(19) Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 10 2012 014 517 A1** 2014.01.23

(12) # Offenlegungsschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2012 014 517.9**
(22) Anmeldetag: **23.07.2012**
(43) Offenlegungstag: **23.01.2014**

(51) Int Cl.: ***H02K 11/00*** (2012.01)
H02K 21/02 (2013.01)
H02K 21/24 (2013.01)
B62M 6/00 (2013.01)
H02K 16/04 (2013.01)

(71) Anmelder:
EMEC Prototyping UG, 01069, Dresden, DE

(74) Vertreter:
Patentanwälte Witte, Weller & Partner, 70173, Stuttgart, DE

(72) Erfinder:
Beckert, Renè, Dr., 01159, Dresden, DE;
Rückemann, Andreas, Dr., 01454, Ullersdorf, DE;
Kamp, Hendrik, 01324, Dresden, DE

(56) Ermittelter Stand der Technik:

DE	10 2005 037 070	A1
DE	10 2011 050 504	A1
DE	602 04 716	T2
DE	11 89 194	A
GB	2 456 351	A
EP	1 155 954	A2
EP	1 450 469	A2
JP	2008- 054 419	A

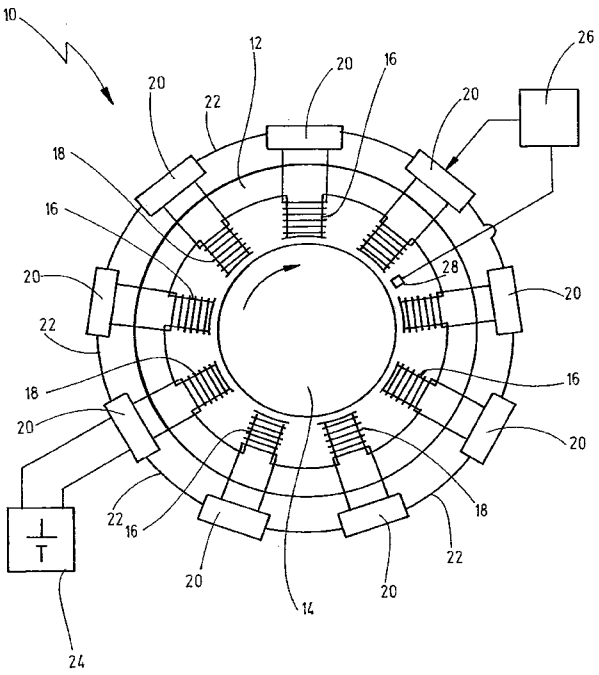
JP002008054419A, Original und engl. Übersetzung

Prüfungsantrag gemäß § 44 PatG ist gestellt.

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

(54) Bezeichnung: **Elektrische Maschine**

(57) Zusammenfassung: Die vorliegende Erfindung betrifft eine elektrische Maschine (10; 30) zum Bereitstellen von Antriebsleistung, insbesondere zum Antreiben von Kraftfahrzeugen, mit einer Statoranordnung (12; 32, 34), die eine Mehrzahl von Spulen (18; 38, 42; 50, 52) aufweist, einem Rotor (14; 44), der relativ zu der Statoranordnung (12; 32, 34) drehbar gelagert ist und von einem magnetischen Feld der Spulen (18; 38, 42; 50, 52) in wenigstens einer Drehrichtung antreibbar ist, einer Mehrzahl von Steuereinheiten (20; 46, 48; 54, 56), die mit den Spulen (18; 38, 42) elektrisch verbunden sind, um die Spulen (18; 38, 42; 50, 52) anzusteuern und zur Erzeugung des magnetischen Feldes mit elektrischem Strom zu versorgen, wobei wenigstens eine der Steuereinheiten (20; 46, 48; 54) einer einzelnen der Spulen (18; 38, 42; 50) zugeordnet ist, um die einzelne Spule (18; 38, 42) unabhängig anzusteuern und unabhängig mit elektrischem Strom zu versorgen.



Beschreibung

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft eine elektrische Maschine zum Bereitstellen von Antriebsleistung, insbesondere zum Antreiben von Kraftfahrzeugen, mit einer Statoranordnung, die eine Mehrzahl von Spulen aufweist, einem Rotor, der relativ zu der Statoranordnung drehbar gelagert ist und von einem magnetischen Feld der Spulen in wenigstens einer Drehrichtung antreibbar ist, und einer Mehrzahl von Steuereinheiten, die mit den Spulen elektrisch verbunden sind, um die Spulen anzusteuern und zur Erzeugung des magnetischen Feldes mit elektrischem Strom zu versorgen.

[0002] Auf dem Gebiet der elektrischen Maschinen, insbesondere auf dem Gebiet der Synchronmaschinen ist es allgemein bekannt, an einem Stator eine Mehrzahl von Spulen anzuordnen und diese Spulenanordnung mittels eines Wechselrichters mehrphasig mit elektrischem Strom zu versorgen, um zum Antreiben eines Rotors der elektrischen Maschine ein rotierendes Magnetfeld zu erzeugen. Die Spulen der Spulenanordnungen sind üblicherweise zusammengeschaltet, so dass alle Spulen der Spulenanordnung mittels eines Wechselrichters bzw. einer Steuereinheit angesteuert und mehrphasig bestromt werden können.

[0003] Bei elektrischen Maschinen zum Antreiben von Kraftfahrzeugen, insbesondere zum Antreiben von Elektrofahrrädern, ist es vorteilhaft, wenn von dem elektrischen Antrieb unterschiedliche Arbeitspunkte mit unterschiedlichen Drehzahl-Drehmoment-Kennlinien eingestellt werden können, um die Kraftfahrzeuge elektronisch mit unterschiedlichen Drehmomenten anzutreiben. Üblicherweise werden diese unterschiedlichen Drehzahl- und Drehmomentcharakteristiken bereitgestellt, indem ein zusätzliches mechanisches Getriebe mit der elektrischen Maschine verbunden ist, oder die elektrische Leistung, die von der Steuereinheit bereitgestellt wird, variiert wird. Die Statorspulen werden üblicherweise von einer Steuereinheit mit elektrischem Strom versorgt, wobei die Steuereinheit den elektrischen Strom mittels Leistungshalbleitern, insbesondere mittels IGBTs bereitstellt. Da die Leistungshalbleiter den gesamten elektrischen Strom tragen, der zur Bestromung der Spulenanordnung bereitgestellt wird, müssen die Leistungshalbleiter auf die maximale elektrische Leistung des Elektromotors ausgelegt werden. Derartige Leistungshalbleiter sind technisch aufwändig und teuer und müssen mit großem Aufwand gekühlt werden, um die entstehende Verlustleistung abzuführen. Ferner kann durch das einzelne Steuergerät, das alle Statorspulen bestromt, lediglich ein Arbeitspunkt der elektrischen Maschine, also eine Drehzahl-Drehmoment-Kennlinie, eingestellt werden, wodurch die Flexibilität des elektrischen Antriebs beschränkt ist.

[0004] Ferner werden üblicherweise zum Antreiben von Kraftfahrzeugen, insbesondere von Elektrofahrrädern, Nabenmotoren eingesetzt, die aufgrund ihres Einbauortes ein großes Drehmoment zum Antreiben des Fahrzeugs bereitstellen müssen, wobei allerdings große Drehmomente von elektrischen Maschinen lediglich durch große Erregerströme in den Erregerspulen bereitgestellt werden können. Dadurch müssen die Leistungshalbleiterschalter der Steuereinheit zum Ansteuern der elektrischen Maschine wiederum für große Ströme und große Verlustleistungen ausgelegt werden, wodurch die Steuereinheiten technisch aufwändig und teuer werden.

[0005] Zur Einstellung von unterschiedlichen Arbeitspunkten wird bspw. in der EP 1 450 469 A2 vorgeschlagen, die Spulen des Stators unterschiedlich zusammenzuschalten, um unterschiedliche Erregerfelder bereitzustellen. Dabei wird unter anderem vorgeschlagen, zwei unabhängige Spulenkreise in dem Stator auszubilden, die jeweils von einer Verstärkerstufe unabhängig dreiphasig angesteuert und bestromt werden. Nachteilig dabei ist es, dass die Verstärkerstufen jeweils eine vollständige Stern- oder Dreieckschaltung dreiphasig bestromen und dadurch die Leistungshalbleiter der Verstärkerstufen einen hohen Strom tragen müssen und entsprechend aufwändig gekühlt werden müssen. Ferner können durch diese unterschiedlichen Schaltungen lediglich vier unterschiedliche Arbeitspunkte der elektrischen Maschine eingestellt werden.

[0006] Darüber hinaus sind im Stand der Technik wie z. B. aus der DE 10 2011 050 504 A1 elektrische Maschinen mit Doppelstatoren bekannt, die aufgrund ihres Doppelstatorprinzips eine geringe axiale Bauform aufweisen und durch Verringern von Eisenverlusten eine verbesserte Effizienz bei hohen Rotationsgeschwindigkeiten aufweisen. Nachteilig dabei ist es, dass durch die Steuereinheit die Spulen des Doppelstators gemeinsam angesteuert und bestromt wird, wodurch sehr leistungsfähige Leistungshalbleiter verwendet werden müssen, die mit hohem technischen Aufwand gekühlt werden müssen.

[0007] Angesichts des Standes der Technik liegt der vorliegenden Erfindung die Aufgabe zugrunde eine elektrische Maschine bereitzustellen, die eine flexiblere Ansteuerung mit unterschiedlichen Arbeitspunkten und technisch weniger aufwändige Steuereinheiten zum Ansteuern der Statorspulen ermöglicht.

[0008] Diese Aufgabe wird bei der eingangs genannten elektrischen Maschine gemäß einem ersten Aspekt der Erfindung dadurch gelöst, dass wenigstens eine der Steuereinheiten einer einzelnen der Spulen zugeordnet ist, um die einzelne Spule unabhängig anzusteuern und unabhängig mit elektrischem Strom zu versorgen.

[0009] Ferner wird die oben genannte Aufgabe bei der eingangs genannten elektrischen Maschine gemäß einem zweiten Aspekt dadurch gelöst, dass die Statoranordnung einen ersten Stator und einen zweiten Stator aufweist, wobei wenigstens ein Teil des Rotors zwischen dem ersten Stator und dem zweiten Stator drehbar gelagert ist, wobei der erste Stator eine erste Spulenanordnung mit einer Mehrzahl von Spulen aufweist und der zweite Stator eine zweite Spulenanordnung mit einer Mehrzahl von Spulen aufweist, und wobei die Steuereinheiten jeweils einer der Spulenanordnungen zugeordnet sind, um die Spulenanordnungen unabhängig voneinander anzusteuern und unabhängig mit elektrischem Strom zu versorgen.

[0010] Schließlich wird die oben genannte Aufgabe bei der eingangs genannten elektrischen Maschine gemäß einem dritten Aspekt der Erfindung dadurch gelöst, dass der Rotor ringförmig ausgebildet ist und über den Umfang verteilte Erregungsabschnitte aufweist, die von dem magnetischen Feld zum Antreiben des Rotors magnetisch durchsetzbar sind, wobei die Statoranordnung als offener Statorring ausgebildet ist, der entsprechend einem Kreisbogenabschnitt des Rotors zugeordnet ist, um den Rotor durch das magnetische Feld anzutreiben.

[0011] Dadurch, dass bei dem ersten Aspekt der vorliegenden Erfindung eine der Steuereinheiten einer einzelne bzw. genau einer der Spulen zugeordnet ist, um die einzelne Spule unabhängig anzusteuern und unabhängig mit elektrischem Strom zu versorgen, ist der elektrische Strom, der von der Steuereinheit getrieben werden muss, reduziert und die einzeln angesteuerte Spule kann unabhängig zu- oder abgeschaltet werden, wodurch unterschiedliche Arbeitspunkte der elektrischen Maschine eingestellt werden können. Dadurch wird der technische Aufwand der Steuereinheit reduziert und die elektrische Maschine kann flexibler betrieben werden.

