



(10) **DE 10 2022 114 477 A1** 2023.08.17

(12) **Offenlegungsschrift**

(21) Aktenzeichen: **10 2022 114 477.1**

(22) Anmeldetag: **09.06.2022**

(43) Offenlegungstag: **17.08.2023**

(51) Int Cl.: **H02K 3/50** (2006.01)

H02K 3/28 (2006.01)

H02K 11/33 (2016.01)

(66) Innere Priorität
10 2022 103 388.0 14.02.2022

(71) Anmelder:
**Schaeffler Technologies AG & Co. KG, 91074
Herzogenaurach, DE**

(72) Erfinder:
**Reimnitz, Dirk, 77815 Bühl, DE; Rieß, Stefan,
86916 Kaufering, DE**

(56) Ermittelter Stand der Technik:

DE	10 2016 204 445	A1
US	2019 / 0 058 375	A1
CN	2 09 184 342	U
CN	2 12 677 004	U
CN	2 12 258 737	U

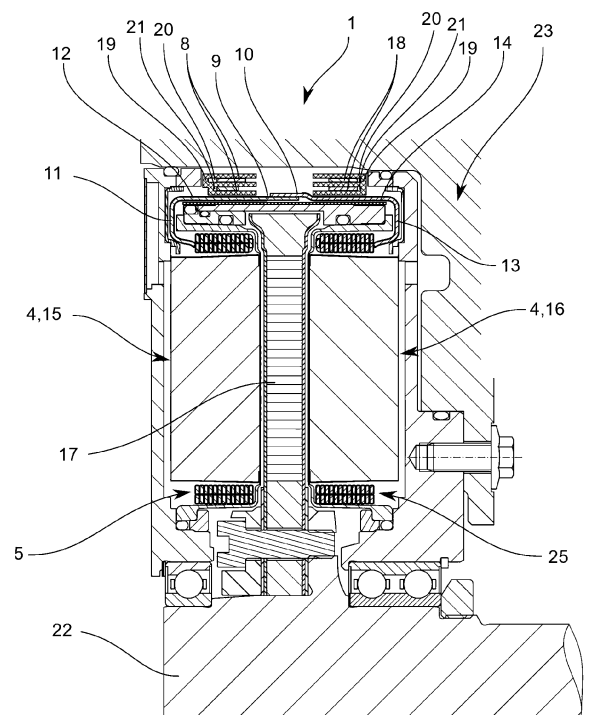
SCHNEIDER, Erik [u.a.]: Hochintegrativ und flexibel - Elektrische Antriebseinheit für E-Fahrzeuge. In: Automobiltechnische Zeitschrift (ATZ), Bd. 113, 2011, H. 5, S. 360-365. - ISSN 0001-2785 (P); 2192-8800 (E). DOI: 10.1365/s35148-011-0086-0. URL: <https://link.springer.com/content/pdf/10.1365/s35148-011-0086-0.pdf> [abgerufen am 2022-07-04].

Prüfungsantrag gemäß § 44 PatG ist gestellt.

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen.

(54) Bezeichnung: **Elektrische Axialflussmaschine**

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft eine elektrische Axialflussmaschine (1), insbesondere für einen Antriebsstrang (2) eines hybriden oder vollelektrisch betriebenen Kraftfahrzeugs (3), umfassend einen Stator (4) mit einer Mehrzahl von über den Umfang des Stators (4) verteilten Statorspulen (5) und einer Leistungselektronik (6) zur Bestromung der Statorspulen (5) sowie einem Hochvolt-Terminal (7) zur Herstellung einer elektrischen Verbindung zwischen den Statorspulen (5) und der Leistungselektronik (6), wobei in radialer Richtung oberhalb der Statorspulen (5) Stromschienen (8) angeordnet sind, die den Stator (4) und/oder einen relativ zum Stator (4) drehbaren Rotor (17) ringförmig umschließen und die Statorspulen (5) elektrisch leitend mit dem Hochvolt-Terminal (7) verbinden.



Beschreibung

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft eine elektrische Axialflussmaschine, insbesondere für einen Antriebsstrang eines hybriden oder vollelektrisch betriebenen Kraftfahrzeugs, umfassend einen Stator mit einer Mehrzahl von über den Umfang des Stators verteilten Statorspulen und einer Leistungselektronik zur Bestromung der Statorspulen sowie einem Hochvolt-Terminal zur Herstellung einer elektrischen Verbindung zwischen den Statorspulen und der Leistungselektronik.

[0002] Bei Kraftfahrzeugen werden für den Antrieb verstärkt Elektromotoren eingesetzt, um Alternativen zu Verbrennungsmotoren zu schaffen, die fossile Brennstoffe benötigen. Um die Alltagstauglichkeit der Elektroantriebe zu verbessern und zudem den Benutzern den gewohnten Fahrkomfort bieten zu können, sind bereits erhebliche Anstrengungen unternommen worden.

