

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES
PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum
Internationales Büro

(43) Internationales Veröffentlichungsdatum
04. Juni 2020 (04.06.2020)



(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2020/108692 A1

(51) Internationale Patentklassifikation:

H02K 1/14 (2006.01) *H02K 49/06* (2006.01)
H02K 19/08 (2006.01) *H02K 21/14* (2006.01)
H02K 19/10 (2006.01) *H02P 25/22* (2006.01)
H02K 21/04 (2006.01)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/DE2019/100969

(22) Internationales Anmeldedatum:

12. November 2019 (12.11.2019)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:

10 2018 129 743.2

26. November 2018 (26.11.2018) DE

(71) Anmelder: **SCHAEFFLER TECHNOLOGIES AG & CO. KG** [DE/DE]; Industriestraße 1-3, 91074 Herzogenaurach (DE).

(72) Erfinder: **NOLTE, Christian**; Centstraße 1, 97437 Haßfurt (DE). **GRAMANN, Matthias**; Lilienweg, 77871 Renchen (DE). **FRITZ, Martin**; Burgunderweg 2, 77815 Bühl (DE).

(81) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare nationale Schutzrechtsart): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA,

(54) Title: PM SYNCHRONOUS MOTOR HAVING A DEVICE FOR PARAMETERIZING THE MAGNETS AND HAVING AN INTEGRATED BRAKING FUNCTION

(54) Bezeichnung: PM-SYNCHRONMOTOR MIT VORRICHTUNG ZUR PARAMETRIERUNG DER MAGNETE UND INTEGRIERTER BREMSFUNKTION

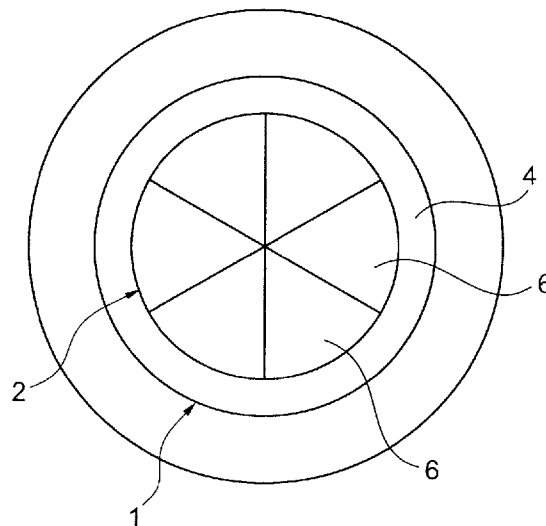


Fig. 1

(57) Abstract: The invention relates to an electric motor, comprising a stator (1) and a rotor (2), wherein: the rotor (2) has permanent magnets (3) capable of magnetic reversal; the stator (1) is divided into n portions (4) over the circumference of the stator in order to control individual portions (4) separately from one another or in combination with one another by means of a plurality of drive elements (5). The invention further relates to a method for driving an electric motor, wherein the n portions (4) of the stator (1), which are divided over the circumference of the stator, are controlled separately from one another or in combination with one another by means of a plurality of drive elements (5).

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft einen Elektromotor, umfassend einen Stator (1) und einen Rotor (2), wobei der Rotor

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]



WO 2020/108692 A1



SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN,
TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

- (84) Bestimmungsstaaten** (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare regionale Schutzrechtsart): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), europäisches (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Erklärungen gemäß Regel 4.17:

- hinsichtlich der Identität des Erfinders (Regel 4.17 Ziffer i)
- Erfindererklärung (Regel 4.17 Ziffer iv)

Veröffentlicht:

- mit internationalem Recherchenbericht (Artikel 21 Absatz 3)

(2) ummagnetisierbare Permanentmagnete (3) aufweist, wobei der Stator (1) in n Teilbereiche (4) über dessen Umfang unterteilt ist, um einzelne Teilbereiche (4) separat voneinander oder in Kombination miteinander über eine Vielzahl von Antriebselementen (5) anzusteuern. Die Erfindung betrifft auch ein Verfahren zum Antreiben eines Elektromotors, wobei die n Teilbereiche (4) des Stators (1), welche über dessen Umfang unterteilt sind, separat voneinander oder in Kombination miteinander über eine Vielzahl an Antriebselementen (5) angesteuert werden.

PM-Synchronmotor mit Vorrichtung zur Parametrierung der Magnete und integrierter Bremsfunktion

Die Erfindung betrifft einen Elektromotor und ein Verfahren zum Antreiben eines Elektromotors.

Insbesondere betrifft die Erfindung einen Elektromotor, insbesondere einen permanentenerregten Synchronmotor, umfassend einen Stator und einen Rotor, wobei der Rotor ummagnetisierbare Permanentmagnete, insbesondere Alnico-Magnete, aufweist.

Aus dem Stand der Technik sind bereits Motoren bekannt, die die Funktion einer Hysteresebremse besitzen. Zum Beispiel offenbart die EP 3 173 282 A1 ein elektrisch angetriebenes Fahrzeug mit mindestens einer elektrischen Maschine mit einem Stator und einem Rotor mit einem Rotorkern, wobei der Rotor mit mindestens einem Antriebsrad kinematisch verbunden ist, wobei die elektrische Maschine mit einer Steuereinrichtung und einer Energiequelle verbunden ist. Die elektrische Maschine ist als Hysteresemaschine ausgelegt, wobei der Rotorkern des Rotors ein hartmagnetisches Material umfasst, wobei der Rotor mindestens einen Kühlkanal für ein Kühlmittel umfasst. Dies ermöglicht eine hohe Dauerbremsleistung bei sehr begrenzter Kapazität der Stromleitung.

Hierbei ist der prinzipielle Betriebsmodus einer Hysteresebremse beschrieben, die das Bremsmoment abhängig vom Zustand der Leistungselektronik und Batterie durch einen Schlupf zwischen dem Rotor und dem umlaufenden Statorfeld einstellt.

Aktuelle permanentenerregte Synchronmotoren besitzen den Nachteil einer geringen Effizienz bezüglich einer hohen Drehzahl. Der Grund hierfür ist, dass zur Drehzahlerhöhung ein wesentlicher Anteil der Spulenbestromung zur Feldschwächung aufgebracht werden muss und dies zu einem hohen ohmschen Verlust führt. Der Bereich optimaler Effizienz liegt häufig in Bereichen, die für den Fahrzyklus nur sehr begrenzt relevant sind. Dieser optimale Bereich ist in konventionellen Motoren festgelegt und kann nicht verlegt werden. Eine Feldschwächung wird bei einer rotierenden elektrischen Maschi-

nen als eine Verringerung des magnetischen Flusses der Erregerwicklung bezeichnet, welche eine Drehzahlveränderung verursacht.

Ein Rotor enthält Dauermagnete, die im Betrieb durch Interaktion mit dem Stator modifizierbar sind. Das können Segmente oder eine hartmagnetische Zylinderhülse sein, die vergraben oder an der Oberfläche montiert sind. Ein Magnetfluss wird in den Stator und Rotor durch geeignete Flussleitelemente geführt. Die Ausbildung der Rotorpole, in anderen Worten die Magnetisierung des Rotors, erfolgt durch eine geeignete Bestromung des Stators. Zum Beispiel erfolgt die Bestromung des Stators durch die Erzeugung eines Statorfelds, welches unabhängig von der Rotorposition ist. Hierbei ist ein Vorteil, dass während der Montage kein eigener Magnetisierungsprozess notwendig ist.

Eine Ummagnetisierung kann immer, sowohl bei Stillstand als auch während dem Betrieb, reproduziert werden, um gezielt Betriebspunkte einzustellen. Zum Beispiel ist dies wahrscheinlich notwendig, wenn zuvor im Hysteresemodus verzögert wurde. Durch diese Ummagnetisierung besteht keine Gefahr einer irreversiblen Entmagnetisierung des Rotors. Dies ermöglicht in einer Funktionsbaugruppe den Betrieb als Hysteresebremse, insbesondere mit einem statischen Feld, und als Antriebsmotor bzw. Generator, insbesondere einen Synchronbetrieb, dessen optimaler Arbeitspunkt verschoben werden kann.

Es ist die Aufgabe der Erfindung, einen Elektromotor bereitzustellen, welche den Bereich der optimalen Effizienz je nach Bedarf sinnvoll verwenden kann. Somit soll der Elektromotor mit einer hohen Effizienz und/oder Flexibilität angetrieben werden.

Die Aufgabe der Erfindung wird bei einer gattungsmäßigen Vorrichtung erfindungsgemäß dadurch gelöst, wenn der Stator in n Teilbereiche über dessen Umfang, d. h. entlang der Umfangsrichtung, unterteilt ist, um einzelne Teilbereiche separat voneinander oder in Kombination miteinander über eine Vielzahl an Antriebselementen, insbesondere Leistungselektronikeinheiten, anzusteuern. In anderen Worten zielt die Erfindung auf einen Statoraufbau ab, der aus separaten Teilbereichen besteht und

diese diskrete Unterteilung des Stators genutzt werden kann, um die Magnete in den Teilbereichen der Maschinen zu skalieren und im restlichen Teil des Motors weiterhin anzutreiben. Das hat den Vorteil, dass durch eine gezielte Reduktion des Rotormagnetflusses weitgehend auf einen Feldschwächungsbetrieb verzichtet werden kann.

- 5 Zudem wird das Rotormagnetfeld skaliert, um so den Bereich optimaler Effizienz zu verschieben. Hierbei ist es bevorzugt, wenn zumindest zwei Teilbereiche am Stator ausgebildet sind.

- 10 Vorteilhafte Ausführungsformen sind in den Unteransprüchen beansprucht und werden nachfolgend näher erläutert.

- 15 So ist es beispielsweise zweckmäßig, wenn die n Teilbereiche als separate Teilmotoren wirken. Dadurch können betriebspunktselektiv bestimmte Teile des Motors ab und/oder zugeschaltet werden, wodurch der Stator mit mehreren separat funktionierenden Teilmotoren betrieben wird. Die einzelnen Teilmotoren können gemäß ihrer Aktivierung in der Betriebsstrategie unterschiedlich optimiert sein. In der Regel werden diese für einen bestimmten Betriebsbereich des Motorkennfelds und hier z.B. auf Effizienz optimiert. Das schließt auch eine unterschiedliche Auslegung der Teilmotoren ein.

20

- Ferner ist es vorteilhaft, wenn die Permanentmagnete und die als Leistungselektronikeinheiten konfigurierten Antriebselemente einen generatorischen und/oder einen Hysteresebremsmodus hervorrufen. In anderen Worten, ist es durch die vorstehend beschriebene Unterteilung des Stators möglich, auf diese Weise generatorisch oder
25 im Hysteresebremsmodus zu verzögern und somit eine Hysteresebremsfunktion zu integrieren. Daraus folgen unabhängige Bereiche, in denen auf dem gesamten Stator generatorisch oder im Hysteresebremsmodus verzögert wird. Die Anzahl der unabhängigen Bereiche ist an die Anforderung bezüglich der Stufen des Bremsmoments optimiert/anzupassen. Darüber hinaus sind Strategien zum Betreiben des Elektromotors als Hysteresebremse mit der Möglichkeit / dem Potential gleichzeitig zu rekuperieren vorgesehen.
30

Eine Hysteresebremse ist eine Bremse, die auf der Wirkung eines Magneten oder Elektromagneten auf ein sich bewegendes, ferromagnetisches Material basiert. Hierbei entsteht der Energieverlust durch die wiederholte Ummagnetisierung des Materials. Ein wesentlicher Vorteil bei der Verwendung der Hysteresebremse ist, dass diese
5 nicht geschwindigkeits-/drehzahlabhängig ist und vom Stillstand bis zu einer maximalen Geschwindigkeit gleichmäßig funktioniert. Gleichzeitig weist eine Hysteresebremse eine sehr lange Lebensdauer auf.

Daraus ergibt sich der Vorteil, dass die notwendige Energie zum Anlegen des statischen Felds aus der rekuperierten Energie gewonnen werden kann. Dabei ist auch
10 eine Kopplung zweier Spannungsquellen, insbesondere einer Batterie und der rekuperierten Energie, vorgesehen/möglich. Diese Kombination wird dazu genutzt, um die notwendige Spannung für die Hysteresebremse zu erzeugen.

Es ist bevorzugt, dass die einzelnen Teilbereiche zumindest je ein Polpaar umfassen und jeder Teilbereich eine unterschiedliche Anzahl an Polpaaren aufweisen kann. Als Grundlage der Lösung der gestellten Aufgabe, kann jedes Polpaar einen eigenen Teilbereich ausbilden und über ein eigenes Antriebselement bzw. eine eigene Leistungselektronikeinheit angesteuert/angetrieben werden. Diese Ausführungsform weist
15 eine maximale Variabilität des Antriebs auf. Hierbei ist ebenfalls eine Zuschaltung von Magnetisierungsspulen/Magnetisierungswicklungen möglich und erlaubt ein separates Anlegen eines statischen Feldes pro Polpaar.