[0012] Da bei dem zweiten Aspekt der vorliegenden Erfindung die Spulenanordnungen des ersten Stators und des zweiten Stators unterschiedlichen Steuereinheiten zugeordnet sind und die Steuereinheiten die jeweiligen Spulenanordnungen unabhängig ansteuern und mit elektrischem Strom versorgen können, ist der elektrische Strom, der von den jeweiligen Steuereinheiten getrieben werden muss, reduziert, wodurch der technische Aufwand der Steuereinheit verringert, da insbesondere die Leistungshalbleiter für geringere elektrische Ströme ausgelegt werden können und der Aufwand zur Kühlung der Leistungshalbleiter reduziert werden kann. Ferner können die Spulenanordnungen beliebig zu- oder abgeschaltet werden, wodurch unterschiedliche Arbeitspunkte der elektrischen Maschine eingestellt werden können und somit die elektrische Maschine flexibler betrieben werden kann. Ferner kann durch die höheren Magnetfeldstärken bedingt durch die zwei Statoren auf teure Permanentmagneten auf der Basis von seltenen Erden, wie z. B. Neodymmagneten, verzichtet werden und kostengünstigere Ferritmagnete verwendet werden.

[0013] Da bei dem dritten Aspekt der vorliegenden Erfindung die Statoranordnung als offener Statorring ausgebildet ist, der einem Kreisbogenabschnitt des ringförmig ausgebildeten Rotors zugeordnet ist, lässt sich eine besonders kompakte Bauform erzielen, insbesondere um die elektrische Maschine in Rädern von Kraftfahrzeugen oder Elektrofahrrädern zu integrieren und die Statoranordnung lediglich an einem Kreisbogenabschnitt des Rades anzuordnen.

[0014] Im Sinne dieses dritten Aspektes der vorliegenden Erfindung ist unter einem offenen Statorring ein Statorring zu verstehen, der lediglich als Kreisbogen eines vollständigen Ringes ausgebildet ist und entsprechend lediglich einem Kreisbogen des Rotors zugeordnet ist. Mit anderen Worten weist der Statorring eine Unterbrechung bzw. eine Ausnehmung auf, so dass der offene Statorring lediglich als gebogener Statorabschnitt mit zwei gegenüberliegenden Enden zu verstehen ist.

[0015] Gemäß einer bevorzugten Ausführungsform der Erfindung sind die Steuereinheiten jeweils einer einzelnen Spule zugeordnet, um die jeweiligen Spulen unabhängig mit elektrischem Strom zu versorgen.

[0016] Dadurch können die Spulen einzeln zu- oder abgeschaltet werden, wodurch die Ansteuerung der elektrischen Maschine flexibler wird und die Anzahl der möglichen Arbeitspunkte mit geringem technischen Aufwand erhöht werden kann.

[0017] In einer weiterhin bevorzugten Ausführungsform weist die Statoranordnung eine Mehrzahl von Statorzähnen auf, wobei die unabhängig angesteuerten Spulen an unterschiedlichen der Statorzähne angeordnet sind.

[0018] Dadurch lassen sich über den Umfang des Stators unterschiedliche Spulen unterschiedlich zu- oder abschalten, wodurch unterschiedlich große Antriebsmomente und unterschiedliche Drehzahlen und insbesondere elliptische Magnetfelder einstellbar sind.

[0019] Dabei ist es besonders bevorzugt, wenn die unabhängig angesteuerten Spulen magnetisch gekoppelt sind und an den Statorzähnen derart angeordnet sind, dass sie von demselben magnetischen Fluss durchsetzt werden.

[0020] Dadurch kann der magnetische Fluss durch Zu- und Abschalten einer der Spulen variiert werden, wodurch unterschiedliche Drehmomente von

der elektrischen Maschine bereitgestellt werden können.

[0021] In einer bevorzugten Ausführungsform weist die elektrische Maschine wenigstens drei Steuereinheiten auf, wobei jede der Steuereinheiten einer einzelnen Spule zugeordnet ist, um die Spulen unabhängig anzusteuern und wobei die Steuereinheiten derart synchronisiert sind, dass ein rotierendes Magnetfeld zum Antreiben des Rotors bereitgestellt wird.

[0022] Dadurch kann der Rotor konventionell durch ein rotierendes Magnetfeld angetrieben werden und die Steuereinheiten mit geringem technischem Aufwand hergestellt werden, da die einzelnen Spulen mit einem geringerem elektrischen Strom betrieben werden können.

[0023] In einer weiterhin bevorzugten Ausführungsform ist eine der Steuereinheiten einer Gruppe von mehreren Spulen zugeordnet, um die Spulengruppe unabhängig anzusteuern und mit elektrischem Strom zu versorgen.

[0024] Mit anderen Worten wird wenigstens eine der Spulen separat von einer der Steuereinheiten angesteuert und mehrere Spulen, die in einer Gruppe zusammengeschaltet sind, von einer weiteren Steuereinheit angesteuert und bestromt.

[0025] Dadurch kann die elektrische Maschine einerseits konventionell mittels der Gruppe von mehreren Spulen angesteuert werden, sofern eine geringere Antriebsleistung angefordert wird und kann in besonderen Ansteuersituationen von der einzeln angesteuerten Spule angesteuert werden, oder in besonderen Ansteuersituationen sowohl von der Gruppe von Spulen als auch von der einzeln angesteuerten Spule angetrieben werden. Dadurch wird im Allgemeinen die Ansteuerung der elektrischen Maschine flexibler, wodurch insbesondere asymmetrische Magnetfelder erzeugt werden können.

[0026] Es ist weiterhin bevorzugt, wenn der Statoranordnung wenigstens ein Rotorpositionserfassungselement zugeordnet ist, das mit den Steuereinheiten elektrisch verbunden ist, um die Steuereinheiten mit einer erfassten Position des Rotors zu synchronisieren.

[0027] Dadurch wird die Ansteuerung der elektrischen Maschine präziser, wodurch der Wirkungsgrad erhöht und die abgegebene Antriebsleistung verbessert werden kann.

[0028] Es ist weiterhin bevorzugt, wenn die Statoranordnung den Rotor umfänglich umgibt.

[0029] Dadurch ist eine in radialer Richtung kompakte Bauform der elektrischen Maschine möglich, die mit geringem technischen Aufwand hergestellt werden kann.

[0030] Gemäß einer bevorzugten Ausführungsform weist die Statoranordnung einen ersten Stator und einen zweiten Stator auf, wobei wenigstens ein Teil des Rotors zwischen dem ersten und dem zweiten Stator drehbar gelagert ist, wobei der erste Stator eine erste Spulenanordnung mit einer Mehrzahl von Spulen aufweist und der zweite Stator eine zweite Spulenanordnung mit einer Mehrzahl von Spulen aufweist, und wobei die Steuereinheiten jeweils einer der Spulenanordnungen zugeordnet sind, um die Spulenanordnungen unabhängig voneinander anzusteuern und unabhängig mit elektrischem Strom zu versorgen.

[0031] Dadurch, dass die Statoranordnung einen zwei Statoren bzw. einen Doppelstator aufweist und die Spulen unabhängig voneinander bestrombar sind, kann mit einfachen technischen Mitteln der magnetische Fluss zum Antreiben des Rotors durch Zu- und Abschalten von Spulen eingestellt werden, wodurch die Flexibilität der einstellbaren Arbeitspunkte weiter erhöht werden kann und höhere Drehmomente durch einen größeren magnetischen Fluss erzielt werden können.

[0032] Dabei ist es besonders bevorzugt, wenn der erste Stator ein Außenstator und der zweite Stator ein Innenstator ist, wobei wenigstens ein Teil des Rotors in radialer Richtung zwischen dem Außenstator und dem Innenstator drehbar gelagert ist.

[0033] Dadurch ist eine Doppelstatormaschine mit axial kompakter Bauform möglich.

[0034] Dabei ist es von besonderem Vorzug, wenn eine unabhängig angesteuerte Spule mit dem ersten Stator verbunden ist und eine weitere unabhängig angesteuerte Spule mit dem zweiten Stator verbunden ist.

[0035] Dadurch können sowohl die Spulen des ersten Stators als auch die Spulen des zweiten Stators flexibel ein magnetisches Feld zum Antreiben des Rotors einstellen, wodurch die Flexibilität der Ansteuerung der elektrischen Maschine weiterhin erhöht ist.

[0036] Es ist weiterhin bevorzugt, wenn die erste und die zweite Spulenanordnung jeweils drei Spulen aufweisen und wobei beiden Spulenanordnungen jeweils drei Steuereinheiten zugeordnet sind, die jeweils mit einer einzelnen der Spulen verbunden sind, um die Spulen unabhängig anzusteuern und wobei die Steuereinheiten derart synchronisiert sind, dass ein rotierendes Magnetfeld bereitgestellt wird.

[0037] Dadurch können sowohl der erste als auch der zweite Stator unabhängig voneinander flexibel

beliebige rotierende Magnetfelder bereitstellen, insbesondere auch elliptische rotierende Magnetfelder, um die elektrische Maschine flexibel mit unterschiedlichen Arbeitspunkten zu betreiben.

[0038] Es ist weiterhin bevorzugt, wenn zwischen dem Rotor und der Statoranordnung ein Abschirmelement angeordnet ist, das relativ zu der Statoranordnung beweglich gelagert ist, um die Spulen, insbesondere die abgeschalteten Spulen, gegenüber dem Rotor magnetisch abzuschirmen.

[0039] Dadurch können mit einfachen Mitteln einzelne der Spulen magnetisch von dem Rotor entkoppelt werden, wodurch eine Variation des magnetischen Flusses erzielt werden kann und wodurch gleichzeitig eine unerwünschte Induktion durch die Permanentmagneten des Rotors, insbesondere in den nicht bestromten Spulen, verhindert werden kann.

[0040] Bei der elektrischen Maschine gemäß dem dritten Aspekt der vorliegenden Erfindung ist es besonders bevorzugt, wenn der offene Statorring in axialer Richtung versetzt zu dem Rotor angeordnet ist.

[0041] Dadurch lässt sich der Stator seitlich neben einem angetriebenen Rad einbauen, wodurch der Rotor in dem angetriebenen Rad integriert und dadurch eine besonders kompakte Bauform ermöglicht wird.

[0042] Es ist dabei besonders bevorzugt, wenn die Statoranordnung zwei offene Statorringe aufweist, die jeweils in axialer Richtung versetzt zu dem Rotor angeordnet sind und wobei wenigstens ein Teil des Rotors in axialer Richtung zwischen den offenen Statorringen angeordnet ist.

[0043] Dadurch lässt sich die von der elektrischen Maschine abgegebene Leistung erhöhen und die Anzahl der verwendeten Permanentmagneten des Rotors reduziert, da von den beiden offenen Statorringen ein größeres magnetisches Feld erzeugt werden kann.

[0044] Es ist weiterhin bevorzugt, wenn den offenen Statorringen jeweils eine Mehrzahl von Spulen zugeordnet ist, um das magnetische Feld zum Antreiben des Rotors zu erzeugen.

[0045] Dadurch kann der Rotor in beliebige Rotationspositionen von den offenen Statorringen angetrieben werden.

[0046] Der ringförmige Rotor kann vorzugsweise in einem angetriebenen Rad eines Kraftfahrzeugs, insbesondere eines Elektrofahrrades, integriert und in kompakter Bauform von dem offenen Statorring angetrieben werden. Dabei ist der ringförmige Rotor vorzugsweise einer Lauffläche des angetriebenen Rades benachbart, so dass das zum Antreiben notwendige Drehmoment gering ist und somit der elektrische Strom zum Ansteuern der Spulen reduziert ist. Dadurch können die Leistungshalbleiter der Steuereinheit zum Ansteuern der Spulen des offenen Statorrings geringer dimensioniert werden, wodurch der technische Aufwand und die Kosten reduziert sind.

[0047] Besonders bevorzugt ist es, wenn der ringförmige Rotor in radialer Richtung zwischen einer Lauffläche bzw. einem Radkranz und Speichen bzw. einer Radscheibe des angetriebenen Rades angeordnet ist. Dadurch lässt sich durch die günstige Hebelwirkung das Drehmoment zum Antreiben des angetriebenen Rades reduzieren und eine kompakte Bauform erzielen.

[0048] Es versteht sich, dass die vorstehend genannten und die nachstehend noch zu erläuternden Merkmale nicht nur in der jeweils angegebenen Kombination, sondern auch in anderen Kombinationen oder in Alleinstellung verwendbar sind, ohne den Rahmen der vorliegenden Erfindung zu verlassen.

