißt, wenn die Drehzahl des Rotors **14** unter oder bei einer vorgegebenen Drehzahl ( $J \text{ min}^{-1}$ ) liegt und das Ausgangsdrehmoment der rotierenden elektrischen Maschine **10** den zweiten Schwellenwert ( $K2 \text{ Nm}$ ) überschreitet, die Abwärts-/Aufwärtsimpuls-Überlagerungseinheit **72** einen Abwärtsimpulsmodus aus, in dem ein Abwärtsimpulsstrom  $I_{qp}^*$  über den q-Achsenstrombefehl  $I_{q^*}$  gelegt wird, aber kein Aufwärtsimpulsstrom über den d-Achsenstrombefehl  $I_{d^*}$  gelegt wird. Wenn auf diese Weise eine Annäherung an die Stromgrenzen stattfindet, wird der Abwärtsimpulsmodus verwendet, der nur Änderungen der q-Achsenmagnetflüsse verwendet, so dass alle Dreiphasen-Statorströme zur Mitte des Stromgrenzbereichs hin geändert werden, um eine Erhöhung des Drehmo-

ments zu ermöglichen, während eine Verstärkung des Stroms verhindert wird.

**[0090]** Man beachte, dass in der obigen Beschreibung der Modus, in dem ein Impulsstrom übergelegt wird, in drei Stufen geändert wird, das heißt in der H1-Region, der H2-Region und der H3-Region; statt dessen kann der Modus, in dem der Impulsstrom übergelegt wird, in zwei Schritten geändert werden, das heißt, in der H1-Region und der H2-Region. In diesem Fall führt die Abwärts-/Aufwärtsimpuls-Überlagerungseinheit **72** den Aufwärtsimpulsmodus aus, in dem ein Aufwärtsimpulsstrom über den d-Achsenstrombefehl gelegt wird, aber kein Abwärtsimpulsstrom über den q-Achsenstrombefehl gelegt wird, wenn die Drehzahl des Rotors **14** unter oder bei der vorgegebenen Drehzahl liegt und das Ausgangsdrehmoment unter oder bei einem Schwellenwert liegt, und führt den Abwärts-/Aufwärtsimpulsmodus durch, in dem ein Aufwärtsimpulsstrom über den d-Achsenstrombefehl gelegt wird und ein Abwärtsimpulsstrom über den q-Achsenstrombefehl gelegt wird, wenn das Ausgangsdrehmoment den Schwellenwert überschreitet. Man beachte, dass, wenn der Modus, in dem der Impulsstrom übergelegt wird, in den oben angegebenen drei Schritten oder zwei Schritten geändert wird, der Modus, in dem ein Impulsstrom übergelegt wird, auf Basis des Ausgangsdrehmoments geändert werden kann, ohne die Bedingung der Drehzahl zu definieren.

**[0091]** Mit dem oben beschriebenen Antriebssystem einer rotierenden elektrischen Maschine kann die rotierende elektrische Maschine verwirklicht werden, die in der Lage ist, auch in einem niedrigen Drehzahlbereich ein Drehmoment zu erhöhen und gleichzeitig zu verhindern, dass zu starke Ströme durch die Statorspulen **28u**, **28v** und **28w** fließen. Das heißt, durch Überlagern des q-Achsenstrombefehls mit einem Abwärtsimpulsstrom und durch Überlagern des d-Achsenstrombefehls mit einem Aufwärtsimpulsstrom können Induktionsströme, die in den Rotorspulen **42n** und **42s** auftreten, verstärkt werden, während bewirkt wird, dass Ströme aller drei Phasen im erforderlichen Strombeschränkungsbereich liegen. Außerdem wird ein Aufwärtsimpulsstrom über den d-Achsenstrombefehl gelegt, so dass es möglich ist, den Umfang von Schwankungen von Magnetflüssen, die durch die d-Achsenmagnetpfade fließen, die vom d-Achsenstrombefehl erzeugt werden, zu verstärken. Die d-Achsenmagnetpfade sind in der Lage, den Durchgang von Magnetflüssen durch einen Luftspalt im Vergleich zu den q-Achsenmagnetpfaden, die dem q-Achsenstrombefehl entsprechen, zu verringern, wodurch der magnetische Widerstand abnimmt. Daher ist die Erhöhung des Schwankungsumfangs in d-Achsenmagnetflüssen wirksam zur Verstärkung des Drehmoments. Somit ist es möglich, Induktionsströme, die in den Rotorspulen **42n** und **42s** erzeugt werden, auch in einem Bereich niedri-

ger Drehzahl zu verstärken, während die Spitzen von Statorströmen aller Phasen niedrig gehalten werden, daher ist es möglich, das Drehmoment der rotierenden elektrischen Maschine zu verstärken. Dadurch wird beispielsweise eine Vergrößerung der Kapazität jedes Schaltelements des Wechselrichters **36** verhindert, daher ist es möglich, die Kosten und die Größe eines Steuersystems, einschließlich des Wechselrichters **36**, zu verringern. Außerdem ist es nicht nötig, den Erfassungsbereich jedes Sensors für eine Stromsteuerung zu erweitern, daher ist es möglich, die Größe jedes Sensors zu verringern und die Erfassungsgenauigkeit jedes Sensors effektiv zu erhöhen. Außerdem ist es nicht nötig, Magnete für den Rotor **14** bereitzustellen, daher kann eine Gestaltung ohne Magnete und mit hohem Drehmoment erreicht werden.

**[0092]** Im Gegensatz dazu werden im Falle der Synchronmaschine, die in JP-A-2007-185082 beschrieben ist, Elektromagnete des Rotors unter Verwendung von Impulsstrom gebildet; jedoch sind die Rotorspulen am Außenrandabschnitt des Rotors so vorgesehen, dass sie sich in der radialen Richtung erstrecken, und jeweils ein Gleichrichterelement ist mit jeder Rotorspule verbunden, um zwei verschiedene Magnetpole an den in radialer Richtung entgegengesetzten Seiten des Rotors zu bilden. Daher löschen sich Induktionsströme, die zwei Magnetpole ausbilden, gegenseitig aus, auch wenn ein Impuls über einen q-Achsenstrom gelegt wird, daher können in den Rotorspulen keine Induktionsströme erzeugt werden. Das heißt, mit diesem Aufbau ist es unmöglich, durch Überlagern des q-Achsenstroms mit einem Impulsstrom ein Drehmoment zu erzeugen.

**[0093]** Außerdem wird im Falle der Synchronmaschine, die in JP-A-2010-98908 beschrieben ist, ein Aufwärtsimpulsstrom, der auf impulsartige Weise zunimmt und dann abnimmt, über einen d-Achsenstrom und einen q-Achsenstrom gelegt, daher können die Spitzenwerte von Strömen, die durch die Statorspulen fließen, sehr groß werden. Außerdem wird im Falle der Synchronmaschine, die in JP-A-2010-11079 beschrieben ist, zum Zwecke der Implementierung der rotierenden elektrischen Maschine, die in der Lage ist, ein Drehmoment auch in einem niedrigen Drehzahlbereich zu erhöhen und gleichzeitig zu verhindern, dass sehr starke Ströme durch die Statorspule fließen, keine Vorrichtung zur Überlagerung von q-Achsenstrom mit einem Abwärtsimpulsstrom beschrieben.

**[0094]** Außerdem wird in der vorliegenden Ausführungsform die Breite  $\theta$  von jeder von den Rotorspulen **42n** und **42s** in Umfangsrichtung des Rotors **14** reguliert wie im obigen mathematischen Ausdruck (1) beschrieben, so dass es möglich ist, induzierte elektromotorische Kräfte aufgrund der räumlichen Harmonischen der drehenden Magnetfelder, die in den

Rotorspulen **42n** und **42s** erzeugt werden, zu verstärken. Das heißt, die Amplitude (Fluktuationsbreite) von Magnetflüssen, die mit den Rotorspulen **42n** und **42s** verkettet sind, aufgrund von räumlichen Harmonischen wird von der auf die Umfangsrichtung des Rotors **14** bezogenen Breite  $\theta$  von jeder von den Rotorspulen **42n** und **42s** beeinflusst. Hier zeigt **Fig. 3B** das Ergebnis der Berechnung der Amplitude (Fluktuationsbreite) von Magnetflüssen, die mit den Rotorspulen **42n** und **42s** verkettet sind, während die Breite  $\theta$  von jeder der Rotorspulen **42n** und **42s** in der Umfangsrichtung geändert wird. **Fig. 3B** zeigt die Spulenbreite  $\theta$  im elektrischen Winkel. Wie in **Fig. 3B** dargestellt ist, wird die Fluktuationsbreite von Magnetflüssen, die mit den Rotorspulen **42n** und **42s** verkettet sind, umso größer, je kleiner die Spulenbreite  $\theta$  ausgehend von  $180^\circ$  wird, daher wird die Spulenbreite  $\theta$  kleiner als  $180^\circ$  gemacht, das heißt, die Rotorspulen **42n** und **42s** werden mit verkürzten Wickelschritten bzw. als Sehnenwicklung gebildet, damit dadurch die Amplitude von verketteten Magnetflüssen aufgrund von räumlichen Harmonischen im Vergleich zu einer Durchmesserwicklung vergrößert werden kann.

**[0095]** Somit ist in der rotierenden elektrischen Maschine **10** (**Fig. 2**) die Umfangsrichtungsbreite von jedem der Zähne **19** kleiner gestaltet als die Breite, die einem elektrischen Winkel von  $180^\circ$  entspricht, und die Rotorspulen **42n** und **42s** sind in verkürzten Wickelschritten um die entsprechenden Zähne **19** gewickelt, wodurch es möglich ist, induzierte elektromotorische Kräfte aufgrund von räumlichen Harmonischen, die in den Rotorspulen **42n** und **42s** erzeugt werden, wirksam zu verstärken. Infolgedessen kann das Drehmoment, das auf den Rotor **14** wirkt, wirksam erhöht werden.

**[0096]** Wie in **Fig. 3B** dargestellt ist, ist ferner die Amplitude von verketteten Magnetflüssen aufgrund von räumlichen Harmonischen am größten, wenn die Spulenbreite  $\theta$   $90^\circ$  ist. Um die Amplitude von Magnetflüssen aufgrund von räumlichen Harmonischen, die mit den Rotorspulen **42n** und **42s** verkettet sind, weiter zu vergrößern, ist somit die Breite  $\theta$  von jeder von den Rotorspulen **42n** und **42s** in der Umfangsrichtung gleich (oder im Wesentlichen gleich) der Breite, die einem elektrischen Winkel von  $90^\circ$  des Rotors **14** entspricht. Wenn die Zahl der Polpaare des Rotors **14p** ist und der Abstand von der mittleren Drehachse des Rotors **14** zu jeder der Rotorspulen **42n** und **42s** ist, erfüllt die Breite  $\theta$  von jeder der Rotorspulen **42n** und **42s** in der Umfangsrichtung vorzugsweise den folgenden mathematischen Ausdruck (2) (oder erfüllt ihn annähernd):

$$\theta = \pi \times r / (2 \times p) \quad (2)$$

**[0097]** Dadurch können induzierte elektromotorische Kräfte aufgrund von räumlichen Harmonischen,

die in den Rotorspulen **42n** und **42s** erzeugt werden, maximiert werden, und Magnetflüsse, die wegen der induzierten Ströme in den jeweiligen Zähnen **19** erzeugt werden, können äußerst wirksam verstärkt werden. Infolgedessen ist es möglich, das Drehmoment, das auf den Rotor **14** wirkt, noch wirksamer zu erhöhen. Das heißt, wenn die Breite  $\theta$  die Breite, die  $90^\circ$  entspricht, deutlich übertrifft, tendieren magnetomotorische Kräfte in den Richtungen, die einander auslöschen, zu einer Verkettung mit den Rotorspulen **42n** und **42s**; jedoch nimmt die Wahrscheinlichkeit dafür, dass solche elektromotorischen Kräfte auftreten, ab, wenn die Breite  $\theta$  kleiner wird als die Breite, die  $90^\circ$  entspricht. Wenn die Breite  $\theta$  jedoch deutlich kleiner wird als die Breite, die  $90^\circ$  entspricht, nehmen die elektromotorischen Kräfte, die mit den Rotorspulen **42n** und **42s** verkettet sind, deutlich ab. Daher wird die Breite  $\theta$  auf die Breite eingestellt, die etwa  $90^\circ$  entspricht, wodurch es möglich ist, diese Nachteile zu vermeiden. Daher ist die Breite  $\theta$  von jeder der Rotorspulen **42n** und **42s** in der Umfangsrichtung der Breite, die einem elektrischen Winkel von  $90^\circ$  entspricht, vorzugsweise im Wesentlichen gleich.

**[0098]** Wenn die Breite  $\theta$  von jeder von den Rotorspulen **42n** und **42s** in der Umfangsrichtung des Rotors **14** der Breite, die einem elektrischen Winkel von  $90^\circ$  entspricht, im Wesentlichen gleich ist, können auf diese Weise in der vorliegenden Ausführungsform induzierte elektromotorische Kräfte aufgrund von räumlichen Harmonischen der drehenden Magnetfelder, die in den Rotorspulen **42n** und **42s** erzeugt werden, verstärkt werden, wodurch es möglich ist, die Magnetflüsse der Zähne **19**, bei denen es sich um Magnetpolabschnitte handelt, äußerst wirksam zu verstärken. Die Magnetflüsse der Zähne **19** werden durch Induktionsströme erzeugt, die durch die Rotorspulen **42n** und **42s** fließen. Infolgedessen kann das Drehmoment, das auf den Rotor **14** wirkt, noch wirksamer erhöht werden. Man beachte, dass in der vorliegenden Ausführungsform der Rotor **14** so aufgebaut ist, dass in der Umfangsrichtung jeweils benachbarte Rotorspulen **42n** und **42s** elektrisch voneinander isoliert sind, die Rotorspulen **42n**, die bezogen auf die Umfangsrichtung abwechselnd angeordnet sind, miteinander elektrisch in Reihe verbunden sind und die Rotorspulen **42s**, die bezogen auf die Umfangsrichtung abwechselnd angeordnet sind, miteinander elektrisch in Reihe verbunden sind. In der vorliegenden Ausführungsform ist es jedoch auch möglich, dass die rotierende elektrische Maschine wie im Falle des Aufbaus, der in **Fig. 23** bis **Fig. 25** gezeigt ist, den Rotor **14** aufweist, in dem jede von den Dioden **21n** und **21s** mit jeder von den Rotorspulen **42n** und **42s**, die um den entsprechenden Zahn **19** gewickelt sind, verbunden ist und die Rotorspulen **42n** und **42s** elektrisch gegeneinander isoliert sind, und dass der Controller **38** die Abwärtsimpuls-Überlagerungseinheit **72** aufweist (**Fig. 4**).

**[0099]** Weiter ist **Fig. 11** eine Ansicht, die eine andere Ausführungsform der Erfindung zeigt und die **Fig. 3A** entspricht. Außerdem ist **Fig. 12** eine Ansicht, die eine Ersatzschaltung von Rotorspulen und Hilfsrotorspulen in der Ausführungsform von **Fig. 11** zeigt. In der rotierenden elektrischen Maschine gemäß der Ausführungsform, die in **Fig. 11** dargestellt ist, sind die Zähne **19** des Rotors **14** anders als in der in **Fig. 1** bis **Fig. 8** dargestellten Ausführungsform, nicht nur mit den Rotorspulen **42n** und **42s** versehen, die um die distalen Endseiten gewickelt sind, sondern auch mit Hilfsrotorspulen **92n** und **92s**, die um die proximalen Endseiten gewickelt sind. Das heißt, in der vorliegenden Ausführungsform weist der Rotorkern **16** die Zähne **19** auf, wie im Falle der in **Fig. 1** bis **Fig. 8** dargestellten Ausführungsform. Die Zähne **19** sind bezogen auf die Umfangsrichtung des Rotors **14** mit Abständen zueinander angeordnet. Die Zähne **19** sind eine Mehrzahl von Magnetpolabschnitten und ausgeprägten bzw. Schenkelabschnitten, die zum Stator **12** hin vorstehen (siehe **Fig. 2**). Außerdem werden die Zähne **19** magnetisiert, wenn Ströme, die von den Dioden **21n** und **21s** gleichgerichtet werden, durch die Rotorspulen **42n** und **42s** und die Hilfsrotorspulen **92n** und **92s** fließen, um dadurch als Magnete zu fungieren, die feste Magnetpole aufweisen. Außerdem sind die Hilfsrotorspulen **92n** und **92s** um die proximalen Endseiten der entsprechenden Zähne **19** gewickelt und sind jeweils um in der Umfangsrichtung des Rotors **14** jeweils benachbarte Zähne **19** gewickelt. Irgendwelche zwei von den Hilfsrotorspulen **92n** und **92s** sind miteinander in Reihe verbunden, um einen Hilfsspulensatz **94** zu bilden.