Des Weiteren ist es von Vorteil, wenn m Leistungselektronikeinheiten mit einer Stromtragfähigkeit von I/m realisiert sind. Es ist bevorzugt, wenn die Ummagnetisierung durch die Unterteilung in n Teilbereiche im Wesentlichen zugkraftunterbrechungsfrei ist. Hierbei ist weiter bevorzugt, wenn mehrere Stränge/Polpaare zu Teilmotoren zusammengefasst werden. Auf diese Weise kann im Betrieb eine gezielte Ent- bzw. Aufmagnetisierung erreicht werden, ohne einer Zugkraftunterbrechung zu bedürfen. In
25 anderen Worten kann, bei einer entsprechenden Zusammenfassung der Stränge in beispielsweise zwei Teilmotoren, es ermöglicht werden, dass in einem Teillastpunkt ein Teilmotor von der Drehmomenterzeugung entkoppelt und zur Einstellung des Magnetfelds verwendet wird. Das zu diesem Zeitpunkt reduzierte Moment kann von
30

den restlichen Teilbereichen bzw. Teilmotoren des Motors gestellt werden. Auf diesem Weg tritt im Rahmen der Regelungsmöglichkeiten maximal eine geringfügige Reduzierung des Drehmoments auf.

- 5 Ein Vorteil einer solchen Verschaltung zu Teilmotoren ist, dass bei gegebener Spannung ein reduzierter Wicklungswiderstand je Teilstrang möglich ist. Auf diesem Weg wird nicht eine Leistungselektronikeinheit mit der Stromtragfähigkeit I , sondern m Leistungselektronikeinheiten mit der Stromtragfähigkeit I/m realisiert. Folglich ist der Aufwand im Bereich der Leistungselektronikeinheiten auf den Mehraufwand der Gatetreiber reduziert. Aus der Anforderung an die Zugkraftunterbrechung wird die Anzahl der Teilmotoren mit Hilfe folgender Schritte ermittelt:
- 10

- Ein Bereich wird zur Magnetvariation des Rotors verwendet und kann in diesem Moment nicht antreiben, wodurch die verbleibenden Teilbereiche das fehlende Moment aufnehmen. Durch einen kurzen Impuls verändern die Magnetisierungsspulen das Magnetfeld des Rotors und tragen anschließend wieder zur Drehmomentbildung bei. Nach einigen Umdrehungen, beispielsweise zur Rückkühlung der Wicklung, kann der verwendete Bereich einen weiteren Teil des Rotors verändern. Durch das Verschleifen dieses Vorgangs, beispielsweise über 50 Umdrehungen, kann eine im Wesentlichen zugkraftfreie Umschaltung realisiert werden.
- 15
- 20

- Von Vorteil ist es, wenn elektronische und/oder mechanische Schalter, insbesondere ohne Lichtbogenerzeugung, verwendet sind. Durch das entkoppelte Umschalten eines Teilstrangs/Teilbereichs ist die Verwendung solcher Schalter möglich. Dies hat den Vorteil, dass anwendungsabhängig Kosten gespart werden können.
- 25

- Es ist bevorzugt, wenn der Elektromotor mit einer Leistungselektronikeinheit für den Antrieb und einer Leistungselektronikeinheit für den Bremsmodus ausgebildet ist, wobei die Antriebs-Leistungselektronikeinheit ein drehendes Feld für den Generator-/Motorbetrieb und die Bremsmodus-Leistungselektronikeinheit ein stehendes Feld für den Hysteresemodus zur Verfügung stellt.
- 30

Auf diese Weise sind die Anforderungen der Antriebs-Leistungselektronikeinheit, insbesondere ein synchroner Umlauf, bezüglich Strom erheblich reduziert, können dafür aber dynamisch gehalten werden. Die Bremsmodus-Leistungselektronikeinheit muss der Anforderung bezüglich der Dynamik gerecht werden, weist dafür aber eine höhere Stromtragfähigkeit auf. Diese Realisierung bietet sich insbesondere zur Ansteuerung eines Elektromotors mit Hysteresebremsfunktion an, da besonders die Erzeugung unterschiedlicher dynamischer Anforderungen realisiert ist.

Des Weiteren ist es bevorzugt, wenn nicht alle Polpaare separat angesteuert werden. Daher ist vorgesehen, dass gegenüberliegende Spulen in Reihe gekoppelt sind. Dies hat den Vorteil einer Einsparung an Schaltern. Hier sind, in Abhängigkeit der Polpaaranzahl, gegebenenfalls auch folgende Verschaltungsvarianten denkbar:

In dem Fall, dass ein Rotor insgesamt zehn Polpaare aufweist, können beispielsweise vier Polpaare, drei Polpaare und zwei Polpaare verkoppelt sowie ein Einzelpolpaar verwendet werden. Dadurch können sechs Schaltvorrichtung (4 statt 10) zur separaten Ansteuerung eingespart werden. Je nach benötigten Moment ist es möglich, dass Bremsmoment von 10 % bis 100 % des Maximalmoments zu skalieren. Werte unterhalb 10 % sind durch einen Generatorbetrieb abgedeckt.

Ferner ist bevorzugt, wenn im Bremsmodus bzw. zur Flussänderung nur die dritte Phase eines Polpaares abgetrennt wird. Damit wird im Grunde eine Dreiecksschaltung mit einer Phase im Nulldurchgang abgebildet. Dies ist aus dem Grund möglich, da der Bremsmodus einer Hysteresebremse per se kein Wechselfeld benötigt. Allerdings kann hierbei das Feld zum Bremsen nicht als Magnetfeldschwächung verwendet werden, da die Polteilung nicht passend ist. Die Magnetparametrisierung kann jedoch mit einer Kondensatorentladung des Antriebsfelds erfolgen. Zudem bewegt die Magnetisierung des Rotors in der Motorwicklung eine Spannungsinduktion. Vorteilhafterweise kann diese bei einer Hysteresebremsung zu einer gleichzeitigen Rekuperation genutzt werden.

Impulsmagnetisierungsgeräte arbeiten typischerweise nach dem Prinzip der Kondensatorentladung. Dieser Ansatz bietet ebenfalls einen Anknüpfungspunkt, da auf diese Weise eine Sonderlösung denkbar wird. In einer Antriebseinheit könnten beispielsweise zwei Leistungselektronikeinheiten mit zwei Spulensystemen verbaut werden. Die
5 Energiespeicherung kann sowohl in einem Kondensator, als auch in einer Spule, beispielsweise analog der Zündspule in einer Verbrennungskraftmaschine, gespeichert sein/werden. Die erste Spule (je Polpaar) dient nur dem Antrieb und ist fest mit der ersten Antriebs-Leistungselektronikeinheit verbunden und die zweite Spule ist ebenfalls fest mit einer eigenen zweiten Leistungselektronikeinheit verbunden und bedient
10 einerseits die Ummagnetisierungsfunktion der Hysteresebremse, insbesondere des statischen Felds, und andererseits die der Magnetschwächung, insbesondere die synchrone Überlagerung der Antriebsspule. Die zweite Leistungselektronikeinheit enthält dabei eine deutlich geringere Dynamikanforderung, da der Hysterese Bremsmodus im Wesentlichen statisch arbeitet.

15 Zur Realisierung der Magnetschwächung ist eine Schaltung wie in einem Impulsmagnetisierungsgerät möglich, sodass die Trägheit der zweiten Leistungselektronikeinheit untergeordnet wird. Eine Rekuperation kann, beispielsweise durch eine Taktung zwischen der ersten Leistungselektronikeinheit und der zweiten Leistungselektronikeinheit, realisiert werden, wenn es das angeforderte Bremsmoment zulässt und die Fahr-
20 bahnhaftung es ermöglicht. In Notbremssituationen wird die Effizienz untergeordnet.

Es ist vorteilhaft, wenn eine Wicklung pro Nut oder zwei Wicklungen pro Nut entweder in einer Parallelverschaltung oder in einer Reihenverschaltung vorgesehen ist/sind.

25 In dem Fall, dass zwei Wicklungen pro Nut in einer Parallelverschaltung vorgesehen sind, ist es gemäß einer weiteren Ausführungsform bevorzugt, wenn alle Polpaare miteinander gekoppelt sind. Dies bringt den Vorteil mit sich, dass keine Schalter notwendig sind. Eine selektive Zahnsteuerung ist in diesem Anwendungsbeispiel nicht
30 möglich. Allerdings kann durch eine getaktete Ansteuerung und eine intelligente Regelung, insbesondere mit Fokus auf die Software, auf dem gesamten Umfang abwechselnd und hochdynamisch hysteretisch und rekuperativ gebremst werden (vgl.

ABS). Die Bremskapazität wird dabei so ausgelegt, dass das Rad in jeder Situation, insbesondere bei einer maximalen Normalkraft, zum Stillstand gebracht werden kann.

Des Weiteren kann darauf verzichtet werden, dass die zweite Spule drei Phasen aufweist. Es ist eine komplett andere Wicklung denkbar, um mit Gleichstrom maximal viele Polpaare in den Rotor zu prägen. Dies hat den positiven Effekt, dass weniger Magnetmasse benötigt wird.

Zur Vermeidung der Überlastung einer Phase in einem Polpaar, ist prinzipiell kein sinusförmiges Statorfeld notwendig, sondern ein getaktetes Ein-/Ausschalten der Spulen. Dies ist insbesondere zum Schutz der Leistungselektronikeinheiten vorteilhaft. Die Anforderung ist die Erzeugung des notwendigen Magnetfelds. Auf diese Weise ist auch eine Realisierung eines ABS möglich. Durch den Wechsel der Polpaare mit der Hysteresebremmung kann eine partielle Überhitzung vermieden werden (vgl. PWM-Ansteuerung, allerdings im Wechsel zwischen den beiden Bremsmodi).

In dem Fall, dass eine Wicklung oder zwei Wicklungen in der Nut in einer Reihenschaltung vorgesehen ist/sind, ist es gemäß einer weiteren Ausführungsform bevorzugt, wenn wiederum mehrere Polpaare miteinander gekoppelt sind. Hierbei ist das Abtrennen von Teilen eines Strangs durch das Öffnen oder Schließen eines Sternpunkts zwischen den Strängen vorgesehen.

1. Es ist weiter bevorzugt, wenn der Rotor Permanentmagnete aus unterschiedlichen Werkstoffen enthält, um die Anzahl n der Polpaare im Betrieb zu variieren.

Die Erfindung betrifft auch ein Verfahren zum Antreiben eines Elektromotors nach einem der vorstehenden Aspekte, wobei die n Teilbereiche des Stators, welche über dessen Umfang unterteilt sind, separat voneinander oder in Kombination miteinander über eine Vielzahl an Antriebselementen angesteuert werden.

Das Verfahren erlaubt eine eingliedrige Einstellung des Drehmoments durch unvollständige Ausnutzung der Hystereseenergie und/oder dadurch, dass durch die Rekuperation das Grundmoment $M_{\text{Brems, recup, max}}$ mit synchron umlaufender, sinusförmiger Feldwelle eingestellt werden kann. In anderen Worten wird bei der unvollständigen

5 Ausnutzung der Hystereseenergie das Feld nicht bis zur vollständigen Sättigung angelegt, sondern bis im Wesentlichen 95% $M_{\text{Brems, Polpaar}}$. Durch den Hysteresebremsmodus einzelner Polpaare werden diskrete Anteile gezielt ummagnetisiert, wodurch ein deutlich höheres Moment erreicht wird.

- 10 Die Momente der separat angesteuerten Polpaare überlagern sich additiv. Zudem erfordern die Betriebspunkte innerhalb des Generatorkennfelds keine Hysteresefunktion, wie es bei Elektromotoren gemäß dem Stand der Technik üblich ist.

Des Weiteren kann der Rotor alternativ im Aufbau eine hartmagnetische Zylinderhülse

15 sein, die auf einem weichmagnetischen Rotorkern montiert ist, somit wäre es möglich eine variable Polteilung zu erhalten.

Die Erfindung wird nachfolgend mit Hilfe einer Zeichnung erläutert. Es zeigen:

- 20 Fig. 1 zeigt einen Stator mit möglichen Teilbereichen,

Fig. 2 zeigt ein Motorkennfeld zur Verdeutlichung des Hysteresebremsmodus,

Fig. 3 zeigt eine Aufteilung des Stators,

25

Fig. 4 zeigt einen Schaltplan gemäß einer ersten Ausführungsform,

Fig. 5 zeigt eine Verschaltungsmöglichkeit des Schaltplans gemäß der ersten Ausführungsform,

30

Fig. 6 zeigt drei Teilmotoren,

Fig. 7 zeigt eine mögliche Unterteilung des Motors in Teilmotoren,

Fig. 8 zeigt einen Schaltplan gemäß einer zweiten Ausführungsform,

5

Fig. 9 zeigt eine Verschaltungsmöglichkeit des Schaltplans gemäß der zweiten Ausführungsform,

Fig. 10 zeigt einen Schaltplan gemäß einer dritten Ausführungsform,

10

Fig. 11 zeigt eine Aufteilungsmöglichkeit des Stators 1 gemäß des Schaltplans gemäß der dritten Ausführungsform,

Fig. 12 zeigt eine alternative Aufteilung des Stators gemäß des Schaltplans gemäß der dritten Ausführungsform,

15

Fig. 13 zeigt eine Verschaltungsmöglichkeit des Schaltplans gemäß der dritten Ausführungsform,

Fig. 14 zeigt einen Schaltplan gemäß einer vierten Ausführungsform,

20

Fig. 15 zeigt eine Verschaltungsmöglichkeit gemäß der vierten Ausführungsform,

Fig. 16 zeigt einen Schaltplan gemäß einer fünften Ausführungsform,

25

Fig. 17 zeigt eine Verschaltungsmöglichkeit gemäß der fünften Ausführungsform, und

Fig. 18 zeigt einen Schaltplan gemäß einer sechsten Ausführungsform.

