



(19)
Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 10 2007 025 971 A1** 2008.12.11

(12)

Offenlegungsschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2007 025 971.0**

(22) Anmeldetag: **04.06.2007**

(43) Offenlegungstag: **11.12.2008**

(51) Int Cl.⁸: **H02K 21/04 (2006.01)**

(71) Anmelder:

Robert Bosch GmbH, 70469 Stuttgart, DE

(72) Erfinder:

Reutlinger, Kurt, 70174 Stuttgart, DE

(56) Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht zu ziehende Druckschriften:

EP 07 41 444 A1

WO 04/0 17 496 A2

WO 99/67 871 A1

LUO,X.,LIPO,T.A.:A Synchronous/Permanent Magnet

Hybrid AC Machine.In: IEEE Transactions on Energy

Conversion, Vol.15,No.2,June 2000,Digital Object Identifier 10.1109/60.867001,S.203-210;;

VIOREL,I.A.,et.al.:On the Possibility to Use A Hybrid Synchronous Machine As An Integrated

Starter-Generator.In:IEEE International Conference on Industrial Technology, 15-17

Dec.,2006, Digital Object Identifier

10.1109/ICIT.2006.372431, S.1195-2000;;

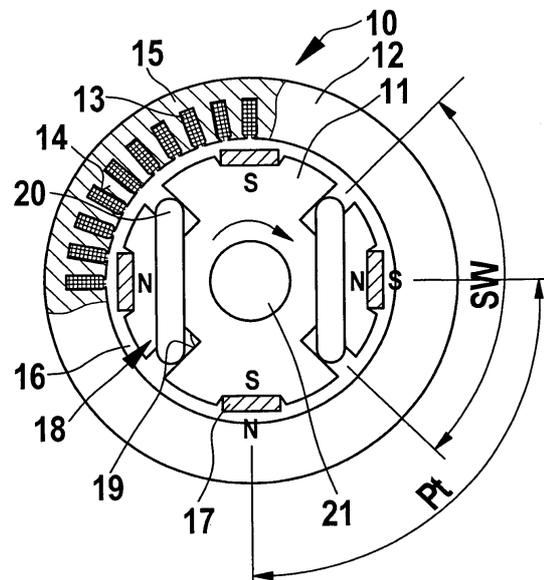
Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

Rechercheantrag gemäß § 43 Abs. 1 Satz 1 PatG ist gestellt.

(54) Bezeichnung: **Elektrische Maschine mit hybriderregtem Rotor**

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft eine elektrische Synchronmaschine (10) mit einem ortsfesten Ständer (12), einer mehrphasigen Ständerwicklung (13) und mit einem Rotor (11), der über seinen Umfang in einer vorgegebenen Folge mehrere permanentmagnetische und elektrisch erregte Pole aufweist, wobei die Polzahl des Rotors in Abhängigkeit von Stärke und Richtung eines Erregerstromes in mindestens einer Erregerspule (18) des Rotors umsteuerbar ist.

Zur Reduzierung der Anzahl von Erregerspulen beziehungsweise des gesamten Spulenquerschnittes ist vorgesehen, dass die mindestens eine Erregerspule (18) mit einer Schrittweite (SW) am Umfang des Rotors angeordnet ist, die der Polteilung (Pt) der kleineren Polzahl entspricht.



Beschreibung

Stand der Technik

[0001] Die Erfindung betrifft eine elektrische Maschine mit einem ortsfesten Ständer und einem hybriderregten Rotor nach der Gattung des Patentanspruchs 1.

[0002] Derartige Synchronmaschinen eignen sich sowohl zum Betrieb an einem festen Netz, zum Beispiel einem ortsfesten Drehstromnetz, als auch zum Betrieb über einen elektronischen Umrichter. Des Weiteren sind derartige Maschinen im Generatorbetrieb zur Regelung der induzierten Spannung in einem mehrphasigen Ständerwicklungssystem geeignet, wie sie beispielsweise in Bordnetzen von Kraftfahrzeugen benötigt werden. Bei diesen elektrischen Maschinen sind die Pole am Umfang des Rotors zum Teil permanent magnetisch und zum anderen Teil elektrisch erregt.

[0003] So sind aus der WO 2004/017496 polumschaltbare Synchronmaschinen bekannt, bei denen eine Polumschaltung des Rotors über eine Änderung der Stromrichtung in den Erregerspulen des Polrades erfolgt, die zur Steuerung der Ausgangsspannung einer mehrphasigen Ständerwicklung dient. Durch eine kontinuierliche Regelung des Erregerstromes kann dabei die Ausgangsspannung der für die höhere Polzahl ausgelegten mehrphasigen Ständerwicklung in weiten Bereichen beeinflusst werden. Dort werden beispielsweise gemäß **Fig. 1a** und **1b** bei einer zwischen zwölf- und sechspolig umsteuerbaren Anordnung drei radial magnetisierte Dauermagnete sowie drei Erregerspulen benötigt, wobei die Erregerspulen mit einer Schrittweite von einer Polteilung der höheren Polzahl auf jeweils einen radial zum Umfang ausgerichteten Schenkel angeordnet sind. Nachteilig dabei ist, dass für eine symmetrische Polanordnung für jeden Permanentmagneten eine Erregerspule für eine entsprechende Durchflutung benötigt wird. Das erfordert einen entsprechend großen Kupferquerschnitt und Platzbedarf am Rotor. Ferner ist nachteilig, dass dort die Permanentmagnete am Rotorumfang gleiche Polarität haben, weil dadurch ihre Aufmagnetisierung im eingebauten Zustand erschwert ist, indem der magnetische Rückfluss über benachbarte Pole erfolgen muss.