[0049] Ausführungsbeispiele der Erfindung sind in der Zeichnung dargestellt und werden in der nachfolgenden Beschreibung näher erläutert. Es zeigen:

[0050] **Fig.** 1 eine schematische Darstellung einer elektrischen Maschine mit Außenstator und separat ansteuerbaren Spulen;

[0051] **Fig.** 2 eine schematische Darstellung einer elektrischen Maschine mit Doppelstator und separat ansteuerbaren Spulen;

[0052] **Fig.** 3 eine schematische Darstellung einer Schaltung der Spulen der elektrischen Maschinen;

[0053] **Fig.** 4 eine schematische Darstellung einer elektrischen Maschine mit einer Abschirmvorrichtung zum Abschirmen der Spulen;

[0054] **Fig.** 5 eine schematische Schnittansicht einer Ausführungsform der elektrischen Maschine mit Doppelstator;

[0055] **Fig.** 6a–c ein Antriebsrad eines Kraftfahrzeugs mit einem offenen Statorring zum Antreiben eines ringförmigen Rotors;

[0056] **Fig.** 7a, b Schnittansichten des offenen Statorrings aus den **Fig.** 6a, b; und

[0057] **Fig.** 8 eine schematische Darstellung des offenen Statorrings in radialer Blickrichtung.

[0058] In **Fig.** 1 ist eine elektrische Maschine schematisch dargestellt und allgemein mit **10** bezeichnet.

[0059] Die elektrische Maschine **10** weist einen feststehenden Stator **12** und einen drehbar gelagerten Rotor **14** auf. Der Stator **12** ist als geschlossener Statorring ausgebildet und umgibt den Rotor **14** umfänglich. Der Stator **12** weist neun Statorzähne **16** auf, die radial nach innen gerichtet sind und an denen jeweils eine Spule **18** angeordnet ist. Die Spulen **18** sind mittels Anschlussleitungen jeweils mit einer Steuereinheit **20** elektrisch verbunden, die die Spulen **18** jeweils einzeln ansteuern und unabhängig mit elektrischem Strom versorgen, um ein magnetisches Feld zum Antreiben des Rotors **14** zu erzeugen. Der Rotor **14** weist hier nicht gesondert dargestellte Permanentmagneten auf, die von dem magnetischen Feld der Spulen **18** erregt werden und den Rotor **14** entsprechend antreiben. Der Stator **12** weist in diesem Beispiel neun Statorzähne **16** auf. Es versteht sich, dass der Stator **12** auch jede beliebige andere Anzahl von Statorzähnen **16** aufweisen kann.

[0060] Die Steuereinheiten **20** sind jeweils mittels Verbindungsleitungen **22** elektrisch miteinander verbunden. Den Steuereinheiten **20** ist eine Gleichspannungsquelle **24** zugeordnet, um die Steuereinheiten **20** über die Verbindungsleitungen **22** mit elektrischer Energie zu versorgen. Alternativ kann die elektrische Maschine **10** auch mehrere Gleichspannungsquellen **24** aufweisen, die einzelnen der Steuereinheiten **20** oder mehreren der Steuereinheiten zugeordnet sind. In einer weiteren Ausführungsform weist jede der Steuereinheiten **20** eine eigene Gleichspannungsquelle **24** auf. Die elektrische Maschine **10** weist ferner eine übergeordnete Steuereinheit **26** auf, die mit den Steuereinheiten **20** verbunden ist und die Steuereinheiten **20** entsprechend steuert.

[0061] Dem Rotor **14** ist ein Hall-Sensor **28** zugeordnet, der mit der übergeordneten Steuereinheit **26** verbunden ist. Der Hall-Sensor **28** erfasst die Rotationsposition des Rotors **14**, so dass die übergeordnete Steuereinheit **26** die Steuereinheiten **20** entsprechend präzise ansteuern kann, um die Steuereinheiten **20** bzw. die Spulen **18** entsprechend der Rotationsposition des Rotors **14** zu synchronisieren. Zur Synchronisation der Steuereinheiten **20** und zur elektrischen Energieversorgung der Steuereinheiten **20** sind die Steuereinheiten **20** über die Verbindungsleitungen **22** elektrisch miteinander verbunden.

[0062] Die Steuereinheiten **20** sind als Wechselrichter ausgebildet und weisen eine Mehrzahl von Leistungshalbleiterschaltern auf, um die von der Gleichspannungsquelle **24** bereitgestellte Gleichspannung in eine Wechselspannung zum Bestromen der Spulen **18** umzurichten. Die Steuereinheiten **20** können ferner Hochsetzsteller, Tiefsetzsteller und/oder Hoch-/Tiefsetzsteller aufweisen, um die Gleichspannung entsprechend zu wandeln und die Spulen entsprechend mit unterschiedlicher elektrischer Energie zu versorgen.

[0063] Dadurch, dass die Spulen **18** alle mit einer separaten Steuereinheit **20** elektrisch verbunden sind, können alle Spulen **18** separat zu- und abgeschaltet werden und unabhängig voneinander mit elektrischer Energie versorgt werden. Dadurch kann die elektrische Maschine **10** variabel mit unterschiedlichen Arbeitspunkten bzw. unterschiedlichen Drehzahl-Drehmoment-Kennlinien angetrieben werden. Dazu werden einzelne der Spulen **18** zu- oder abgeschaltet, um zwischen den einzelnen Kennlinien zu wechseln. Beispielsweise kann der Rotor **14** lediglich durch Ansteuerung von drei der Spulen **18**, die 120° versetzt zueinander angeordnet sind, angetrieben werden, so dass lediglich ein Drittel der Spulen **18** angesteuert werden. Durch die Synchronisation der Steuereinheiten **20** und die Erfassung der Rotorposition mittels des Hall-Sensors **28** kann ein rotierendes Magnetfeld erzeugt werden, um den Rotor **14** entsprechend anzutreiben. Dadurch, dass die Spulen **18** auch unterschiedlich bestromt werden können, kann in besonderen Situationen auch ein elliptisches rotierendes Magnetfeld erzeugt werden.

[0064] Insgesamt kann durch die separate Ansteuerung der Spulen **18** die elektrische Maschine **10** in unterschiedlichen Arbeitspunkten und flexibel angesteuert werden. Ferner sind die von den Steuereinheiten **20** maximal bereitzustellende elektrische Ströme reduziert, wodurch die Steuereinheiten **20** bzw. die Leistungshalbleiterschalter der Steuereinheiten **20** entsprechend geringer dimensioniert werden müssen, wodurch diese technisch weniger aufwändig und kostengünstig werden.

[0065] In **Fig.** 2 ist eine elektrische Maschine mit Doppelstator schematisch dargestellt und allgemein mit **30** bezeichnet. Die elektrische Maschine **30** weist einen Außenstator **32** und einen Innenstator **34** auf. Der Außenstator **32** ist als Statorring ausgebildet und weist nach innen gerichtete Statorzähne **36** auf, an denen jeweils eine Spule **38** angeordnet ist. Der Innenstator **34** weist radial nach außen gerichtete Statorzähne **40** auf, an denen jeweils eine Spule **42** angeordnet ist. Die Statoren **32**, **34** weisen in diesem Beispiel jeweils neun Statorzähne **36**, **40** auf, können jedoch auch jede beliebige Anzahl von Statorzähnen **36**, **40** aufweisen.

[0066] Radial zwischen dem Außenstator **32** und dem Innenstator **34** ist ein Rotor **44** angeordnet, der relativ zu dem Außenstator **32** und dem Innenstator **34** drehbar gelagert ist.

[0067] Die Spulen **38** des Außenstators **32** sind jeweils elektrisch mit einer einzelnen Steuereinheit **46** verbunden. Die Spulen **42** des Innenstators sind jeweils elektrisch mit einer einzelnen Steuereinheit **48** verbunden, die hier lediglich beispielhaft für zwei der Spulen **42** dargestellt sind. Dadurch können die Spulen **38** des Außenstators **32** und die Spulen **42** des

Innenstators **34** unabhängig und separat angesteuert und bestromt werden.

[0068] Wie in **Fig.** 1 sind die Steuereinheiten **46**, **48** mittels der Verbindungsleitungen **22** elektrisch miteinander verbunden. Die Steuereinheiten **46**, **48** werden über Steuerleitungen **49** von der übergeordneten Steuereinheit **26** gesteuert und auf der Grundlage eines Messsignals des Hall-Sensors **28** synchronisiert. Die Steuereinheiten **46**, **48** werden mittels der Gleichspannungsquelle **24** mit elektrischer Energie versorgt, die in einer besonderen Ausführungsform über die Verbindungsleitungen **22** verteilt wird. Wie bei der elektrischen Maschine **10** können auch mehrere Gleichspannungsquellen **24** vorgesehen sein, die die Steuereinheiten **46**, **48**, insbesondere unabhängig, mit elektrischer Energie versorgen.

[0069] Dadurch, dass die Spulen **38** des Außenstators **32** und die Spulen **42** des Innenstators **34** separat und unabhängig voneinander angesteuert und bestromt werden können, können beliebige Arbeitspunkte der elektrischen Maschine **30** eingestellt werden. Insbesondere können rotierende magnetische Felder auch in elliptischer Form erzeugt werden. Ferner kann die elektrische Maschine **30** lediglich durch Ansteuerung der Spulen **38** des Außenstators angetrieben werden oder aber lediglich durch Ansteuerung der Spulen **42** des Innenstators **34** angesteuert werden. Dadurch können viele Arbeitspunkte eingestellt werden und unterschiedliche Drehzahl-Drehmomentkennlinien eingestellt werden, wodurch die elektrische Maschine **30** flexibel einsetzbar ist.

[0070] In einer einfachen Ausführungsform der elektrischen Maschine **30** sind eine oder mehrere der Steuereinheiten **46** jeweils mehreren der Spulen **38** des Außenstators **32** zugeordnet, um jeweils mehrere der Spulen **38** anzusteuern und zu bestromen. Ferner sind dabei eine oder mehrere der Steuereinheiten **48** jeweils mehreren der Spulen **42** des Innenstators **44** zugeordnet, um jeweils mehrere der Spulen **42** anzusteuern und zu bestromen. Dadurch können die Spulen **38** des Außenstators **32** und die Spulen **42** des Innenstators **44** unabhängig voneinander angesteuert und bestromt werden, wodurch. die beiden Statoren **32**, **44** unabhängig voneinander zu- oder abgeschaltet werden können, um unterschiedliche Arbeitspunkte einzustellen.

[0071] In **Fig.** 3 ist eine Ausführungsform einer Schaltung von Spulen eines Stators **12**, **32**, **34** der elektrischen Maschine **10**, **30** schematisch dargestellt. Dabei weist der Stator sechs Spulen **50**, **52** auf, die unterschiedlich geschaltet sind.

[0072] Die Spulen **50** sind jeweils separat mit einer einzelnen Steuereinheit **54** verbunden, um unabhängig von den Spulen **52** angesteuert und bestromt zu werden. Die Spulen **52** sind in der hier dargestellten Schaltungsvariante in einer Sternschaltung zusammengeschaltet und werden von der Steuereinheit **56** dreiphasig mit den Phasen U, V, W bestromt. Dadurch können die Spulen **50** bspw. für sehr geringe Drehmomente und Antriebsleistungen einzeln angesteuert werden und unabhängig von den anderen Spulen **52** die elektrische Maschine **10**, **30** antreiben. Für eine Normallast kann die elektrische Maschine **10**, **30** bspw. mittels der zusammengeschalteten Spulen **52** gemäß dem Stand der Technik angesteuert werden und für Spitzenleistung kann die elektrische Maschine **10**, **30** durch eine Kombination der Spulen **52** und der Spulen **50** angesteuert werden, um eine maximale Antriebsleistung bereitzustellen.

[0073] Dadurch kann die unabhängige Ansteuerung der Spulen **50** und die gemeinsame Ansteuerung der Spulen **52** effektiv kombiniert werden.

[0074] In **Fig.** 4 ist eine Ausführungsform der elektrischen Maschine **10** schematisch dargestellt. Gleiche Elemente sind mit gleichen Bezugsziffern bezeichnet, wobei hier lediglich die Besonderheiten erläutert sind.

[0075] Zwischen dem Stator **12** und dem Rotor **14** sind Abschirmelemente **60** angeordnet. Die Abschirmelemente **60** weisen einen Abschirmabschnitt **62** und einen Durchlassabschnitt **64** auf. Die Abschirmelemente **60** sind drehbar bzw. beweglich gelagert, so dass in einer hier dargestellten Position der Abschirmabschnitt **62** zwischen den Spulen **18** und den Permanentmagneten des Rotors **14** angeordnet ist. In dieser Position schirmt der Abschirmabschnitt **62** die Spulen **18** von den Permanentmagneten des Rotors **14** ab, so dass bspw. kein unerwünschter Induktionsstrom in den Spulen **18** induziert wird. Im Normalbetrieb werden die Abschirmelemente **60** so rotiert bzw. bewegt, dass die jeweiligen Durchlassabschnitte **64** zwischen den Spulen **18** und dem Rotor **14** angeordnet sind und die Wirkung des magnetischen Feldes der Spulen **18** auf dem Rotor **14** nicht behindern.