[0003] Eine ausführliche Darstellung zu einem Elektroantrieb ergibt sich aus einem Artikel der Zeitschrift ATZ 113. Jahrgang, 05/2011, Seiten 360-365 von Erik Schneider, Frank Fickl, Bernd Cebulski und Jens Liebold mit dem Titel: Hochintegrativ und Flexibel Elektrische Antriebseinheit für E-Fahrzeuge, der wohl den nächstkommenen Stand der Technik bildet. In diesem Artikel wird eine Antriebseinheit für eine Achse eines Fahrzeugs beschrieben, welche einen E-Motor umfasst, der konzentrisch und coaxial zu einem Kegelraddifferenzial angeordnet ist, wobei in dem Leistungsstrang zwischen Elektromotor und Kegelraddifferenzial ein schaltbarer 2-Gang-Planetenradsatz angeordnet ist, der ebenfalls coaxial zu dem E-Motor bzw. dem Kegelraddifferenzial oder Stirnraddifferential positioniert ist. Die Antriebseinheit ist sehr kompakt aufgebaut und erlaubt aufgrund des schaltbaren 2-Gang-Planetenradsatzes einen guten Kompromiss zwischen Steigfähigkeit, Beschleunigung und Energieverbrauch. Derartige Antriebseinheiten werden auch als E-Achsen oder elektrisch betreibbarer Antriebsstrang bezeichnet.

[0004] Zunehmend werden in derartigen E-Achsen auch Axialflussmaschinen eingesetzt. Eine Axialflussmaschine bezeichnet eine dynamoelektrische Maschine, bei der der magnetische Fluss zwischen Rotor und Stator parallel zur Drehachse des Rotors verläuft. Häufig sind sowohl Stator als auch Rotor weitgehend scheibenförmig ausgebildet. Axialflussmaschinen sind insbesondere dann vorteilhaft, wenn der axial zur Verfügung stehende Bauraum in einem gegebenen Anwendungsfall begrenzt ist. Dies ist beispielsweise vielfach bei den eingangs beschriebenen elektrischen Antriebssystemen für Elektrofahrzeuge der Fall. Neben der verkürzten axialen Baulänge liegt ein weiterer Vorteil der Axialflussmaschine in ihrer vergleichsweisen hohen Dreh-

momentdichte. Ursächlich hierfür ist die im Vergleich zu Radialflussmaschinen größere Luftspaltfläche, die bei einem gegebenen Bauraum zur Verfügung steht. Ferner ist auch ein geringeres Eisenvolumen im Vergleich zu konventionellen Maschinen notwendig, was sich positiv auf den Wirkungsgrad der Maschine auswirkt.

[0005] Durch seine scheibenförmigen Hauptbaugruppen eignet sich eine Axialflussmaschine besonders gut für Anwendungen, bei denen es auf eine sehr kurze Baulänge des Elektromotors ankommt und bei denen ein relativ großer Motordurchmesser noch akzeptabel ist. Bei der Entwicklung von entsprechenden Axialflussmaschinen ist es daher regelmäßig sinnvoll, eine möglichst kurze Bauweise anzustreben, wobei der Außendurchmesser der Axialflussmaschine jedoch nicht größer werden sollte als unbedingt nötig. Bei Axialflussmaschinen für Kraftfahrzeuge bestehen zusätzlich auch immer die Anforderungen nach geringem Gewicht, hoher Leistungsdichte und geringen Kosten. Dies betrifft auch die Stromversorgung einer Axialflussmaschine.

[0006] Es ist daher die Aufgabe der Erfindung, eine axial wie radial besonders kompaktbauende Axialflussmaschine bereitzustellen.

[0007] Diese Aufgabe wird gelöst durch eine elektrische Axialflussmaschine, insbesondere für einen Antriebsstrang eines hybriden oder vollelektrisch betriebenen Kraftfahrzeugs, umfassend einen Stator mit einer Mehrzahl von über den Umfang des Stators verteilten Statorspulen und einer Leistungselektronik zur Bestromung der Statorspulen sowie einem Hochvolt-Terminal zur Herstellung einer elektrischen Verbindung zwischen den Statorspulen und der Leistungselektronik, wobei in radialer Richtung oberhalb der Statorspulen Stromschienen angeordnet sind, die den Stator und/oder einen relativ zum Stator drehbaren Rotor ringförmig umschließen und die Statorspulen elektrisch leitend mit dem Hochvolt-Terminal verbinden.

[0008] Hierdurch wird der Vorteil erzielt, dass eine axial besonders kurze Bauform der Axialflussmaschine realisiert werden kann, indem die Stromschiene, die die Statorspulen der Elektromagnete mit Strom versorgen, radial außerhalb des Rotors angeordnet wird. Alle elektrischen Verbindungen zwischen den Statorspulen können radial außerhalb der Statorspulen bzw. radial außerhalb des Rotors erfolgen. Elektrische Verbindungen zwischen den Spulen sind weder im radialen Bereich der Statorspulen noch im radialen Bereich innerhalb der Statorspulen erforderlich.

[0009] Die ringförmigen Stromschienen können umlaufend geschlossen sein oder an einer Stelle des Umfangs offen sein. Die Stromschienen können

auch so ausgeführt werden, dass Sie nur einen Teil des Umfangs umschließen.

[0010] Zunächst werden die einzelnen Elemente des beanspruchten Erfindungsgegenstandes in der Reihenfolge ihrer Nennung im Anspruchssatz erläutert und nachfolgend besonders bevorzugte Ausgestaltungen des Erfindungsgegenstandes beschrieben.

[0011] Der magnetische Fluss in einer elektrischen Axialflussmaschine (AFM), wie beispielsweise eine als Axialflussmaschine ausgebildete elektrische Antriebsmaschine eines Kraftfahrzeugs, ist im Luftspalt zwischen Stator und Rotor axial zu einer Rotationsrichtung des Rotors der Axialflussmaschine gerichtet.