[0004] Weitere Ausführungsformen derartiger Synchronmaschinen sind aus der WO 99/67871 bekannt. Dort sind jedoch im Rotor die Permanentmagnete in Radialrichtung aufgestellt und sehnartig magnetisiert. Auch hier sind zwischen den Permanentmagneten Erregerspulen auf jeweils einem radial zum Umfang verlaufenden Schenkel angeordnet, die eine Schrittweite von einer Polteilung der höheren Polzahl aufweisen. Ebenso ist hier bei einer symmetrischen Polanordnung die Anzahl der Erregerspulen gleich

der Anzahl der Permanentmagnete, wobei alle Erregerspulen auf die volle Durchflutung ausgelegt sein müssen. Für eine Maschine mit zwölfpoligem Rotor werden sogar vier Erregerspulen mit entsprechend großem Kupferquerschnitt und Platzbedarf benötigt. Auch hier ist ferner nachteilig, dass eine vollständige Aufmagnetisierung der Permanentmagnete im eingebauten Zustand am Rotor praktisch nicht realisierbar ist, da mit einem Magnetisierkopf am Rotorumfang die innen liegenden Bereiche der Permanentmagnete nicht in vollem Umfang erreicht werden.

Offenbarung der Erfindung

[0005] Mit der vorliegenden Lösung wird angestrebt, bei gleicher Leistung der elektrischen Maschine den insgesamt erforderlichen Querschnitt für die Erregerspulen des Rotors zu verringern und damit die benötigte Kupfermenge sowie den Platz und den Leistungsbedarf für die elektrische Erregung zu reduzieren.

[0006] Bei elektrischen Maschinen mit einem hybriderregten Polrad ergibt sich mit den kennzeichnenden Merkmalen des Anspruchs 1 der Vorteil, dass mittels einer gegenüber dem Stand der Technik mehrfachen Schrittweite der Erregerspulen bei gleichem Spulenquerschnitt die Spulenzahl beziehungsweise bei gleicher Spulenzahl deren Querschnitt reduziert wird. Bei gleicher Leistung lässt sich dadurch der Rotor kostengünstiger mit reduzierter Kupfermenge und kompakter herstellen. Als weiterer Vorteil ist anzusehen, dass nunmehr die Permanentmagnete des Rotors in einfachster Weise in eingebautem Zustand aufmagnetisierbar sind.

[0007] Durch die in den Unteransprüchen aufgeführten Maßnahmen ergeben sich vorteilhafte Ausgestaltungen und Weiterbildungen der im Hauptanspruch angegebenen Merkmale.

[0008] Dabei ist zur Erzielung einer vergrößerten Schrittweite der Erregerspulen von wesentlicher Bedeutung, dass deren Wickelköpfe an den Stirnseiten des Rotors jeweils sehnartig unterhalb mindestens eines am Rotorumfang angeordneten und radial magnetisierten Permanentmagneten vorbeigeführt sind. In Bezug auf die Verwendung der elektrischen Maschine als Drehstromgenerator für Kraftfahrzeuge ist dabei besonders vorteilhaft, wenn die Ausgangsspannung der Ständerwicklung durch eine Änderung von Stärke und Richtung des Erregerstromes in den Erregerspulen vorzugsweise last- und temperaturabhängig zwischen einem zulässigen Maximalwert und dem Wert 0 regelbar ist. So wird zum Beispiel die Abgabeleistung dem momentanen Verbrauch angepasst, um eine konstante Netzspannung zu erhalten. In vorteilhafter Weise weist außerdem im Normalbetrieb der Maschine der Rotor die höhere Polzahl auf, wobei die Stärke und Richtung des Erregerstromes in

den Erregerspulen so gewählt ist, dass im Zusammenwirken mit den Permanentmagneten am Polradumfang etwa gleichstarke Pole abwechselnder Polarität auftreten. Eine Steigerung des Erregerstromes führt zu einer Steigerung der induzierten Spannung und somit zu höherer Leistungsabgabe und umgekehrt.

[0009] Eine besonders kostengünstige Ausführungsform der elektrischen Maschine ergibt sich dadurch, dass der Rotor nur eine, in einander diametral gegenüberliegenden Nuten eingesetzte Erregerspule aufweist, die vorzugsweise an den Wickelköpfen geteilt um eine Rotorwelle herumgeführt ist und mit mindestens zwei zwischen den Nuten am Rotorumfang angeordneten, einander diametral gegenüberliegenden Permanentmagneten zusammenwirkt. In vorteilhafter Weise sind dabei zwei Permanentmagnete abwechselnder radialer Polarität zu den zwei Nuten der Erregerspule um 90° versetzt angeordnet. In Weiterbildung der Erfindung wird für eine höhere Polpaarzahl vorgeschlagen, dass vier Permanentmagnete am Rotorumfang angeordnet sind, wobei zwischen den Nuten jeweils zwei Permanentmagnete mit gleicher radialer Polarität einen etwa gleich großen Abstand zueinander und zu den Nuten haben. Eine noch größerer Polpaarzahl lässt sich in vorteilhafter Weise dadurch erreichen, dass nunmehr sechs Permanentmagnete am Rotorumfang angeordnet sind, wobei zwischen den Nuten jeweils drei Magnete mit abwechselnder Polarität einen etwa gleich großen Abstand zueinander beziehungsweise zu den Nuten haben.