[0076] Auf diese Weise kann eine Dämpfung bzw. eine Unterbrechung des magnetischen Feldes, das von den Spulen **18** erzeugt wird, bewirkt werden. Ferner kann eine unerwünschte Wirkung der Permanentmagneten auf die abgeschalteten Spulen **18** verhindert werden. Durch die Abschirmung kann insbesondere eine Feldschwächung des magnetischen Feldes bewirkt und somit weitere Variation der Arbeitspunkte der elektrischen Maschine **10** erzielt werden.

[0077] In einer bevorzugten Ausführungsform sind die Abschirmelemente **60** unabhängig voneinander bewegbar. Die Abschirmelemente **60** weisen ein magnetisierbares Material auf und sind vorzugsweise eisenhaltig, so dass das magnetische Feld der Spulen

18 und der Permanentmagneten abgeschirmt werden kann.

[0078] In einer besonderen Ausführungsform weisen die Abschirmelemente **60** einen Bereich auf, durch den das magnetische Feld teilweise abgeschirmt wird und somit eine Dämpfung des magnetischen Feldes bzw. eine Feldschwächung bewirkt werden kann, wodurch eine weitere Variation der Arbeitspunkte erzielt werden kann.

[0079] In **Fig.** 5 ist eine schematische Schnittansicht der elektrischen Maschine **30** mit Doppelstator dargestellt. Gleiche Elemente sind mit gleichen Bezugsziffern bezeichnet, wobei hier lediglich die Besonderheiten erläutert sind.

[0080] Der Rotor **44** weist Permanentmagnete **70** auf, die in radialer Richtung zwischen den Spulen **38** des Außenstators **32** und den Spulen **42** des Innenstators **34** drehbar gelagert sind. Die Permanentmagneten **70** sind über eine Verbindungsscheibe **72** drehfest mit einer Motorwelle **74** der elektrischen Maschine **30** verbunden. Die elektrische Maschine **30** weist ein Maschinengehäuse **76** auf, das aus einem Axialdeckel **78**, einem Mantel **80** und einem Bodenabschnitt **82** gebildet ist. Der Axialdeckel **78** ist mittels Schrauben mit dem Mantel **80** verbunden und der Mantel **80** ist mittels Schrauben mit dem Bodenabschnitt **82** verbunden. An dem Mantel **80** sind die Spulen **38** des Außenstators **32** drehfest gelagert und an dem Bodenabschnitt **82** sind die Spulen **42** des Innenstators **34** drehfest gelagert. Dadurch ist sowohl der Außenstator **32** als auch der Innenstator **34** drehfest mit dem Gehäuse **76** verbunden. Die Motorwelle **74** ist mittels Lagern **83** an dem Axialdeckel **78** und an dem Bodenabschnitt **82** drehbar gelagert. Dadurch kann die Rotation der Permanentmagneten **70** auf die Motorwelle **74** übertragen und die Antriebsleistung an der Motorwelle **74** abgegriffen werden.

[0081] Die elektrische Maschine **10**, **30** kann zum Antreiben von Kraftfahrzeugen, wie z. B. Elektrofahrrädern, oder aber zum Antreiben von Industriemaschinen, z. B. Werkzeugmaschinen, verwendet werden.

[0082] In **Fig.** 6a ist ein elektrischer Antrieb zum Antreiben eines Rades eines Kraftfahrzeuges, insbesondere eines Elektrofahrrades schematisch dargestellt und allgemein mit **100** bezeichnet.

[0083] Der elektrische Antrieb **100** dient zum Antreiben eines Rades **102** eines Kraftfahrzeugs, insbesondere eines Fahrrades. Das Rad **102** weist eine Nabe **104**, Speichen **106** und einen Reifen **108** auf. Zwischen den Speichen **106** und dem Reifen **108** ist ein ringförmiger Rotor **110** angeordnet. Der Rotor **110** ist mit einer nicht gesondert dargestellten Felge des Rades **102** verbunden oder bildet die Felge des Rades **102**.

[0084] Der Rotor **110** weist über den Umfang verteilt Permanentmagneten **112** auf. Dem Rotor **110** ist eine Statoranordnung zugeordnet, die an der Nabe **104** festgelegt ist. Die Statoranordnung **114** weist einen Stator **116** auf, der in axialer Richtung neben dem Rotor **110** angeordnet ist. Der Stator **116** weist eine Mehrzahl von Erregerspulen **118** auf, die zum Antreiben des Rotors **110** ein magnetisches Feld erzeugen, das die Permanentmagneten durchsetzt. Der Stator **116** ist als offener Statorring ausgebildet und einem Kreisbogenabschnitt des Rotors **110** zugeordnet. Der offene Statorring ist mittels einer Halterung **120** an der Nabe **104** festgelegt.

[0085] Dadurch, dass der Stator **116** als offener Statorring ausgebildet ist, ist eine besonders kompakte Bauform möglich, wobei ein Teil der Permanentmagneten **112** in jeder Rotationsposition des Rades **102** durch die Spulen **118** durchsetzbar sind und der Rotor **110** in jeder Rotationsposition antreibbar ist. Zur Synchronisation der Spulen **118** mit der Rotationsposition des Rotors **110** weist der Stator **116** einen hier nicht dargestellten Hall-Sensor auf.

[0086] In **Fig.** 6b ist eine weitere Ausführungsform des elektrischen Antriebs **100**, insbesondere zum Antreiben eines Fahrrades schematisch dargestellt. Gleiche Elemente sind mit gleichen Bezugsziffern bezeichnet, wobei hier lediglich die Besonderheiten erläutert sind.

[0087] Der offene Statorring **116** mit den Spulen **118** ist einem Kreisbogenabschnitt des Rotors **110** zugeordnet und mittels einer Halterung **122** an einem hier lediglich schematischen dargestellten Rahmen **124** des Fahrrades festgelegt bzw. gelagert. Die Halterung **122** erstreckt sich von dem ringförmigen Rotor **110** in radialer Richtung nach außen und ist mit dem Rahmen **124** fest verbunden bzw. an dem Rahmen **124** gelagert. In dieser Ausführungsform besteht keine direkte Verbindung zwischen dem offenen Statorring **116** und der Nabe **104**.

[0088] In **Fig.** 6c ist eine weitere Ausführungsform des elektrischen Antriebs **100** schematisch dargestellt. Gleiche Elemente sind mit gleichen Bezugsziffern bezeichnet, wobei hier lediglich die Besonderheiten erläutert sind.

[0089] Der elektrische Antrieb **100** weist den offenen Statorring **116** mit den Spulen **118** auf, wobei der offene Statorring **116** einem Kreisbogenabschnitt des Rotors **110** zugeordnet ist. Der offene Statorring **116** ist an einer Gabel **126** des Fahrrades festgelegt bzw. gelagert. Dies ist eine besonders vorteilhafte Ausführungsform, da auf eine besondere Konstruktion der Halterung **114**, **122** verzichtet werden kann. Der An-

trieb **100** kann zwei offene Statorringe **116** aufweisen, die auf axial gegenüberliegenden Seiten des Rotors **110** angeordnet sind und an jeweils einem Gabelholm der Gabel **126** festgelegt sind.

[0090] In den in **Fig.** 6a–c dargestellten Ausführungsformen bildet der offene Statorring **116** etwa einen Viertelkreis. Es versteht sich, dass auch offene Statorringe **116** möglich sind, die einen Halbkreis, einen Dreiviertelkreis oder dergleichen bilden. Die offenen Statorringe **116** können eine beliebige Anzahl von Spulen **118** aufweisen.

[0091] In **Fig.** 7a ist eine schematische Schnittansicht des elektrischen Antriebs **100** entlang der Linie A-A aus **Fig.** 6a dargestellt. Gleiche Elemente sind mit gleichen Bezugsziffern bezeichnet, wobei hier lediglich die Besonderheiten erläutert sind.

[0092] In der in **Fig.** 7a dargestellten Ausführungsform weist der elektrische Antrieb **100** zwei offene Statorringe **116** auf, die in axialer Richtung auf beiden Seiten neben dem Rotor **110** angeordnet sind. Mit anderen Worten ist der Rotor **110** in axialer Richtung zwischen den offenen Statorringen **116** angeordnet. Die Spulen **118** erzeugen ein magnetisches Feld **128**, das den Rotor **110** in axialer Richtung durchsetzt. Dadurch kann eine Kraft auf den Rotor **110** ausgeübt werden und das Rad **102** in entsprechender Weise angetrieben werden. Die Spulen **118** werden durch wenigstens eine hier nicht näher dargestellte Steuereinheit angesteuert.

[0093] In **Fig.** 7b ist eine schematische Schnittansicht des elektrischen Antriebs **100** entlang der Linie B-B aus **Fig.** 6b dargestellt. Gleiche Elemente sind mit gleichen Bezugsziffern bezeichnet, wobei hier lediglich die Besonderheiten erläutert sind.

[0094] Die in **Fig.** 7b dargestellte Ausführungsform des elektrischen Antriebs **100** weist zwei offene Statorringe **116** auf, die in axialer Richtung auf beiden Seiten neben dem Rotor **110** angeordnet sind. Mit anderen Worten ist der Rotor **110** in axialer Richtung zwischen den beiden Statorringen **116** angeordnet. Die Spulen **118** erzeugen das magnetische Feld **128**, das den Rotor **110** in axialer Richtung durchsetzt. Dadurch kann eine Kraft auf den Rotor **110** ausgeübt werden und das Rad **102** in entsprechender Weise angetrieben werden. Es versteht sich, dass das Rad **102** durch die Statorringe **106** auch entsprechend abgebremst werden kann. Die Spulen **118** werden durch wenigstens eine hier nicht näher dargestellte Steuereinheit angesteuert.

[0095] Die Halterung **122** ist an dem Rahmen **124** festgelegt und umgibt den Reifen **108** sowohl in axialer als auch in umfänglicher Richtung.

[0096] In **Fig.** 8 ist eine schematische Schnittansicht der Umfangsfläche des Rotors **110** dargestellt zur Erläuterung der Funktionsweise der offenen Statorringe **116** dargestellt. Der Rotor **110** weist die Permanentmagneten **112** auf, die entsprechend ihrer Magnetisierung abwechselnd angeordnet sind. Die offenen Statorringe **116** sind auf beiden Seiten des Rotors **110** angeordnet und weisen jeweils sechs axial ausgerichtete Statorzähne **130** und entsprechend sechs der Spulen **118** auf. In der in **Fig.** 8 dargestellten Ansteuersituation werden jeweils zwei Spulen **118** der beiden offenen Statorringe **116** angesteuert, so dass das magnetische Feld **128** ausgebildet wird, das zwei der Permanentmagneten **112** in axialer Richtung durchsetzt. Dadurch, dass auf beiden Seiten jeweils ein offener Statorring **116** angeordnet ist, lässt sich der magnetische Rückfluss mit einfachen Mitteln ausbilden.

[0097] In einer alternativen Ausführungsform kann der magnetische Rückfluss auch innerhalb des Rotors **110** ausgebildet werden, so dass lediglich ein Statorring **116** an einer Seite des Rotors **110** angeordnet sein kann.

[0098] Dadurch, dass der Rotor **110** in radialer Richtung zwischen einer Lauffläche des Rades **102** bzw. des Reifens **108** und den Speichen **106** des Rades **102** angeordnet ist, ist das Drehmoment, das von dem elektrischen Antrieb **100** erzeugt werden muss gering, wodurch der elektrische Strom zum Erzeugen des Magnetfeldes **128** relativ gering ist. Dadurch kann die Steuereinheit zum Ansteuern der Spulen **118** geringer dimensioniert werden, wodurch der Antrieb **100** im Allgemeinen technisch weniger aufwändig und kostengünstiger ist.