[0012] Es kann, je nach Anwendungsgebiet, vorteilhaft sein, eine Axialflussmaschine in I-Anordnung oder H-Anordnung auszubilden. Bei einer I-Anordnung ist der Rotor axial neben einem Stator oder zwischen zwei Statoren angeordnet. Bei einer H-Anordnung sind zwei Rotoren auf gegenüberliegenden axialen Seiten eines Stators angeordnet. Die erfindungsgemäße Axialflussmaschine ist bevorzugt in I-Anordnung konfiguriert.

[0013] Grundsätzlich ist es auch möglich, dass eine Mehrzahl von Rotor-Stator-Konfigurationen als I-Typ und/oder H-Typ axial nebeneinander angeordnet sind. Auch wäre es in diesem Zusammenhang möglich, mehrere Rotor-Stator-Konfigurationen des I-Typs in axialer Richtung nebeneinander anzuordnen. Insbesondere ist es auch zu bevorzugen, dass die Rotor-Stator-Konfiguration des H-Typs und/oder des I-Typs jeweils im Wesentlichen identisch ausgebildet sind, so dass diese modulartig zu einer Gesamtkonfiguration zusammengefügt werden können. Derartige Rotor-Stator-Konfigurationen können insbesondere koaxial zueinander angeordnet sein sowie mit einer gemeinsamen Rotorwelle oder mit mehrere Rotorwellen verbunden sein.

[0014] Der Stator der erfindungsgemäßen elektrischen Axialflussmaschine weist bevorzugt einen Statorkörper mit mehreren in Umfangsrichtung angeordneten Statorwicklungen auf. Der Statorkörper kann in Umfangsrichtung gesehen einteilig oder segmentiert ausgebildet sein. Der Statorkörper kann aus einem Statorblechpaket mit mehreren laminierten Elektroblechen gebildet sein. Alternativ kann der Statorkörper auch aus einem verpressten weichmagnetischen Material, wie dem sogenannten SMC-Material (Soft Magnetic Compound) gebildet sein.

[0015] Der Rotor einer elektrischen Axialflussmaschine kann zumindest in Teilen als geblechter Rotor ausgebildet sein. Ein geblechter Rotor ist in radialer Richtung geschichtet ausgebildet. Der

Rotor einer Axialflussmaschine kann alternativ auch einen Rotorträger aufweisen, der entsprechend mit Magnetblechen und/oder SMC-Material und mit als Permanentmagneten ausgebildeten Magnetelementen bestückt ausgebildet ist.

[0016] Als Rotorwelle wird eine drehbar gelagerte Welle einer elektrischen Maschine bezeichnet, mit der der Rotor bzw. Rotorkörper drehfest gekoppelt ist.

[0017] Die elektrische Axialflussmaschine kann ferner eine Steuereinrichtung aufweisen. Eine Steuereinrichtung, wie sie in der vorliegenden Erfindung verwendet werden kann, dient insbesondere der elektronischen Steuerung und/oder Regelung eines oder mehrerer technischer Systeme der elektrischen Axialflussmaschine.

[0018] Eine Steuereinrichtung weist insbesondere einen kabelgebundenen oder kabellosen Signaleingang zum Empfang von insbesondere elektrischen Signalen, wie beispielsweise Sensorsignalen, auf. Ferner besitzt eine Steuereinrichtung ebenfalls bevorzugt einen kabelgebundenen oder kabellosen Signalausgang zur Übermittlung von insbesondere elektrischen Signalen.

[0019] Innerhalb der Steuereinrichtung können Steuerungsoperationen und/oder Regelungsoperationen durchgeführt werden. Ganz besonders bevorzugt ist es, dass die Steuereinrichtung eine Hardware umfasst, die ausgebildet ist, eine Software auszuführen. Bevorzugt umfasst die Steuereinrichtung wenigstens einen elektronischen Prozessor zur Ausführung von in einer Software definierten Programmabläufen.

[0020] Die Steuereinrichtung kann ferner einen oder mehrere elektronische Speicher aufweisen, in denen die in den an die Steuereinrichtung übermittelten Signalen enthaltenen Daten gespeichert und wieder ausgelesen werden können. Ferner kann die Steuereinrichtung einen oder mehrere elektronische Speicher aufweisen, in denen Daten veränderbar und/oder unveränderbar gespeichert werden können.

[0021] Eine Steuereinrichtung kann eine Mehrzahl von Steuergeräten umfassen, welche insbesondere räumlich getrennt voneinander im Kraftfahrzeug angeordnet sind. Steuergeräte werden auch als Electronic Control Unit (ECU) oder Electronic Control Module (ECM) bezeichnet und besitzen bevorzugt elektronische Mikrocontroller zur Durchführung von Rechenoperationen zur Verarbeitung von Daten, besonders bevorzugt mittels einer Software. Die Steuergeräte können bevorzugt miteinander vernetzt sein, so dass ein kabelgebundener und/oder kabelloser Datenaustausch zwischen Steuergeräten ermöglicht ist. Insbesondere ist es auch möglich,

die Steuergeräte über im Kraftfahrzeug vorhandene Bus-Systeme, wie beispielsweise CAN-Bus oder LIN-Bus, miteinander zu vernetzen.

[0022] Ganz besonders bevorzugt besitzt die Steuereinrichtung wenigstens einen Prozessor und wenigstens einen Speicher, der insbesondere einen Computerprogrammcode enthält, wobei der Speicher und der Computerprogrammcode konfiguriert sind, mit dem Prozessor, die Steuereinrichtung zur Ausführung des Computerprogrammcodes zu veranlassen.