[0010] Eine für Generatoren in Kraftfahrzeugen besonders vorteilhafter Ausführungsform ergibt sich dadurch, dass der Rotor mindestens zwei, vorzugsweise vier, in vier um je 90° zueinander versetzte Nuten eingesetzte Erregerspulen aufweist, welche mit mindestens vier zwischen den Nuten am Rotorumfang angeordneten Permanentmagneten abwechselnder radialer Polarität zusammenwirken. In vorteilhafter Weise haben dabei die vier Permanentmagnete zu den benachbarten Nuten jeweils einen Umfangsabstand, welcher der Umfangsbreite der Magnete entspricht, so dass bei entsprechendem Erregerstrom in den Erregerspulen am Rotorumfang die Polzahl von vier Pole auf zwölf Pole umsteuerbar ist.

Kurze Beschreibung der Zeichnung

[0011] Die Erfindung wird im Folgenden beispielhaft anhand der Figuren näher erläutert. Es zeigen:

[0012] [Fig. 1](#) eine erfindungsgemäße elektrische Maschine mit hybriderregtem Rotor in schematischer Darstellung,

[0013] [Fig. 2](#) zeigt den Rotor im Querschnitt mit vier Permanentmagneten und zwei steuerbaren Erreger-

spulen und

[0014] [Fig. 3](#) zeigt in einem Diagramm den Verlauf der Ausgangsspannung der Maschine im Generatorbetrieb in Abhängigkeit vom Erregerstrom.

[0015] [Fig. 4a](#) und [Fig. 4b](#) zeigt den Rotor aus [Fig. 2](#) mit geteilten Erregerspulen und der elektrischen Umsteuerung zwischen zwölf und vier Polen.

[0016] [Fig. 5a](#) und [Fig. 5b](#) zeigen als weitere Ausführungsform einen zwischen sechs und zwei Polen umsteuerbaren Rotor mit zwei Permanentmagneten und einer geteilten Erregerspule.

[0017] [Fig. 6a](#) und [Fig. 6b](#) zeigen als weiteres Ausführungsbeispiel einen zwischen zehn und zwei Polen umsteuerbaren Rotor mit vier Permanentmagneten und nur einer Erregerspule und

[0018] [Fig. 7a](#) und [Fig. 7b](#) zeigen als weiteres Ausführungsbeispiel einen zwischen vierzehn und zwei Polen umsteuerbaren Rotor mit sechs Permanentmagnet und nur einer Erregerspule.

Ausführungsformen der Erfindung

[0019] In [Fig. 1](#) ist eine elektrische Maschine in vereinfachter Weise im Querschnitt dargestellt und mit **10** bezeichnet, die als Synchronmaschine mit einem hybriderregtem Rotor **11** versehen ist. Die Maschine hat einen ortsfesten Ständer **12**, der eine dreiphasige Ständerwicklung **13** trägt. Im ersten Ausführungsbeispiel nach [Fig. 1](#) bis [Fig. 3](#) ist die elektrische Maschine **10** ein Drehstromgenerator für Kraftfahrzeuge mit einer zwölfpoligen Ständerwicklung **13**, deren drei Wicklungsstränge in Nuten **14** eines Ständer-Blechpaketes **15** mit einer Spulenschrittweite von 3 Nuten eingesetzt und in [Fig. 1](#) über einen Teil des Umfangs dargestellt sind. Der Ständer **12** wirkt über einen Arbeitsluftspalt **16** mit dem im Ständer **12** drehbar gelagerten Rotor **11** zusammen. Der Rotor **11** weist über seinen Umfang in einer vorgegebenen Folge mehrere Nord- und Südpole N und S auf, die durch Permanentmagnete **17** sowie durch Erregerspulen **18** ausgebildet werden. Dabei lässt sich die Polzahl des Rotors **11** in Abhängigkeit von der Stärke und Richtung eines Erregerstromes in den Erregerspulen **18** umsteuern.

[0020] In [Fig. 2](#) ist die am Umfang des Rotors **11** auftretende Polfolge dargestellt, die sich bei einem in Pfeilrichtung durch die Erregerspulen **18** fließenden Erregerstrom **1e** ergibt. Dort sind zwei Erregerspulen **18** in vier Nuten **19** des Rotors **11** eingesetzt, welche um je 90° zueinander versetzt und zum Umfang des Rotors **11** ausgerichtet sind. Zwischen den Nuten **19** sind am Rotorumfang vier Permanentmagnete **17** angeordnet, die mit abwechselnder radialer Polarität mit den Erregerspulen **18** zusammenwirken. Dadurch er-

geben sich bei der in [Fig. 2](#) dargestellten Stromrichtung des Erregerstromes I_e am Rotorumfang zwölf Pole abwechselnder Polarität. Durch die Umkehr der Stromrichtung in den Erregerspulen **18** lässt sich die Polzahl des Rotors **11** umsteuern, in dem durch die Umkehrung des elektrisch erregten Feldes Φ_e die zu beiden Seiten einer jeden Nut **19** am Rotorumfang ausgebildeten Pole jeweils ihre Polarität wechseln, was in [Fig. 2](#) durch die in Klammern dargestellte Polarität verdeutlicht wird. Daraus ergibt sich nunmehr am Rotorumfang eine vierpolige Anordnung mit abwechselnder symmetrischer Polarität.