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

- EP 1450469 A2 [0005]
- DE 102011050504 A1 [0006]

Patentansprüche

1. Elektrische Maschine (**10**; **30**) zum Bereitstellen von Antriebsleistung, insbesondere zum Antreiben von Kraftfahrzeugen, mit:
– einer Statoranordnung (**12**; **32**, **34**), die eine Mehrzahl von Spulen (**18**; **38**, **42**; **50**, **52**) aufweist,
– einem Rotor (**14**; **44**), der relativ zu der Statoranordnung (**12**; **32**, **34**) drehbar gelagert ist und von einem magnetischen Feld der Spulen (**18**; **38**, **42**; **50**, **52**) in wenigstens einer Drehrichtung antreibbar ist,
– einer Mehrzahl von Steuereinheiten (**20**; **46**, **48**; **54**, **56**), die mit den Spulen (**18**; **38**, **42**) elektrisch verbunden sind, um die Spulen (**18**; **38**, **42**; **50**, **52**) anzusteuern und zur Erzeugung des magnetischen Feldes mit elektrischem Strom zu versorgen,
dadurch gekennzeichnet, dass
wenigstens eine der Steuereinheiten (**20**; **46**, **48**; **54**) einer einzelnen der Spulen (**18**; **38**, **42**; **50**) zugeordnet ist, um die einzelne Spule (**18**; **38**, **42**) unabhängig anzusteuern und unabhängig mit elektrischem Strom zu versorgen.

2. Elektrische Maschine nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet,** dass die Steuereinheiten (**20**; **46**, **48**; **54**) jeweils einer einzelnen Spule (**18**; **38**, **42**; **50**) zugeordnet sind, um die jeweiligen Spulen (**18**; **38**, **42**) unabhängig mit elektrischem Strom zu versorgen.

3. Elektrische Maschine nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet,** dass die Statoranordnung (**12**; **32**, **34**) eine Mehrzahl von Statorzähnen (**16**; **36**) aufweist, wobei die unabhängig angesteuerten Spulen (**18**; **38**, **42**; **50**) an unterschiedlichen der Statorzähnen (**16**; **36**) angeordnet sind.

4. Elektrische Maschine nach Anspruch 3, **dadurch gekennzeichnet,** dass die unabhängig angesteuerten Spulen (**18**; **38**, **42**; **50**) magnetisch gekoppelt sind und an den Statorzähnen (**16**; **36**) derart angeordnet sind, dass sie von demselben magnetischen Fluss durchsetzt werden.

5. Elektrische Maschine nach einem der Ansprüche 1 bis 4, **dadurch gekennzeichnet,** dass die elektrische Maschine (**10**; **30**) wenigstens drei Steuereinheiten (**20**; **46**, **48**; **54**) aufweist, wobei jede der Steuereinheiten (**20**; **46**, **48**; **54**) einer einzelnen Spule (**18**; **38**, **42**; **50**) zugeordnet ist, um die Spulen (**18**; **38**, **42**; **50**) unabhängig anzusteuern und wobei die Steuereinheiten (**20**; **46**, **48**; **54**) derart synchronisiert sind, dass ein rotierendes Magnetfeld zum Antreiben des Rotors (**14**; **44**) bereitgestellt wird.

6. Elektrische Maschine nach einem der Ansprüche 1 bis 5, **dadurch gekennzeichnet,** dass eine der Steuereinheiten (**56**) einer Gruppe von mehreren Spulen (**52**) zugeordnet ist, um die Spulengruppe unabhängig anzusteuern und mit elektrischem Strom zu versorgen.

7. Elektrische Maschine nach einem der Ansprüche 1 bis 6, **dadurch gekennzeichnet,** dass der Statoranordnung (**12**; **32**, **34**) wenigstens ein Rotorpositionserfassungselement zugeordnet ist, das mit den Steuereinheiten (**20**; **46**, **48**; **54**, **56**) elektrisch verbunden ist, um die Steuereinheiten (**20**; **46**, **48**; **54**, **56**) mit einer erfassten Position des Rotors (**14**; **44**) zu synchronisieren.

8. Elektrische Maschine nach einem der Ansprüche 1 bis 7, **dadurch gekennzeichnet,** dass die Statoranordnung (**12**) den Rotor (**14**) umfänglich umgibt.

9. Elektrische Maschine nach einem der Ansprüche 1 bis 7 oder dem Oberbegriff von Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet,** dass die Statoranordnung (**32**, **34**) einen ersten Stator (**32**) und einen zweiten Stator (**34**) aufweist, wobei wenigstens ein Teil des Rotors (**44**) zwischen dem ersten Stator (**32**) und dem zweiten Stator (**34**) drehbar gelagert ist, wobei der erste Stator (**32**) eine erste Spulenanordnung (**38**) mit einer Mehrzahl von Spulen (**38**) aufweist und der zweite Stator (**32**) eine zweite Spulenanordnung (**42**) mit einer Mehrzahl von Spulen (**42**) aufweist, und wobei die Steuereinheiten (**46**, **48**) jeweils einer der Spulenanordnungen (**38**, **42**) zugeordnet sind, um die Spulenanordnungen (**38**, **42**) unabhängig voneinander anzusteuern und unabhängig mit elektrischem Strom zu versorgen.

10. Elektrische Maschine nach Anspruch 9, **dadurch gekennzeichnet,** dass der erste Stator (**32**) ein Außenstator (**32**) ist und der zweite Stator (**34**) ein Innenstator (**34**) ist und wobei wenigstens ein Teil des Rotors (**44**) in axialer Richtung zwischen dem Außenstator (**32**) und dem Innenstator (**34**) drehbar gelagert ist.

11. Elektrische Maschine nach Anspruch 9 oder 10, **dadurch gekennzeichnet,** dass eine unabhängig angesteuerte Spule (**38**) mit dem ersten Stator (**32**) verbunden ist und eine weitere unabhängig angesteuerte Spule (**42**) mit dem zweiten Stator (**34**) verbunden ist.

12. Elektrische Maschine nach einem der Ansprüche 9 bis 11, **dadurch gekennzeichnet,** dass die erste und die zweite Spulenanordnung (**38**, **42**) jeweils drei Spulen (**38**, **42**) aufweisen und wobei beiden Spulenanordnungen (**38**, **42**) jeweils drei Steuereinheiten (**46**, **48**) zugeordnet sind, die jeweils mit einer einzelnen der Spulen (**38**, **42**) verbunden sind, um die Spulen (**38**, **42**) unabhängig anzusteuern und wobei die Steuereinheiten (**46**, **48**) derart synchronisiert sind, dass ein rotierendes Magnetfeld bereitgestellt wird.

13. Elektrische Maschine nach einem der Ansprüche 1 bis 12, **dadurch gekennzeichnet,** dass zwischen dem Rotor (**14**; **44**) und der Statoranordnung (**12**; **32**, **34**) ein Abschirmelement (**60**) angeordnet ist, das relativ zu der Statoranordnung (**14**; **44**) beweglich gelagert ist, um die Spulen (**18**; **38**, **42**) gegenüber dem Rotor elektromagnetisch abzuschirmen.

14. Elektrische Maschine (**100**) zum Bereitstellen von Antriebsleistung, insbesondere zum Antreiben von Fahrzeugen, mit:
– einer Statoranordnung (**116**), die eine Mehrzahl von Spulen (**118**) aufweist,
– einem Rotor (**110**), der relativ zu der Statoranordnung (**116**) drehbar gelagert ist und von einem magnetischen Feld (**128**) der Spulen (**118**) in wenigstens einer Drehrichtung antreibbar ist, wobei der Rotor (**110**) ringförmig ausgebildet ist und über den Umfang verteilte Erregungsabschnitte (**112**) aufweist, die von dem magnetischen Feld (**128**) zum Antreiben des Rotors (**110**) magnetisch durchsetzbar sind,
dadurch gekennzeichnet, dass
die Statoranordnung (**116**) als offener Statorring (**116**) ausgebildet ist, der entsprechend einem Kreisbogenabschnitt des Rotors (**110**) zugeordnet ist, um den Rotor (**110**) durch das magnetische Feld anzutreiben.

15. Elektrische Maschine nach Anspruch 14, **dadurch gekennzeichnet,** dass der offene Statorring (**116**) in axialer Richtung versetzt zu dem Rotor (**110**) angeordnet ist.

16. Elektrische Maschine nach Anspruch 15, **dadurch gekennzeichnet,** dass die Statoranordnung (**116**) zwei offene Statorringe (**116**) aufweist, die jeweils in axialer Richtung versetzt zum Rotor (**110**) angeordnet sind und wobei wenigstens ein Teil des Rotors (**110**) in axialer Richtung zwischen den offene Statorringen (**116**) angeordnet ist.

17. Elektrische Maschine nach Anspruch 16, **dadurch gekennzeichnet,** dass den offenen Statorringen (**116**) jeweils eine Mehrzahl von Spulen (**118**) zugeordnet sind, um das magnetische Feld (**128**) zum Antreiben des Rotors (**110**) zu erzeugen.