**[0100]** Außerdem sind jeweils die einen Enden von irgendwelchen zwei benachbarten von den Rotorspulen **42n** und **42s**, die bezogen auf die Umfangsrichtung des Rotors **14** um irgendwelche benachbarte Zähne **19** gewickelt sind, an einem Verbindungspunkt R (**Fig. 12**) über die jeweiligen entsprechenden Dioden **21n** und **21s** so miteinander verbunden, dass die jeweiligen entsprechenden Dioden **21n** und **21s** einander aus entgegengesetzten Richtungen zugewandt sind. Außerdem sind die anderen Enden der bezogen auf die Umfangsrichtung des Rotors **14** irgendwelchen zwei benachbarten Rotorspulen **42n** und **42s** jeweils mit einem Ende des Hilfsspulensatzes **94** verbunden, und der Verbindungspunkt R ist mit dem anderen Ende des Hilfsspulensatzes **94** verbunden.

**[0101]** Mit einem solchen Aufbau fließen jeweils gleichgerichtete Ströme durch die Rotorspulen **42n** und **42s** und die Hilfsrotorspulen **92n** und **92s**, um die Zähne **19** zu magnetisieren und zu bewirken, dass die Zähne **19** als Magnetpolabschnitte fungieren. Das heißt, dadurch, dass Wechselströme durch die Statorspulen **28u**, **28v** und **28w** geschickt werden, wirken Magnetfelder, die räumliche Harmonische aufweisen, vom Stator **12** (**Fig. 2**) auf den Rotor

**14.** Aufgrund von Schwankungen der Magnetflüsse mit räumlichen Harmonischen kommt es zu Schwankungen von magnetischen Leckflüssen, die in den Raum zwischen den Zähnen **19** des Rotors **14** austreten, und dadurch werden induzierte elektromotorische Kräfte erzeugt. Außerdem kann die Funktion der Erzeugung von Induktionsströmen größtenteils den Rotorspulen **42n** und **42s** an den distalen Endseiten der Zähne **19** übertragen werden, und die Funktion der Magnetisierung der Zähne **19** kann größtenteils den Hilfsrotorspulen **92n** und **92s** übertragen werden. Außerdem werden die Ströme, die insgesamt durch die Rotorspulen **42n** und **42s** fließen, welche um jeweils benachbarte Zähne **19** gewickelt sind, zu Strom, der durch die Hilfsrotorspulen **92n** und **92s** fließt. Außerdem sind jeweils benachbarte Hilfsrotorspulen **92n** und **92s** in Reihe miteinander verbunden, so dass die gleiche vorteilhafte Wirkung erzielt werden kann als wenn die Zahl der Windungen beider benachbarter Hilfsrotorspulen **92n** und **92s** erhöht würde, und es möglich ist, Ströme, die durch die Rotorspulen **42n** und **42s** und die Hilfsrotorspulen **92n** und **92s** fließen, zu verkleinern, während die Magnetflüsse, die durch die Zähne **19** verlaufen, unverändert bleiben. Der übrige Aufbau und die übrige Betriebsweise sind denen der in [Fig. 1](#) bis [Fig. 8](#) gezeigten Ausführungsform ähnlich.

**[0102]** Weiter ist [Fig. 13](#) eine schematische Querschnitts-Teilansicht, die einen Abschnitt in einer anderen Ausführungsform der Erfindung zeigt, in der ein Stator einem Rotor zugewandt ist. Eine rotierende elektrische Maschine **10** gemäß der vorliegenden Ausführungsform unterscheidet sich von der in [Fig. 1](#) bis [Fig. 8](#) dargestellten Ausführungsform oder der Ausführungsform, die in [Fig. 11](#) und [Fig. 12](#) dargestellt ist, dahingehend, dass ein Hilfspol **96**, der aus magnetischem Material gebildet ist, zwischen in der Umfangsrichtung des Rotors **14** jeweils benachbarten Zähnen **19** vorgesehen ist. Außerdem ist jeder Hilfspol **96** mit dem distalen Endabschnitt eines Säulenabschnitts **98** verbunden, der aus nicht-magnetischem Material besteht. Der proximale Abschnitt jedes Säulenabschnitts **98** ist mit dem Boden einer Nut **100** zwischen in der Umfangsrichtung jeweils benachbarten Zähnen an der Außenfläche des Rotorkerns **16**, bezogen auf die Umfangsrichtung mittig verbunden. Man beachte, dass unter der Bedingung, dass jeder Säulenabschnitt **98** aus einem magnetischen Material gebildet ist und die Festigkeit des Säulenabschnitts **98** sichergestellt werden kann, die Querschnittsfläche des Säulenabschnitts **98** in der Umfangsrichtung des Rotors **14** ausreichend verkleinert werden kann.

**[0103]** Mit dem oben beschriebenen Aufbau können Magnetpfade, durch die räumliche Harmonische verlaufen können, problemlos an einem Abschnitt ausgebildet werden, der die Hilfspole **96** einschließt, so dass bewirkt wird, dass eine große Menge an räum-

lichen Harmonischen, die in den vom Stator **12** erzeugten drehenden Magnetfeldern enthalten sind, durch die Hilfspole **96** verlaufen, wodurch es möglich ist, Schwankungen in Magnetflüssen von räumlichen Harmonischen zu verstärken. Daher werden Induktionsströme, die in den Rotorspulen **42n** und **42s** auftreten, weiter verstärkt, wodurch es möglich ist, das Drehmoment der rotierenden elektrischen Maschine **10** weiter zu erhöhen. Der übrige Aufbau und die Betriebsweise sind denen der ersten Ausführungsform, die in [Fig. 1](#) bis [Fig. 8](#) dargestellt ist, ähnlich.

**[0104]** Nun werden weitere Gestaltungsbeispiele einer rotierenden elektrischen Maschine, welche das Antriebssystem einer rotierenden elektrischen Maschine gemäß den oben beschriebenen Ausführungsformen darstellen, beschrieben. Wie nachstehend beschrieben ist, kann der Aspekt der Erfindung auf verschiedene Gestaltungsbeispiele der rotierenden elektrischen Maschine angewendet werden.

**[0105]** Zum Beispiel sind in den oben beschriebenen Ausführungsformen die Rotorspulen **42n** und **42s** um die entsprechenden Zähne **19** gewickelt, bei denen es sich um Schenkelpole handelt, die in der radialen Richtung des Rotors **14** vorstehen; statt dessen ist es auch möglich, dass, wie in [Fig. 14](#) dargestellt ist, Schlitze (Luftspalten) **48**, bei denen es sich um Rotornuten handelt, im Rotorkern **16** ausgebildet sind, wodurch der magnetische Widerstand des Rotors **14** gemäß der Drehrichtung geändert wird. Wie in [Fig. 14](#) dargestellt ist, sind im Rotorkern **16**, wo jeder Magnetpfad der Umfangsrichtungsmittelpunkt eines Abschnitts, der so ausgebildet ist, dass eine Mehrzahl von Schlitzen **48** in der radialen Richtung angeordnet sind, ein q-Achsenmagnetpfadabschnitt **50** ist und jeder Magnetpfad in der Richtung entlang des Magnetpolabschnitts, an dem die Rotorspule angeordnet ist, ein d-Achsenmagnetpolabschnitt **52** ist, die Schlitze **48** so ausgebildet, dass der q-Achsenmagnetpolabschnitt **50** und der d-Achsenmagnetpolabschnitt **52**, die dem Stator **12** (den Zähnen **30**) zugewandt sind, in Umfangsrichtung abwechselnd angeordnet sind, und jeder q-Achsenmagnetpfadabschnitt **50** zwischen in der Umfangsrichtung jeweils benachbarten d-Achsenmagnetpfadabschnitten **52** angeordnet ist.

**[0106]** Jede von den Rotorspulen **42n** und **42s** ist durch die Schlitze **48** und einen entsprechenden einen von den d-Achsenmagnetpolabschnitten **52** mit einem geringen magnetischen Widerstand gewickelt. In diesem Fall sind die Schlitze **48** im Rotorkern **16** bezogen auf die Umfangsrichtung mit Abständen zueinander um die Drehachse des Rotors **14** angeordnet, und die Rotorspulen **42n** und **42s** sind an mehreren Umfangsrichtungsabschnitten am Außenrandabschnitt des Rotorkerns **16** gewickelt, so dass sie teilweise in den Schlitzen **48** angeordnet sind. In dem Gestaltungsbeispiel, das in [Fig. 14](#) dargestellt ist,

sind die drehenden Magnetfelder, die räumliche harmonische Komponenten aufweisen und die im Stator **12** ausgebildet sind, mit den Rotorspulen **42n** und **42s** verkettet, wodurch bewirkt wird, dass Gleichströme, die von den Dioden **21n** und **21s** gleichgerichtet werden, durch die Rotorspulen **42n** und **42s** fließen, wodurch die d-Achsenmagnetpfadabschnitte **52** magnetisiert werden. Infolgedessen fungieren die d-Achsenmagnetpfadabschnitte **52** als Magnete (Magnetpolabschnitte) mit festen Magnetpolen. Dabei ist die Breite jedes d-Achsenmagnetpolabschnitts **52** (die Breite  $\theta$  von jeder von den Rotorspulen **42n** und **42s**) in der Umfangsrichtung so eingestellt, dass sie kleiner ist als die Breite, die einem elektrischen Winkel des Rotors **14** von  $180^\circ$  entspricht, und die Rotorspulen **42n** und **42s** sind mit verkürzten Wickelschritten um die entsprechenden d-Achsenmagnetpfadabschnitte **52** gewickelt. Dadurch können induzierte elektromotorische Kräfte aufgrund von räumlichen Harmonischen, die in den Rotorspulen **42n** und **42s** erzeugt werden, wirksam verstärkt werden. Um die induzierten elektromotorischen Kräfte aufgrund von räumlichen Harmonischen zu maximieren, ist ferner die Umfangsrichtungsbreite  $\theta$  von jeder von den Rotorspulen **42n** und **42s** der Breite, die einem elektrischen Winkel des Rotors **14** von  $90^\circ$  entspricht, vorzugsweise gleich (oder fast gleich). Die übrige Gestaltung und der Betrieb sind denen der oben beschriebenen Ausführungsformen ähnlich.

[0107] In den oben beschriebenen Ausführungsformen, wie beispielsweise in [Fig. 15](#) dargestellt, ist es außerdem möglich, dass der Rotor **16** einen Rotorkörper **17**, der aus einem magnetischen Material gefertigt ist, und eine Mehrzahl von Dauermagneten **54** aufweist, und dass die Dauermagnete **54** am Rotorkern **16** angeordnet sind. In dem in [Fig. 15](#) dargestellten Ausführungsbeispiel ist eine Mehrzahl von Magnetpolabschnitten **56**, die als Magnete mit festen Magnetpolen fungieren, bezogen auf die Umfangsrichtung in Abständen zueinander so angeordnet, dass sie dem Stator **12** zugewandt sind (siehe [Fig. 2](#)), und die Rotorspulen **42n** und **42s** sind um die entsprechenden Magnetpolabschnitte **56** gewickelt. In diesem Fall sind Schlitze **102**, bei denen es sich um Rotornuten handelt, an mehreren Umfangsrichtungsabschnitten des Rotorkerns **16** angeordnet, und die Rotorspulen **42n** und **42s** sind an mehreren Umfangsrichtungsabschnitten am Außenumfangabschnitt des Rotorkerns **16** so gewickelt, dass sie teilweise in den Schlitzen **102** angeordnet sind. Jeder von den Dauermagneten **54** ist so, dass er dem Stator **12** (den Zähnen **30**) zugewandt ist, zwischen bezogen auf die Umfangsrichtung jeweils benachbarten Magnetpolabschnitten **56** angeordnet. Die Dauermagnete **54** können hierbei in den Rotorkern **16** eingebettet sein oder können an der Oberfläche (der äußeren Randfläche) des Rotorkerns **16** frei liegen. Außerdem können die Dauermagnete **54** innerhalb des Rotorkerns in V-Form angeordnet sein.

In dem Gestaltungsbeispiel, das in [Fig. 13](#) dargestellt ist, sind die im Stator **12** gebildeten drehenden Magnetfelder, die räumliche harmonische Komponenten enthalten, mit den Rotorspulen **42n** und **42s** verkettet, wodurch bewirkt wird, dass Gleichströme, die von den Dioden **21n** und **21s** gleichgerichtet werden, durch die Rotorspulen **42n** und **42s** fließen, um dadurch die Magnetpolabschnitte **56** zu magnetisieren. Infolgedessen dienen die Magnetpolabschnitte **42n** und **42s** dazu, die Magnetpolabschnitte **56** zu magnetisieren. Dabei ist die Umfangsrichtungsbreite jedes einzelnen von den Magnetpolabschnitten **56** (die Breite  $\theta$  von jeder von den Rotorspulen **42n** und **42s**) so eingestellt, dass sie kleiner ist als die Breite, die einem elektrischen Winkel des Rotors **14** von  $180^\circ$  entspricht, und die Rotorspulen **42n** und **42s** sind mit verkürzten Wickelschritten um die entsprechenden Magnetpolabschnitte **56** gewickelt, wodurch es möglich ist, die induzierten elektromotorischen Kräfte aufgrund von räumlichen Harmonischen, die in den Rotorspulen **42n** und **42s** erzeugt werden, wirksam zu verstärken. Um die induzierten elektromotorischen Kräfte aufgrund von räumlichen Harmonischen zu maximieren, ist ferner die Umfangsrichtungsbreite  $\theta$  von jeder von den Rotorspulen **42n** und **42s** der Breite, die einem elektrischen Winkel des Rotors **14** von  $90^\circ$  entspricht, vorzugsweise gleich (oder fast gleich). Die übrige Gestaltung und der Betrieb sind denen der oben beschriebenen Ausführungsformen ähnlich.