[0023] Die Steuereinheit kann besonders bevorzugt eine Leistungselektronik zur Bestromung des Stators oder Rotors umfassen. Eine Leistungselektronik ist bevorzugt ein Verbund verschiedener Komponenten, welche einen Strom an die elektrische Maschine steuern oder regeln, bevorzugt inklusive hierzu benötigter peripherer Bauteile wie Kühlelemente oder Netzteile. Insbesondere enthält die Leistungselektronik bzw. ein oder mehrere Leistungselektronikbauteile, welche zur Steuerung oder Regelung eines Stroms eingerichtet sind. Dabei handelt es sich besonders bevorzugt um einen oder mehrere Leistungsschalter, z.B. Leistungstristoren. Besonders bevorzugt weist die Leistungselektronik mehr als zwei, besonders bevorzugt drei voneinander getrennte Phasen bzw. Strompfade mit mindestens je einem eigenen Leistungselektronikbauteil auf. Die Leistungselektronik ist bevorzugt ausgelegt, pro Phase eine Leistung mit einer Spitzenleistung, bevorzugt Dauerleistung, von mindestens 1.000 W, bevorzugt mindestens 10.000 W besonders bevorzugt mindestens 100.000 W zu steuern oder regeln.

[0024] Die elektrische Axialflussmaschine ist insbesondere für die Verwendung innerhalb eines Antriebsstrangs eines hybrid- oder vollelektrisch angetriebenen Kraftfahrzeugs vorgesehen. Insbesondere ist die elektrische Maschine so dimensioniert, dass Fahrzeuggeschwindigkeiten größer als 50 km/h, vorzugsweise größer als 80 km/h und insbesondere größer als 100 km/h erreicht werden können. Besonders bevorzugt weist der Elektromotor eine Leistung größer als 50 kW, vorzugsweise größer als 100 kW und insbesondere größer als 250 kW auf. Es ist des Weiteren bevorzugt, dass die elektrische Maschine Betriebsdrehzahlen größer als 5.000 U/min, besonders bevorzugt größer als 10.000 U/min, ganz besonders bevorzugt größer als 12.500 U/min bereitstellt. Höchst bevorzugt weist die elektrische Maschine Betriebsdrehzahlen zwischen 5.000-15.000 U/min, äußerst bevorzugt zwischen 7.500-13.000 U/min auf.

[0025] Die elektrische Axialflussmaschine kann bevorzugt auch in einem elektrisch betreibbaren Achsantriebsstrang verbaut sein. Ein elektrischer Achsantriebsstrang eines Kraftfahrzeugs umfasst

eine elektrische Axialflussmaschine und ein Getriebe, wobei die elektrische Axialflussmaschine und das Getriebe eine bauliche Einheit bilden. Es kann insbesondere vorgesehen sein, dass die elektrische Axialflussmaschine und das Getriebe in einem gemeinsamen Antriebsstranggehäuse angeordnet sind. Alternativ wäre es natürlich auch möglich, dass die elektrische Axialflussmaschine ein Motorgehäuse und das Getriebe ein Getriebegehäuse besitzt, wobei die bauliche Einheit dann über eine Fixierung des Getriebes gegenüber der elektrischen Axialflussmaschine bewirkbar ist. Diese bauliche Einheit wird gelegentlich auch als E-Achse bezeichnet.

[0026] Die elektrische Axialflussmaschine kann besonders bevorzugt auch für eine Verwendung in einem Hybridmodul vorgesehen sein. In einem Hybridmodul können Bau- und Funktionselemente eines hybridisierten Antriebsstrangs räumlich und/oder baulich zusammengefasst und vorkonfiguriert sein, so dass ein Hybridmodul in einer besonders einfachen Weise in einen Antriebsstrang eines Kraftfahrzeugs integrierbar ist. Insbesondere können eine Axialflussmaschine und ein Kupplungssystem, insbesondere mit einer Trennkupplung zum Einkuppeln der Axialflussmaschine in und/oder Auskuppeln der Axialflussmaschine aus dem Antriebsstrang, in einem Hybridmodul vorhanden sein.

[0027] Ein Hochvolt-Terminal im Sinne dieser Anmeldung ist die insbesondere lösbare Verbindungsstelle zwischen den Stromschienen und den elektrischen Leitern (z.B. Kabeln), die die elektrische Maschine mit der Leistungselektronik verbinden (und besteht aus den diese Verbindungsstelle ausbildenden Bauteilen. Diese können beispielsweise Stromschienen mit Anschlussstellen für die elektrische Verbindung zur Leistungselektronik sowie bevorzugt auch Anschlussstellen für die Stromschienen der elektrischen Maschine umfassen. Die Anschlussstellen können beispielsweise als Schraub- und/oder Steckkontakte ausgeführt sein. Insbesondere ist das Hochvolt-Terminal ausgebildet zum Anschluss eines mehrphasigen Stromanschlusses.

[0028] Vorteilhafte Ausgestaltungen der Erfindung sind in den abhängig formulierten Ansprüchen angegeben. Die in den abhängig formulierten Ansprüchen einzeln aufgeführten Merkmale sind in technologisch sinnvoller Weise miteinander kombinierbar und können weitere Ausgestaltungen der Erfindung definieren. Darüber hinaus werden die in den Ansprüchen angegebenen Merkmale in der Beschreibung näher präzisiert und erläutert, wobei weitere bevorzugte Ausgestaltungen der Erfindung dargestellt werden.