Es folgen 11 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

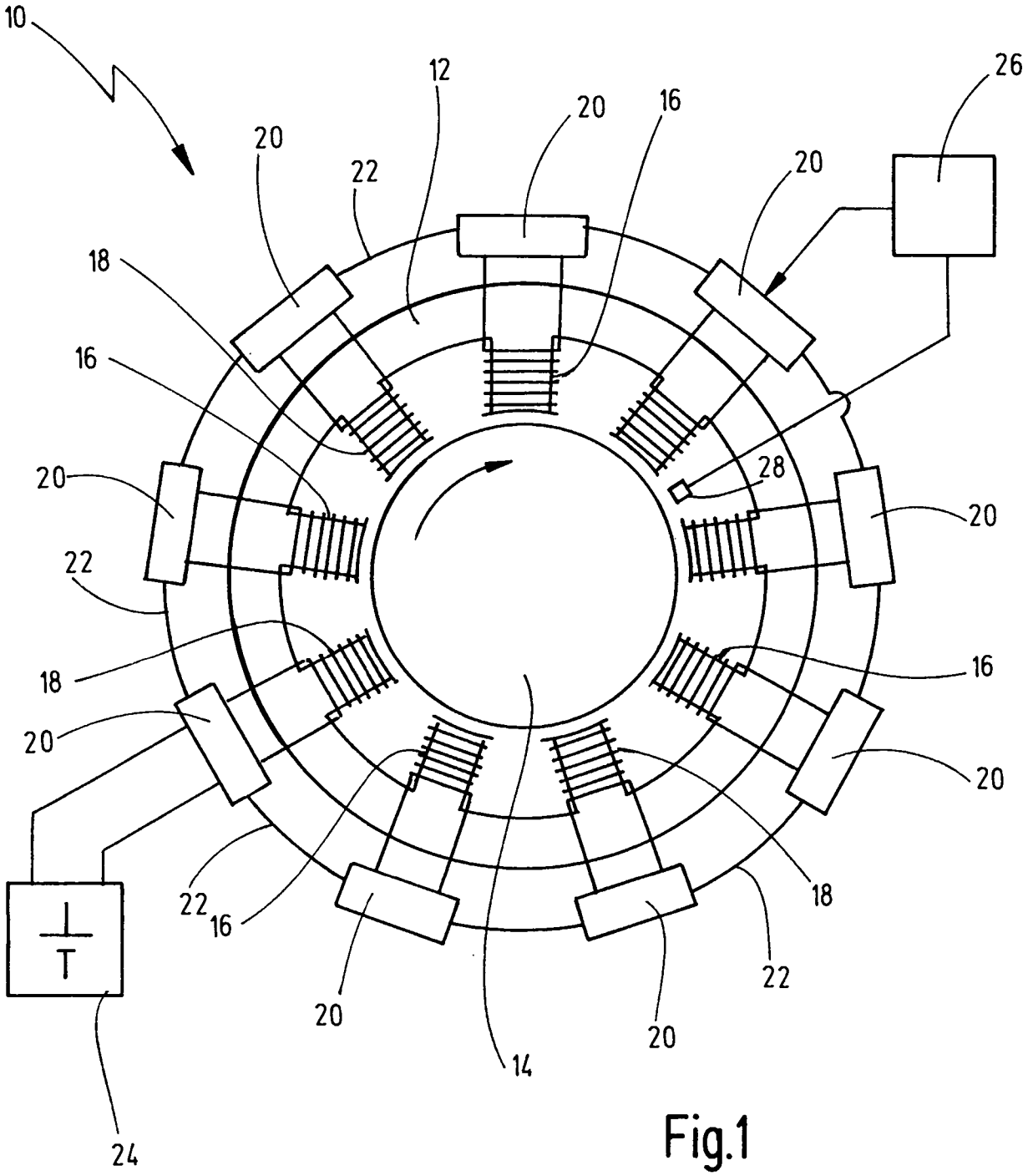


Fig.1

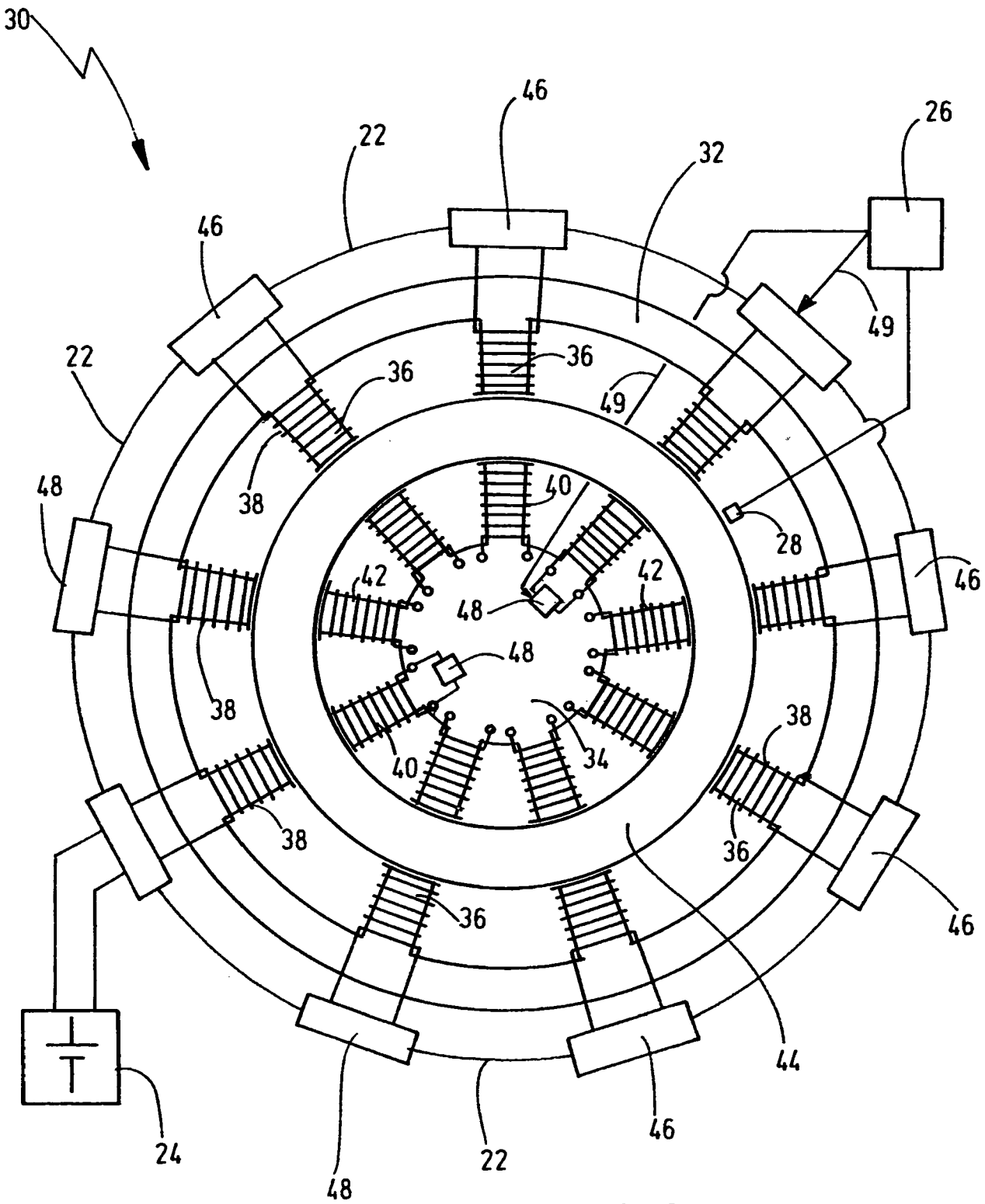

30
46
22
32
26
46
49
22
36
36
49
38
48
40
28
42
42
46
48
48
38
38
40
34
38
36
36
46
44
46
24
48
22