Die Figuren sind lediglich schematischer Natur und dienen ausschließlich dem Verständnis der Erfindung. Die gleichen Elemente sind mit denselben Bezugszeichen bezeichnet.

- 5 Fig. 1 zeigt einen Stator 1, der einen Rotor 2 umgibt. Der Rotor 2 weist Permanentmagnete 3 auf. Die Permanentmagnete 3 besitzen die Eigenschaft der Ummagnetisierbarkeit. Der Stator 1 kann in n Teilbereiche 4 unterteilt werden. Jeder Teilbereich 4 ist über ein eigenes Antriebselement 5 ausgebildet. Das Antriebselement 5 ist als eine Leistungselektronikeinheit konfiguriert. Gemäß Fig. 1 ist der Stator in gleich viele Teil-
- 10 bereiche 4 unterteilt, wie Polpaare 6 vorhanden sind. In dem Fall sind in Fig. 1 sechs Polpaare 6 und dementsprechend sechs Teilbereiche 4 abgebildet.

- Fig. 2 zeigt ein Motorkennfeld zur Verdeutlichung des Hysteresebremsmodus. Das gezeigte Motorkennfeld zeigt eine Grenzkennlinie die den Hysteresemodus vom Ge-
- 15 nerator-Modus trennt, welche über dem Moment M und der Drehzahl n aufgetragen ist. Der Motor wird hierbei begrenzt durch seine maximale Drehzahl $n_{\max}$ (Drehzahlgrenze 7) und das minimale Moment $M_{\min}$ (Momentengrenze 8). Der zwischen den beiden vorstehend genannten Grenzen 7 und 8 abgebildete Bereich stellt die Leistungsgrenze 9 dar. Das schraffierte Feld zeigt die genutzte Generatorenergie 10. Im
- 20 Falle des Erreichens der Leistungsgrenze kann durch den Hysteresebremsmodus das erzeugte Moment erheblich übersteuert werden. Durch gleichzeitige Steuerung des Anteils von generatorischem Anteil und Hysteresebremsanteil kann möglichst viel Energie rekuperiert werden und nur der zum Bremsen notwendige Anteil des Drehmoments, der nicht durch den Generator erzeugt werden kann, wird durch Verluste
- 25 gestellt.

Mit Hilfe von Fig. 2 lassen sich folgende Gleichungen aufstellen:

$$M_{\text{Brems}} = n * M_{\text{Brems,rekup,Polpaar}} + (p - n) * M_{\text{Brems,rekup,Polpaar}} \quad (1)$$

30 $M_{\text{Brems,max}} = M_{\text{Brems,hyst,max}} = p * M_{\text{Brems,hyst,Polpaar}} \quad (2)$

$$M_{\text{Brems,rekup,max}} = p * M_{\text{Brems,rekup,Polpaar}} \quad (3)$$

Dabei steht M für das Moment, n für die Anzahl der Polpaare 6 im Hysteresemodus und p für die Gesamtzahl der Polpaare 6. Folglich ist $(p-n)$ die Anzahl der rekuperierenden Polpaare 6.

- 5 Der zu $M_{\text{Brems,max}}$ zugehörige Pfeil stellt das aufzubringende Moment M dar, welches die Leitungsgrenze der Bremse darstellt. $M_{\text{Brems,Polpaar}}$ ist, ebenfalls als Pfeil dargestellt, der Anteil an aufzubringenden Moment M , welches durch ein Polpaar 6 bewirkt wird. Somit sind in dem Beispiel gemäß Fig. 1 sechs Polpaare 6 ausgebildet, welche in Summe $M_{\text{Brems,max}}$ ergeben. $M_{\text{Brems,rekup,max}}$ steht für die maximale Energierückgewinnung und entspricht im Maximalfall der Leistungsgrenze des Generators.
- 10

In der Ausführungsform gemäß Fig. 3 dargestellten Beispiel des Stators 1 umfasst dieser fünf Teilbereiche 4 und der Rotor 2 $p=5$ Polpaare 6, wobei sich $n=3$ Polpaare 6 im Hysteresebremsmodus befinden. Somit liegen $(p-n)=2$ rekuperierende Polpaare 6 vor und jeder Teilbereich 4 umfasst ein Polpaar 6. Die sich im Hysteresebremsmodus befindlichen Polpaare 6 sind in Fig. 3 schraffiert dargestellt.

15

Aus dem dargestellt Motorkennfeld lassen sich wiederum folgende Gleichungen aufstellen:

20

$$M_{\text{Brems}} = 3 * M_{\text{Brems,rekup,Polpaar}} + 2 * M_{\text{Brems,rekup,Polpaar}} \quad (1)$$

$$M_{\text{Brems,max}} = M_{\text{Brems,hyst,max}} = 5 * M_{\text{Brems,hyst,Polpaar}} \quad (2)$$

$$M_{\text{Brems,rekup}} < (5 - 3) * M_{\text{Brems,rekup,Polpaar}} \quad (3)$$

- 25 Fig. 4 zeigt einen Schaltplanansatz gemäß einer ersten Ausführungsform. In Fig. 4 sind die Polpaare 6a, 6b, 6c bis 6n dargestellt. Die Polpaare 6a, 6b, 6c bis 6n bilden zusammen den Umfang des Stators 1 bzw. der Maschine. Jedes dargestellte Polpaar 6a, 6b, 6c bis 6n ist mit einer eigenen Leistungselektronikeinheit 5a, 5b, 5c bis 5n verbunden. Ein Polpaar 6a, 6b, 6c bis 6n umfasst jeweils drei Phasen, die U-Phasen 11a, 11b, 11c bis 11n, die V-Phasen 12a, 12b, 12c bis 12n sowie die W-Phasen 13a, 13b, 13c bis 13n. Die Leistungselektronikeinheiten 5a, 5b, 5c bis 5n sind jeweils mit den Motorspulen/Motorwicklungen 14a, 14b, 14c bis 14n verbunden. Die Motorspu-
- 30

len/Motorwicklungen 14a, 14b, 14c bis 14n sind wiederum über die Schalter 15a, 15b, 15c bis 15n mit den Magnetisierungsspulen/Magnetisierungswicklungen 16a, 16b, 16c bis 16n verbunden.

- 5 Durch den dargestellten Schaltplan lässt sich eine Lösung realisieren, in welcher jedes Polpaar 6 eine separate Ansteuerung durch jeweils eine Leistungselektronikeinheit 5 hat, mit der Möglichkeit Magnetisierungswicklungen 16 über einen Schalter 15 zuzuschalten. Diese Ausführungsform erlaubt ein separates Anlegen eines statischen Feldes pro Polpaar 6.

10

Hierbei gilt, dass der Strom I konstant ist und die Anzahl n der Windungen zur Erzeugung des Magnetfelds variabel gehalten ist. Diese Ausführungsform bietet eine maximale Variabilität und dient als Grundlage für die nachfolgend beschriebenen Ausführungsformen.

15

Alternativ zu der in Fig. 4 dargestellten ersten Ausführungsform, besteht die Option nur eine Leistungselektronikeinheit 5 für alle Polpaare 6a, 6b, 6c bis 6n zu verwenden. Diese Ausführungsform ist weniger intensiv in Hinsicht auf die Leistungsschalter 15 im Vergleich zu der ersten Ausführungsform. Hier sind alle Polpaare 6a, 6b, 6c bis 6n miteinander gekoppelt und es wird auf diese Weise lediglich ein stehendes Feld in allen Wicklungen erzeugt (kein Rekuperation) oder die Magnete werden nicht ummagnetisiert, da lediglich ein sehr großes Feld erzeugt wird. Eine Ausstattung aller Polpaare 6 mit einer Doppelspule – Motorwicklung 16 – ist nicht zwingend erforderlich. Die Ausstattung der Polpaare 6 mit einer Doppelspule hat allerdings Vorteile beim

20

25 Bremsmoment und bei der Magnetmasse.

30

Fig. 5 zeigt eine Verschaltungsmöglichkeit gemäß der ersten Ausführungsform. In Fig. 5 sind vier Polpaare 6 zu erkennen, wobei lediglich ein Polpaar 6 im Detail dargestellt ist und die Zähne $\pm U$, $\pm V$ und $\pm W$ eines Polpaares 6 abbildet. Ein Polpaar 6 umfasst eine Hochfeldwicklung 17 und eine Antriebswicklung 18. In dieser Ausführungsform ist ebenfalls gegeben, dass der Strom I konstant ist und die Anzahl n der Windungen va-

riabel gehalten ist und durch Zuschaltung variiert werden kann. Ein Zahnpaar $\pm U$, $\pm V$ und $\pm W$ bildet jeweils die U-Phase 11, V-Phase 12 und W-Phase 13.

Fig. 6 zeigt drei Teilmotoren 4 mit jeweils drei Phasen 11, 12 und 13 und pro Phase
5 einer Motorwicklung 14.

Fig. 7 zeigt eine mögliche Unterteilung des Rotors 2 in Teilmotoren. Der Rotor 2 umfasst 16 Polpaare 6. Jedes Polpaar 6 hat jeweils drei Phasen U, V und W (in Fig. 7 nicht dargestellt).

10

In dem Fall, dass eine Sequenz-Verschaltung ohne Unterteilung in mehrere Teilmotoren mit einer Leistungselektronikeinheit 5 (nicht dargestellt) für den gesamten Motor angenommen wird, ergeben sich folgende Formeln:

$$15 \quad R = p * L * q * 1/A \quad (1)$$

$$U = R * I = p * I * q * L/A \quad (2)$$

$$P = U * I = I^2 * R \quad (3)$$

Hierbei steht das R für einen Widerstand, welcher einem Strang entspricht, p ist die
20 Anzahl der Polpaare 6, L ist die Induktivität, A beschreibt die Fläche, q ist eine Konstante und P steht für die Leistung. Daraus folgt, dass je Einzelsegment $1/P$ der Gesamtleistung umgesetzt wird.

Nun wird eine Sequenz-Verschaltung mit einer Unterteilung in zwei Teilmotoren angenommen. Dabei stellen die schraffierten Polpaare 6 einen ersten Teilmotor 4a dar und die nicht-schraffierten Polpaare 6 stellen einen zweiten Teilmotor 4b dar. Der erste Teilmotor 4a ist mit einer ersten Leistungselektronikeinheit 5 (nicht dargestellt) verbunden und der zweite Teilmotor 4b ist mit einer zweiten Leistungselektronikeinheit 5 (nicht dargestellt) verbunden. Die erste und zweite Leistungselektronikeinheit 5 be-
30 dient jeweils $n=2$ über Kreuz liegende Anteile.

In dem Fall, dass die vorstehend beschriebene Unterteilung angewendet wird, ergeben sich folgende Formeln:

$$R = \frac{1}{2} p * L * \varrho * 1/A \quad (1)$$

$$5 \quad U = \frac{1}{2} I * p * L * \varrho * 1/A = 1/n * P * \varrho * L/A * I \quad (2)$$

$$I_M = 1/n * I \quad (3)$$

Daraus folgt, dass bei der Aufteilung des Rotors 2 in n Teilbereiche 4 eine Leistungselektronikeinheit 5 je Teilbereich 4 eine mit dem Faktor $1/n$ reduzierte Stromtragfähigkeit ausreichend ist.

Fig. 8 zeigt einen Schaltplanansatz gemäß einer zweiten Ausführungsform, in welcher je Nut eine Wicklung vorgesehen ist. In Fig. 8 sind die Polpaare 6a, 6b, 6c bis 6n gezeigt, welche über einen Schalter 15a, 15b, 15c bis 15n jeweils mit der Antriebs-
15 Leistungselektronikeinheit 19 und Bremsmodus-Leistungselektronikeinheit 20 verbunden sind.

Die Antriebs-Leistungselektronikeinheit 19 erzeugt ein drehendes Feld für den Generatorbetrieb/Motorbetrieb und die Bremsmodus-Leistungselektronikeinheit 20 erzeugt
20 ein stehendes Feld für den Hysteresemodus.

Der in Fig. 8 gezeigte Schaltplan basiert auf einer konstanten Anzahl n an Polpaaren 6 mit einem variablen Strom I. Der Schaltplan bringt den Vorteil mit sich, dass die Anforderung an die Antriebs-Leistungselektronikeinheit 19 bezüglich des Stroms I erheblich reduziert und sehr dynamisch ausgebildet ist. Im Gegensatz dazu ist die Anforderung an die Bremsmodus-Leistungselektronikeinheit 20 bezüglich der Dynamik gering
25 und weist eine höhere Stromtragfähigkeit auf.