[0029] Gemäß einer vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung kann vorgesehen sein, dass das Hochvolt-Terminal radial oberhalb der Stromschienen positio-

niert ist, was ebenfalls zu einer kompakten axialen Bauform sowie einer guten Montierbarkeit der Stromanschlüsse beiträgt.

[0030] Es kann gemäß einer weiteren bevorzugten Weiterentwicklung der Erfindung auch vorgesehen sein, dass die Statorspulen jeweils ein erstes Spulenende und ein zweites Spulenende aufweisen, wobei das erste Spulenende einen radial verlaufenden Abschnitt und einen axial verlaufenden Abschnitt aufweist, und der axial verlaufende Abschnitt eine der Stromschienen elektrisch kontaktiert und/oder das zweite Spulenende einen radial verlaufenden Abschnitt und einen axial verlaufenden Abschnitt aufweist, und der axial verlaufende Abschnitt eine der Stromschienen oder eine Sternpunktschiene oder eine andere Spule elektrisch kontaktiert. Es kann hierdurch ebenfalls eine axial besonders kompakt bauende Ausführung der Axialflussmaschine unterstützt werden. Ferner kann hierdurch auch dazu beigetragen werden, eine Gleichteiligkeit der Statorspulen auszubilden, mit entsprechenden Kostenvorteilen.

[0031] Des Weiteren kann es gemäß einer ebenfalls vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung vorgesehen sein, dass die Axialflussmaschine in I-Ausführung konfiguriert ist, bei der der Stator einen ersten scheibenförmigen Statorkörper und einen axial von diesem beabstandeten zweiten scheibenförmigen Statorkörper aufweist und axial zwischen dem ersten Statorkörper und dem zweiten Statorkörper ein Rotor angeordnet ist, wobei der erste Statorkörper eine Mehrzahl von über den Umfang des ersten Statorkörpers verteilten ersten Statorspulen und der zweite Statorkörper eine Mehrzahl von über den Umfang des zweiten Statorkörpers verteilten zweiten Statorspulen aufweisen, und in radialer Richtung oberhalb der ersten Statorspulen erste Stromschienen angeordnet sind, die den ersten Statorkörper ringförmig umschließen und die ersten Statorspulen und/oder die zweiten Statorspulen elektrisch leitend mit dem Hochvolt-Terminal verbinden und in radialer Richtung oberhalb der zweiten Statorspulen zweite Stromschienen angeordnet sind, die den zweiten Statorkörper ringförmig umschließen und die ersten Statorspulen und/oder die zweiten Statorspulen elektrisch leitend mit dem Hochvolt-Terminal verbinden.

[0032] Die vorteilhafte Wirkung dieser Ausgestaltung ist darin begründet, dass bei einer Axialflussmaschine in I-Anordnung die Stromschienen und der Verschaltungsbereich für beide Statorkörper der radial außerhalb des Rotors angeordnet werden kann. Nahezu alle stromführenden Bauteile des Verschaltungsbereiches können so radial außerhalb der Statorspulen der Elektromagnete angeordnet werden und befinden sich ferner axial innerhalb des axialen Bereiches, der die Bereite des Rotors plus

der halben Breite der beiden seitlich angrenzenden Statorkörpern entspricht.

[0033] Es kann somit eine Axialflussmaschine in I-Anordnung bereitgestellt werden, deren Stromschienen und deren Verschaltungsbereiche für beide Statorkörper axial innerhalb des axialen Bereichs zwischen der dem Rotor abgewandten Seite des Statoreisens (Joch) des einen Statorkörpers und der dem Rotor abgewandten Seite des Statoreisens (Joch) des anderen Statorkörpers liegt. Durch die radiale Anordnung von Stromschienen und Spulenverschaltung bzw. anschluss, kann die axiale Länge der Axialflussmaschine in I-Konfiguration sehr kurz ausgeführt werden.

[0034] Ferner kann bevorzugt ein Anschluss der beiden gegenüberliegenden in Reihe geschalteten Statorspulen an einem gemeinsamen Stromschienensystem radial außerhalb des Rotors erfolgen. Das Stromschienensystem kann mittig zum Rotor ausgerichtet werden, damit die Anschlussdrähte der Statorspulen in den gegenüberliegenden Statorkörpern gleich lang ausgeführt werden können und somit baugleiche Statorspulen für beiden Statorkörper verwendet werden können. Hierdurch können auch sehr kurze Wicklungsenden der Statorspulen sowie eine Reihenschaltung der gegenüberliegenden Statorspulen auch sehr einfache Weise realisierbar werden. Ferner sind die Verschaltungs- und Kontaktierungspositionen gut zugänglich, was die Montage spürbar erleichtert.

[0035] Alternativ könnten auch die jeweils gegenüberliegenden (also auf den gegenüberliegenden Seiten des Rotors) Statorspulen an einem gemeinsamen Stromschienensystem angeschlossen sein ohne das die Statorspulen in Reihe geschaltet werden müssen.

[0036] Gemäß einer weiteren besonders bevorzugten Ausführungsform der Erfindung kann es vorgesehen sein, dass die Statorspulen im Wesentlichen identisch ausgebildet sind, was zu einer deutlichen Kostenoptimierung der Axialflussmaschine beitragen kann.

[0037] In einer ebenfalls bevorzugten Ausgestaltungsvariante der Erfindung kann auch vorgesehen sein, dass die ersten Stromschienen und die zweiten Stromschienen an dem gemeinsamen Hochvolt-Terminal angebunden sind.