Fig.2

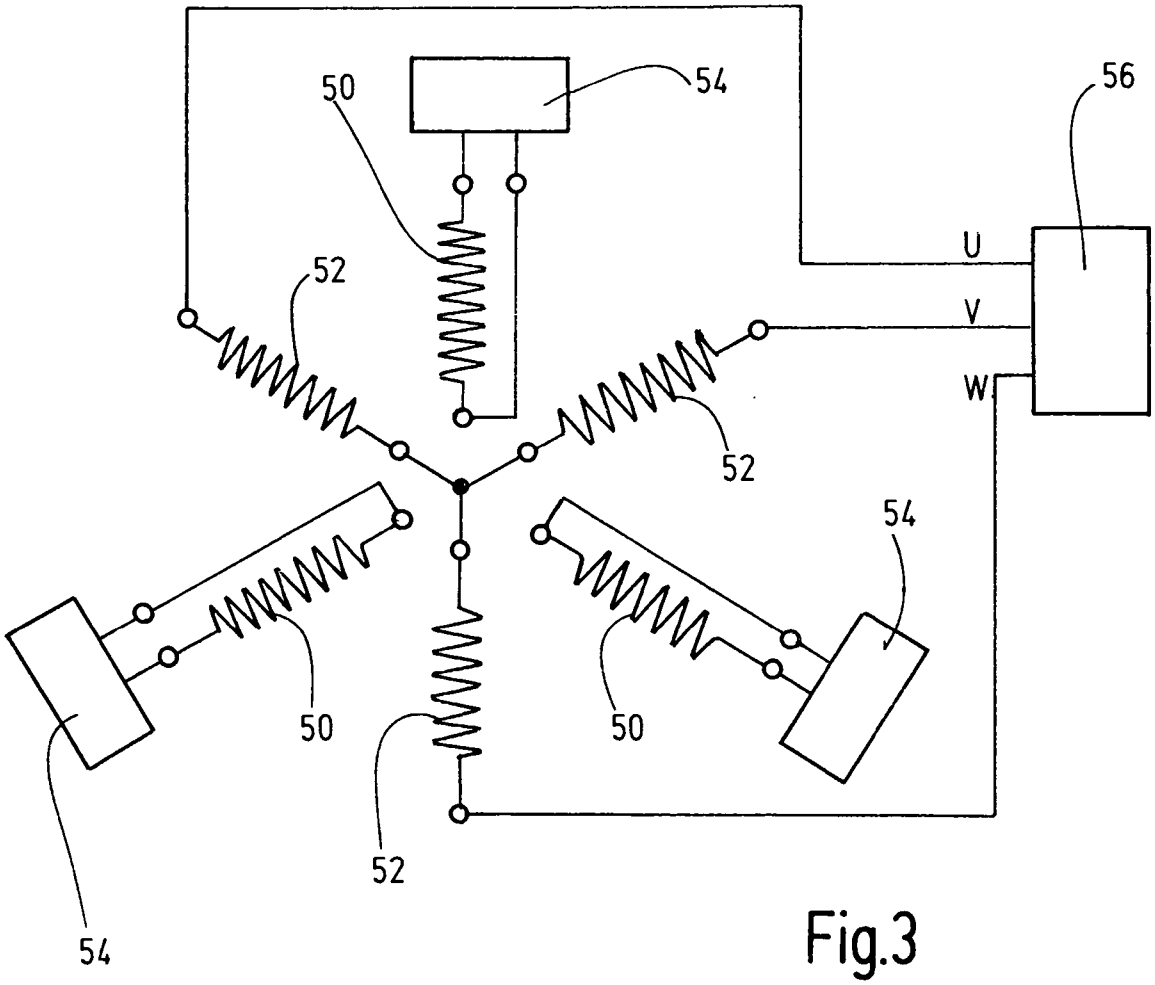


Fig.3

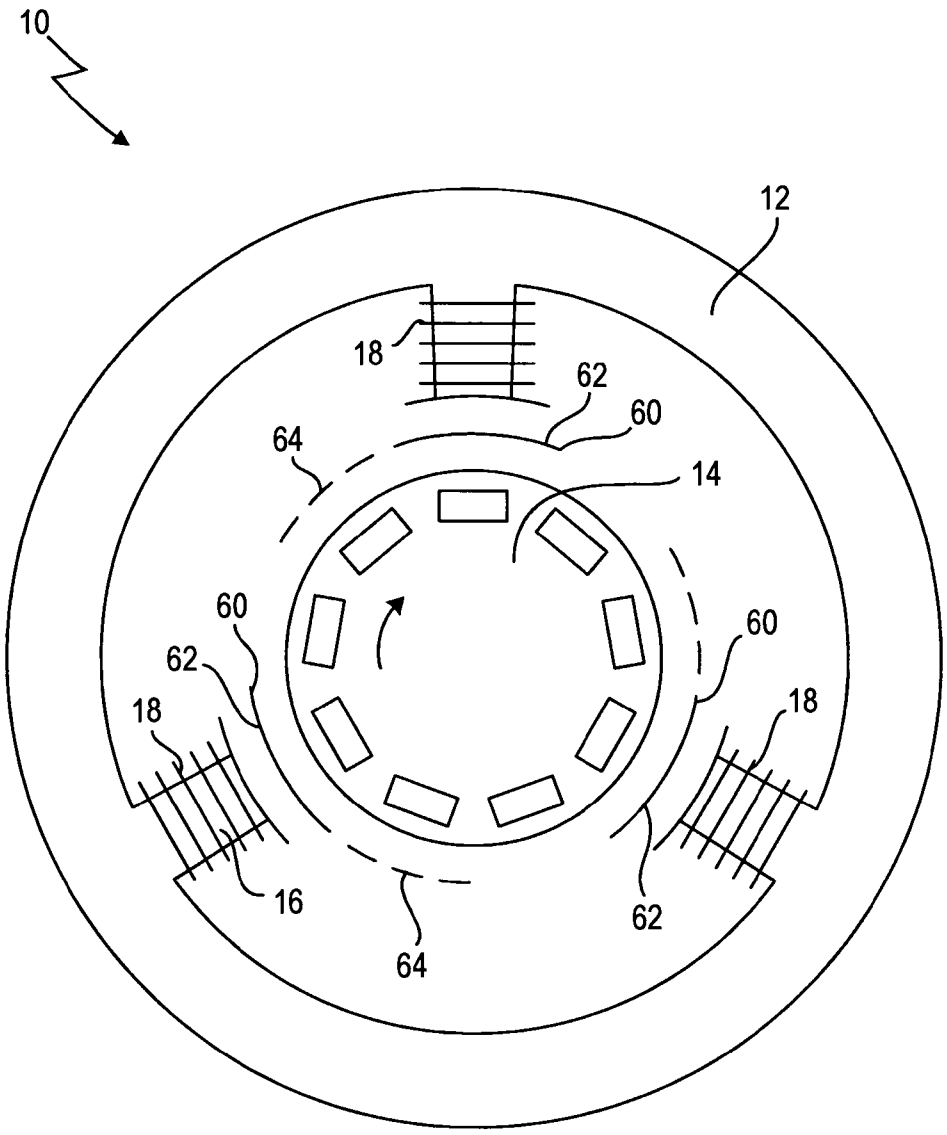


Fig. 4

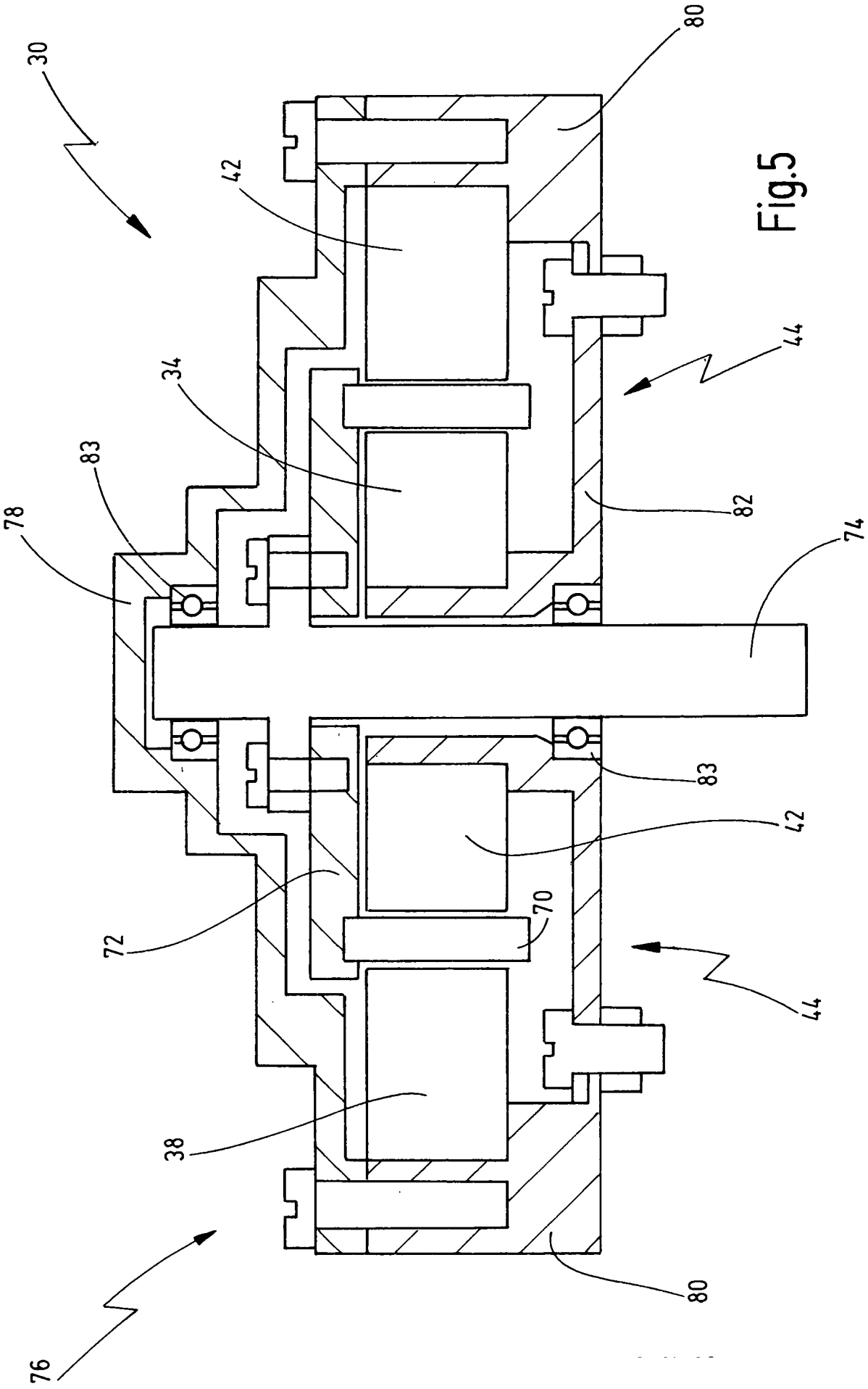


Fig.5

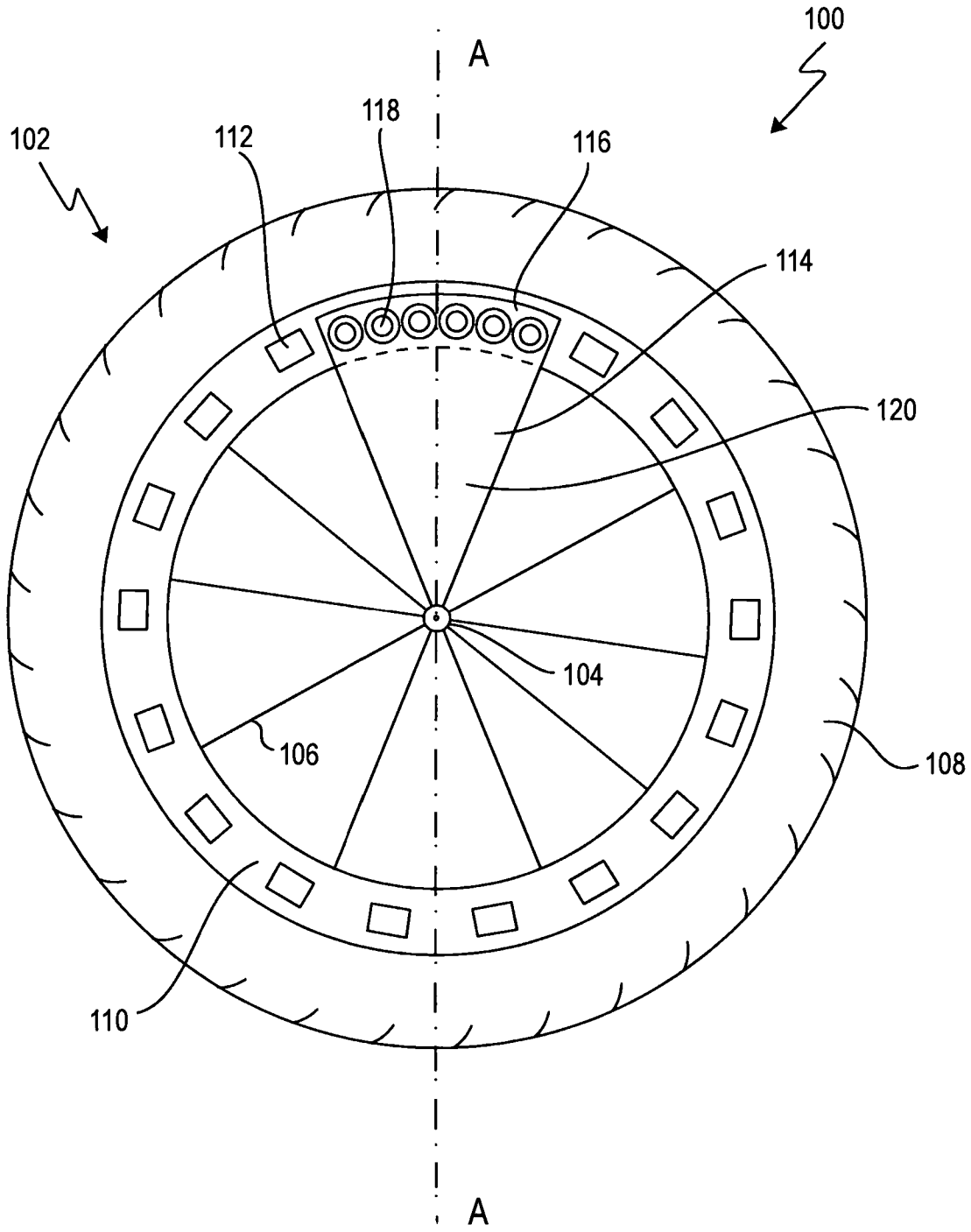


Fig. 6a

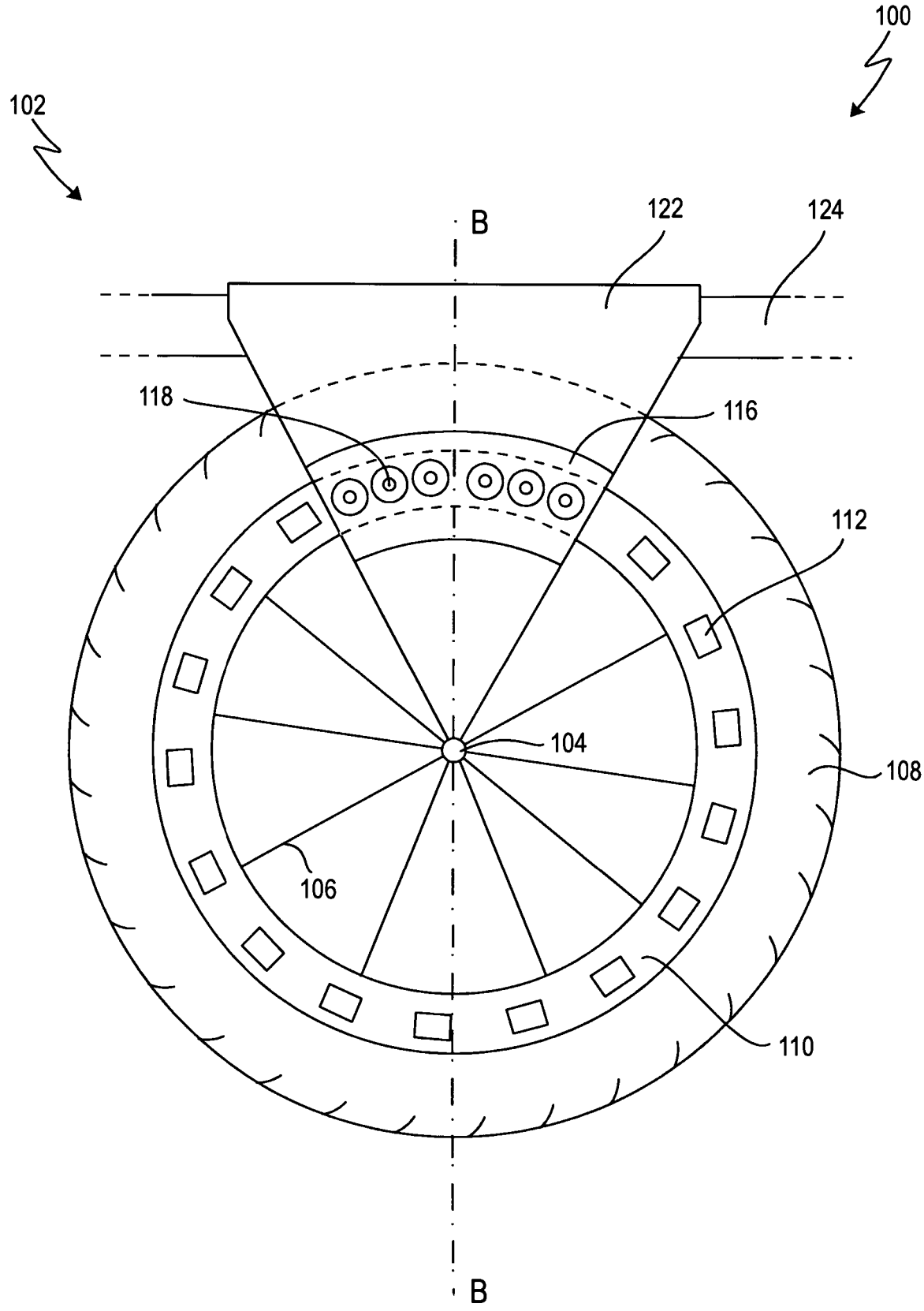