Durch die Schalter 15a, 15b, 15c bis 15n werden alle Phasen, U-Phase 11a, 11b, 11c
30 bis 11n, V-Phase 12a, 12b, 12c bis 12n und W-Phase 13a, 13b, 13c bis 13n, des jeweiligen Polpaares 6a, 6b, 6c bis 6n gemeinsam umgeschaltet.

Fig. 9 zeigt eine Verschaltungsmöglichkeit gemäß einer zweiten Ausführungsform mit einer Wicklung pro Nut. In Fig. 9 sind vier Polpaare 6 zu erkennen, wobei lediglich ein Polpaar 6 im Detail dargestellt ist und die Zähne $\pm U$, $\pm V$ und $\pm W$ eines Polpaares 6 abbildet. In dem hier gezeigten Fall, umfasst jede Nut nur eine Wicklung, welche je nach Lage des in Fig. 8 gezeigten Schalters 15 als Hochfeldwicklung 17 oder als Antriebswicklung 18 wirkt. Diese eine Wicklung 17 bzw. 18 wird je nach Lage des Schalters 15 durch eine der zwei Leistungselektronikeinheiten 19 und 20 angesteuert. Auch hier bildet ein Zahnpaar $\pm U$, $\pm V$ und $\pm W$ jeweils die U-Phase 11, V-Phase 12 und W-Phase 13.

Ein Vorteil dieser Verschaltung ist, dass für den Antrieb ein deutlich geringerer Strom benötigt wird. Dadurch, dass eine gezielte Ansteuerung der einzelnen Polpaare 6 möglich ist, ist eine geringe Zugkraftunterbrechung zu erwarten. Es wird von einem „etappenweisen Schwächen“ gesprochen.

Fig. 10 zeigt einen Schaltplan gemäß einer dritten Ausführungsform. Die dritte Ausführungsform zeigt, dass nicht alle Polpaare 6 separat angesteuert werden müssen. In Fig. 10 stellt das Polpaar 6a einen ersten Teilbereich 4a dar, die Polpaare 6b und 6c den zweiten Teilbereich 4b, c und die Polpaare 6d, 6e und 6f einen dritten Teilbereich 4d, e, f. Diese Aufteilung kann beliebig bis zum Polpaar 6n fortgesetzt werden. Die Verschaltung der Teilbereiche 4a, 4b, c und 4d, e, f mit den zwei verwendeten Leistungselektronikeinheiten - der Antriebs-Leistungselektronikeinheit 19 und der Bremsmodus-Leistungselektronikeinheit 20 - entspricht der Verschaltung der zweiten Ausführungsform mittels jeweils eines Schalters 15a, 15b, c und 15d, e, f (fortsetzbar bis 15n).

Fig. 11 zeigt eine Aufteilungsmöglichkeit des Stators 1 gemäß des Schaltplanansatzes gemäß der dritten Ausführungsform. Der Rotor 2 umfasst in dieser beispielhaften Ausführungsform sechs Polpaare 6. Der Stator 1 ist in drei Teilbereiche 4a, 4b, c und 4d, e, f unterteilt. Der erste Teilbereich 4a umfasst ein Polpaar 6, der zweite Teilbereich 4b, c umfasst zwei Polpaare 6 und der dritte Teilbereich 4d, e, f umfasst drei Polpaare 6.

Die drei Teilbereiche 4a, 4b, c und 4d, e, f können je nach Bedarf einzeln oder in Kombination verwendet werden. Somit kann beispielsweise der Teilbereich 4a mit dem Teilbereiche 4d, e, f kombiniert werden, um vier Polpaare 6 gemeinsam zu nutzen. Es ist jede beliebige Kombination der Teilbereiche möglich. Die restlichen Teilbereiche 4 können jeweils rekuperieren.

Fig. 12 zeigt eine alternative Aufteilung des Stators 1 gemäß des Schaltplanansatzes gemäß der dritten Ausführungsform. Der Rotor 2 umfasst in dieser beispielhaften Ausführungsform ebenfalls sechs Polpaare 6, welche über den Umfang des Stators 1 anders, insbesondere vorteilhafter, verteilt sind als in Fig. 11 gezeigt.

Wie in Fig. 12 zu sehen, sind die Teilbereiche 4b, c bzw. 4d, e, f nicht zusammenhängend angeordnet. Auch mit dieser Anordnung können die Teilbereiche 4a, 4b, c und 4d, e, f je nach Bedarf einzeln oder in Kombination verwendet werden. Somit ist es möglich, jede Anzahl, in dem Beispiel ein Polpaar bis sechs Polpaare, an Polpaaren 6 zu nutzen. Die restlichen Teilbereiche 4 können wiederum jeweils rekuperieren.

Fig. 13 zeigt eine Verschaltungsmöglichkeit des Schaltplans gemäß der dritten Ausführungsform mit zwei Wicklungen pro Nut. In Fig. 13 sind vier Polpaare 6 zu erkennen, wobei lediglich ein Polpaar 6 im Detail dargestellt ist und die Zähne $\pm U$, $\pm V$ und $\pm W$ eines Polpaares 6 abbildet. In dem hier gezeigten Fall, umfasst jede Nut zwei Wicklungen, welche je nach Lage der in Fig. 10 gezeigten Schalter 15 als Hochfeldwicklung 17 oder als Antriebswicklung 18 wirken. Diese eine Wicklung 17 bzw. 18 wird je nach Lage der Schalter 15 durch eine der zwei Leistungselektronikeinheiten 19 und 20 angesteuert. Auch hier bildet ein Zahnpaar $\pm U$, $\pm V$ und $\pm W$ jeweils die U-Phase 11, V-Phase 12 und W-Phase 13.

In dieser beispielhaften Ausführungsform ist die Hochfeldwicklung 17 einphasig ausgebildet und die Antriebswicklung 18 dreiphasig. Dies ist möglich, da im Bremsmodus einer Hysteresebremse per se kein Wechselfeld benötigt wird. Daher genügt es, wenn im Bremsmodus bzw. zur Flussänderung die dritte Phase eines Polpaares 6 abgetrennt

wird. Damit wird im Grunde eine Dreiecksschaltung mit einer Phase im Nulldurchgang abgebildet. Diese Magnetisierung des Rotors 2 bewirkt in der Antriebswicklung 18 eine Spannungsinduktion, welche bei der Hysteresebremsung gleichzeitig zur Rekupe-
ration genutzt werden kann.

5

Fig. 14 zeigt einen Schaltplan gemäß einer vierten Ausführungsform, insbesondere eine Parallelschaltung. Die vierte Ausführungsform zeigt eine alternative Schaltung mit zwei Wicklungen pro Nut, in welcher alle Polpaare 6a, 6b, 6c bis 6n miteinander gekoppelt sind und ein Schalter 15 entfallen kann. Eine selektive Ansteuerung ist somit
10 nicht möglich. Der Schaltplan in Fig. 14 zeigt wiederum die beiden Leistungselektronikeinheiten 19 und 20, welche jeweils mit einer Wicklung der Polpaare 6 verbunden sind.

Fig. 15 zeigt eine Verschaltungsmöglichkeit des Schaltplans gemäß der vierten Aus-
15 führungsform mit zwei Wicklungen pro Nut. In Fig. 15 sind vier Polpaare 6 zu erkennen, wobei lediglich ein Polpaar 6 im Detail dargestellt ist und die Zähne $\pm U$, $\pm V$ und $\pm W$ eines Polpaares 6 abbildet. In dem hier gezeigten Fall, umfasst jede Nut zwei Wicklungen, wobei die Hochfeldwicklung 17 mit der Bremsmodus-
Leistungselektronikeinheit 20 verbunden ist und die Antriebswicklung 18 mit der An-
20 triebs-Leistungselektronikeinheit 19 verbunden ist.

Alle Polpaare 6 sind miteinander verbunden, sodass zwei separate Systeme entstehen, wobei im Antriebsmodus das Hochfeldsystem geöffnet ist. In anderen Worten, ist
prinzipiell kein sinusförmiges Statorfeld notwendig, sondern ein getaktetes Ein- bzw.
25 Ausschalten der Spulen ist ausreichend. Dies ist insbesondere zum Schutz der Leistungselektronikeinheiten 19 und 20 vorteilhaft, da eine Überlastung einer Phase in einem Polpaar 6 vermieden wird. In dieser beispielhaften Ausführung ist sowohl die Anzahl n an Polpaaren 6 als auch der Strom variabel.

30 Fig. 16 zeigt einen Schaltplan gemäß einer fünften Ausführungsform, insbesondere eine Reihenschaltung. Die fünfte Ausführungsform zeigt eine alternative Schaltung mit zwei Wicklungen pro Nut, in welcher alle Polpaare 6a, 6b, 6c bis 6n miteinander ge-

koppelt sind und mit den beiden Leistungselektronikeinheiten 19 und 20 verbunden sind. Teile eines Strangs können an den dargestellten Trennstellen 21 abgetrennt werden, indem dazwischen ein Sternpunkt geöffnet oder geschlossen wird.

- 5 Fig. 17 zeigt eine Verschaltungsmöglichkeit des Schaltplans gemäß der fünften Ausführungsform mit zwei Wicklungen pro Nut. In Fig. 17 sind vier Polpaare 6 eines Rotors 2 zu erkennen. In dem hier gezeigten Fall, umfasst jedes Polpaar 6a, 6b, 6c und 6d eine Hochfeldwicklung 17 und eine Antriebswicklung 18. In den Polpaaren 6a und 6b befindet sich die Hochfeldwicklung 17 im aktiven Bereich 22 und in den Polpaaren 6c und 6d die Antriebswicklung 18. Somit rekuperieren/regenerieren die Polpaare 6a und 6b und die Polpaare 6c und 6d befinden sich im Hysterese-
10 modus. Es gilt, dass die Anzahl n der Nutwindungen und der Strom I zur Magnetfelderregung variabel sind.

- Fig. 18 zeigt einen Schaltplan gemäß einer sechsten Ausführungsform, insbesondere eine Reihenschaltung. Die sechste Ausführungsform zeigt eine alternative Schaltung mit einer Wicklung pro Nut, wobei auch in diesem Fall alle Polpaare 6a, 6b, 6c bis 6n miteinander gekoppelt und mit den beiden Leistungselektronikeinheiten 19 und 20 verbunden sind. Gemäß der fünften Ausführungsform können Teile eines Strangs an den dargestellten Trennstellen 21 abgetrennt werden, indem dazwischen ein Stern-
20 punkt geöffnet oder geschlossen wird.

Ein gleichzeitiges Rekuperieren und Hysteresebremsen in einem Teilbereich ist nicht möglich, da keine zwei verschiedenartigen Signalformen vorgesehen/vorhanden sind. Zwei verschiedene Signalformen bedingen zwei Signalquellen.

25

Die einzelnen Ausführungsformen sind lediglich beispielhaft und nicht einschränkend. Auch ist eine Kombination der vorstehenden Ausführungsformen möglich. Zum Beispiel wäre denkbar die Ausführungsform gemäß Fig. 4 mit nur einer Leistungselektronikeinheit 5 anzusteuern oder die Ausführungsform.

30

Bezugszeichenliste

- 1 Stator
- 2 Rotor
- 3 Permanentmagnet
- 4 Teilbereich
- 5 Antriebselement/Leistungselektronikeinheit
- 6 Polpaar
- 7 Drehzahlgrenze
- 8 Momentengrenze
- 9 Leistungsgrenze
- 10 Genutzte Hystereseenergie
- 11 U-Phase
- 12 V-Phase
- 13 W-Phase
- 14 Motorwicklung
- 15 Schalter
- 16 Magnetisierungswicklung
- 17 Hochfeldwicklung
- 18 Antriebswicklung
- 19 Antriebs-Leistungselektronikeinheit
- 20 Bremsmodus-Leistungselektronikeinheit
- 21 Trennstelle
- 22 Aktiver Bereich
- 23 AC-Wicklung
- 24 DC-Wicklung
- 25 Magnetfeld
- M Moment
- N Drehzahl

I Strom

n Anzahl an Polpaaren

m Anzahl an Leistungselektronikeinheiten

R Widerstand

P Leistung

Patentansprüche

- 5 1. Elektromotor, umfassend einen Stator (1) und einen Rotor (2), wobei der Rotor (2) und / oder Stator (1) ummagnetisierbare Permanentmagnete (3) aufweist und **dadurch gekennzeichnet, dass** der Stator (1) in n Teilbereiche (4) über dessen Umfang unterteilt ist, um einzelne Teilbereiche (4) separat voneinander oder in Kombination miteinander über eine Vielzahl von Antriebselementen (5) anzusteuern.
- 10 2. Elektromotor gemäß Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** die n Teilbereiche (4) als separate Teilmotoren wirken.
- 15 3. Elektromotor gemäß Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Permanentmagnete (3) und die als Leistungselektronikeinheiten (5) konfigurierten Antriebselemente (5) einen generatorischen und/oder einen Hysteresebremsmodus hervorrufen.
- 20 4. Elektromotor gemäß einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die einzelnen Teilbereiche (4) zumindest je ein Polpaar (6) umfassen und jeder Teilbereich (4) eine unterschiedliche Anzahl an Polpaaren (6) aufweisen kann.
- 25 5. Elektromotor gemäß einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** m Leistungselektronikeinheiten (5) mit einer Stromtragfähigkeit von I/m realisiert sind.
- 30 6. Elektromotor gemäß einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Ummagnetisierung durch die Unterteilung in Teilbereiche (4) im Wesentlichen zugkraftunterbrechungsfrei erfolgt.