[0038] Auch kann es vorteilhaft sein, die Erfindung dahingehend weiterzuentwickeln, dass die Stromschienen zumindest abschnittsweise in einem ringförmigen oder ringsegmentförmigen Isolierkörper aufgenommen sind, was zum einen die definierte Festlegung der Stromschienen zueinander verein-

facht und gleichzeitig eine elektrische Isolierung der Stromschienen gegeneinander bereitstellen kann.

[0039] Gemäß einer weiteren zu bevorzugenden Ausgestaltung des Erfindungsgegenstandes kann vorgesehen sein, dass der Isolationskörper im Querschnitt eine E-artige Kontur mit zwei radial voneinander beabstandeten, einseitig offenen Nuten, aufweist, in welchen die Stromschienen aufgenommen sind, was sich als fertigungs- und montage technisch besonders günstig erwiesen hat.

[0040] Ferner ist es gemäß einer weiteren bevorzugten Ausgestaltung der Erfindung vorteilhaft, dass eine axiale und radiale elastische Bewegungskopplung zwischen dem Stator und den Stromanschlüssen erfolgt. Dies kann beispielsweise durch elastisch verformbare Stromschienen und/oder elastisch verformbare Verbindungsglaschen zwischen den Stromschienen und den Stromanschlussbolzen realisiert werden

[0041] Schließlich kann es auch bevorzugt sein, dass ein auf den entgegengesetzten Rotorseiten angeordnetes Spulenpaar elektrisch in Reihe geschaltet ist.

[0042] Nachfolgend wird die Erfindung anhand von Figuren ohne Beschränkung des allgemeinen Erfindungsgedankens näher erläutert werden.

[0043] Es zeigt:

Fig. 1 eine Axialflussmaschine in einer schematischen Axialschnittansicht,

Fig. 2 eine Detailansicht der Axialflussmaschine aus **Fig. 1** in einer Axialschnittdarstellung

Fig. 3 eine Detailansicht der Axialflussmaschine aus **Fig. 1** in einer Axialschnittdarstellung

Fig. 4 eine freigestellte Darstellung der Spulenverschaltung einer Axialflussmaschine in einer perspektivischen Ansicht,

Fig. 5 eine Detaildarstellung der Spulenverschaltung der Axialflussmaschine aus **Fig. 4** in einer perspektivischen Ansicht,

Fig. 6 ein hybrid und ein vollelektrisch betriebbares Kraftfahrzeug in einer Blockschaltdarstellung.

[0044] Die **Fig. 1** zeigt eine elektrische Axialflussmaschine 1, insbesondere für einen Antriebsstrang 2 eines hybriden oder vollelektrisch betriebenen Kraftfahrzeugs 3, wie es exemplarisch in der **Fig. 6** skizziert ist.

[0045] Die gezeigte Axialflussmaschine 1 umfasst einen Stator 4 mit einer Mehrzahl von über den Umfang des Stators 4 verteilten Statorspulen 5 und

einer Leistungselektronik 6 zur Bestromung der Statorspulen 5 sowie einem Hochvolt-Terminal 7 zur Herstellung einer elektrischen Verbindung zwischen den Statorspulen 5 und der Leistungselektronik 6, was gut aus der Zusammenschau der **Fig. 1** und **Fig. 4** zu erkennen ist.

[0046] In radialer Richtung oberhalb der Statorspulen 5 sind Stromschienen 8 angeordnet, die den Stator 4 ringförmig umschließen und die Statorspulen 5 elektrisch leitend mit dem Hochvolt-Terminal 7 verbinden. Wie in der **Fig. 1** dargestellt, ist die Axialflussmaschine 1 in I-Ausführung konfiguriert, bei der der Stator 4 einen ersten scheibenförmigen Statorkörper 15 und einen axial von diesem beabstandeten zweiten scheibenförmigen Statorkörper 16 aufweist und axial zwischen dem ersten Statorkörper 15 und dem zweiten Statorkörper 16 ein Rotor 17 angeordnet ist.

[0047] Der erste Statorkörper 15 weist eine Mehrzahl von über den Umfang des ersten Statorkörpers 15 verteilten ersten Statorspulen 5 und der zweite Statorkörper 16 eine Mehrzahl von über den Umfang des zweiten Statorkörpers 16 verteilten zweiten Statorspulen 25 auf. In radialer Richtung oberhalb der ersten Statorspulen 5 sind erste Stromschienen 8 angeordnet, die den ersten Statorkörper 15 ringförmig umschließen und die ersten Statorspulen 5 und/oder die zweiten Statorspulen 25 elektrisch leitend mit dem Hochvolt-Terminal 7 verbinden. In radialer Richtung oberhalb der zweiten Statorspulen 25 sind zweite Stromschienen 18 angeordnet, die analog den zweiten Statorkörper 15 ringförmig umschließen und die ersten Statorspulen 5 und/oder die zweiten Statorspulen 25 elektrisch leitend mit dem Hochvolt-Terminal 7 verbinden.

[0048] Der Stator 4 besteht also aus zwei radial außen miteinander verbundenen Statorkörpern 15,16, die radial innen über je eine Lagerstelle mit der Rotorwelle 22 drehentkoppelt verbunden sind. Der Rotor 17 ist an der Rotorwelle 22 befestigt und besteht aus einem scheibenförmigen Abschnitt, der sich zwischen den beiden Statorkörpern 15,16 radial nach außen erstreckt. Zwischen den beiden Statorkörpern 15,16 und dem Rotor 17 befinden sich die Luftspalte, durch die der axiale magnetischen Fluss der Axialflussmaschine 1 verläuft. Die Magnetfeder der Axialflussmaschine 1 können ein Drehmoment hervorrufen, dass auf den Rotor 17 wirkt und von diesem in die Rotorwelle 22 eingeleitet wird. Die Rotorwelle 22 ragt in axialer Richtung aus der Axialflussmaschine 1 heraus und bildet so das Übertragungselement, durch das das Drehmoment der elektrischen Axialflussmaschine 1 auf ein benachbartes Aggregat übertragen werden kann. Dieses benachbarte Aggregat kann beispielsweise ein Getriebe, ein Differenzial, eine Welle oder ein Rad des Kraftfahrzeugs 3 sein.