[0108] Außerdem können die Rotorspulen **42n** und **42s** in den oben beschriebenen Ausführungsformen, wie beispielsweise in [Fig. 16](#) dargestellt ist, in Ringform gewickelt sein. In dem Gestaltungsbeispiel, das in [Fig. 16](#) dargestellt ist, weist der Rotorkern **16** einen ringförmigen Kernabschnitt **58** auf, und jeder von den Zähnen **19** ragt vom ringförmigen Kernabschnitt **58** in der radialen Richtung nach außen (zum Stator **12**) vor. Die Rotorspulen **42n** und **42s** sind an Stellen des ringförmigen Kernabschnitts **58** in der Nähe der Zähne **19** in Ringform gewickelt. Außerdem sind die Rotorspulen **42n** und **42s** an mehreren Umfangsrichtungsabschnitten des Rotorkerns **16** so gewickelt, dass sie teilweise in den Nuten **20** angeordnet sind. In dem Gestaltungsbeispiel, das in [Fig. 16](#) dargestellt ist, sind die räumliche harmonische Komponenten enthaltenden drehenden Magnetfelder, die im Stator **12** ausgebildet werden, ebenfalls mit den Rotorspulen **42n** und **42s** verkettet, wodurch bewirkt wird, dass Gleichströme, die von den Dioden **21n** und **21s** gleichgerichtet werden, durch die Rotorspulen **42n** und **42s** fließen, wodurch die Zähne **19** magnetisiert werden. Infolgedessen fungieren die Zähne **19**, die nahe an den Rotorspulen **42n** angeordnet sind, als Nordpole, und die Zähne **19**, die nahe an den Rotorspulen **42s** angeordnet sind, fungieren als Südpole. Dabei ist die Umfangsrichtungsbreite  $\theta$  von jedem der Zähne **19** so eingerichtet, dass sie kleiner ist als die Breite, die einem elektrischen Winkel des Rotors **14** von  $180^\circ$  entspricht, wodurch es mög-

lich ist, induzierte elektromotorische Kräfte aufgrund von räumlichen Harmonischen, die in den Rotorspulen **42n** und **42s** erzeugt werden, wirksam zu verstärken. Um induzierte elektromotorische Kräfte aufgrund von räumlichen Harmonischen, die in den Rotorspulen **42n** und **42s** erzeugt werden, zu maximieren, ist ferner die Umfangsrichtungsbreite  $\theta$  von jedem der Zähne **19** vorzugsweise der Breite, die einem elektrischen Winkel des Rotors **14** von  $90^\circ$  entspricht, gleich (oder im Wesentlichen gleich). Man beachte, dass [Fig. 16](#) ein Beispiel zeigt, in dem bezogen auf die Umfangsrichtung benachbarte Rotorspulen **42n** und **42s** jeweils elektrisch gegeneinander isoliert sind, die Rotorspulen **42n**, die bezogen auf die Umfangsrichtung abwechselnd angeordnet sind, miteinander elektrisch in Reihe verbunden sind und die Rotorspulen **42s**, die bezogen auf die Umfangsrichtung abwechselnd angeordnet sind, miteinander elektrisch in Reihe verbunden sind, wie im Falle des in [Fig. 2](#) dargestellten Ausführungsbeispiels. 2. Jedoch können auch in dem Beispiel, in dem die Rotorspulen **42n** und **42s** in Ringform gewickelt sind, wie im Falle des in [Fig. 23](#) bis [Fig. 25](#) dargestellten Gestaltungsbeispiels, die Rotorspulen **42n** und **42s**, die um die entsprechenden Zähne **19** gewickelt sind, jeweils elektrisch gegeneinander isoliert sein. Die übrige Gestaltung und der Betrieb sind denen der oben beschriebenen Ausführungsformen ähnlich.

**[0109]** Wie im folgenden Gestaltungsbeispiel beschrieben ist, ist es außerdem möglich, dass die Rotorspulen der rotierenden elektrischen Maschine an den gleichen Stellen wie die Magnete des Rotors, an den gleichen Stellen wie die Nuten, von denen jede zwischen jeweils benachbarten Zähnen ausgebildet ist, oder an den gleichen Stellen wie die Abschnitte, die aufgrund der Mehrzahl von Schlitzen Eigenschaften magnetische Schenkelpole aufweisen, angeordnet sind. [Fig. 17](#) ist eine schematische Ansicht einer rotierenden elektrischen Maschine, betrachtet in paralleler Richtung zur Drehachse. [Fig. 18](#) ist eine schematische Ansicht, die den schematischen Aufbau des Rotors von [Fig. 17](#) zeigt, betrachtet in paralleler Richtung zur Drehachse.

**[0110]** Die rotierende elektrische Maschine **10** gemäß dem vorliegenden Gestaltungsbeispiel weist einen Stator **12** und einen Rotor **14** auf. Der Stator **12** ist an einem (nicht dargestellten) Gehäuse festgelegt. Der Rotor **14** ist bezogen auf die radiale Richtung weiter innen als der Stator **12** so angeordnet, dass er dem Stator **12** mit einer vorgegebenen Lücke zugewandt ist, und ist in Bezug auf den Stator **12** drehbar. Man beachte, dass der Aufbau und die Betriebsweise des Stators **12** denen der in [Fig. 1](#) bis [Fig. 8](#) dargestellten Ausführungsformen ähnlich sind.

**[0111]** Wie in [Fig. 18](#) dargestellt ist, weist der Rotor **14** einen Rotorkern **16** und Rotorspulen **42n** und **42s** auf. Die Rotorspulen **42n** und **42s** sind an meh-

rerer Umfangsrichtungsabschnitten des Rotorkerns **16** angeordnet und gewickelt. Der Rotorkern **16** weist einen Rotorkernkörper **17**, der aus einem magnetischen Material gebildet ist, und Dauermagnete **54** auf, die an mehreren Umfangsrichtungsabschnitten des Rotors **14** angeordnet sind. Der Rotor **14** ist an der Drehwelle **22** festgelegt. Magnetpolabschnitte **60**, beispielsweise Säulenabschnitte, die sich in der radialen Richtung erstrecken, sind an mehreren Umfangsrichtungsabschnitten des Rotorkerns **16** ausgebildet, und die Rotorspulen **42n** und **42s** sind um die entsprechenden Magnetpolabschnitte **60** gewickelt. Das heißt, Schlitze **102**, bei denen es sich um Rotornuten handelt, sind an mehreren Umfangsrichtungsabschnitten des Rotorkerns **16** ausgebildet, und die Rotorspulen **42n** und **42s** sind an mehreren Umfangsrichtungsabschnitten des Außenrandabschnitts des Rotorkerns **16** so gewickelt, dass sie teilweise in den Schlitzen **102** angeordnet sind.

**[0112]** Die Dauermagnete **54** sind an mehreren Umfangsrichtungsabschnitten des Rotors **14** in den Magnetpolabschnitten **60**, die den Rotorspulen **42n** und **42s** in der Umfangsrichtung des Rotors **14** entsprechen, angeordnet, das heißt eingebettet. Umgekehrt sind die Rotorspulen **42n** und **42s** um die jeweiligen Dauermagnete **54** gewickelt. Die Dauermagnete **54** sind in der radialen Richtung des Rotors **14** magnetisiert, und die Magnetisierungsrichtungen wechseln zwischen bezogen auf die Umfangsrichtung des Rotors **14** jeweils benachbarten Magneten **54** ab. In [Fig. 17](#) und [Fig. 18](#) (das gleiche gilt auch für die nachstehend beschriebene [Fig. 19](#)) zeigen die durchgezogenen Pfeile auf den Dauermagneten **54** die Magnetisierungsrichtungen der Dauermagnete **54** an. Man beachte, dass die Magnetpolabschnitte **60** aus Schenkelpolen oder dergleichen bestehen können, die so angeordnet sind, dass sie sich an mehreren Umfangsrichtungsabschnitten in der radialen Richtung des Rotors **14** erstrecken.

**[0113]** Der Rotor **14** weist in der Umfangsrichtung unterschiedliche Eigenschaften magnetischer Schenkelpole auf. Wo der Magnetpfad der auf den Umfang bezogenen Mitte zwischen zwei bezogen auf die Umfangsrichtung jeweils benachbarten Magnetpolabschnitten **60**, der so angeordnet ist, dass er in der Umfangsrichtung von den Dauermagneten **54** abweicht und außerdem auch von den Magnetpolabschnitten **60** im Rotor **14** abweicht, als q-Achsenmagnetpfad bezeichnet wird, und der Magnetpfad, der in der Umfangsrichtung mit der Wicklungsmittelachse von jeder von den Rotorspulen **42n** und **42s** zusammenfällt, als d-Achsenmagnetpfad bezeichnet wird, sind die Dauermagnete **54** jeweils in den d-Achsenmagnetpfaden angeordnet, die an mehreren Umfangsrichtungsabschnitten des Rotors **14** angeordnet sind.

**[0114]** Außerdem sind die Rotorspulen **42n** und **42s**, die um die entsprechenden Magnetpolabschnitte **60** gewickelt sind, elektrisch nicht miteinander verbunden, sondern gegeneinander isoliert. Weiter ist jede von den Dioden **21n** und **21s**, bei denen es sich um Gleichrichterelemente handelt, parallel mit jeder von den elektrisch isolierten Rotorspulen **42n** und **42s** verbunden. Außerdem sind die Richtung, in der Strom durch die einzelnen Dioden **21n** fließt, die mit den in Umfangsrichtung des Rotors **14** abwechselnd angeordneten Rotorspulen **42n** verbunden sind, und die Richtung des Stromes, der durch jede von den Dioden **21s** fließt, die mit den übrigen Rotorspulen **42s** verbunden sind, umgekehrt, so dass die Vorwärtsrichtungen der Dioden **21n** und **21s** in entgegengesetzte Richtungen weisen. Daher ist jede von den Rotorspulen **42n** und **42s** über die Diode **22n** oder **21s** kurzgeschlossen. Somit werden Ströme, die durch die Rotorspulen **42n** und **42s** fließen, in einer Richtung gleichgerichtet. Auch im Falle des vorliegenden Gestaltungsbeispiels bewirken die Dioden **21n** und **21s** eine Gleichrichtung von Strömen, die wegen der erzeugten elektromotorischen Kräfte durch die Rotorspulen **42n** und **42s** fließen, wodurch die Phasen von Strömen, die durch bezogen auf die Umfangsrichtung des Rotors **14** jeweils benachbarte Rotorspulen **42n** und **42s** fließen, zwischen der A-Phase und der B-Phase abwechseln.

**[0115]** Wenn Gleichströme gemäß der Gleichrichtungsrichtungen der Dioden **21n** und **21s** durch die Rotorspulen **42n** und **42s** fließen, werden die Magnetpolabschnitte **60**, um die die Rotorspulen **42n** und **42s** gewickelt sind, magnetisiert, wodurch bewirkt wird, dass die Magnetpolabschnitte **60** als Magnete mit festen Magnetpolen fungieren. Die Richtungen der gestrichelten Pfeile, die an den bezogen auf die radiale Richtung äußeren Seiten der Rotorspulen **42n** und **42s** in **Fig. 17** und **Fig. 18** dargestellt sind, zeigen die Magnetisierungsrichtungen der Magnetpolabschnitte **60** an.

**[0116]** Wie in **Fig. 18** dargestellt ist, sind außerdem die Richtungen der Gleichströme zwischen bezogen auf die Umfangsrichtung des Rotors **14** jeweils benachbarten Rotorspulen **42n** und **42s** einander entgegengesetzt. Weiter sind die Magnetisierungsrichtungen zwischen bezogen auf die Umfangsrichtung des Rotors **14** jeweils benachbarten Magnetpolabschnitten **60** entgegengesetzt zueinander. Das heißt, im vorliegenden Gestaltungsbeispiel wechseln sich die magnetischen Eigenschaften der Magnetpolabschnitte **60** in Umfangsrichtung des Rotors **14** ab. Zum Beispiel sind in **Fig. 17** und **Fig. 18** die Nordpole auf den radial äußeren Seiten von Abschnitten angeordnet, die in der Umfangsrichtung des Rotors **14** mit den Rotorspulen **42n** zusammenfallen, bei denen es sich um die in der Umfangsrichtung des Rotors **14** abwechselnd angeordneten Magnetpolabschnitte **60** handelt, und Südpole sind auf den radial äußeren

Seiten von Abschnitten angeordnet, die in der Umfangsrichtung des Rotors **14** mit den Rotorspulen **42s** zusammenfallen, bei denen es sich um den Magnetpolabschnitt **60** handelt, der in der Umfangsrichtung an die Nordpol-Magnetpolabschnitte **60** angrenzt. Weiter bilden jeweils zwei in der Umfangsrichtung des Rotors **14** benachbarte Magnetpolabschnitte **60** (Nordpol und Südpol) ein Polpaar. Außerdem werden die Magnetisierungsrichtungen der Magnetpolabschnitte **54** mit den Magnetisierungsrichtungen der Magnetpolabschnitte **60**, die in der Umfangsrichtung des Rotors **14** mit den Dauermagneten **54** zusammenfallen, in Übereinstimmung gebracht.

**[0117]** Außerdem sind in dem in **Fig. 15** und **Fig. 16** dargestellten Beispiel die acht Magnetpolabschnitte **60** ausgebildet, und die Anzahl der Polpaare des Rotors **14** ist vier. Außerdem sind die Anzahl von Polpaaren des Stators **12** (**Fig. 15**) und die Anzahl von Polpaaren des Rotors **14** jeweils vier, und die Anzahl von Polpaaren des Stators **12** ist der Anzahl von Polpaaren des Rotors **14** gleich. Jedoch muss die Anzahl von Polpaaren des Stators **12** und die Anzahl von Polpaaren des Rotors **14** nicht jeweils vier sein.

**[0118]** Außerdem ist in dem vorliegenden Gestaltungsbeispiel die Breite von jedem von den Magnetpolabschnitten **60** in der Umfangsrichtung des Rotors **14** so eingestellt, dass sie kleiner ist als die Breite, die einem elektrischen Winkel des Rotors **14** von  $180^\circ$  entspricht. Weiter ist die Umfangsrichtungsbreite  $\theta$  (**Fig. 16**) von jeder von den Rotorspulen **42n** und **42s** so eingestellt, dass sie kleiner ist als die Breite, die einem elektrischen Winkel des Rotors **14** von  $180^\circ$  entspricht, und die Rotorspulen **42n** und **42s** sind in verkürzten Wickelschritten um die entsprechenden Magnetpolabschnitte **60** gewickelt. Außerdem ist die Breite  $\theta$  von jeder von den Rotorspulen **42n** und **42s** in der Umfangsrichtung des Rotors **14** der Breite, die einem elektrischen Winkel von  $90^\circ$  entspricht, vorzugsweise gleich (oder annähernd gleich).

**[0119]** In der solchermaßen aufgebauten rotierenden elektrischen Maschine **10** verlaufen dreiphasige Wechselströme durch die dreiphasigen Statorspulen **28u**, **28v** und **28w**, um zu bewirken, dass die drehenden Magnetfelder mit Frequenzen, die harmonische Komponenten enthaltend, die von den Zähnen **30** erzeugt werden (**Fig. 17**), an den Rotor **14** angelegt werden. Als Reaktion darauf wirken dann ein Trägheitsmoment  $T_{re}$ , ein Dauermagnetmoment  $T_{mg}$ , das von den Dauermagneten erzeugt wird, und ein Rotorspulenmoment  $T_{coil}$ , das von den Rotorspulen erzeugt wird, auf den Rotor **14**, wodurch bewirkt wird, dass der Rotor **14** so angetrieben wird, dass er sich synchron mit den drehenden Magnetfeldern (fundamentalen Komponenten), die vom Stator **12** erzeugt werden, dreht. Hierbei ist das Trägheitsmoment  $T_{re}$  ein Drehmoment, das als Ergebnis davon erzeugt wird, dass die jeweiligen Magnetpolabschnitte

te **60** von den drehenden Magnetfeldern, die vom Stator **12** erzeugt werden, angezogen werden. Außerdem ist das Dauermagnetmoment  $T_{mg}$  ein Drehmoment, das aufgrund von Anziehungen und Abstoßungen erzeugt wird, bei denen es sich um Wechselwirkungen zwischen den Magnetfeldern, die von den Dauermagneten **54** erzeugt werden, und den drehenden Magnetfeldern, die vom Stator **12** erzeugt werden, handelt. Außerdem ist das Rotorspulenmoment  $T_{coil}$  ein Drehmoment, das von Strömen bewirkt wird, die von den Rotorspulen **42n** und **42s** als Folge davon erzeugt werden, dass die räumlichen harmonischen Komponenten einer magnetomotorischen Kraft, die vom Stator **12** erzeugt wird, an die Rotorspulen **42n** und **42s** angelegt werden. Dieses Drehmoment wird durch Anziehungen und Abstoßungen erzeugt, bei denen es sich um Wechselwirkungen zwischen Magnetfeldern, die von den Magnetpolabschnitten **60** erzeugt werden, und den drehenden Magnetfeldern, die vom Stator **12** erzeugt werden, handelt.

**[0120]** Mit der oben beschriebenen drehenden elektrischen Maschine **10** gemäß dem vorliegenden Gestaltungsbeispiel ist es möglich, das Drehmoment der rotierenden elektrischen Maschine **10** wirksam zu erhöhen. Außerdem werden Schwankungen von Magnetflüssen in den Dauermagneten **54** durch Induktionsströme, die durch die Rotorspulen **42n** und **42s** fließen, unterdrückt, so dass Wirbelstromverluste innerhalb der jeweiligen Dauermagnete **54** unterdrückt werden, wodurch die Wärmeerzeugung der Magnete verringert werden kann.