[0021] Erfindungsgemäß wird dabei die Reduzierung der Anzahl von Erregerspulen **18** dadurch erreicht, dass die Erregerspulen **18** mit einer Schrittweite SW am Umfang des Rotors **11** angeordnet sind, die gemäß [Fig. 1](#) der Polteilung P_t der kleineren Polzahl des Rotors **11** – hier folglich der vierpoligen Ausführung – entspricht. Diese gegenüber dem Stand der Technik mehrfach so große Schrittweite wird dadurch erreicht, dass die Wickelköpfe **20** der Erregerspulen **18** an den Stirnseiten des Rotors **11** jeweils sehnenartig unterhalb eines der am Rotorumfang angeordneten und radial magnetisierten Permanentmagnete **17** vorbeigeführt sind. Im Normalbetrieb der elektrischen Maschine **10** ist die Stärke und Richtung des Erregerstromes I_e in den Erregerspulen **18** so gewählt, dass im Zusammenwirken mit den Permanentmagneten **17** der Rotor die höhere Polzahl aufweist und am Rotorumfang etwa gleichstarke Pole abwechselnder Polarität auftreten. Zu diesem Zweck ist ferner vorgesehen, dass die vier Permanentmagnete **17** zu den benachbarten Nuten **14** jeweils gemäß [Fig. 2](#) einen Umfangsabstand a haben, welcher der Umfangsbreite b der Magnete entspricht.

[0022] Mit Hilfe der [Fig. 3](#) wird nunmehr näher erläutert, dass die Ausgangsspannung U_a der Ständerwicklung **13** des Drehstromgenerators nach [Fig. 1](#) durch eine Änderung von Stärke und Richtung des Erregerstromes I_e in den Erregerspulen **18** vorzugsweise last- und temperaturabhängig zwischen einem zulässigen Maximalwert und dem Wert 0 regelbar ist. Dabei ist über die Zeitachse t der vom Erregerstrom I_e abhängige Verlauf der Ausgangsspannung U_a der Maschine über eine halbe Umdrehung des Rotors **11** (180° mechanisch) dargestellt. Bei der zwölfpoligen Drehstrom-Ständerwicklung **13** ergeben sich folglich bei einer halben Umdrehung des Rotors **11** drei volle Perioden.

[0023] Bei maximal zulässigem Erregerstrom $I_e \gg 0$ wird mittels des nunmehr zwölfpoligen Rotors **11** bei vorgegebener Belastung die maximale Ausgangsspannung U_{a1} in der Ständerwicklung **13** erzeugt, mit der die jeweilige Akkumulatorbatterie im Bordnetz eines Kraftfahrzeugs in an sich bekannter Weise über eine Gleichrichter-Baueinheit zu versorgen ist. In ebenfalls bekannter, nicht dargestellter

Weise, wird dabei die Ausgangsspannung U_a der elektrischen Maschine **10** in Abhängigkeit von der Gleichspannung im Kraftfahrzeug-Bordnetz mehr oder weniger stark herunter geregelt. Für die elektrische Maschine **10** nach [Fig. 1](#) bedeutet dies, dass bei einem entsprechend reduzierten Erregerstrom $I_e > 0$ an der Ständerwicklung **13** die entsprechend reduzierte Ausgangsspannung U_{a2} auftritt, indem durch die schwächere elektrische Erregung im Rotor **11** das magnetische Gesamtfeld des Rotors **11** geschwächt wird. Diese Schwächung des Gesamtfeldes setzt sich fort bis zu einem Erregerstrom $I_e = 0$, bei dem nun noch eine relativ kleine Ausgangsspannung U_{a3} in der Ständerwicklung **13** induziert wird.

[0024] Wird nunmehr gar die Richtung des Erregerstromes $I_e < 0$ in den Erregerspulen **18** gewechselt, ergibt sich gemäß [Fig. 2](#) eine Umsteuerung der Polzahl am Rotor **11** von zwölf Polen auf vier Pole. In diesem Fall werden in den einzelnen Spulen eines Wicklungsstranges der Ständerwicklung **13** entgegen gesetzt gerichtete Spannungen induziert, die sich mehr oder weniger teilweise aufheben. Die dabei auftretende Ausgangsspannung U_{a4} bewegt sich nun in einem kleinen Bereich um den Spannungswert 0. Erhöht man schließlich den Erregerstrom I_e in umkehrter Richtung auf höhere Werte $I_e \gg 0$, so erhält man eine in [Fig. 3](#) gestrichelt dargestellte Ausgangsspannung U_{a5} mit um 180° elektrisch versetzten Halbwellen der Ausgangsspannung U_a . Für die Blindleistungsregelung muss die induzierte Spannung zwischen einem Maximum und einem Minimum regelbar sein; sie darf nicht 0 oder negativ werden, sonst kippt die Maschine in einen instabilen Zustand.