7. Elektromotor gemäß einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Elektromotor mit einer Leistungselektronikeinheit (5) für den Antrieb (19) und einer Leistungselektronikeinheit (5) für den Bremsmodus (20) ausgebildet ist, wobei die Antriebs-Leistungselektronikeinheit (19) ein drehendes Feld für den Generator-/Motorbetrieb und die Bremsmodus-Leistungselektronikeinheit (20) ein stehendes Feld für den Hysteresemodus zur Verfügung stellt.
8. Elektromotor gemäß einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** eine Wicklung pro Nut oder zwei Wicklungen pro Nut entweder in einer Parallelschaltung oder in einer Reihenschaltung vorgesehen ist/sind.
9. Elektromotor gemäß einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Rotor (2) Permanentmagnete (3) aus unterschiedlichen Werkstoffen enthält, um die Anzahl n der Polpaare (6) im Betrieb zu variieren.
10. Verfahren zum Antreiben eines Elektromotors nach einem der Ansprüche 1 bis 9, **dadurch gekennzeichnet, dass** die n Teilbereiche (4) des Stators (1), welche über dessen Umfang unterteilt sind, separat voneinander oder in Kombination miteinander über eine Vielzahl an Antriebselementen (5) angesteuert werden.

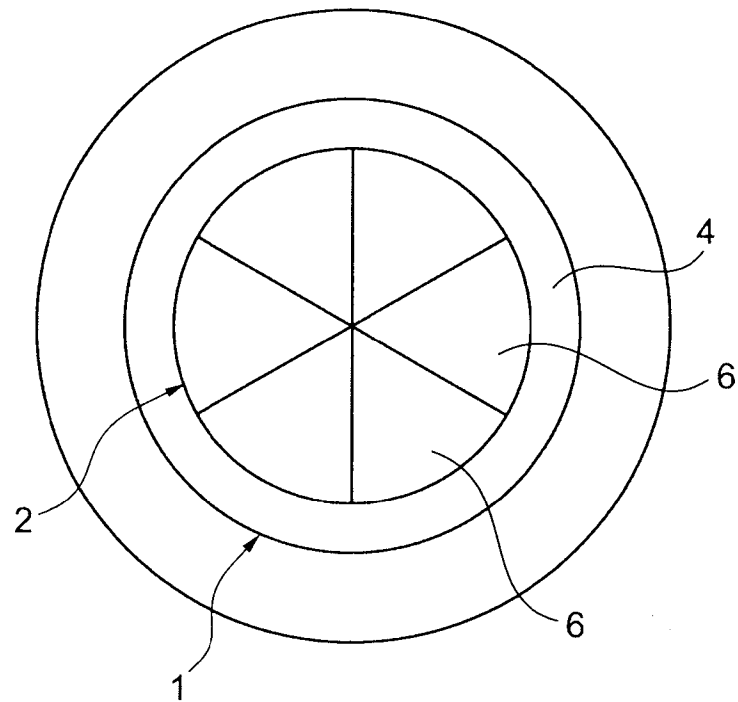


Fig. 1

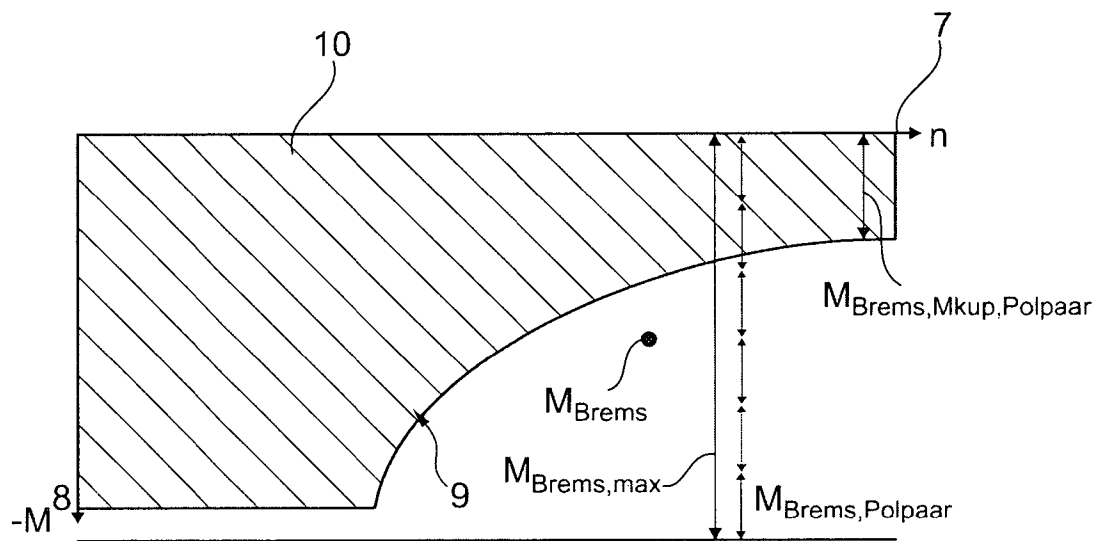


Fig. 2

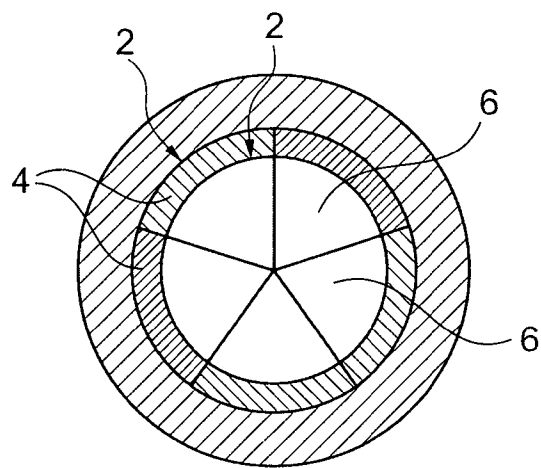


Fig. 3

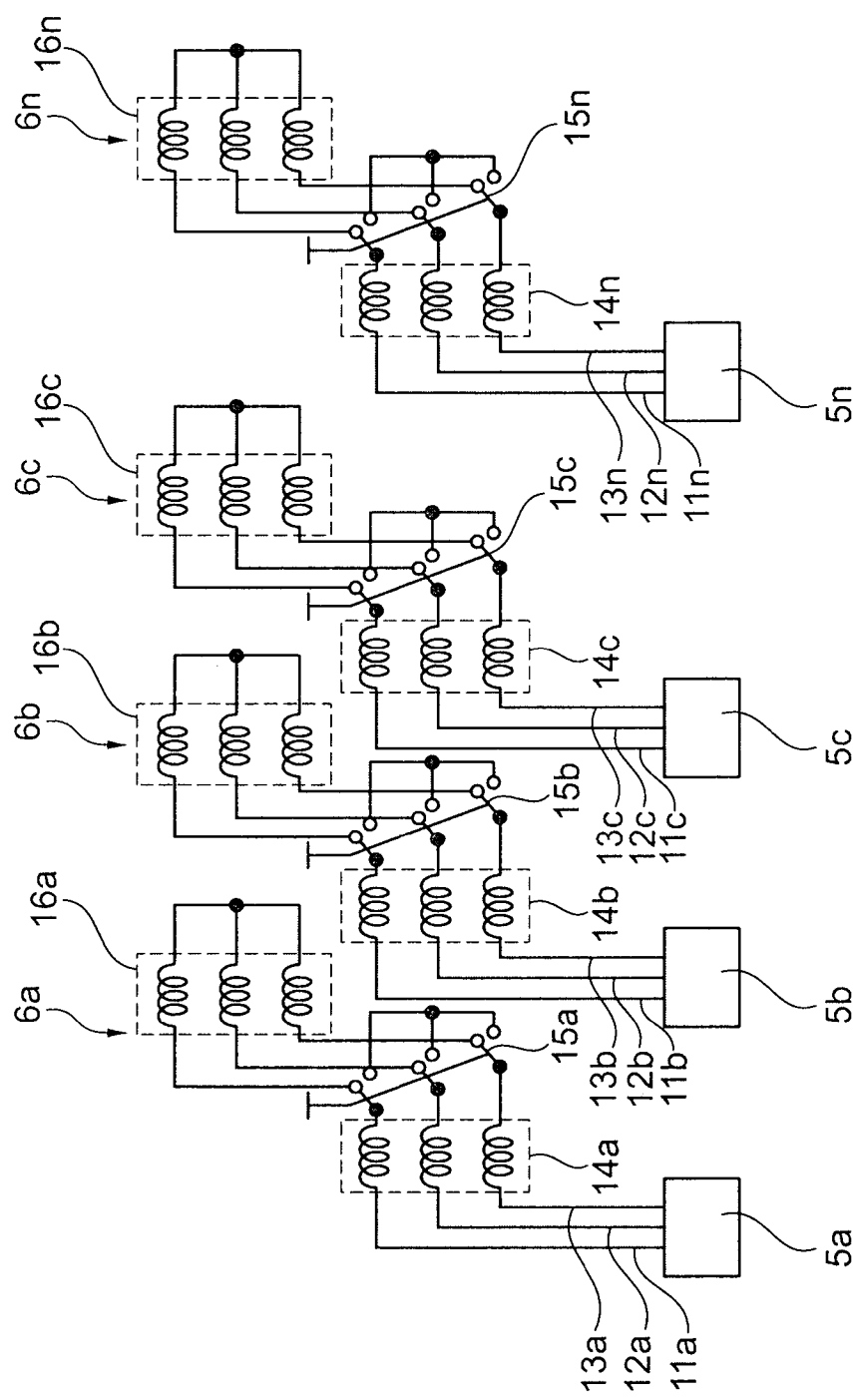


Fig. 4

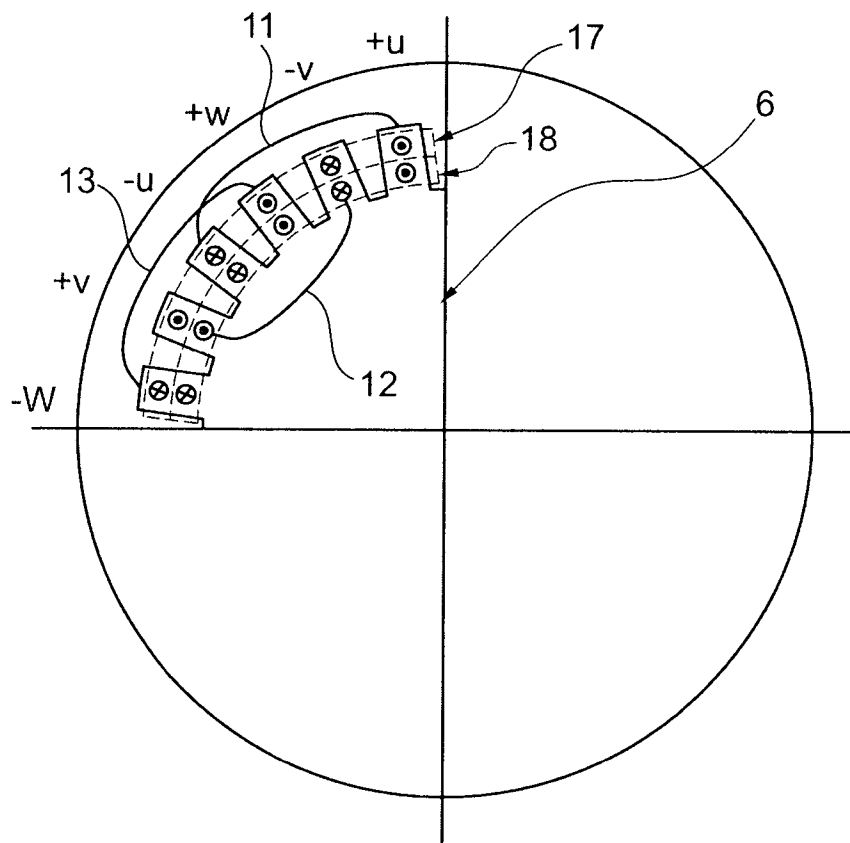


Fig. 5

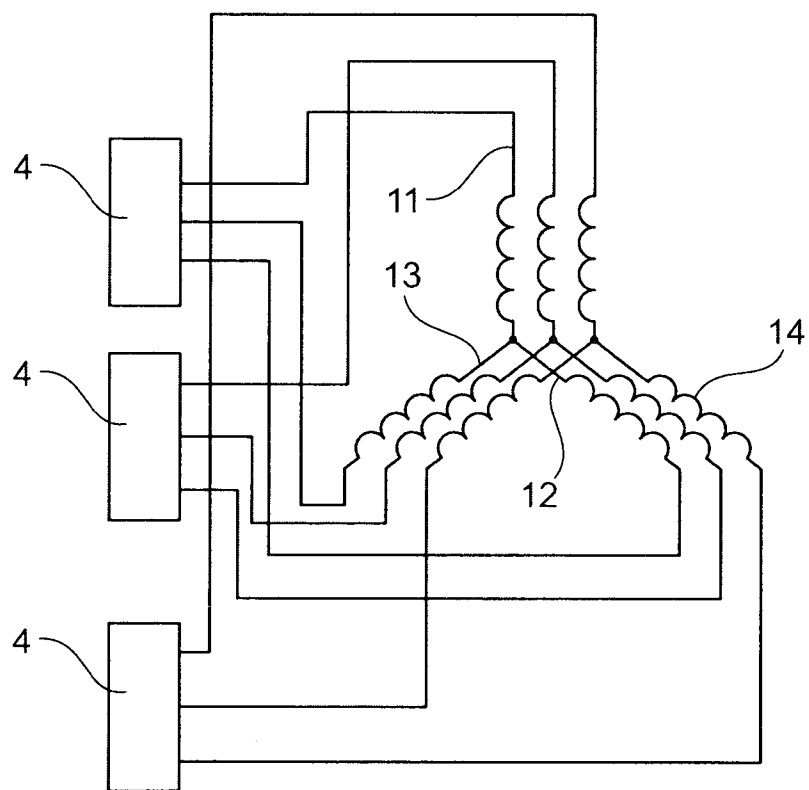


Fig. 6

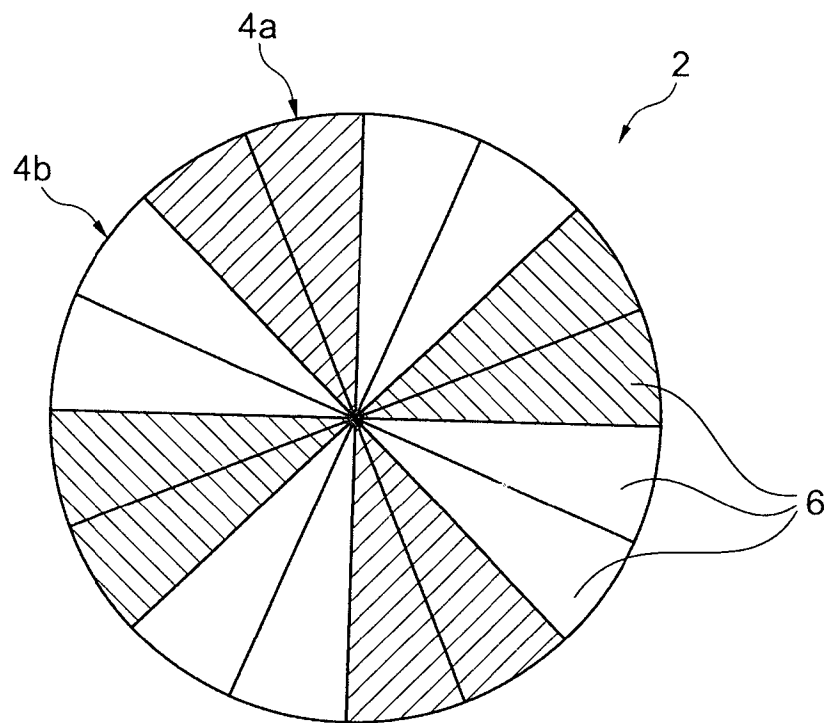


Fig. 7

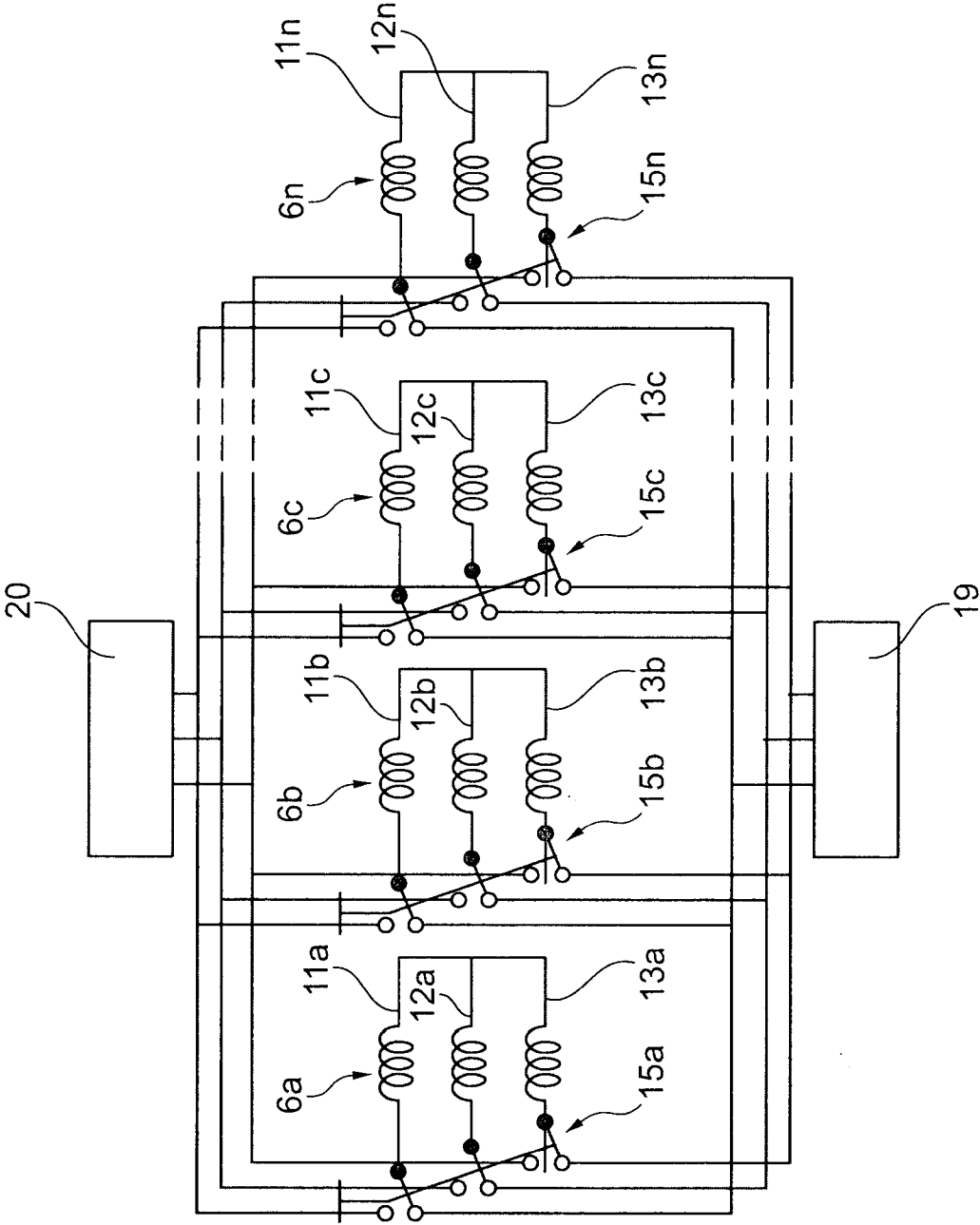


Fig. 8

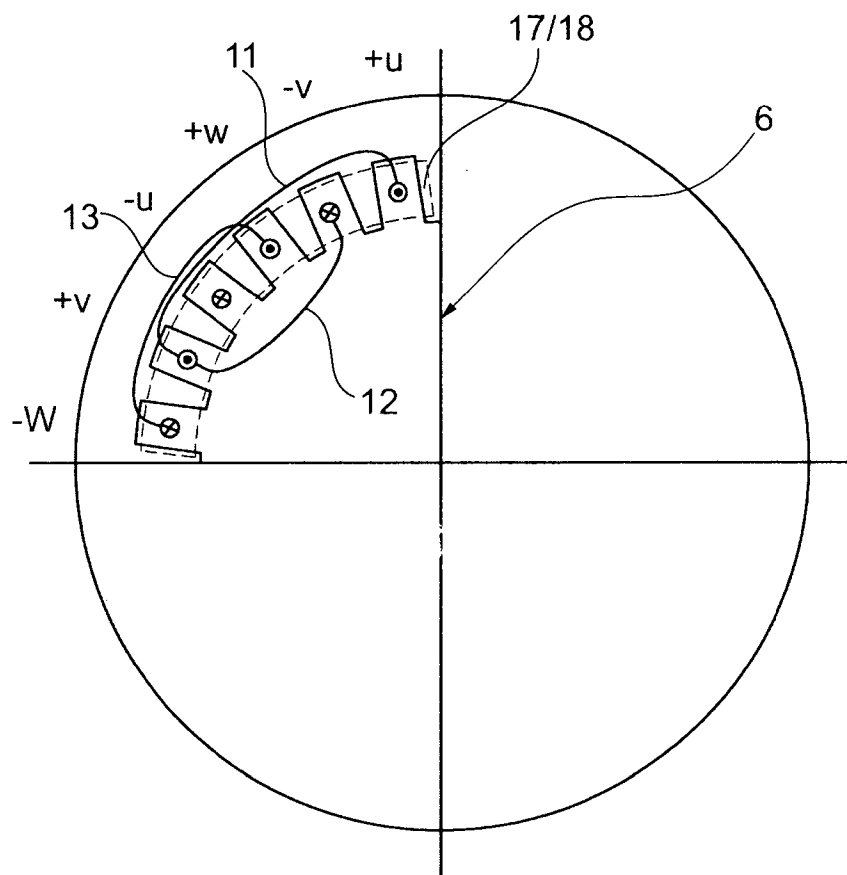


Fig. 9

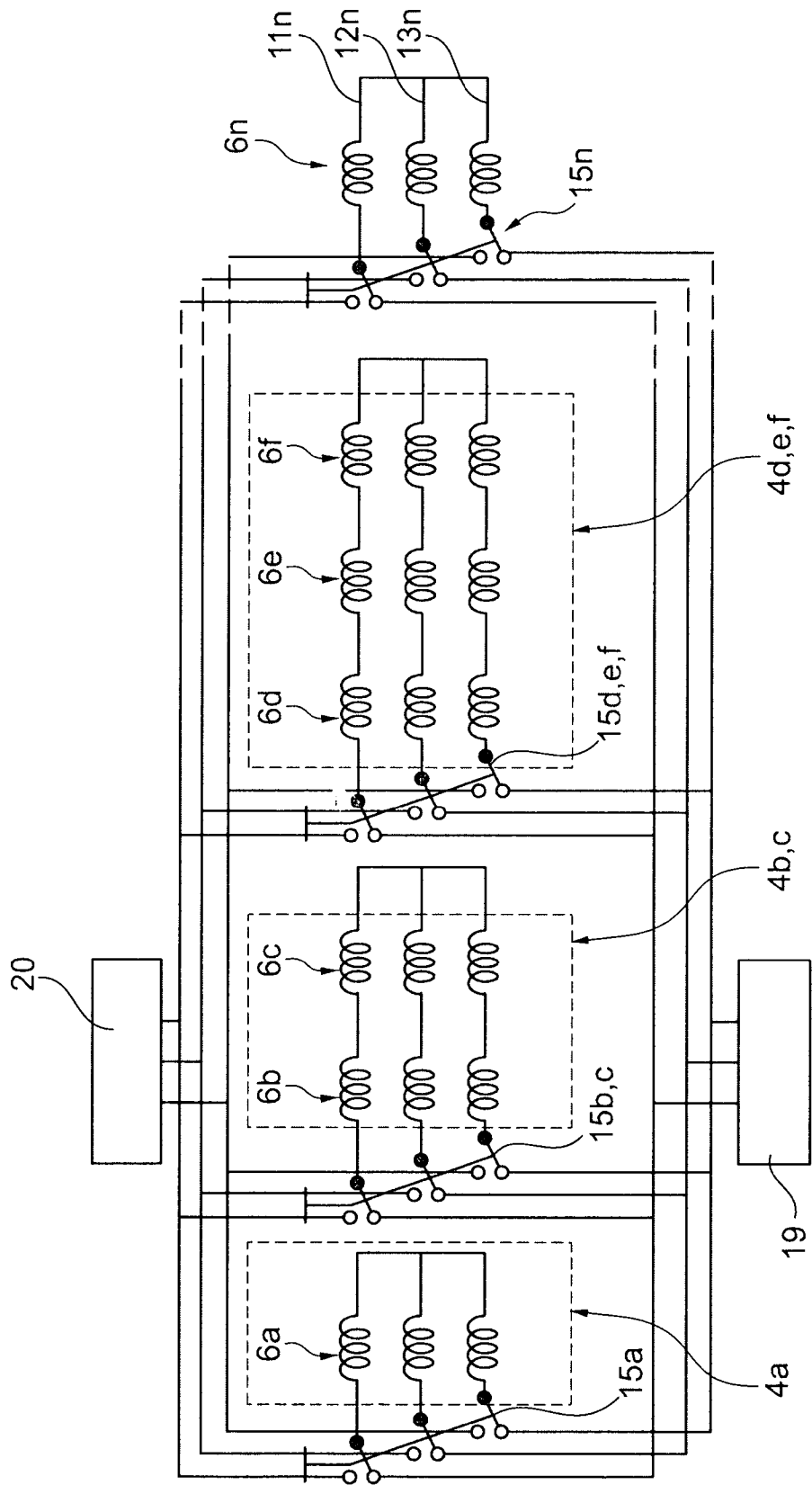


Fig. 10

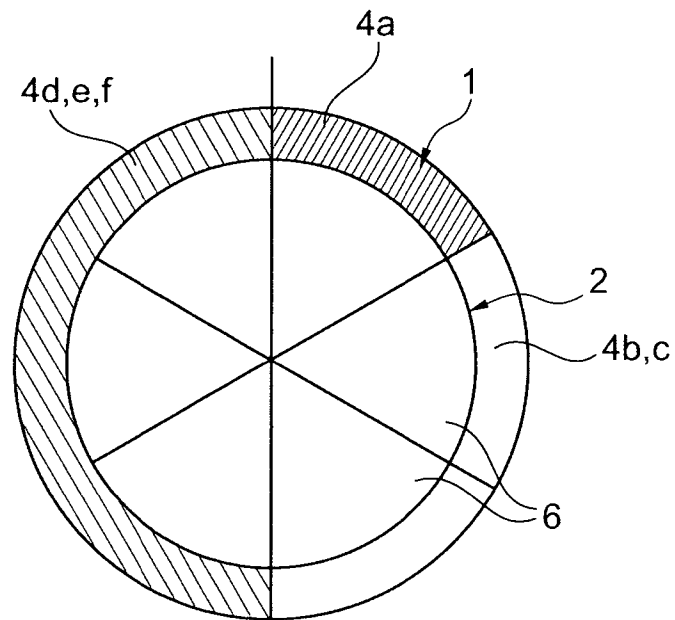


Fig. 11

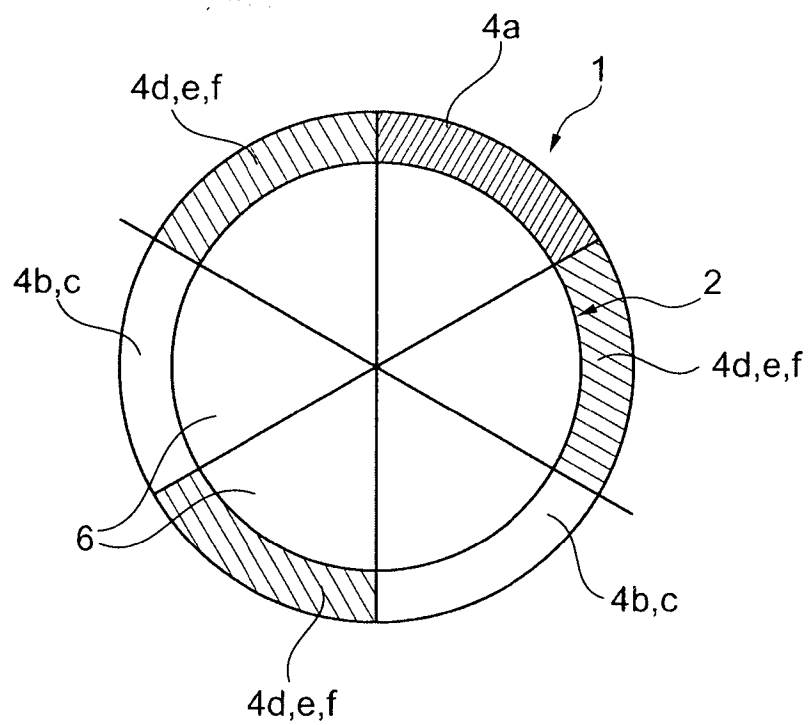


Fig. 12

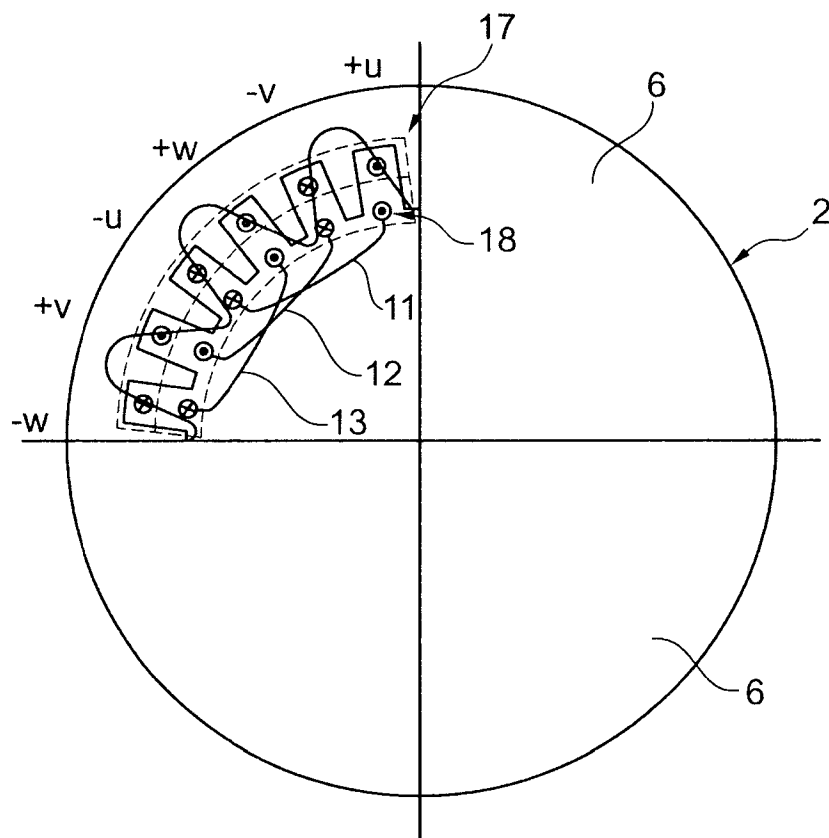


Fig. 13

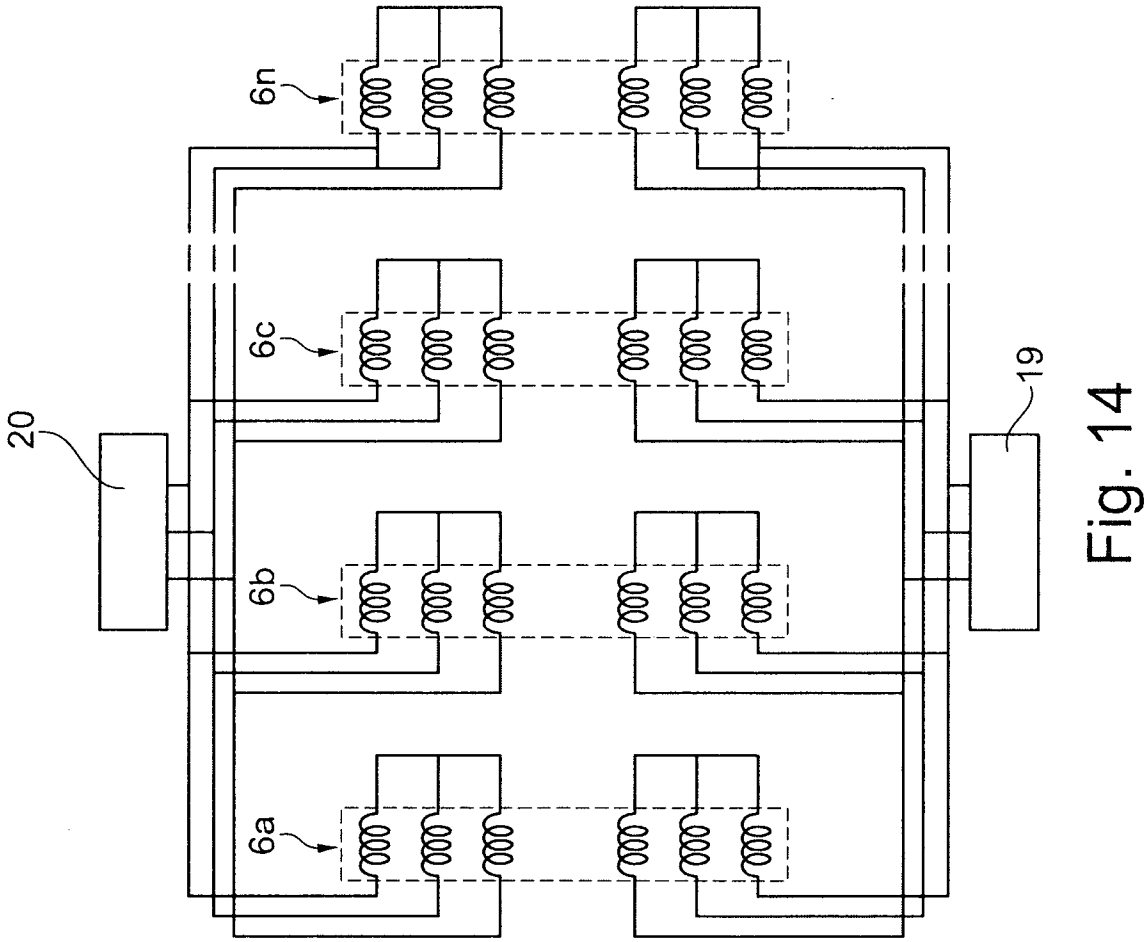


Fig. 14

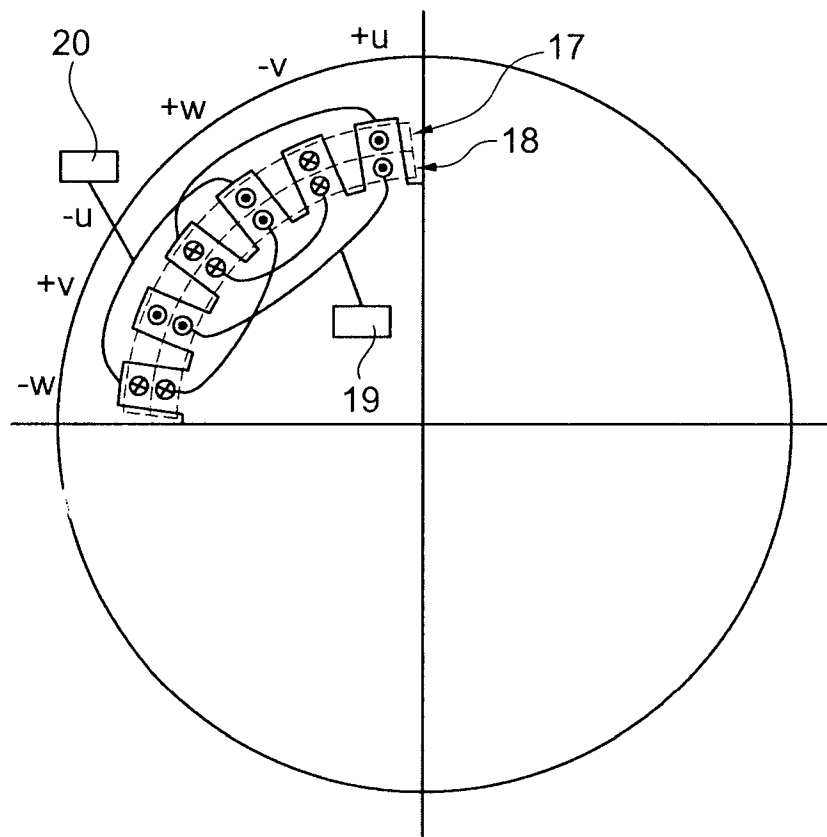


Fig. 15

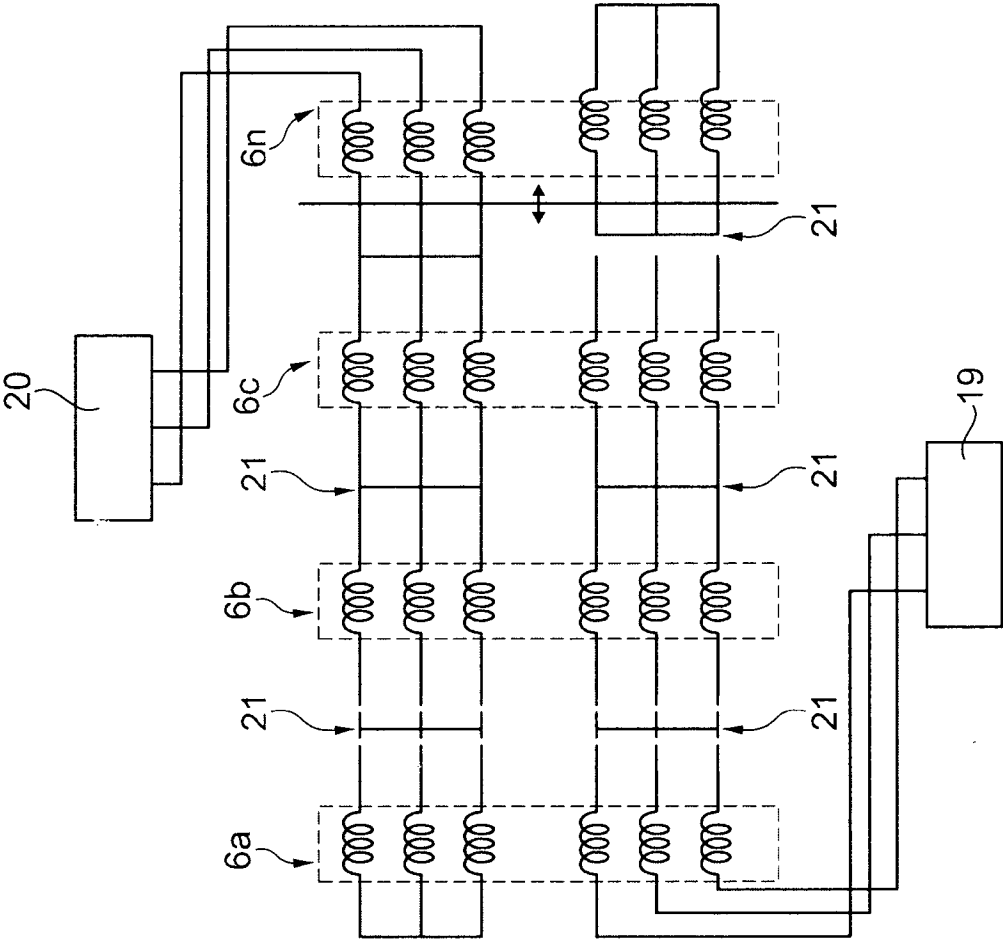


Fig. 16

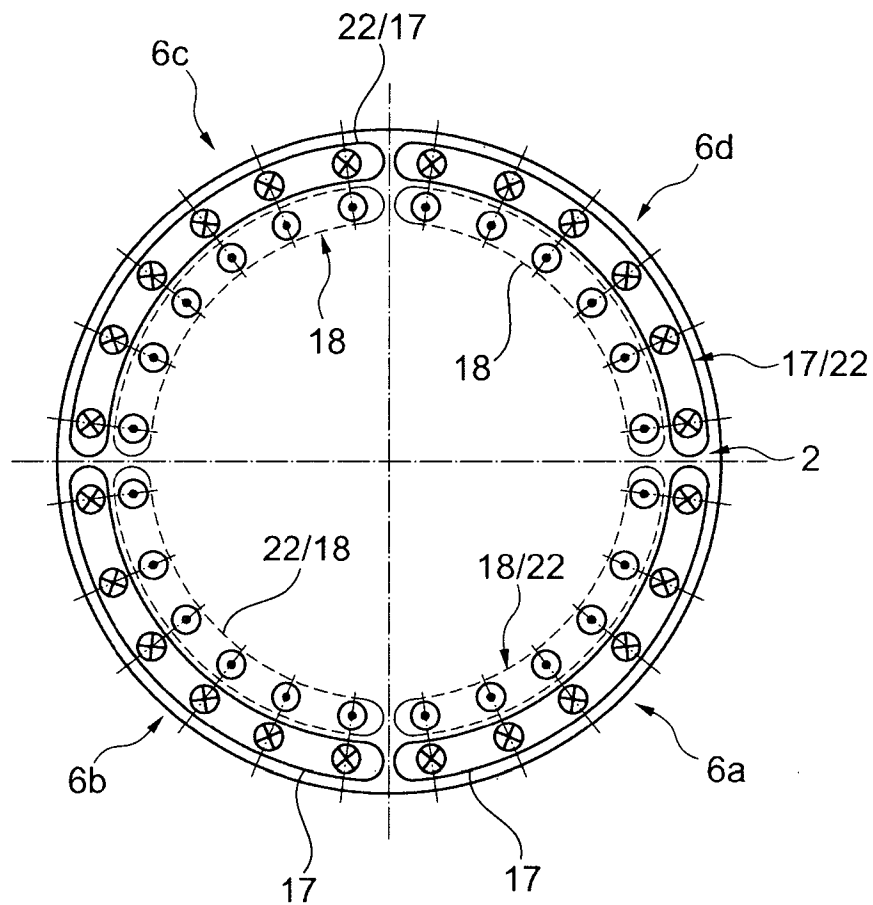


Fig. 17

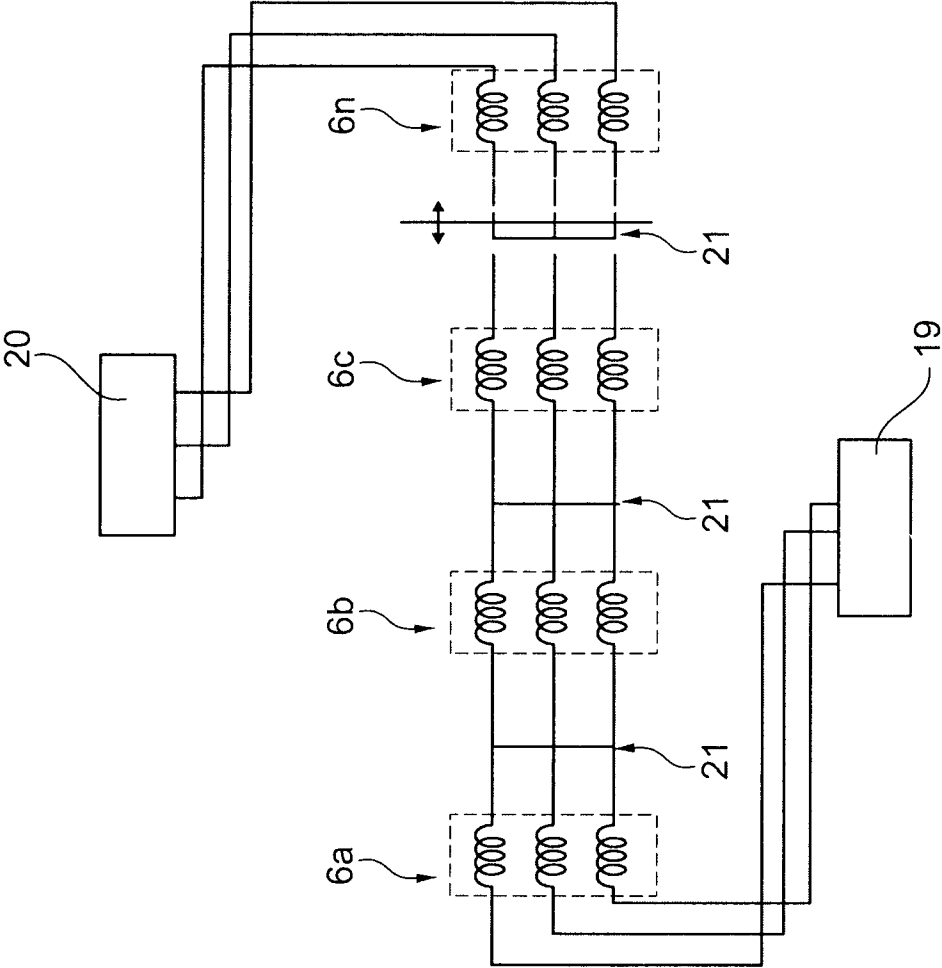


Fig. 18

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/DE2019/100969