**[0121]** Außerdem ist **Fig. 19** eine schematische Ansicht, die **Fig. 18** entspricht, in einem anderen Gestaltungsbeispiel. In dem vorliegenden Gestaltungsbeispiel sind die Rotorspulen **42n**, die Teil der Mehrzahl von Rotorspulen **42n** und **42s** sind und die in der Umfangsrichtung des Rotors **14** abwechselnd angeordnet sind, elektrisch in Reihe miteinander verbunden, und die übrigen Rotorspulen **42s**, die in der Umfangsrichtung abwechselnd angeordnet sind, sind elektrisch in Reihe miteinander verbunden. Das heißt, die Rotorspulen **42n** oder **42s**, die um die Magnetpolabschnitte **60** gewickelt sind, die als Magnete fungieren, und die in den gleichen Richtungen magnetisiert sind, sind elektrisch in Reihe miteinander verbunden. Außerdem sind die Rotorspulen **42n** und **42s**, die bezogen auf die Umfangsrichtung des Rotors **14** jeweils um benachbarte Magnetpolabschnitte **60** gewickelt sind, elektrisch gegeneinander isoliert. Dann bilden ein Schaltkreis, der die Rotorspulen **42n** beinhaltet, die elektrisch miteinander verbunden sind, und ein Schaltkreis, der die Rotorspulen **42s** beinhaltet, die elektrisch miteinander verbunden sind, ein Paar aus Rotorspulen-Schaltkreisen **62a** und **62b**, die elektrisch gegeneinander isoliert sind. Das heißt, die Rotorspulen **42n** oder **42s**, die um die Magnetpolabschnitte **60** gewickelt sind, welche untereinander

der die gleichen magnetischen Eigenschaften haben, sind elektrisch miteinander verbunden.

**[0122]** Außerdem sind Dioden **21n** und **21s**, bei denen es sich um Gleichrichterelemente handelt, die voneinander verschiedene Polaritäten aufweisen, jeweils mit den beiden Rotorspulen-Schaltkreisen **62a** und **62b**, bei denen es sich um die abwechselnd angeordneten Rotorspulen **42n** und **42s** handelt, in Reihe verbunden, und die Richtungen der Ströme, die durch die Rotorspulen-Schaltungen **62a** und **62b** fließen, werden in einer Richtung gleichgerichtet. Außerdem sind Ströme, die durch einen von den beiden Rotorspulen-Schaltkreisen **62a** und **62b** fließen, und Ströme, die durch den anderen von den Rotorspulen-Schaltkreisen **62a** und **62b** fließen, einander entgegengesetzt. Die übrige Gestaltung und Betriebsweise sind denen des in **Fig. 17** und **Fig. 18** dargestellten Gestaltungsbeispiels ähnlich.

**[0123]** **Fig. 20** ist eine schematische Ansicht, die **Fig. 18** entspricht, in einem anderen Gestaltungsbeispiel. Der Rotor **14**, der Bestandteil der rotierenden elektrischen Maschine gemäß dem vorliegenden Gestaltungsbeispiel ist, unterscheidet sich von dem Rotor **14** in dem Gestaltungsbeispiel, das in **Fig. 19** dargestellt ist, darin, dass die Dauermagnete **54** (siehe **Fig. 19**), die für den Rotor **14** vorgesehen sind, fehlen. Außerdem weist der Rotorkern **16** Zähne **64** auf, die an mehreren Umfangsrichtungsabschnitten an der Außenrandfläche in der radialen Richtung vorstehen, und jede von den Rotorspulen **42n** und **42s** ist zwischen bezogen auf die Umfangsrichtung des Rotors **14** jeweils benachbarten Zähnen **64** angeordnet. Das heißt, die Rotorspulen **42n** und **42s** sind in einem hohlen Zustand angeordnet, wo das Innere hohl ist. Außerdem ragt ein Abschnitt zwischen jeweils benachbarten Rotorspulen **42n** und **42s** in der Umfangsrichtung des Rotors **14** zum Stator **12** hin vor (siehe **Fig. 17**), und der Rotorkern **16** weist magnetische Eigenschaften eines Schenkelpols auf. In diesem Fall sind die Rotorspulen **42n** und **42s** an mehreren Umfangsrichtungsabschnitten des Außenrandabschnitts des Rotorkerns **16** so gewickelt, dass sie zum Teil oder zur Gänze in den entsprechenden Nuten **20** angeordnet sind.

**[0124]** In dem solchermaßen aufgebauten Rotor **14** werden Magnetpfade, die mit den Zähnen **64** in der Umfangsrichtung des Rotors **14** zusammenfallen, zu q-Achsenmagnetpfaden, und Stellen, die mit den Rotorspulen **42n** und **42s** in der Umfangsrichtung des Rotors **14** zusammenfallen, werden d-Achsenmagnetpfade.

**[0125]** In dem oben dargestellten Gestaltungsbeispiel sind anders als in dem Gestaltungsbeispiel, das in **Fig. 17** und **Fig. 18** dargestellt ist, keine Dauermagnete **54** (siehe **Fig. 19**) im Rotor **14** angeordnet; jedoch kann das Drehmoment der rotierenden

elektrischen Maschine unabhängig von der Drehrichtung des Rotors **14** erhöht werden. Das heißt, die Stromphase-Drehmoment-Kennlinie ist die gleiche, unabhängig von der Drehrichtung des Rotors **14**, und der Höchstwert des Drehmoments wird größer, so dass das Drehmoment wirksam erhöht werden kann. Wenn beispielsweise ein Drehmoment im Leistungsbetrieb erhöht wird, kann das Drehmoment im Leistungsbetrieb sowohl während einer Vorwärtsdrehung als auch während einer Rückwärtsdrehung des Rotors **14** erhöht werden. Wenn ein regeneratives Drehmoment erhöht wird, kann außerdem das regenerative Drehmoment sowohl während einer Vorwärtsdrehung als auch während einer Rückwärtsdrehung des Rotors **14** erhöht werden. Somit kann eine rotierende elektrische Maschine erhalten werden, die in der Lage ist, sowohl bei der Vorwärtsdrehung als auch bei der Rückwärtsdrehung des Rotors **14** ein höheres Drehmoment zu erreichen. Der übrige Aufbau und die Betriebsweise sind denen des in [Fig. 17](#) und [Fig. 18](#) dargestellten Gestaltungsbeispiels oder denen des in [Fig. 19](#) dargestellten Gestaltungsbeispiels gleich.

**[0126]** [Fig. 21](#) ist eine schematische Ansicht, die [Fig. 18](#) entspricht, in einem anderen Gestaltungsbeispiel. Der Rotor **14**, der Bestandteil einer rotierenden elektrischen Maschine gemäß dem vorliegenden Gestaltungsbeispiel ist, ist ebenfalls so aufgebaut, dass keine Dauermagnete **54** (siehe [Fig. 18](#) und dergleichen) für den Rotor **14** vorgesehen sind, wie im Falle des Gestaltungsbeispiels, das in [Fig. 20](#) dargestellt ist. Im vorliegenden Gestaltungsbeispiel sind Schlitze **48**, bei denen es sich um Luftraumabschnitte und Rotornuten handelt, innerhalb des Rotorkerns **16** ausgebildet, der Bestandteil des Rotors **14** ist, um dadurch den magnetischen Widerstand des Rotors **14** in der Drehrichtung zu ändern. Das heißt, die in Mehrzahl vorhandenen Schlitze **48**, die sich in der axialen Richtung im Wesentlichen mit einem U-förmigen Querschnitt erstrecken und die eine Form aufweisen, die zu der bezogen auf die radiale Richtung äußeren Seite hin offen ist, sind an mehreren Umfangsrichtungsabschnitten des Rotorkerns **16** so angeordnet, dass sie in der radialen Richtung des Rotors **14** voneinander beabstandet sind. Weiter sind Rotorspulen **42n** und **42s** an mehreren Umfangsrichtungsabschnitten des Rotorkerns **16** so angeordnet, dass sie mit den Umfangsrichtungsmitten der in Mehrzahl vorhandenen Schlitze **48** verbunden sind, um d-Achsenmagnetpfade zu bilden, und der Magnetpfad zwischen jeweils zwei in der Umfangsrichtung benachbarten Schlitzen **48** ein q-Achsenmagnetpfad ist.

**[0127]** Außerdem sind die Rotorspulen **42n** und **42s** jeweils mit Dioden **21n** und **21s** kurzgeschlossen. Die Dioden **21n** und **21s** weisen unterschiedliche Polaritäten zwischen jeweils benachbarten Rotorspulen **42n** und **42s** auf. Die Rotorspulen **42n**, die jeweils mit den Dioden **21n** kurzgeschlossen sind, und die Rotorspulen **42s**, die jeweils mit den Dioden **21s** kurz-

geschlossen sind, sind in der Umfangsrichtung des Rotors **14** abwechselnd angeordnet, und die magnetischen Eigenschaften der in Mehrzahl vorhandenen Magnetpolabschnitte **66**, die von Strömen erzeugt werden, die durch die Rotorspulen **42n** und **42s** fließen, wechseln in Umfangsrichtung des Rotors **14** ab. In diesem Fall sind die Schlitze **48** bezogen auf die Umfangsrichtung mit Abständen zueinander um die Drehachse des Rotors **14** im Rotorkern ausgebildet, und die Rotorspulen **42n** und **42s** sind an mehreren Umfangsrichtungsabschnitten am Außenrandabschnitt des Rotorkerns **16** so gewickelt, dass sie teilweise in den Schlitzen **48** angeordnet sind.

**[0128]** Im Falle des oben dargestellten Gestaltungsbeispiels sind magnetische Drehfelder vom Stator **12** (siehe [Fig. 17](#)) mit den Rotorspulen **42n** und **42s** verkettet, um zu bewirken, dass Gleichströme, die von den Dioden **21n** und **21s** gleichgerichtet werden, durch die Rotorspulen **42n** und **42s** fließen, wodurch die Magnetpolabschnitte **66**, die an mehreren Umfangsrichtungsabschnitten angeordnet sind, das heißt die d-Achsenmagnetpfade, magnetisiert werden, und die Magnetpolabschnitte **66** als Magnete fungieren, die feste Magnetpole aufweisen. Außerdem ist die Breite von jeder der Rotorspulen **42n** und **42s** in der Umfangsrichtung des Rotors **14** so eingerichtet, dass sie kleiner ist als die Breite, die einem elektrischen Winkel des Rotors **14** von  $180^\circ$  entspricht, und die Rotorspulen **42n** und **42s** sind in verkürzten Wickelschritten um die jeweiligen Magnetpolabschnitte **60** gewickelt. Außerdem ist die Breite von jeder von den Rotorspulen **42n** und **42s** in der Umfangsrichtung der Breite, die einem elektrischen Winkel des Rotors **14** von  $90^\circ$  entspricht, vorzugsweise gleich (oder im Wesentlichen gleich).

**[0129]** Auch im Falle des oben dargestellten Gestaltungsbeispiels sind keine Dauermagnete am Rotor **14** angeordnet; jedoch kann das Drehmoment der rotierenden elektrischen Maschine unabhängig von der Drehrichtung des Rotors **14** erhöht werden. Die übrige Gestaltung und Betriebsweise sind denen des Gestaltungsbeispiels, das in [Fig. 17](#) und [Fig. 18](#) dargestellt ist, ähnlich.

**[0130]** [Fig. 22](#) ist eine schematische Ansicht, die [Fig. 18](#) entspricht, in einem anderen Gestaltungsbeispiel. Der Rotor **14**, der eine rotierende elektrische Maschine gemäß dem vorliegenden Ausführungsbeispiel darstellt, unterscheidet sich von dem Rotor **14**, der das in [Fig. 17](#) und [Fig. 18](#) dargestellte Ausführungsbeispiel darstellt, dahingehend, dass der Rotorkern **16** aus einem Rotorkernkörper **104**, der aus einem magnetischen Material besteht, und einer Mehrzahl von Dauermagneten **54** gebildet ist. Außerdem weist der Rotorkernkörper **104** nicht die magnetischen Eigenschaften eines Schenkelpols auf, und die Dauermagnete **54** sind an mehreren Umfangsrichtungsabschnitten der äußeren Randfläche des Ro-

torkernkörpers **104** befestigt. Außerdem ist der Rotorkern **16** so ausgebildet, dass ein Schlitz **20** zwischen bezogen auf die Umfangsrichtung jeweils benachbarten Dauermagneten **54** um die Drehachse des Rotors herum mit Abständen ausgebildet ist. Außerdem sind Rotorspulen **42n** und **42s** um die entsprechenden Dauermagnete **54** gewickelt. In diesem Fall sind die Rotorspulen **42n** und **42s** an mehreren Umfangsrichtungsabschnitten des Außenrandabschnitts des Rotorkerns **16** so gewickelt, dass sie zum Teil in den Schlitzen **20** angeordnet sind. Im vorliegenden Gestaltungsbeispiel sind Abschnitte, die in der Umfangsrichtung an mehreren Abschnitten des Rotors **14** mit den Dauermagneten **54** zusammenfallen, in der Umfangsrichtung als Magnetpole ausgebildet. Außerdem sind die Rotorspulen **42n** und **42s** jeweils von Dioden **21n** und **21s** kurzgeschlossen. Die Dioden **21n** und **21s** weisen unterschiedliche Polaritäten zwischen jeweils benachbarten Rotorspulen **42n** und **42s** auf. Die übrige Gestaltung und Betriebsweise sind denen des Ausführungsbeispiels, das in [Fig. 17](#) und [Fig. 18](#) dargestellt ist, gleich.

**[0131]** In den oben beschriebenen Ausführungsformen und Gestaltungsbeispielen ist die rotierende elektrische Maschine beschrieben, in der der Stator **12** und der Rotor **14** so angeordnet sind, dass sie einander in der radialen Richtung senkrecht zur Drehwelle **22** zugewandt sind. Jedoch kann die rotierende elektrische Maschine, die die oben beschriebenen Ausführungsformen darstellt, auch eine rotierende elektrische Maschine sein, in der der Stator **12** und der Rotor **14** so angeordnet sind, dass sie einander in der Richtung, die parallel ist zur Drehwelle **22** (der Richtung entlang der Drehachse), zugewandt sind. Außerdem ist oben der Fall beschrieben, wo der Rotor bezogen auf die radiale Richtung weiter innen angeordnet ist als der Stator, so dass er dem Stator zugewandt ist; jedoch kann der Aspekt der Erfindung auch durch die Gestaltung implementiert werden, dass der Rotor bezogen auf die radiale Richtung weiter außen angeordnet ist als der Stator, so dass er dem Stator zugewandt ist.

**[0132]** Wie oben beschrieben, weist ein Antriebssystem einer rotierenden elektrischen Maschine gemäß der vorliegenden Ausführungsform auf: eine rotierende elektrische Maschine mit einem Stator und einem Rotor, die so angeordnet sind, dass sie einander zugewandt sind; und eine Steuereinheit, die die Antriebseinheit steuert. Der Stator weist auf: einen Statorkern mit Statornuten, die an mehreren Umfangsrichtungsabschnitten ausgebildet sind, und mehrphasige Spulen, die durch die Statornuten als konzentrierte Wicklung um den Statorkern gewickelt sind. Der Rotor weist einen Rotorkern, Rotorspulen, die an mehreren Umfangsrichtungsabschnitten des Rotorkerns gewickelt sind, und eine Gleichrichtereinheit auf, die mit den Rotorspulen verbunden ist und magnetische Eigenschaften der jeweiligen Rotorspu-

len bezogen auf die Umfangsrichtung unter den in Mehrzahl vorhandenen Rotorspulen abwechselt. Der Rotor ändert magnetische Eigenschaften von Magnetpolabschnitten an mehreren Umfangsrichtungsabschnitten abwechselnd in der Umfangsrichtung. Die magnetischen Eigenschaften werden von Strömen erzeugt, die durch die jeweiligen Rotorspulen fließen. Die Steuereinheit weist eine Abwärts-/Aufwärtsimpuls-Überlagerungseinheit auf, die Abwärtsimpulsstrom für eine impulsförmige Abwärtswandlung über einen q-Achsenstrombefehl zum Durchlassen von Strömen durch die Statorspulen legt, um magnetische Feldflüsse in Richtungen zu erzeugen, die um einen elektrischen Winkel von 90 Grad in Bezug auf die Magnetpolrichtungen verfrüht sind, bei denen es sich um Wicklungsmittelachsenrichtungen der jeweiligen Statorspulen handelt, und Aufwärtsimpulsströme für eine impulsförmige Aufwärtswandlung über einen d-Achsenstrombefehl zum Durchlassen von Strömen durch die Statorspulen legt, um magnetische Feldflüsse in Richtung der Magnetpole zu erzeugen. Mit diesem Aufbau ist es weiter möglich, wie oben beschrieben, die rotierende elektrische Maschine zu erhalten, die in der Lage ist, ein Drehmoment auch in einem niedrigen Drehzahlbereich zu erhöhen und gleichzeitig zu vermeiden, dass zu starke Ströme durch die Statorspulen fließen.