[0025] Weitere Ausführungsbeispiele von erfindungsgemäß ausgebildeten hybriderregten und polumschaltbaren Rotoren von Synchronmaschinen gemäß [Fig. 1](#) zeigen die [Fig. 4](#) bis 7 in schematischer Darstellung.

[0026] In den [Fig. 4a](#) und [Fig. 4b](#) ist ein Rotor **11a** im Querschnitt dargestellt, bei dem die zwei Erregerspulen **18** aus [Fig. 2](#) durch vier über dem Umfang gleichmäßig verteilte Erregerspulen **18a** mit jeweils halber Windungszahl ersetzt sind. Dabei ist die Stromrichtung in den Erregerspulen **18a** durch Pfeile angegeben. Demzufolge ergibt sich gemäß [Fig. 4a](#) im Zusammenwirken der Permanentmagnete **17** und der Erregerspulen **18a** am Rotorumfang eine zwölfpolige Anordnung und durch den Richtungswechsel des Stromes in den Erregerwicklungen **18a** gemäß [Fig. 4b](#) eine vierpolige Ausbildung am Rotorumfang. Für beide Polzahlen bleibt die Polfolge über den Rotorumfang symmetrisch, wodurch eine gleichmäßig magnetische und thermische Belastung des Rotors gewährleistet ist.

[0027] In den [Fig. 5a](#) und [Fig. 5b](#) ist ein Rotor **11b** schematisch im Querschnitt dargestellt, der lediglich

eine an den Wickelköpfen in zwei Hälften **18a** geteilte Erregerspule **18** aufweist, welche in zwei einander diametral gegenüberliegende Nuten **19** des Rotors **11** eingesetzt ist. Dabei sind die beiden Teile **18a** der Erregerspule **18** an den Wickelköpfen um eine Rotorwelle **21** herumgeführt. Außerdem sind dort zwei Permanentmagnete **17** mit abwechselnder, radialer Polarität um jeweils 90° zu den zwei Nuten **19** der Erregerspule **18** versetzt am Umfang des Rotors **12** angeordnet. Bei der durch Pfeile dargestellten Stromrichtung in den beiden Hälften **18a** der Erregerspule **18** ergibt sich für [Fig. 5a](#) am Rotorumfang die Ausbildung von sechs nahezu gleichstarken Polen abwechselnder Polarität. Bei einer Stromrichtungsumkehr in der Erregerspule **18** ändert auch der dadurch elektrisch erregte Magnetfluss Φ_e seine Richtung, so dass sich nunmehr gemäß [Fig. 5b](#) am Rotorumfang nur noch zwei Pole ausbilden, die jeweils über den halben Umfang verteilt sind.

[0028] Bei einem weiteren Ausführungsbeispiel nach den [Fig. 6a](#) und [Fig. 6b](#) ist wiederum nur eine in einander diametral gegenüberliegende Nuten **19** eingesetzte Erregerspule **18** am Rotor **11c** dargestellt, welche beispielsweise an ihren beiden Wickelköpfen um jeweils eine Hälfte der nicht dargestellten Rotorwelle herumzuführen ist. Hier sind jedoch vier Permanentmagnete **17** am Rotorumfang angeordnet, wobei zwischen den beiden Nuten **19** jeweils zwei Dauermagnete **17** mit gleicher radialer Polarität vorgesehen sind. Dabei haben die Permanentmagnete **17** einen etwa gleichgroßen Abstand zueinander und zu den Nuten **19** des Rotors **11c**. Bei der dargestellten Polarität der vier Permanentmagnet **17** und der durch einen Pfeil gekennzeichneten Stromrichtung in der Erregerspule **18** ergibt sich in [Fig. 6a](#) am Rotorumfang eine zehnpolige Ausbildung von Nord- und Südpolen in abwechselnder Polfolge. Gemäß [Fig. 6b](#) lässt sich diese Ausführung durch eine Umkehrung der Stromrichtung in der Erregerspule **18** in eine zweipolige Anordnung umsteuern, wobei die obere Hälfte des Rotorumfangs als Südpol und die untere als Nordpol ausgebildet wird.

[0029] In einem weiteren Ausführungsbeispiel gemäß [Fig. 7a](#) und [Fig. 7b](#) ist wiederum eine Erregerspule **18** in zwei einander diametral gegenüberliegende Nuten eines Rotors **11d** eingesetzt. Dort sind jedoch nunmehr sechs Permanentmagnete **17** am Rotorumfang derart angeordnet, dass zwischen den Nuten **19** jeweils drei Permanentmagnet **17** mit gleicher radialer Polarität einen etwa gleich großen Abstand zueinander beziehungsweise zu den Nuten haben. Auch hier wird durch eine Umsteuerung der durch Pfeile dargestellten Stromrichtung in der Erregerspule **18** am Rotorumfang die Polzahl umgesteuert. Dabei ergibt sich bei der vorgegebenen Stromrichtung gemäß [Fig. 7a](#) am Rotorumfang eine vierzehnpolige Ausbildung mit etwa gleich starken Polen abwechselnder Polarität. Bei einer Stromrichtungs-

umkehr in der Erregerspule **18** gemäß

[0030] [Fig. 7b](#) werden nunmehr die elektrisch erregten Pole zu beiden Seiten der Nuten **19** umgepolst und es entsteht über den Rotorumfang eine zweipolige symmetrische Ausbildung mit einem Nordpol auf der oberen und einem Südpol auf der unteren Hälfte des Rotorumfangs.