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

H02K 1/14(2006.01)i; **H02K 19/08**(2006.01)i; **H02K 19/10**(2006.01)i; **H02K 21/04**(2006.01)i; **H02K 49/06**(2006.01)i;
H02K 21/14(2006.01)i; **H02P 25/22**(2006.01)i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

H02K; H02P

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

EPO-Internal, WPI Data

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X A	DE 10009462 A1 (OSTOVIC VLADO [DE]) 30 August 2001 (2001-08-30) figures 1-4	1,10 2-9
X Y A	WO 8403400 A1 (SUNDSTRAND CORP [US]) 30 August 1984 (1984-08-30) page 3, lines 18-27; figures 3, 6, 7 page 5, lines 4-8 page 5, lines 25-30	1-7,10 9 8
X	US 2018091070 A1 (CARBONE MICHAEL [US] ET AL) 29 March 2018 (2018-03-29) claim 1; figure 1	1,2,6,7,10
X	WO 2009013204 A1 (SIEMENS AG [DE]; BRUNE RICHARD [DE]; WOEHNER NORBERT [DE]) 29 January 2009 (2009-01-29) page 8, lines 25-29; figures 2, 5	1,2,5-7,10
X	DE 102013208570 A1 (CONTINENTAL AUTOMOTIVE GMBH [DE]) 13 November 2014 (2014-11-13) claim 1; figures 3, 6	1,2,5-7,10



Further documents are listed in the continuation of Box C.



See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

“A” document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
 “E” earlier application or patent but published on or after the international filing date
 “L” document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
 “O” document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
 “P” document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

“T” later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
 “X” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
 “Y” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
 “&” document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

21 January 2020

Date of mailing of the international search report

28 January 2020

Name and mailing address of the ISA/EP

**European Patent Office
 p.b. 5818, Patentlaan 2, 2280 HV Rijswijk
 Netherlands**

Telephone No. (+31-70)340-2040

Facsimile No. (+31-70)340-3016

Authorized officer

Van de Maele, Wim

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/DE2019/100969**C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT**