**[0133]** Die Ausführungsformen der Erfindung sind oben beschrieben; jedoch ist der Aspekt der Erfindung nicht auf die obigen Ausführungsformen beschränkt. Der Aspekt der Erfindung kann selbstverständlich in verschiedenen Formen implementiert werden, ohne vom Bereich der Erfindung abzuweichen.

## 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 2009-112091 A [[0002](#), [0002](#)]
- JP 2007-185082 A [[0005](#), [0092](#)]
- JP 98908 A [[0005](#)]
- JP 110079 A [[0005](#)]
- JP 2010-98908 A [[0093](#)]
- JP 2010-11079 A [[0093](#)]

## Patentansprüche

1. Antriebssystem einer rotierenden elektrischen Maschine, aufweisend:

eine rotierende elektrische Maschine mit einem Stator und einem Rotor, die so angeordnet sind, dass sie einander zugewandt sind;

eine Antriebseinheit, die die rotierende elektrische Maschine antreibt; und

eine Steuereinheit, die die Antriebseinheit steuert, wobei

der Stator einen Stator Kern mit einer Mehrzahl von, bezogen auf die Umfangsrichtung, um eine Drehachse des Rotors voneinander beabstandeten Statornuten und mehrphasige Statorspulen aufweist, die in einer konzentrierten Wicklung durch die Statornuten um den Stator Kern gewickelt sind,

der Rotor einen Rotorkern mit einer Mehrzahl von, bezogen auf die Umfangsrichtung, um eine Drehachse des Rotors voneinander beabstandeten Rotornuten, Rotorspulen, die an mehreren Umfangsrichtungsabschnitten des Rotorkerns so gewickelt sind, dass sie zumindest zum Teil in den Rotornuten angeordnet sind, und eine Gleichrichtereinheit aufweist, die mit den Rotorspulen verbunden ist und die magnetische Eigenschaften der jeweiligen Rotorspulen zwischen den in Mehrzahl vorhandenen Rotorspulen in der Umfangsrichtung abwechselt,

wobei der Rotor magnetische Eigenschaften von Magnetpolabschnitten, die an mehreren Umfangsrichtungsabschnitten angeordnet sind, in der Umfangsrichtung abwechselt, wobei die magnetischen Eigenschaften von Strömen erzeugt werden, die durch die jeweiligen Rotorspulen fließen, und

die Steuereinheit eine Abwärts-/Aufwärtsimpuls-Überlagerungseinheit aufweist, die einen Abwärtsimpulsstrom für eine impulsförmige Abwärts wandlung über einen q-Achsenstrombefehl zum Durchlassen von Strömen durch die Statorspulen legt, um magnetische Feldflüsse in Richtungen zu erzeugen, die um einen elektrischen Winkel von 90 Grad in Bezug auf die Magnetpolrichtungen verfrüht sind, bei denen es sich um Wicklungsmittelachsenrichtungen der jeweiligen Rotorspulen handelt, und einen Aufwärtsimpulsstrom für eine impulsförmige Aufwärts wandlung über einen d-Achsenstrombefehl zum Durchlassen von Strömen durch die Statorspulen legt, um magnetische Feldflüsse in Richtung der Magnetpole zu erzeugen.

2. Antriebssystem für eine rotierende elektrische Maschine nach Anspruch 1, wobei die Abwärts-/Aufwärtsimpuls-Überlagerungseinheit den Aufwärtsimpulsstrom über den d-Achsenstrombefehl legt und den Abwärtsimpulsstrom nicht über den q-Achsenstrombefehl legt, wenn ein Ausgangsdrehmoment der rotierenden elektrischen Maschine unter oder bei einem Schwellenwert liegt, und den Aufwärtsimpulsstrom über den d-Achsenstrombefehl legt und den Abwärtsimpulsstrom über den q-Achsenstrombefehl

legt, wenn das Ausgangsdrehmoment den Schwellenwert übersteigt.

3. Antriebssystem für eine rotierende elektrische Maschine nach Anspruch 1, wobei die Abwärts-/Aufwärtsimpulsstrom-Überlagerungseinheit den Abwärtsimpulsstrom über den q-Achsenstrombefehl legt und den Aufwärtsimpulsstrom über den d-Achsenstromwert legt, so dass ein Stromvektor nach Überlagerung von Statorströmen, die durch die Statorspulen geleitet werden sollen, mit dem Impulsstrom in einem Steuerzirkelkreis liegt, der von einem distalen Ende eines Stromvektors beschrieben wird, der in einem d-q-Koordinatensystem definiert ist, wenn der Impulsstrom nicht über die Statorströme gelegt wird.

4. Antriebssystem einer rotierenden elektrischen Maschine nach einem der Ansprüche 1 bis 3, wobei jede von den Rotorspulen mit irgendeinem von den Gleichrichterelementen verbunden ist, die als Gleichrichtereinheit dienen und deren Vorwärtsrichtungen zwischen irgendwelchen zwei in der Umfangsrichtung des Rotors benachbarten Rotorspulen einander entgegengesetzt sind, und die Gleichrichterelemente Ströme gleichrichten, die durch induzierte elektromotorische Kräfte erzeugt werden und durch die Rotorspulen fließen sollen, um dadurch Phasen von Strömen, die durch irgendwelche zwei in der Umfangsrichtung benachbarte Rotorspulen fließen, zwischen einer A-Phase und einer B-Phase abwechselnd zu ändern.

5. Antriebssystem für eine rotierende elektrische Maschine nach Anspruch 4, wobei die Gleichrichterelemente ein erstes Gleichrichterelement und ein zweites Gleichrichterelement sind, die jeweils mit den entsprechenden Rotorspulen verbunden sind, und

das erste Gleichrichterelement und das zweite Gleichrichterelement unabhängig voneinander Ströme, die aufgrund der erzeugten induzierten elektromotorischen Kräfte erzeugt werden, gleichrichten, so dass die gleichgerichteten Ströme durch die entsprechenden Rotorspulen fließen, und die magnetischen Eigenschaften der Magnetpolabschnitte an mehreren Umfangsrichtungsabschnitten in Umfangsrichtung abwechselnd ändern, wobei die magnetischen Eigenschaften durch Ströme erzeugt werden, die durch die entsprechenden Rotorspulen fließen.

6. Antriebssystem einer rotierenden elektrischen Maschine nach einem der Ansprüche 1 bis 5, wobei der Rotorkern Schenkelpole aufweist, bei denen es sich um die in Mehrzahl vorhandenen Magnetpolabschnitte handelt, die bezogen auf die Umfangsrichtung des Rotors mit Abständen angeordnet sind und die zum Stator hin vorstehen, und die Schenkelpole magnetisiert werden, wenn Ströme, die von den Gleichrichterelementen gleichgerichtet

werden, durch die Rotorspulen fließen, wodurch sie als Magnete mit festen Magnetpolen fungieren.

7. Antriebssystem für eine rotierende elektrische Maschine nach Anspruch 5, wobei der Rotorkern Schenkelpole aufweist, bei denen es sich um die in Mehrzahl vorhandenen Magnetpolabschnitte handelt, die bezogen auf die Umfangsrichtung des Rotors mit Abständen angeordnet sind und die zum Stator hin vorstehen, die Schenkelpole magnetisiert werden, wenn Ströme, die von den Gleichrichterelementen gleichgerichtet werden, durch die Rotorspulen fließen, wodurch sie als Magnete mit festen Magnetpolen fungieren, der Rotor ferner Hilfsrotorspulen aufweist, die an proximalen Abschnitten der jeweiligen Schenkelpole gewickelt sind, irgendwelche zwei von den Hilfsrotorspulen, die um, bezogen auf die Umfangsrichtung des Rotors, irgendwelche zwei benachbarte von den Schenkelpolen gewickelt sind, miteinander in Reihe verbunden sind, um einen Hilfsspulensatz zu bilden, die einen Enden von irgendwelchen zwei benachbarten Rotorspulen die, bezogen auf die Umfangsrichtung des Rotors, um irgendwelche zwei benachbarte von den Schenkelpolen gewickelt sind, an einem Verbindungspunkt über die jeweiligen entsprechenden Gleichrichterelemente so verbunden sind, dass die jeweiligen entsprechenden Gleichrichterelemente einander aus entgegengesetzten Richtungen zugewandt sind, die anderen Enden der irgendwelchen zwei benachbarten Rotorspulen, die um irgendwelche zwei, bezogen auf die Umfangsrichtung des Rotors, benachbarte Schenkelpole gewickelt sind, jeweils mit einem Ende des Hilfsspulensatzes verbunden sind, und der Verbindungspunkt mit dem andern Ende des Hilfsspulensatzes verbunden ist.

8. Antriebssystem für eine rotierende elektrische Maschine nach Anspruch 6 oder 7, wobei eine Breite von jedem Schenkelpol in der Umfangsrichtung des Rotors kleiner ist als eine Breite, die einem elektrischen Winkel von  $180^\circ$  entspricht, und jede von den Rotorspulen in verkürzten Wickelschritten um einen entsprechenden von den Schenkelpolen gewickelt ist.

9. Antriebssystem für eine rotierende elektrische Maschine nach Anspruch 8, wobei eine Breite von jeder Rotorspule in der Umfangsrichtung des Rotors einer Breite, die einem elektrischen Winkel von  $90^\circ$  entspricht, gleich ist.