[0031] Bei den Ausführungsbeispielen nach [Fig. 4](#) bis 7 ist die Ausbildung des magnetischen Feldes über den Rotorumfang durch einen entsprechenden Feldlinienverlauf dargestellt, wobei der Magnetfluss der Permanentmagnete **17** mit Φ_m sowie der elektrisch erregte Magnetfluss mit Φ_e bezeichnet ist. Ferner ist bei den Ausführungsbeispielen zur Erzielung einer möglichst gleichmäßigen Polverteilung am Rotorumfang für die höhere Polzahl des Rotors **11** von Bedeutung, dass die Permanentmagnete **17** zu den benachbarten Nuten **19** beziehungsweise zueinander jeweils einen Umfangsabstand a haben, welcher der Umfangsbreite b der Permanentmagnete **17** entspricht.

[0032] Durch die Anordnung der radial magnetisierten Permanentmagnete **17** am Umfang des Rotors **11** ist es möglich, diese in einfacher Weise im zusammengebauten Zustand des Rotors aufzumagnetisieren. Da jeweils eine gleich große Zahl von Nord- und Südpolen vorhanden ist, hebt sich beim Magnetisierungsvorgang mittels einer von außen auf den Rotorumfang aufgesetzten Magnetisiervorrichtung der magnetische Fluss durch die Permanentmagnete auf. Da außerdem die Nordpole zu den Südpolen einen großen Abstand besitzen, lassen sie sich auf ihrer ganzen Breite bis hin zu ihren Kanten gut aufmagnetisieren, wobei die Feldlinien beim Aufmagnetisierungsvorgang an den Polkanten keine störenden Streuflüsse aufweisen. Durch die Anordnung der Erregerspulen **18** radial unterhalb der Permanentmagnete **17** ist es sogar möglich, die Aufmagnetisierung der Permanentmagnete **17** mittels Stromstöße in der Erregerspule **18** vorzunehmen.

[0033] Die Erfindung ist nicht auf die dargestellten und beschriebenen Ausführungsbeispiele beschränkt, zumal bei größeren und leistungsstarken Maschinen mit hybriderregtem Rotor eine hohe Polzahl durch eine entsprechend höhere Anzahl von Erregerspulen **18** und Permanentmagneten **17** zu realisieren ist. Derartige Maschinen lassen sich an ortsfesten Wechselstrom- beziehungsweise Drehstromnetzen sowohl zur Regelung der Blindleistung über den Erregerstrom als auch zur Drehzahlumschaltung verwenden. So ist es beispielsweise möglich, bei einer elektrischen Maschine, deren Ständerwicklung zwischen zwei und sechs Polen umschaltbar ist, durch die Umsteuerung der Rotorpole die Maschinendrehzahl auf das Dreifache zu erhöhen beziehungsweise auf ein Drittel zu reduzieren. Bei derarti-

gen elektrischen Maschinen, die mit einem Umrichter beziehungsweise Wechselrichter im Motorbetrieb arbeiten, lässt sich ferner durch die Steuerung des Erregerstromes am Rotor **11** eine Feldschwächung realisieren, die zu einer Erhöhung der Drehzahl führt, sofern über eine Rückkopplung die Schaltfrequenz des Umrichters erhöht wird.

[0034] Die Erregerspulen **18** sind bei allen Ausführungsformen der Erfindung mit einer Schrittweite SW am Umfang des Rotors **11** angeordnet, die der Polteilung Pt der jeweils kleineren Polzahl entspricht.

[0035] Die Permanentmagnete **17** sind dabei als Flachmagnete ausgebildet und am Rotorumfang angeordnet, indem sie beispielsweise gemäß [Fig. 1](#) und [Fig. 2](#) in entsprechende Ausnehmungen des Rotors **11** befestigt sind oder gemäß **Fig. 4** bis **7** in entsprechende tangential am Rotorumfang angeordnete Schlitze axial eingeschoben sind.

[0036] Eine Wiederholung der Muster im Rotor können zur Ausbildung größerer Polzahlen realisiert werden. So ist beispielsweise im Bild 1 und 2 sowie 4a und 4b eine Verdoppelung der Anordnung aus Bild 5 dargestellt.

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

- WO 2004/017496 [\[0003\]](#)
- WO 99/67871 [\[0004\]](#)

Patentansprüche

1. Elektrische Maschine (10) mit einem ortsfesten Ständer (12), der eine vorzugsweise mehrphasige Ständerwicklung (13) trägt und mit einem Rotor, der über einen Arbeitsluftspalt (16) mit dem Ständer zusammenwirkt und der über seinen Umfang in einer vorgegebenen Folge mehrere durch Permanentmagnete (17) und durch mindestens eine Erregerspule (18) elektrisch erregte Pole aufweist, wobei die Polzahl des Rotors in Abhängigkeit von Stärke und Richtung eines Erregerstromes (I_e) in der mindestens einen Erregerspule umsteuerbar ist, **dadurch gekennzeichnet**, dass die mindestens eine Erregerspule (18) mit einer Schrittweite (SW) am Umfang des Rotors (11) angeordnet ist, die der Polteilung (Pt) der kleineren Polzahl entspricht.