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	DE 102010046230 A1 (GREGOR HEINZ [DE]) 29 March 2012 (2012-03-29) figures 1-4	1,8,10
Y	JP 6202664 B2 (UNIV TOYO) 27 September 2017 (2017-09-27) paragraph [0044]; figure 3	9

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/DE2019/100969

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)	Publication date (day/month/year)
DE	10009462	A1	30 August 2001	NONE	
WO	8403400	A1	30 August 1984	DE 3490066 T1	27 June 1985
				FR 2541529 A1	24 August 1984
				GB 2144588 A	06 March 1985
				JP S60500556 A	18 April 1985
				WO 8403400 A1	30 August 1984
US	2018091070	A1	29 March 2018	EP 3300214 A1	28 March 2018
				US 2018091070 A1	29 March 2018
WO	2009013204	A1	29 January 2009	DE 102007033882 A1	29 January 2009
				WO 2009013204 A1	29 January 2009
DE	102013208570	A1	13 November 2014	DE 102013208570 A1	13 November 2014
				WO 2014180637 A2	13 November 2014
DE	102010046230	A1	29 March 2012	NONE	
JP	6202664	B2	27 September 2017	JP 6202664 B2	27 September 2017
				JP 2014168320 A	11 September 2014

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES		
INV.	H02K1/14 H02K21/14	H02K19/08 H02P25/22
	H02K19/10	H02K21/04 H02K49/06
ADD.		
Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPC) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPC		
B. RECHERCHIERTE GEBIETE		
Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)		
H02K H02P		
Recherchierte, aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen		
Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)		
EPO-Internal, WPI Data		
C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN		
Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	DE 100 09 462 A1 (OSTOVIC VLADO [DE]) 30. August 2001 (2001-08-30)	1,10
A	Abbildungen 1-4	2-9
X	WO 84/03400 A1 (SUNDSTRAND CORP [US]) 30. August 1984 (1984-08-30)	1-7,10
Y	Seite 3, Zeilen 18-27; Abbildungen 3, 6, 7	9
A	Seite 5, Zeilen 4-8 Seite 5, Zeilen 25-30	8
X	US 2018/091070 A1 (CARBONE MICHAEL [US] ET AL) 29. März 2018 (2018-03-29)	1,2,6,7,10
X	WO 2009/013204 A1 (SIEMENS AG [DE]; BRUNE RICHARD [DE]; WOEHNER NORBERT [DE]) 29. Januar 2009 (2009-01-29)	1,2,5-7,10