[0049] Die dem Getriebe zugewandte Statorhälfte ist radial innen mit dem Gehäuse 23 verbunden, das die elektrische Axialflussmaschine 1 umgibt. Dazu weist das Gehäuse 23 eine Seitenwand oder Zwischenwand auf, die mit dem zweiten Statorkörper 16 verschraubt ist. Sinnvollerweise werden mehrere Schrauben auf dem Umfang verteilt angeordnet. Durch Lager zwischen den Statorkörpern 15,16 und der Rotorwelle 22 wird der Rotor 17 drehentkoppelt mit dem Stator 4 verbunden.

[0050] Bei der in **Fig. 1** im Halbschnitt gezeigten Axialflussmaschine 1 ist der Rotor 17 mit Permanentmagneten und der Stator 4 mit Elektromagneten ausgestattet. In beiden Statorkörper 15,16 sind mehrere auf dem Umfang verteilte Elektromagnete (Pole) angeordnet, die jeweils aus einer Spule 5,25 bestehen, die um einen Spulenkern (einen Zahn des Statoreisens) herumverläuft. Es ist immer jeweils ein Elektromagnet des einen Statorkörpers 15,16 und ein Elektromagnet des anderen Statorkörpers 15,16 auf den jeweils gegenüberliegenden Seiten des Rotors 17 angeordnet. Die Spulen 5,25 dieser beiden Elektromagnete bilden ein Spulenpaar, dessen Spulen in axialer Richtung genau hintereinander (auf den gegenüberliegenden Seiten des Rotors 17) angeordnet sind. Die Schnittebene der **Fig. 1** verläuft durch so eine Spulenpaar. Bei dem gezeigten Ausführungsbeispiel sind diese beiden Spulen 5,25 elektrisch in Reihe geschaltet, so dass der Ausgang der einen Spule 5,25 mit dem Eingang der anderen Spule 5,25 verbunden ist.

[0051] Die **Fig. 2** zeigt in der Schnittebene wie der Draht der einen Spule 5 von dem gewickelten Spulenkörper axial wegführt, dann durch eine Öffnung zwischen den die Trägerstruktur des Stators 4 bildenden Bauteilen hindurch radial nach außen verläuft und dann axial zurück in Richtung des Rotors 17 verläuft. Die gegenüberliegende Spule 25 des Spulenpaars 5,25 weist ein vergleichbares Spulenende 10 auf, das dem anderen Spulenende 9 entgegenkommt. Beide Spulenenden 9,10 treffen sich radial außerhalb des Rotors 17 und können dort miteinander elektrisch verbunden werden. Bei dem abgebildeten Ausführungsbeispiel überlappen sich die Spulenenden 9,10. Die überlappenden Teile der Spulenenden 9,10 sind von der Isolierschicht, die den Spulendraht umgibt, befreit und sind miteinander verbunden, beispielsweise verschweißt, verlötet, oder verpresst.

[0052] Die Stromversorgung aller auf dem Umfang der Axialflussmaschine 1 angeordneten Spulen 5,25 wird durch ein radial außerhalb des Rotors 17 angeordnetes System von Stromschienen 8,18 sichergestellt. Bei dem Ausführungsbeispiel befinden sich in dem von dem Stator 4 und dem Motorgehäuse 23 gebildeten umlaufenden Raum, radial außerhalb des Rotors 17, in dem sich auch die

gerade beschriebene Verbindungsstelle zwischen den jeweils zu einem Spulenpaar gehörenden Spulen 5,25 befinden, drei Stromschienen (Stromphase-U, Stromphase-V und Stromphase-W) und eine Sternpunktschiene. Diese vier elektrischen Leiter (Schienen) sind als gekrümmte ganz oder fast ganz um die Axialflussmaschine 1 herumlaufende Blechbauteile (z.B. Kupferblech) ausgeführt. Jeweils zwei dieser Stromschienen 8,18 sind in einem einseitig offen Isolierkörper 19 angeordnet. Dieser Isolierkörper 19 verläuft ringförmig um die elektrische Axialflussmaschine 1 herum und hat einen rechteckigen Querschnitt mit zwei tiefen axial verlaufenden Nuten 20,21, so dass der Querschnitt des Isolierkörpers 19 an ein E erinnert.