Es folgen 22 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

FIG. 1

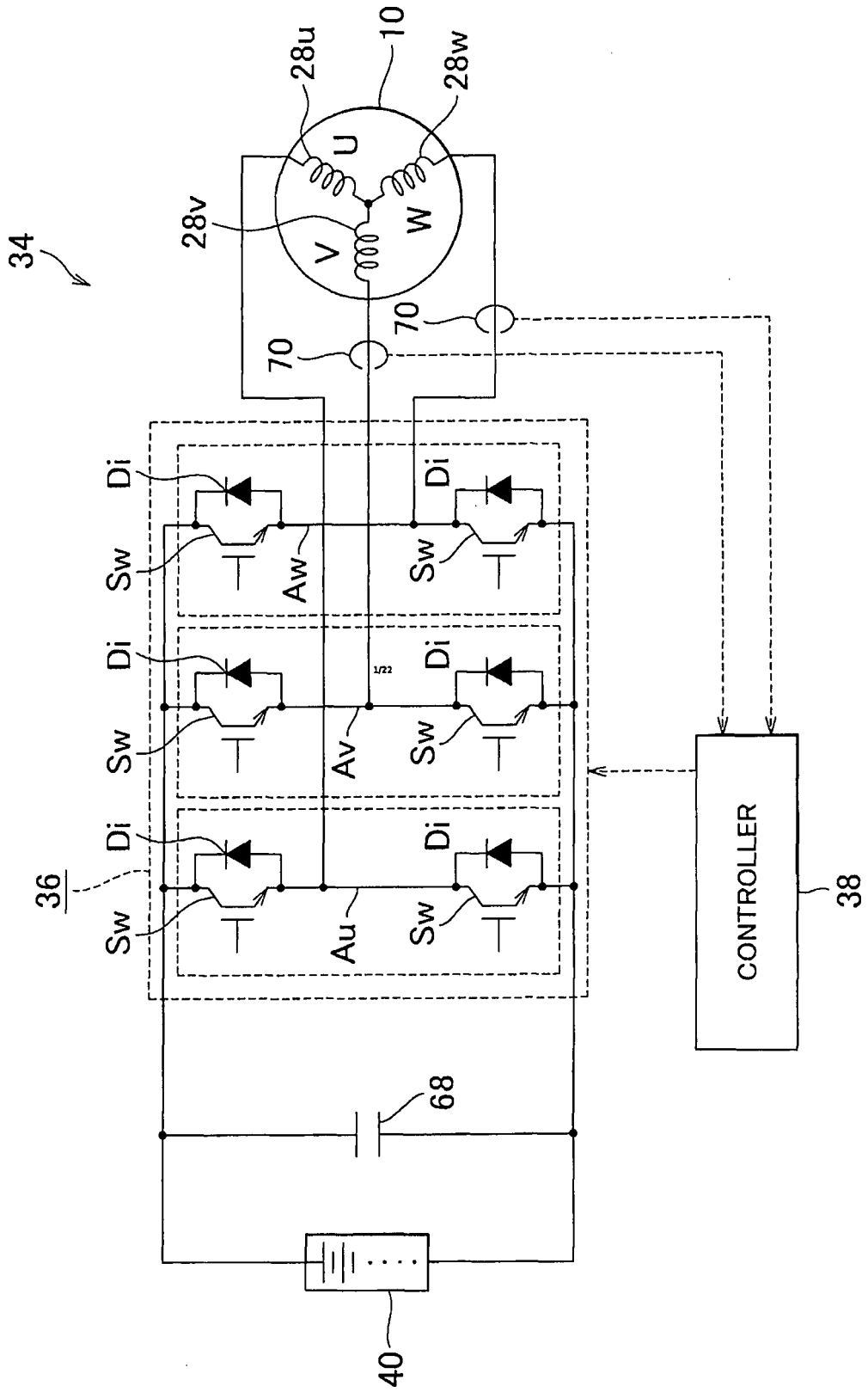


FIG. 2

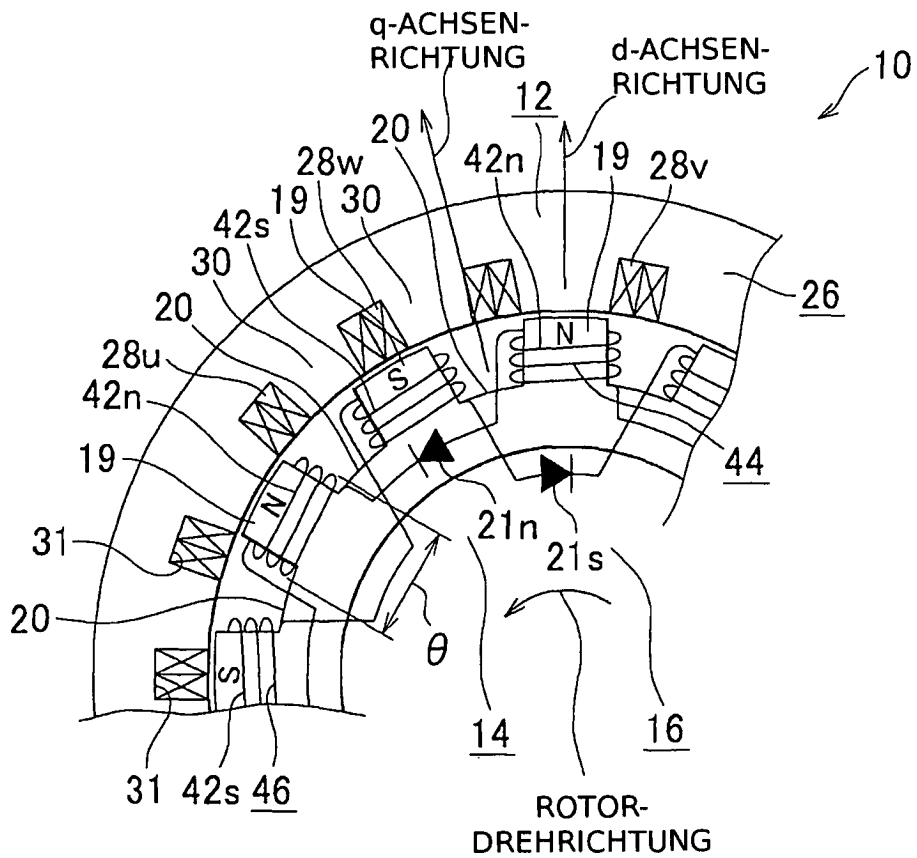


FIG. 3A

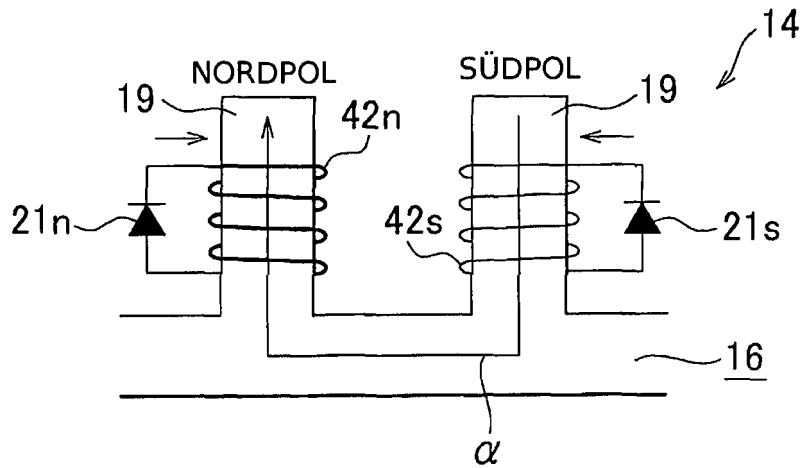


FIG. 3B

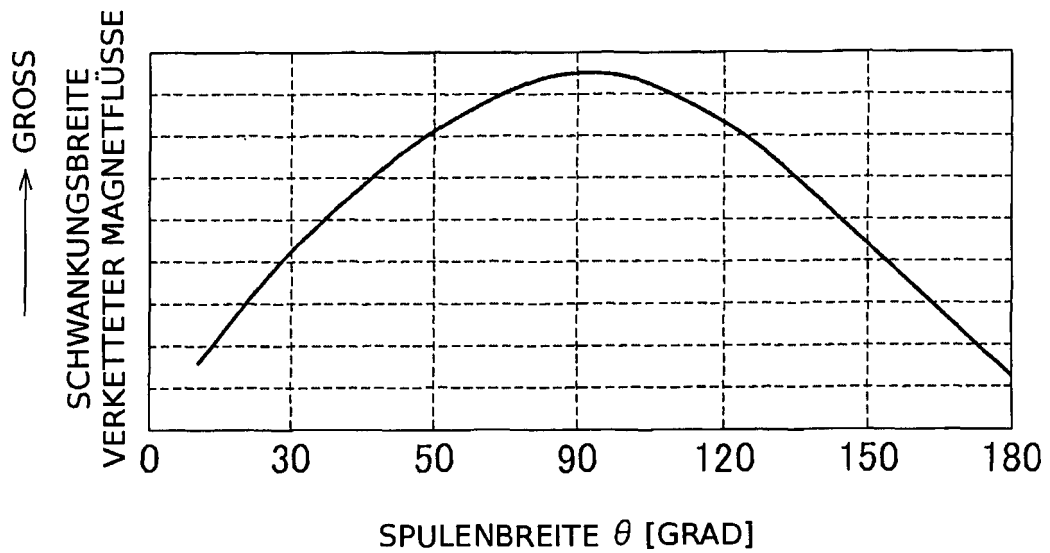


FIG. 4

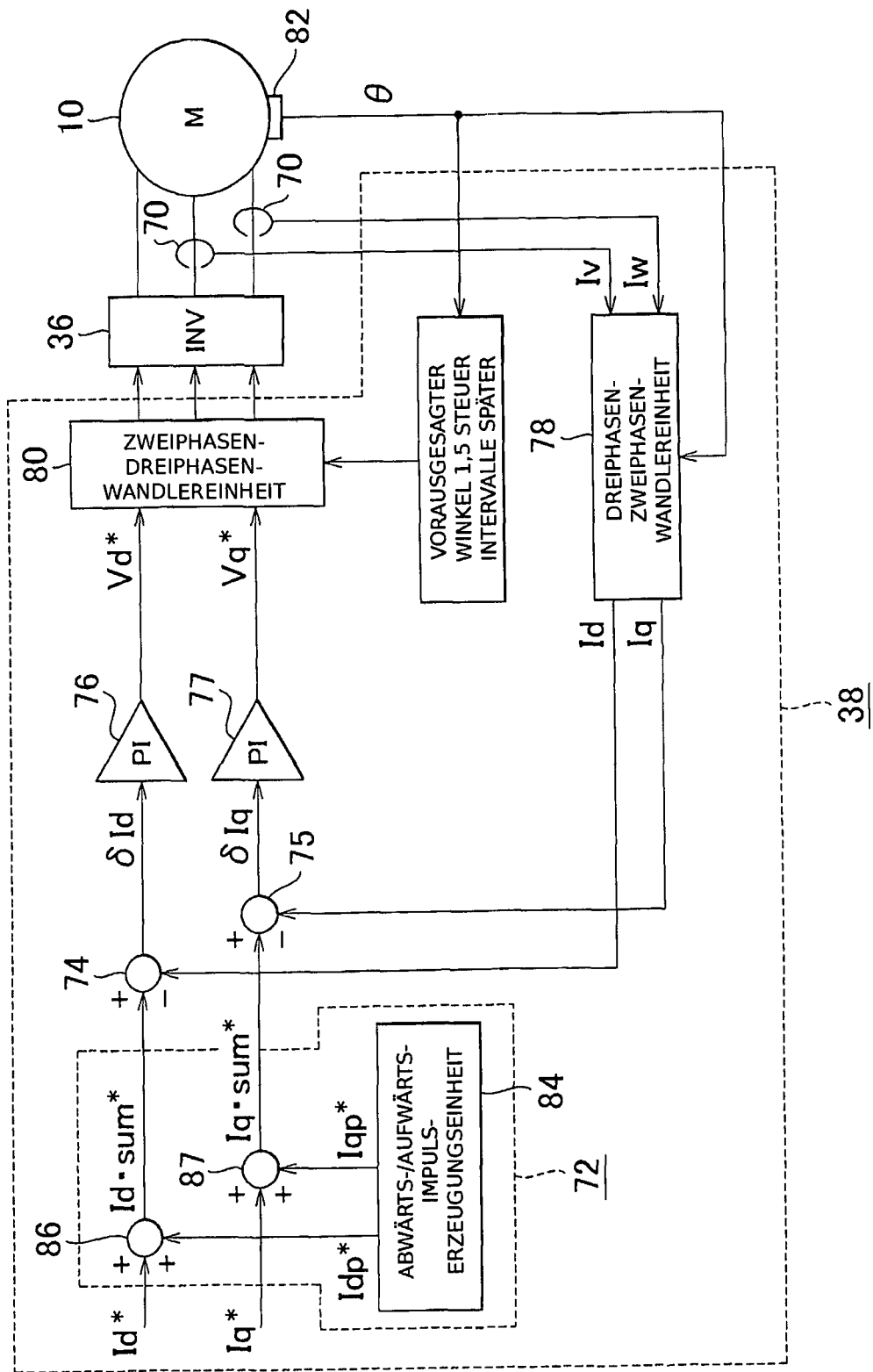


FIG. 5A

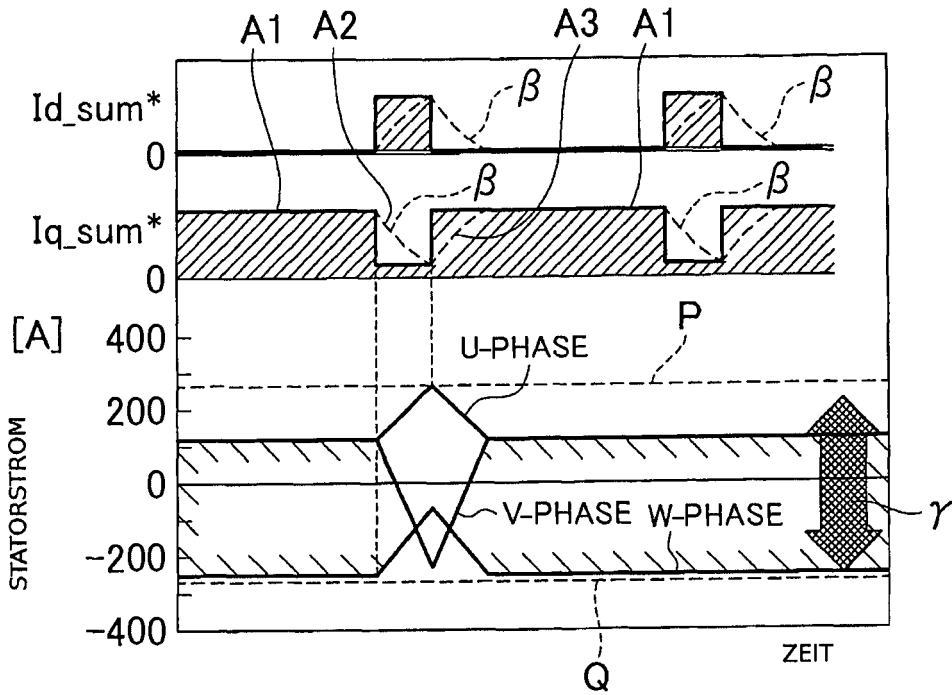


FIG. 5B

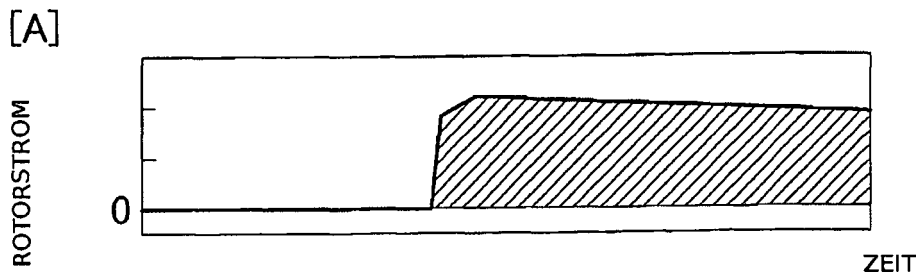