2. Elektrische Maschine nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Wickelköpfe (20) der mindestens einen Erregerspule (18) an den Stirnseiten des Rotors (11) jeweils sehnenartig unterhalb mindestens eines am Rotorumfang angeordneten und radial magnetisierten Permanentmagneten (17) vorbeigeführt sind.

3. Elektrische Maschine nach Anspruch 1 oder 2, vorzugsweise Drehstromgenerator für Kraftfahrzeuge, dadurch gekennzeichnet, dass die Ausgangsspannung (U_a) der Ständerwicklung (13) durch eine Änderung von Stärke und Richtung des Erregerstromes (I_e) in der mindestens einen Erregerspule (18) vorzugsweise last- und temperaturabhängig zwischen einem zulässigen Maximalwert und dem Wert 0 regelbar ist.

4. Elektrische Maschine nach einem der vorherigen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass im Normalbetrieb der Maschine (10) der Rotor (11) die höhere Polzahl aufweist, wobei die Stärke und Richtung des Erregerstromes (I_e) in der mindestens einen Erregerspule (18) so gewählt ist, dass im Zusammenwirken mit den Permanentmagneten (17) am Rotorumfang etwa gleich starke Pole abwechselnder Polarität auftreten.

5. Elektrische Maschine nach einem der vorherigen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der Rotor (11) nur eine, in einander diametral gegenüberliegende Nuten (19) eingesetzte Erregerspule (18) aufweist, die vorzugsweise an den Wickelköpfen (20) geteilt um eine Rotorwelle (21) herumgeführt ist und mit mindestens zwei zwischen den Nuten (19) am Rotorumfang angeordneten, einander diametral gegenüberliegenden Permanentmagneten (17) zusammenwirkt.

6. Elektrische Maschine nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, dass zwei Permanentmagnete (17) abwechselnder radialer Polarität zu den zwei

Nuten (19) der Erregerspule (18) um jeweils 90° versetzt sind.

7. Elektrische Maschine nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, dass vier Permanentmagnete (17) am Rotorumfang angeordnet sind, wobei zwischen den Nuten (19) jeweils zwei Magnete mit gleicher radialer Polarität einen etwa gleich großen Abstand (a) zueinander und zu den Nuten (19) haben.

8. Elektrische Maschine nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, dass sechs Permanentmagnete (17) am Rotorumfang angeordnet sind, wobei zwischen den Nuten jeweils drei Magnete mit gleicher radialer Polarität einen etwa gleich großen Abstand (a) zueinander beziehungsweise zu den Nuten (19) haben.

9. Elektrische Maschine nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass der Rotor (11) mindestens zwei, vorzugsweise vier, in um jeweils 90° zueinander versetzte Nuten (19) eingesetzte Erregerspulen (18) aufweist, welche mit vier zwischen den Nuten (19) am Rotorumfang angeordneten Permanentmagneten (17) abwechselnder radialer Polarität zusammenwirken.

10. Elektrische Maschine nach einem der vorherigen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die vorzugsweise vier Permanentmagnete (17) zu den benachbarten Nuten (19) jeweils einen Umfangsabstand (a) haben, welcher der Umfangsbreite (b) der Magnete entspricht, so dass bei entsprechendem Erregerstrom in den Erregerspulen (18) am Rotorumfang die Magnetpole von einer höheren Polzahl, vorzugsweise von zwölf Polen auf eine niederen Polzahl, vorzugsweise vier Pole, umsteuerbar ist.