	Seite 8, Zeilen 25-29; Abbildungen 2, 5	
	-/-	
☒ Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen ☒ Siehe Anhang Patentfamilie		
* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen : "A" Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist "E" frühere Anmeldung oder Patent, die bzw. das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist "L" Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt) "O" Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht "P" Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist "T" Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist "X" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden "Y" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist "&" Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist		
Datum des Abschlusses der internationalen Recherche		Absendedatum des internationalen Recherchenberichts
21. Januar 2020		28/01/2020
Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016		Bevollmächtigter Bediensteter Van de Maele, Wim

C. (Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN		
Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	DE 10 2013 208570 A1 (CONTINENTAL AUTOMOTIVE GMBH [DE]) 13. November 2014 (2014-11-13) Anspruch 1; Abbildungen 3, 6 -----	1,2,5-7, 10
X	DE 10 2010 046230 A1 (GREGOR HEINZ [DE]) 29. März 2012 (2012-03-29) Abbildungen 1-4 -----	1,8,10
Y	JP 6 202664 B2 (UNIV TOYO) 27. September 2017 (2017-09-27) Absatz [0044]; Abbildung 3 -----	9

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/DE2019/100969

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
DE 10009462	A1	30-08-2001	KEINE
WO 8403400	A1	30-08-1984	DE 3490066 T1 27-06-1985 FR 2541529 A1 24-08-1984 GB 2144588 A 06-03-1985 JP S60500556 A 18-04-1985 WO 8403400 A1 30-08-1984
US 2018091070	A1	29-03-2018	EP 3300214 A1 28-03-2018 US 2018091070 A1 29-03-2018
WO 2009013204	A1	29-01-2009	DE 102007033882 A1 29-01-2009 WO 2009013204 A1 29-01-2009
DE 102013208570	A1	13-11-2014	DE 102013208570 A1 13-11-2014 WO 2014180637 A2 13-11-2014
DE 102010046230	A1	29-03-2012	KEINE
JP 6202664	B2	27-09-2017	JP 6202664 B2 27-09-2017 JP 2014168320 A 11-09-2014