FIG. 6

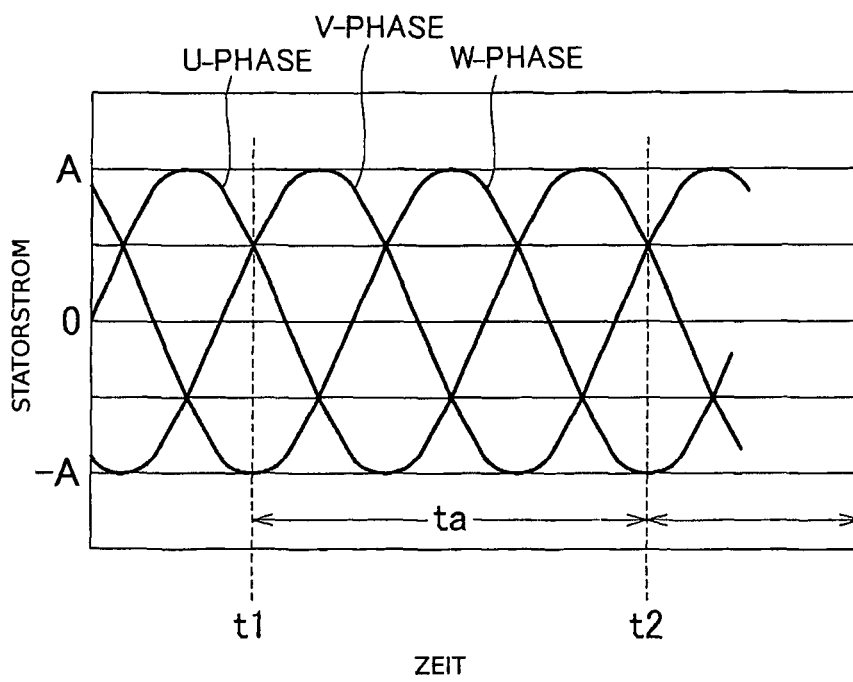


FIG. 7A

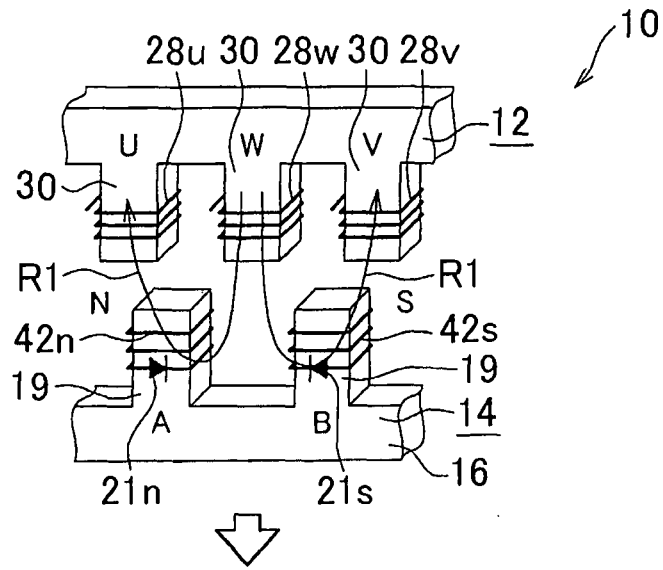


FIG. 7B

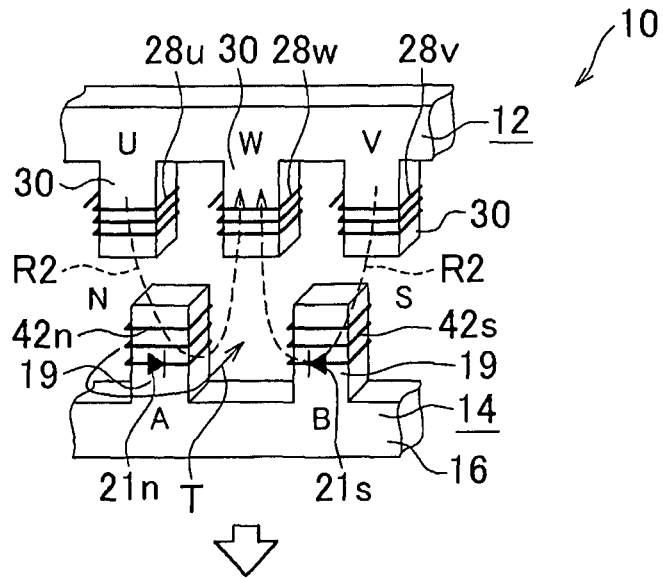


FIG. 7C

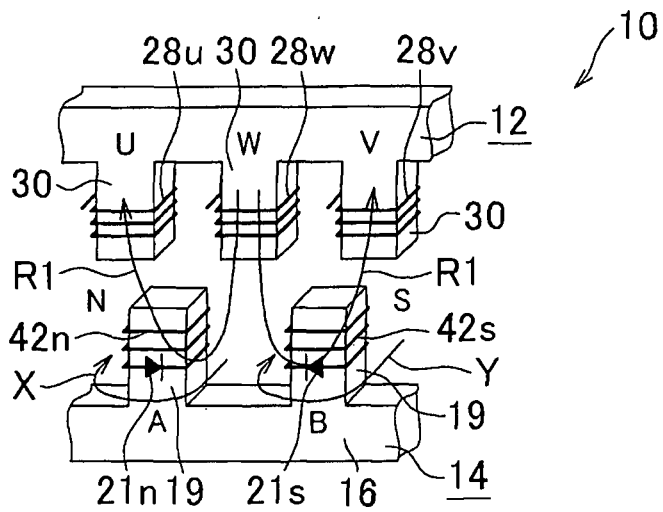




FIG. 10

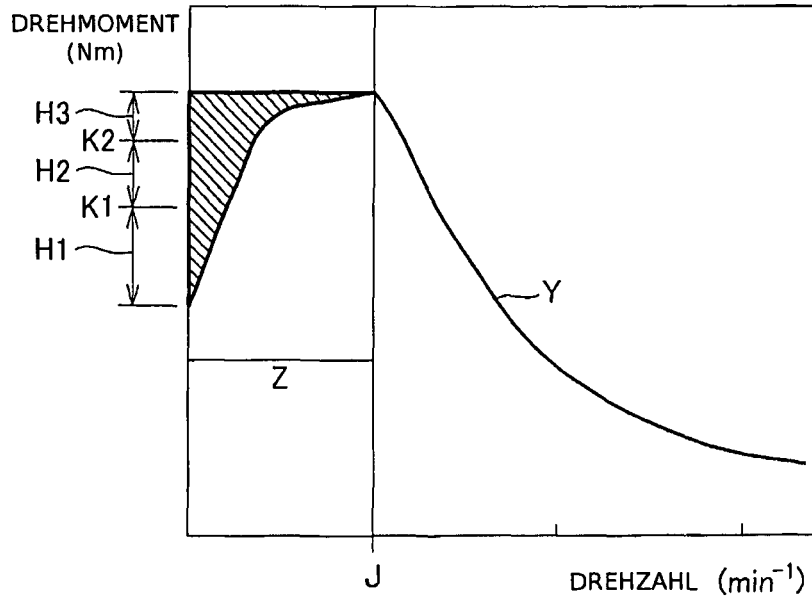


FIG. 11

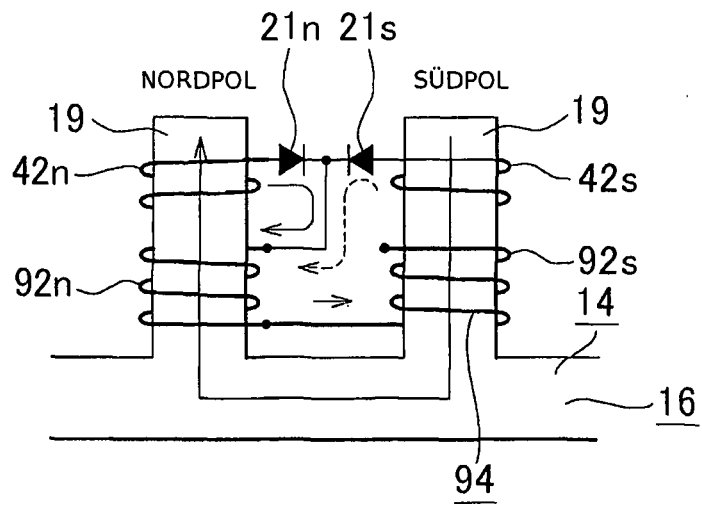




FIG. 14

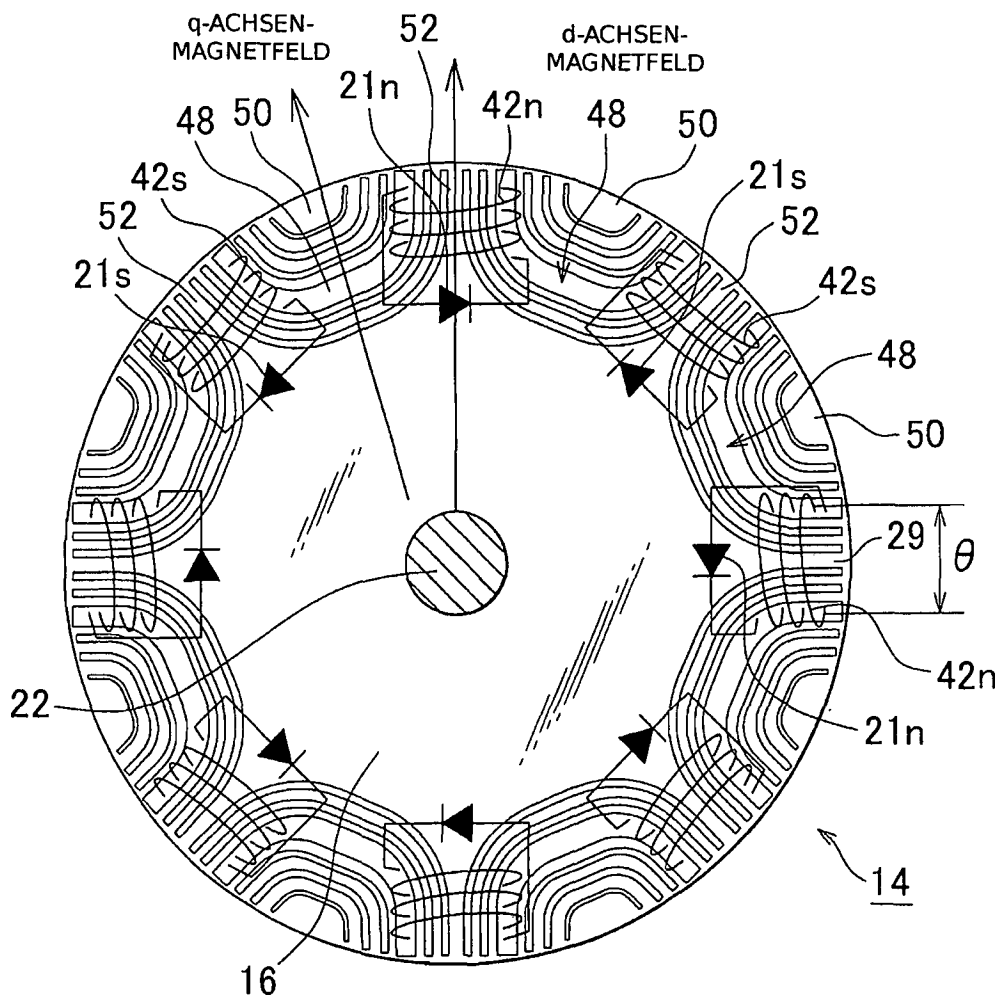


FIG. 15

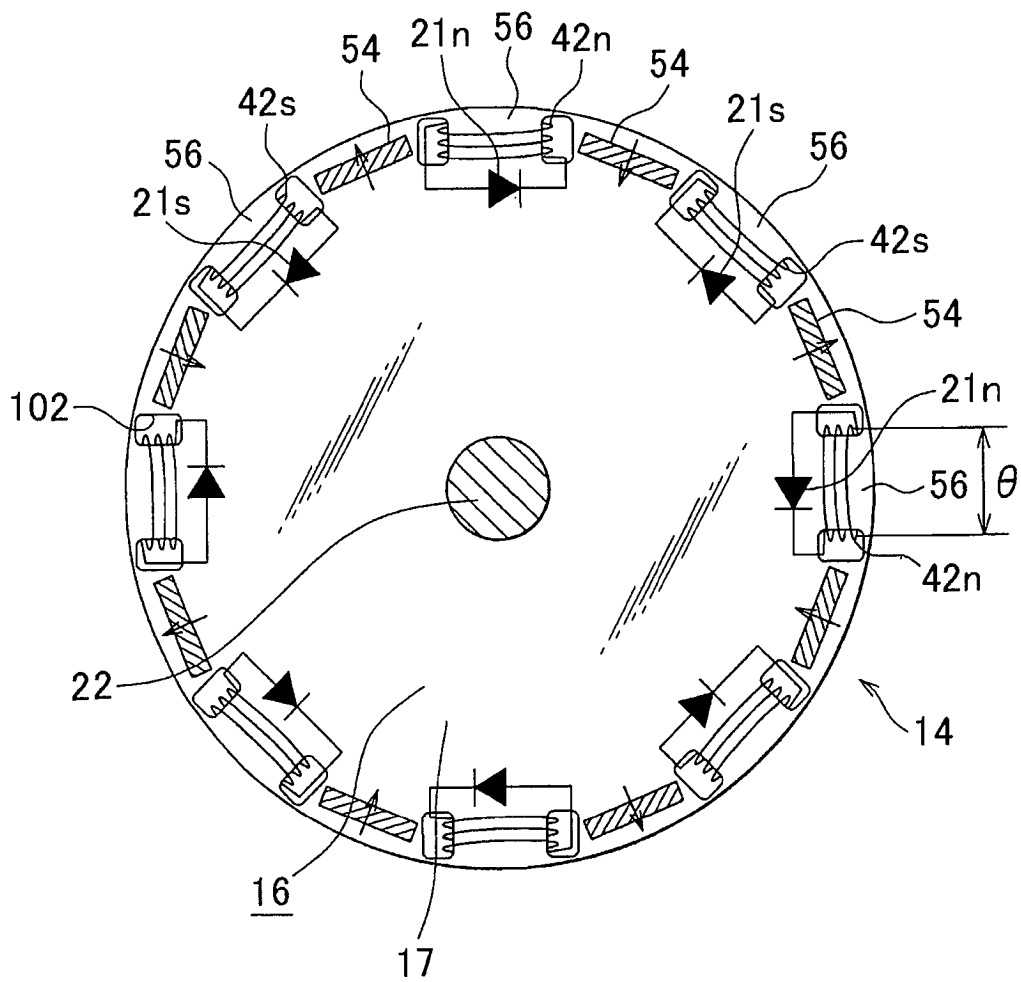