Fig. 6b

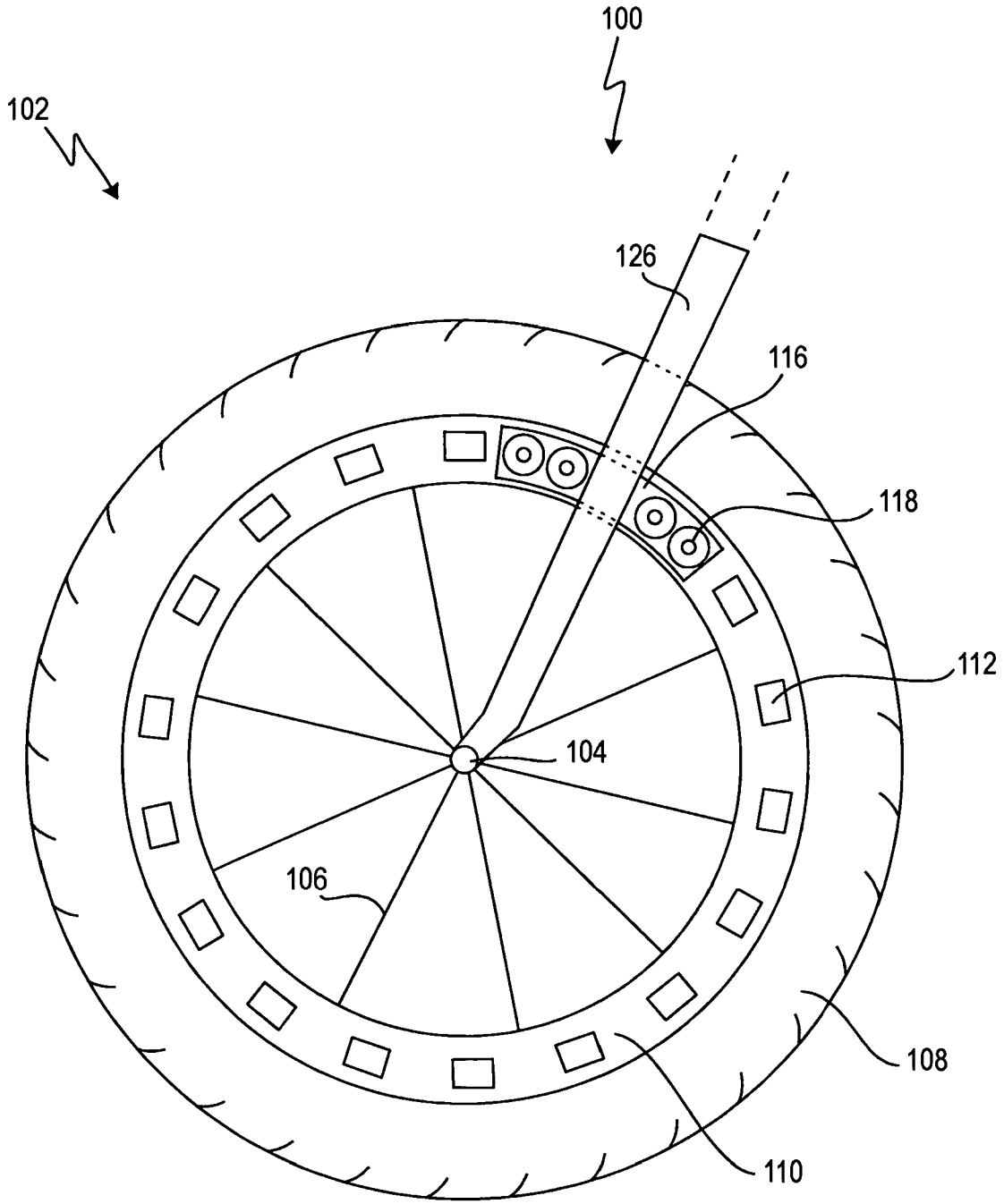


Fig. 6c

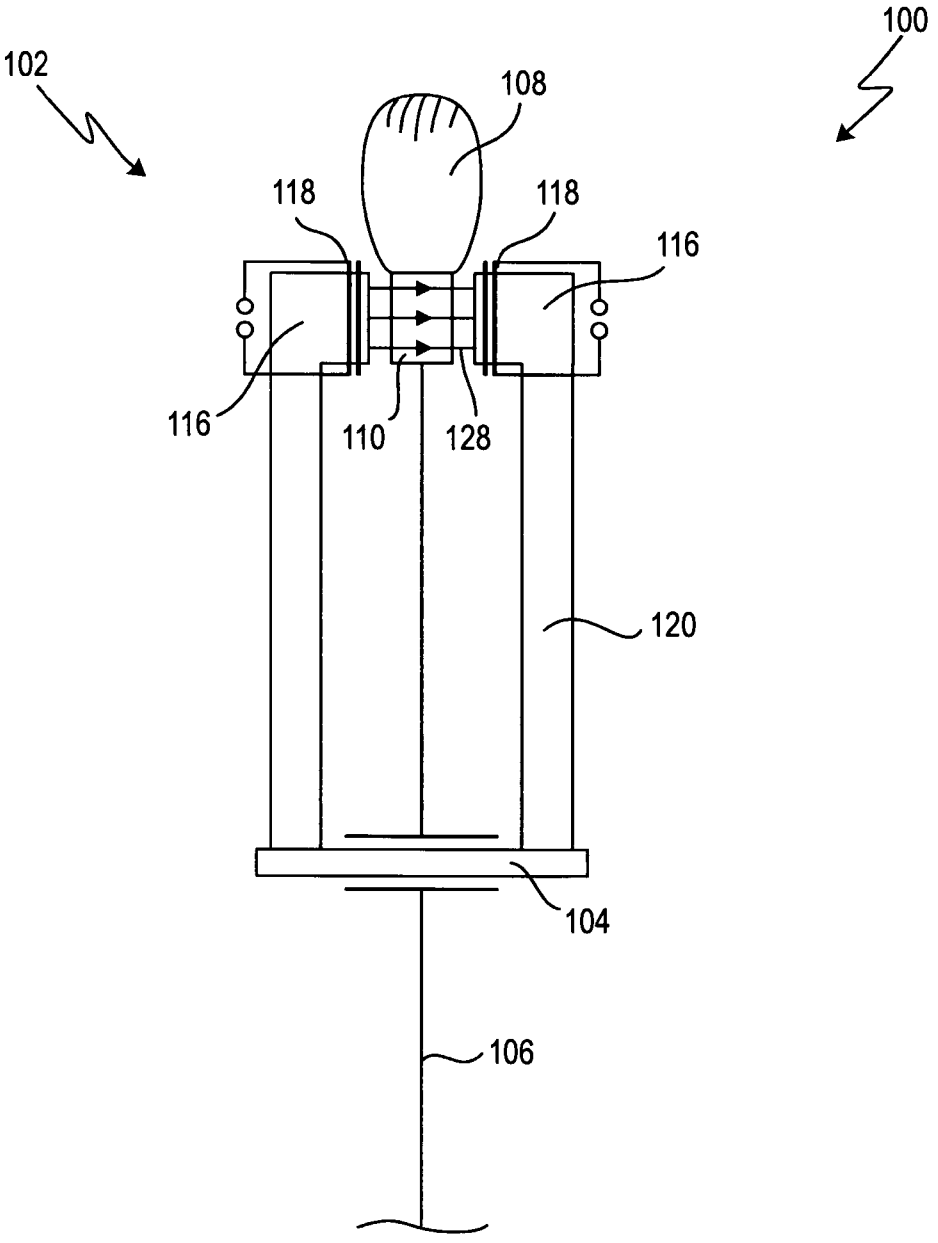


Fig. 7a

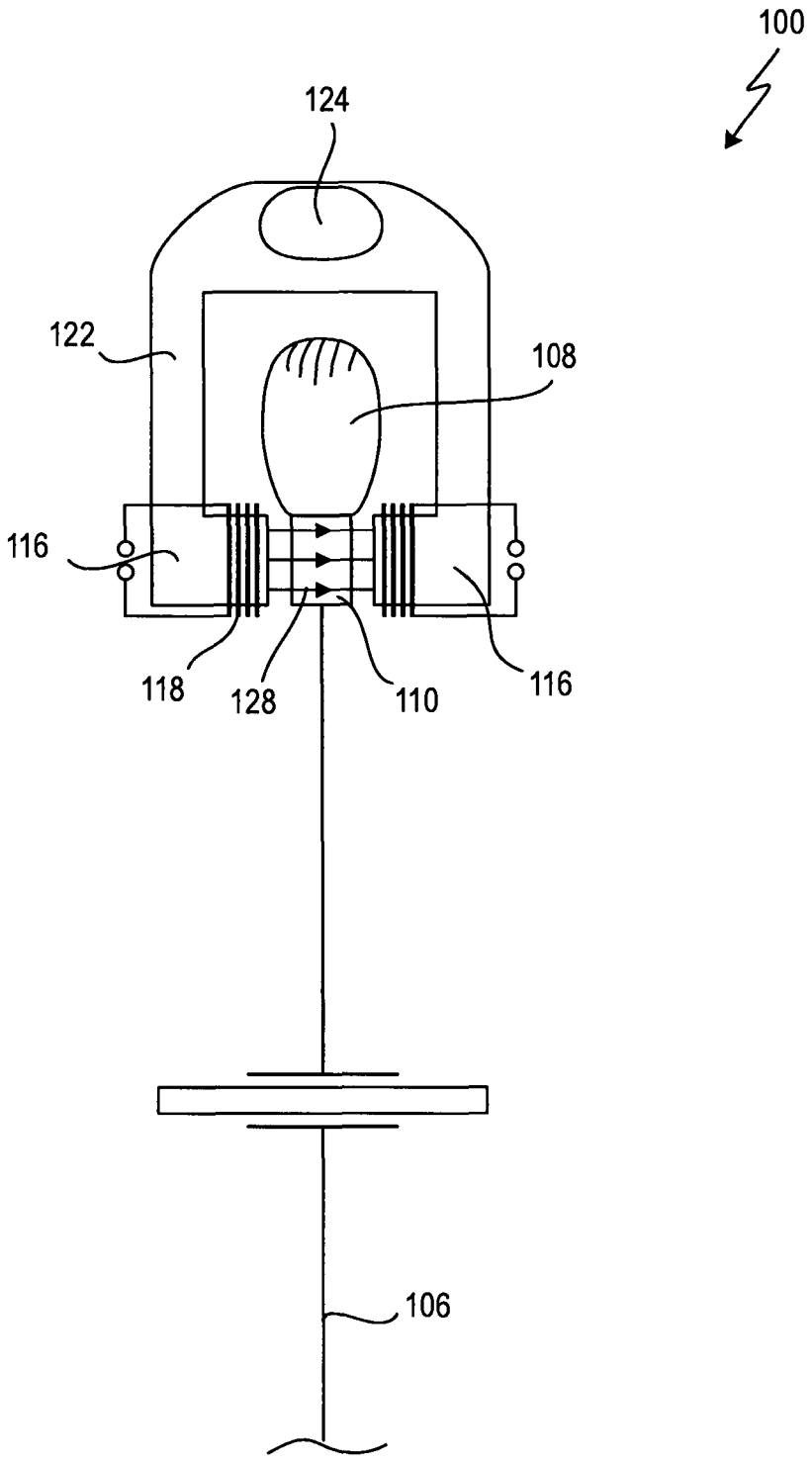


Fig. 7b

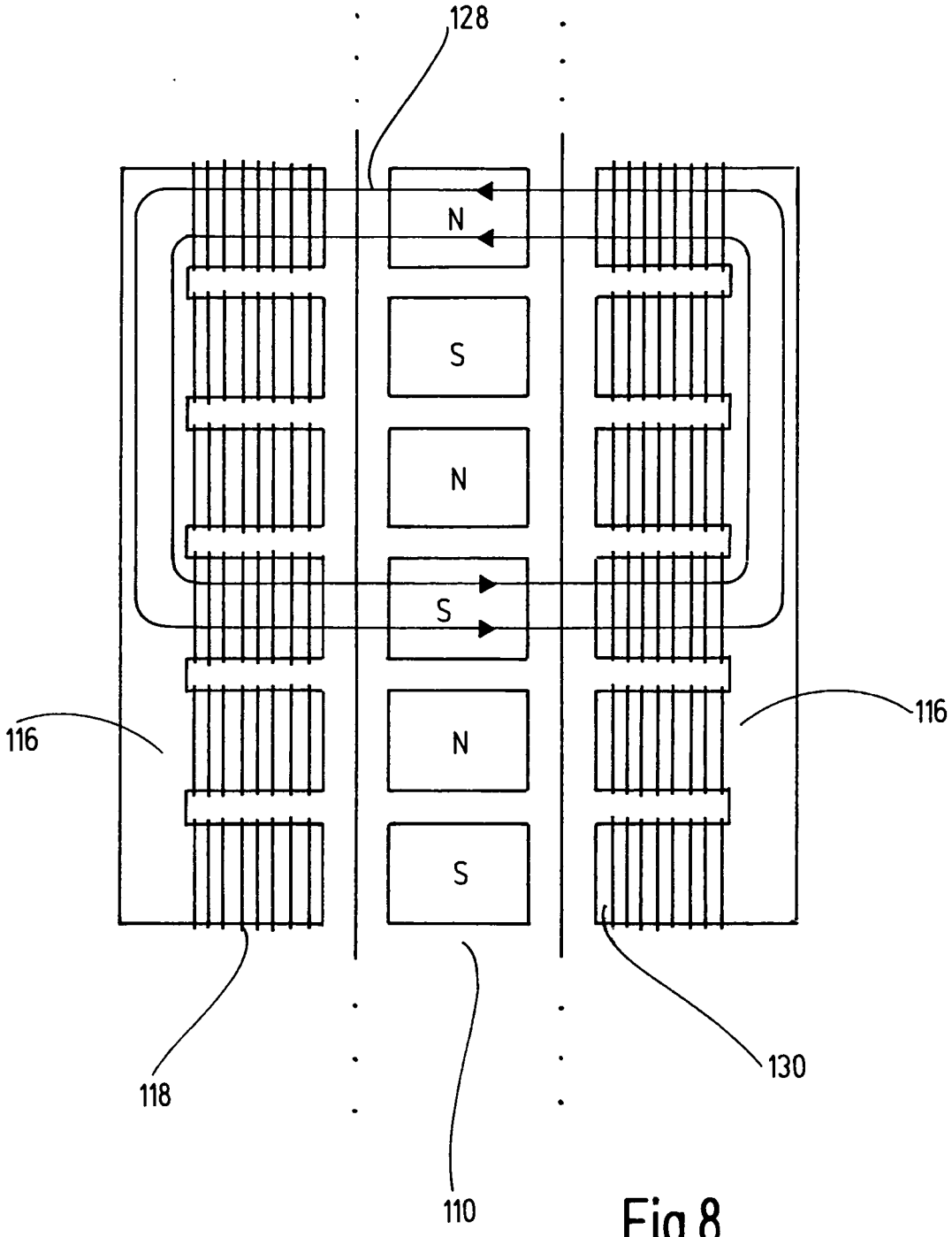


Fig.8