Es folgen 3 Blatt Zeichnungen

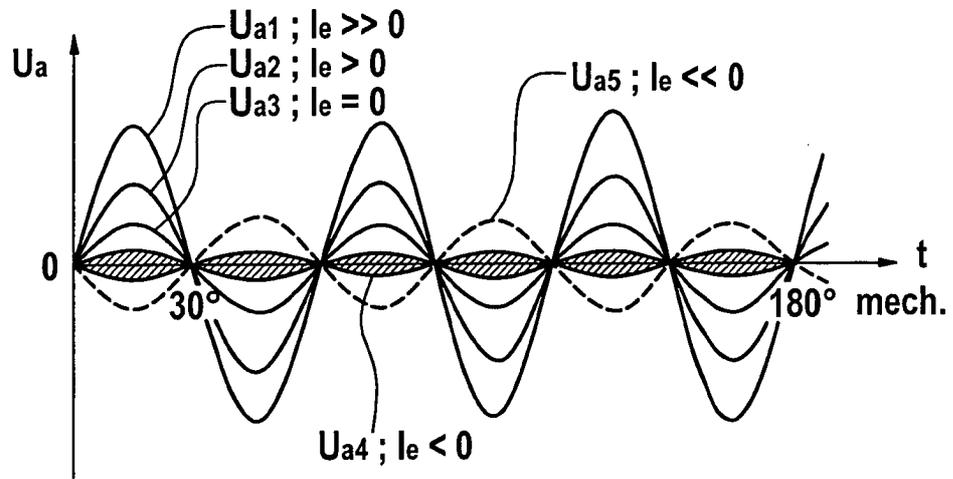


Fig. 3

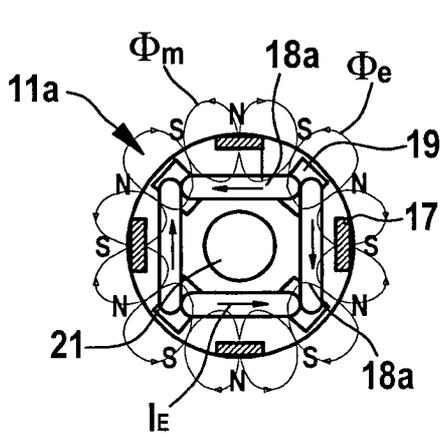


Fig. 4a

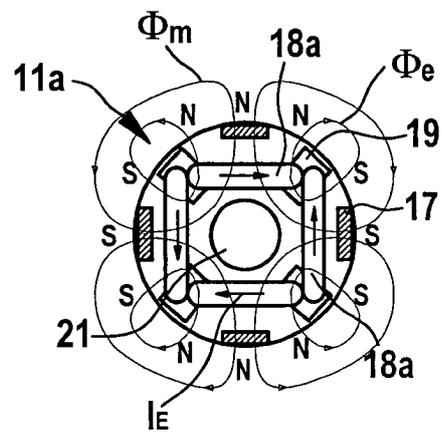


Fig. 4b

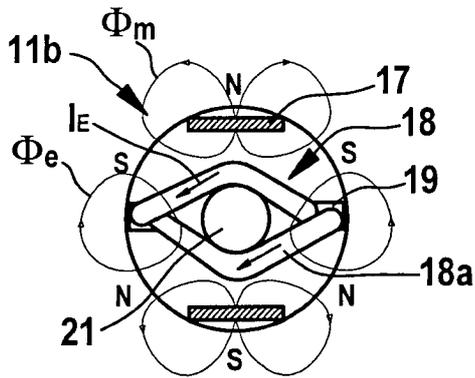


Fig. 5a

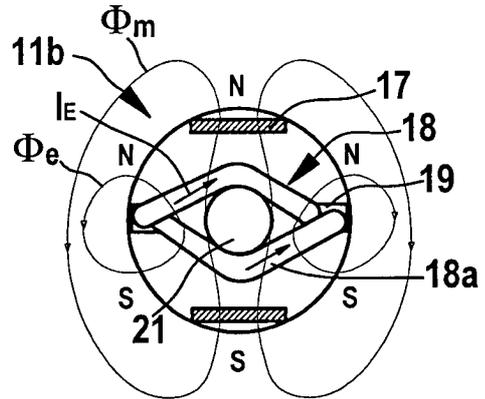


Fig. 5b

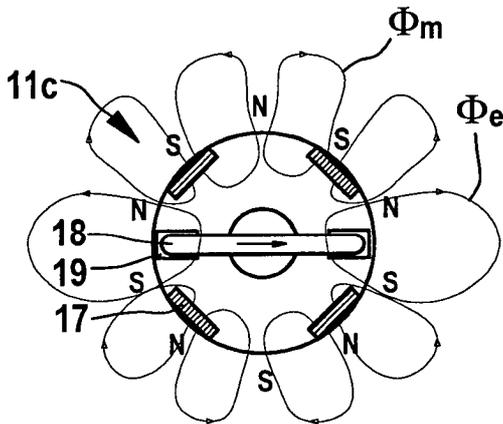


Fig. 6a

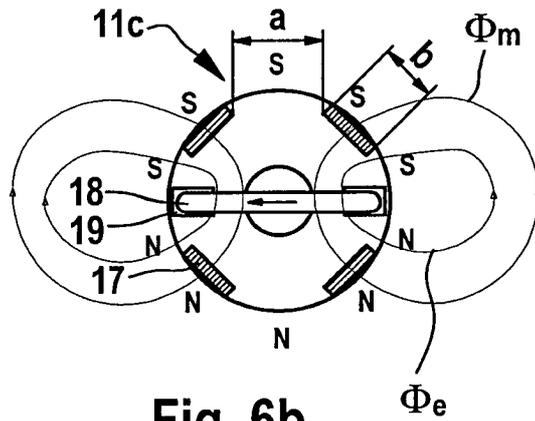


Fig. 6b

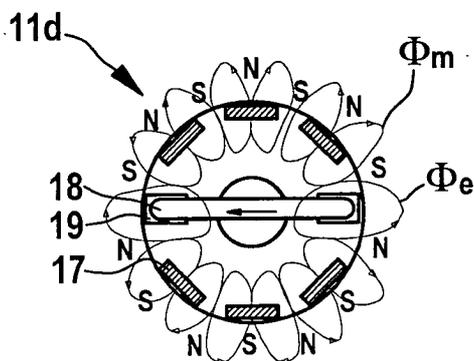


Fig. 7a

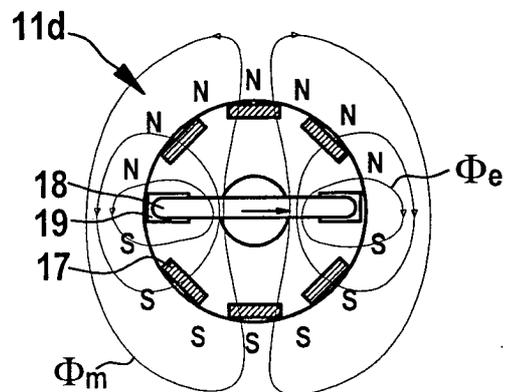


Fig. 7b