FIG. 17

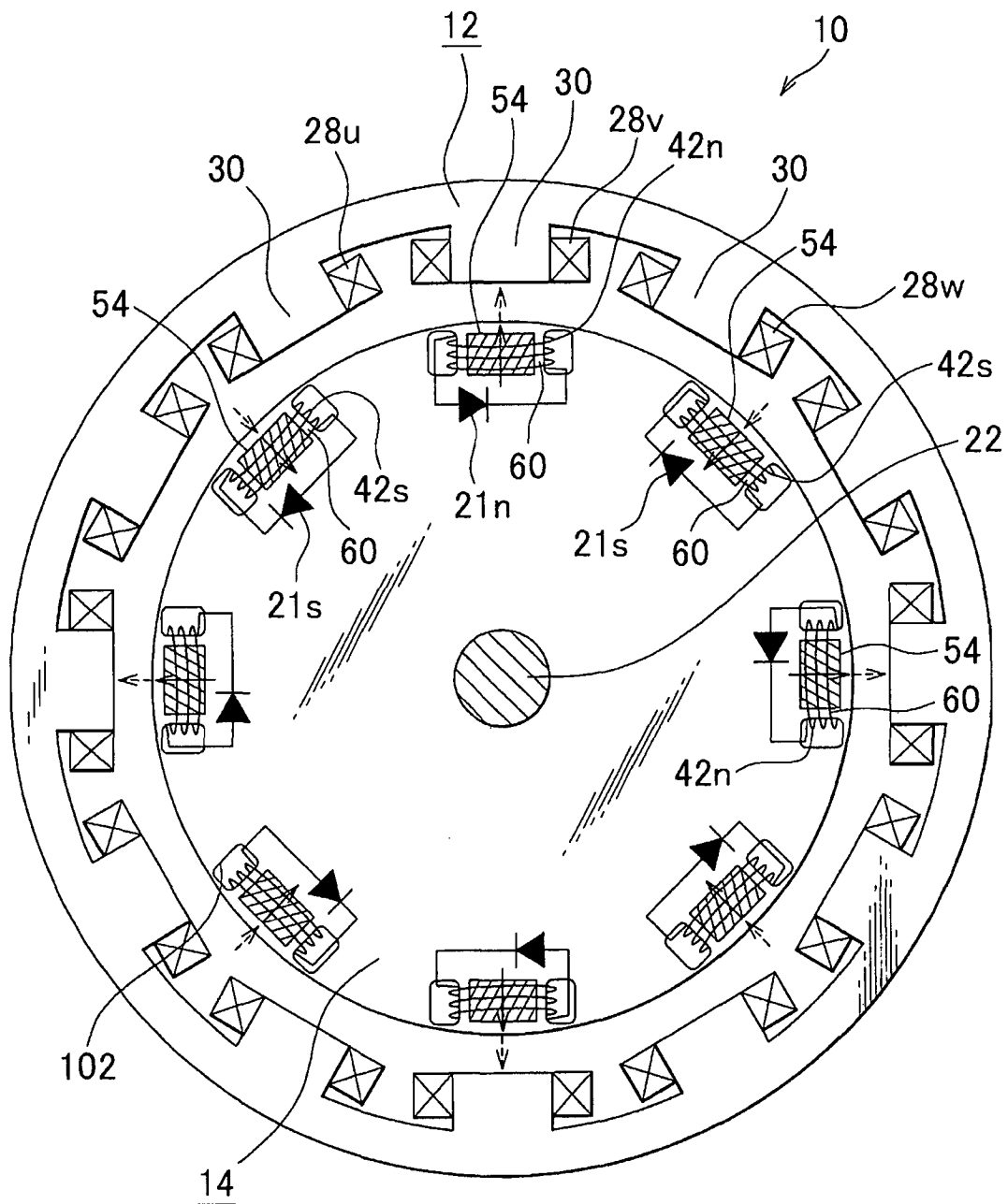


FIG. 18

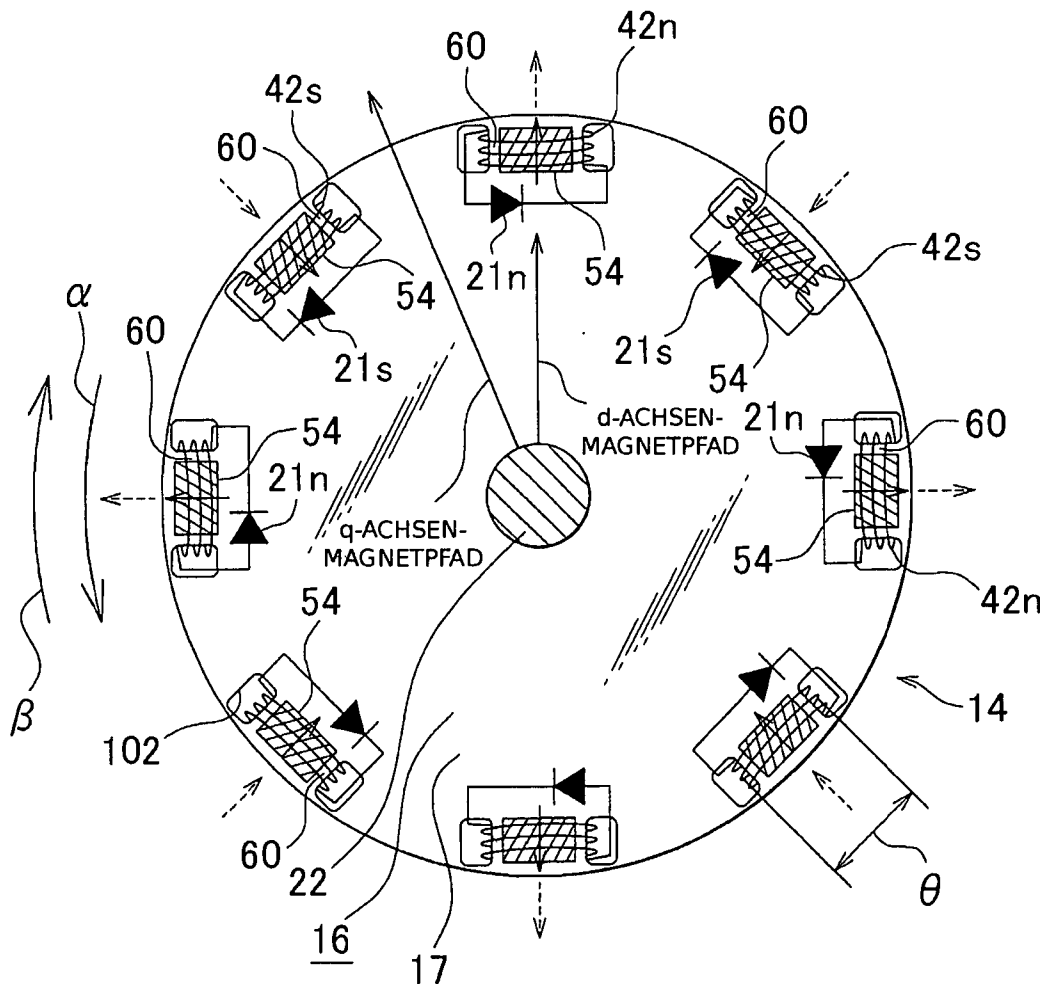


FIG. 19

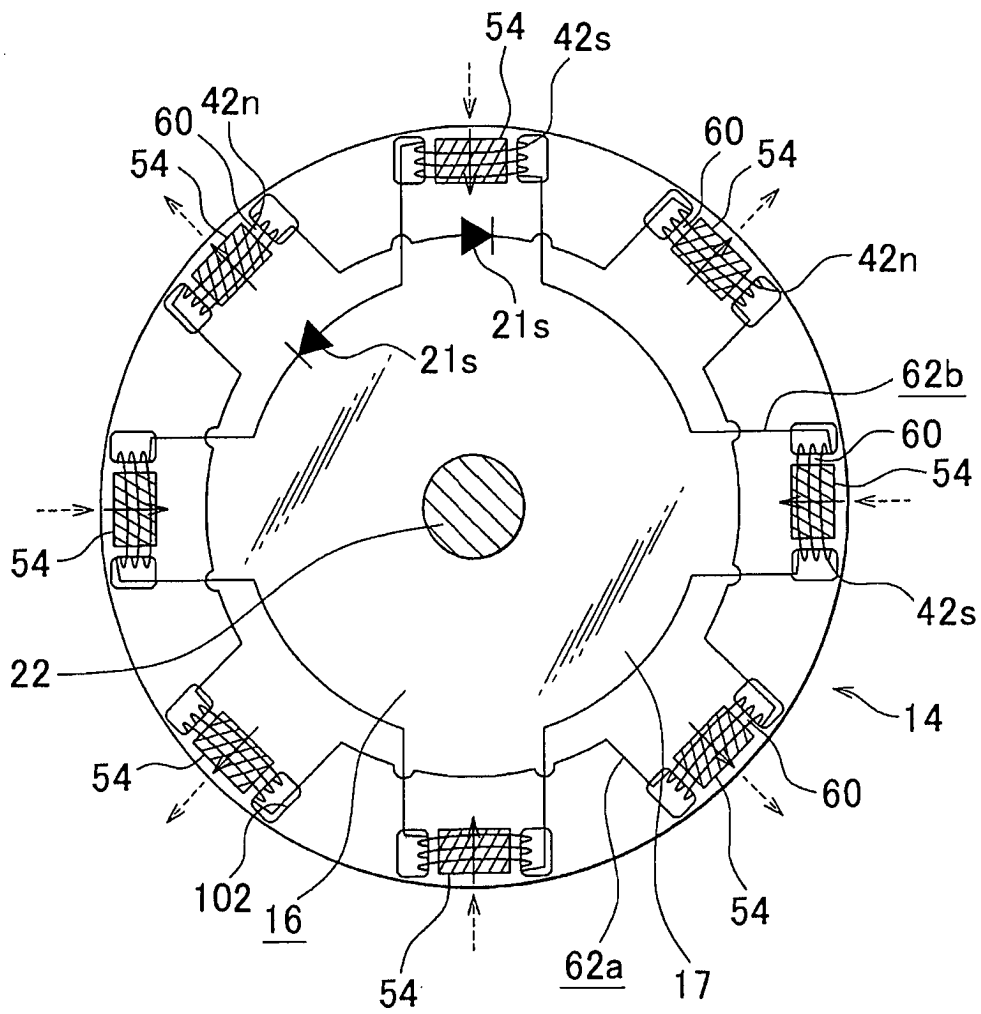


FIG. 20

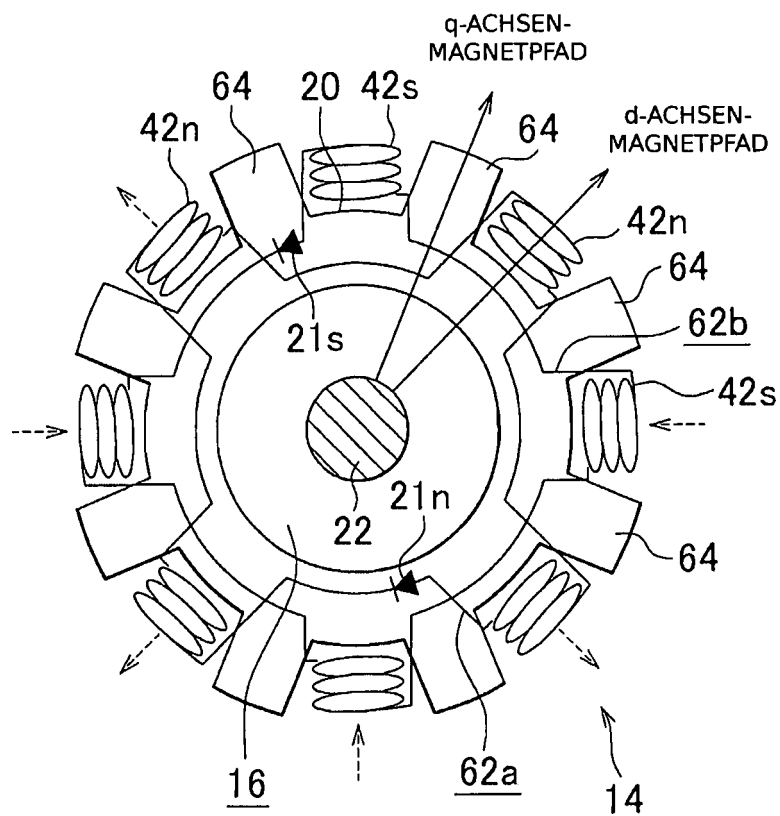


FIG. 21

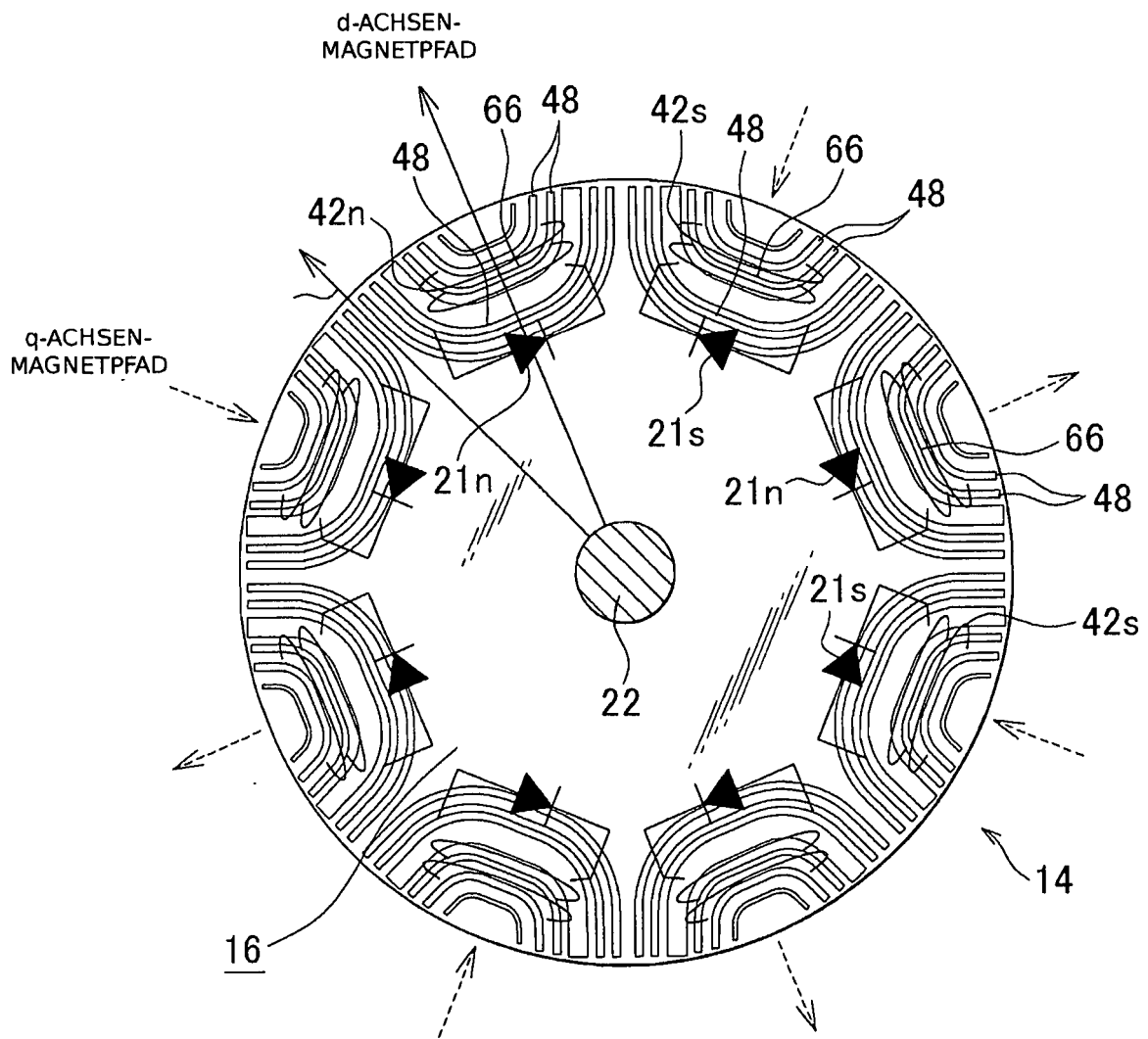
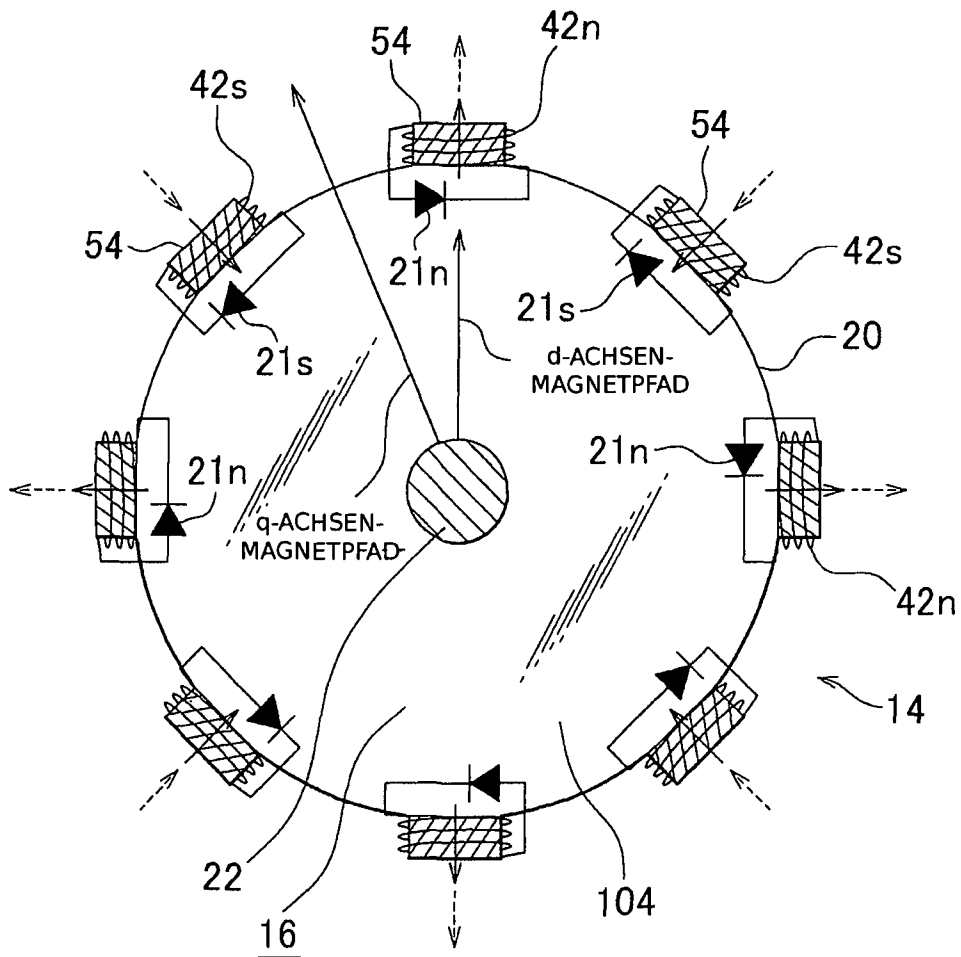
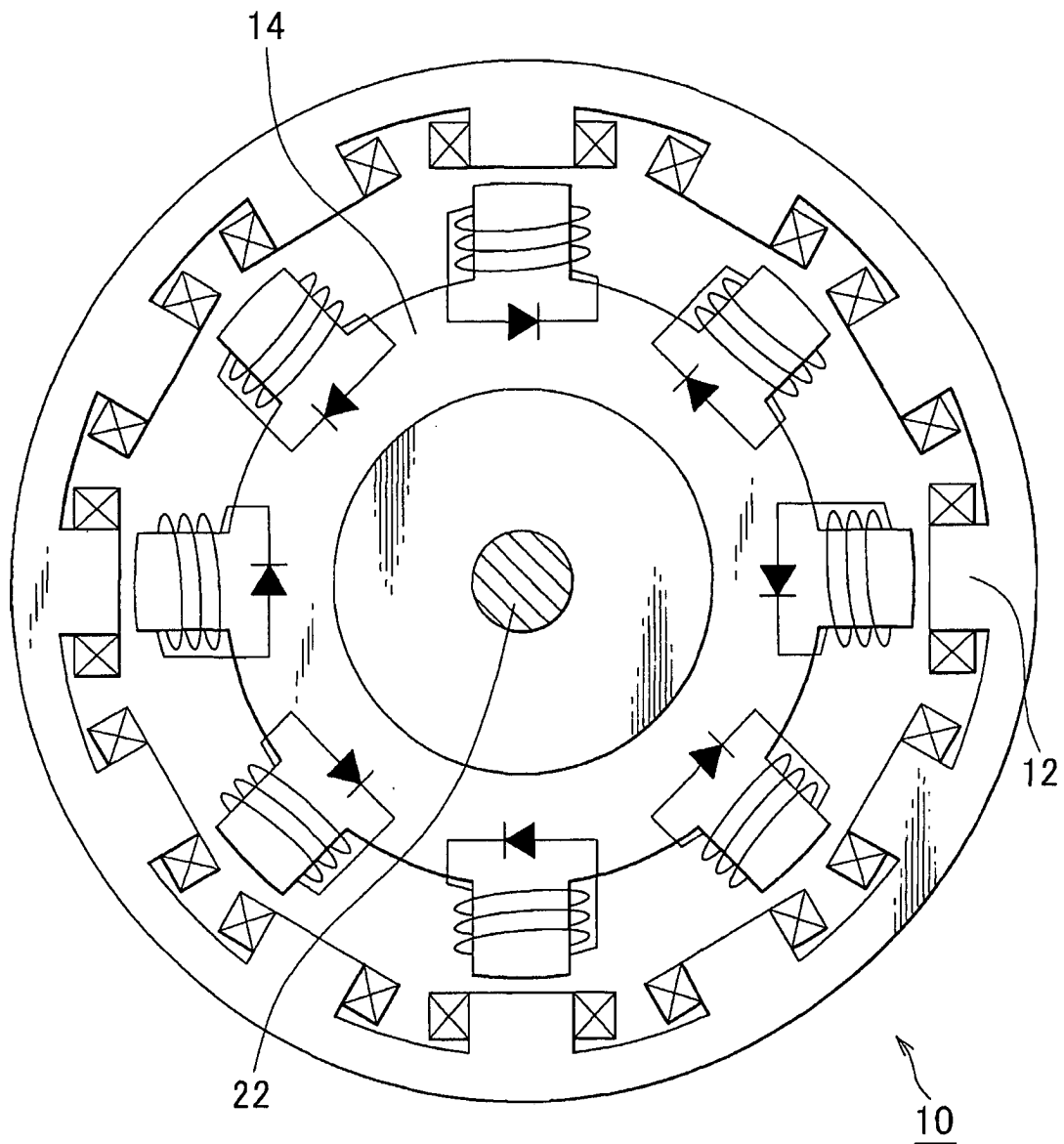


FIG. 22



# FIG. 23

STAND DER TECHNIK



# FIG. 24

STAND DER TECHNIK