[0053] In dem Ringraum zwischen dem Stator 4 und dem Motorgehäuse 23 sind bei diesem Ausführungsbeispiel zwei Isolierkörper 19 an den gegenüberliegenden axialen Seiten angeordnet. Die Nuten 20,21 der Isolierkörper 19 zeigen zur Mitte und nehmen jeweils eine der stromführenden Stromschienen 8,18 oder eine Sternpunktschiene auf. Ausgehend von dem jeweils umlaufenden Grundkörper der Stromschienen 8,18 oder einer Sternpunktschiene, die komplett in den Nuten 20,21 der Isolierkörper 19 angeordnet sind, ragen axial mehrere auf dem Umfang verteilte Verbindungsglaschen 24 der Stromschienen 8,18 oder Sternpunktschiene aus den Nuten 20,21 der Isolierkörper 19 heraus. Diese Verbindungsglaschen 24 bilden die elektrischen Anschlussstellen der Stromschienen 8,18, und der Sternpunktschiene mit denen die Stromschienen oder Sternpunktschienen mit den Spulen 5,25 verbunden sind, wie es auch gut der **Fig. 3** zu entnehmen ist. Die drei Stromschienen für die Stromphasen (Stromphase-U, Stromphase-V und Stromphase-W) weisen auch jeweils eine Verbindungsglasche 24 auf, die mit dem Phasenanschluss der Axialflussmaschine 1 (Stromanschlussbolzen) verbunden ist.

[0054] Alternativ kann auch jede stromführende Schiene (also Stromschienen und Sternpunktschiene) in einem eigenen Isolierkörper 19 angeordnet werden, oder es können in einem Isolierkörper 19 auch mehr als zwei stromführende Schienen aufgenommen werden. Dabei kann der Isolierkörper 19 für jede stromführende Schiene eine eigene umlaufende Nut 20,21 aufweisen (beispielsweise mehrere radial gestaffelte Nuten 20,21 übereinander und/oder Nuten 20,21 gehen von den beiden axial gegenüberliegenden Seiten in den Querschnitt des Isolierkörpers 19 hinein). Wenn die stromführenden Leiter nicht ganz um die elektrische Axialflussmaschine 1 herumlaufen, können in einer umlaufenden Nut 20,21 eines Isolierkörpers 19 auch mehrere Schienen auf unterschiedlichen Bereichen des Umfangs angeordnet werden.

[0055] Dies ist beispielsweise besonders sinnvoll, wenn nicht nur eine Stromschiene pro Phasenanschluss der Axialflussmaschine 1 verwendet wird, um alle mit diesem Phasenanschluss zu verbindende Spulen 5,25 elektrisch zu versorgen, sondern mehrere Stromschienen mit dem Phasenanschluss verbunden sind und jede dieser Stromschienen nur einen Teil der Spulen 5,25 elektrisch mit dem Phasenanschluss verbindet, die mit diesem Phasenanschluss verbunden werden müssen. So ist es beispielsweise möglich von einem Phasenanschluss jeweils eine kurze (z.B. eine weniger als 180° der Axialflussmaschine 1 abdeckende) Stromschiene in die eine Umfangsrichtung und eine zweite vergleichbare Stromschiene in die andere Umfangsrichtung um die Axialflussmaschine 1 herum anzuordnen, von denen jede Stromschiene nur einen Teil (beispielsweise die Hälfte) der mit dem Phasenanschluss zu verbindenden Spulen 5,25 elektrische anschließt.

[0056] Statt einer umlaufenden (einer geschlossen oder an einer Stelle des Umfangs offenen) Sternpunktschiene, an der alle Spulenpaare (oder alle Spulen 5,25 von einem der Statorkörper 15,16) angeschlossen sind, können auch mehrere auf dem Umfang verteilte Sternpunktschienen eingesetzt werden, an denen jeweils eine Spulengruppe oder eine ganzzahlige Anzahl Spulengruppen, bestehend jeweils aus einem mit der Stromphase-U verbundenen Spulenpaar, einem mit der Stromphase-V verbundenen Spulenpaar und einem mit der Stromphase-W verbundenen Spulenpaar, angeschlossen sind. Diese Sternpunktschienen, die jeweils nicht mit allen Spulenpaaren verbunden sind, können auch gut in einer umlaufenden Nut 20,21 eines Isolierkörpers 19 auf dem Umfang hintereinander angeordnet werden.

[0057] Da die Isolierkörper 19 die Stromschienen 8,18 zum Rand des ringförmigen Raumes hin isolieren, könne die Stromschienen 8,18 geometrisch recht nahe an den aus elektrisch leitfähigem Material hergestellten und die axialen Seitenwände des Ringraumes bildenden Statorbauteilen angeordnet werden, ohne die nötigen Luft- und Kriechstrecken zu unterschreiten. Nach innen hin, wo die beiden gegenüberliegend angeordneten Isolierkörper 19 offen sind, ist genug Raum zwischen den Leitern vorhanden, um die nötigen Luft- und Kriechstrecken einzuhalten. Radial nach innen hin liegt in dem Ringraum eine weitere Isoliereinlage 26 (z.B. eine Kunststoffolie oder ein Isolierpapier). Diese Isoliereinlage 26 ist in der **Fig. 2** zwischen der Verbindungsstelle der beiden Spulen 5,25 des Spulenpaares, und dem Statormantel 27 erkennbar.

[0058] Der Statormantel 27 ist ein rohförmiges Bauteil, das die beiden Statorkörper 15,16 mechanisch miteinander verbindet und den Rotorraum von dem

Ringraum, in dem die Stromversorgung untergebracht ist, abgrenzt. Durch die Isoliereinlage 26 werden die nötigen Luft- und Kriechstrecken von den stromführenden Schienen und den Verbindungsstellen der Spulen 5,25 zu den angrenzenden Statorkomponenten nach radial innen hin realisiert. Nach radial außen hin zum Motorgehäuse 23 ist bei dem gezeigten Ausführungsbeispiel genügend Abstand, um die notwendigen Luft- und Kriechstrecken einzuhalten. Alternativ kann eine weitere Isoliereinlage verwendet werden, um den Ringraum hin zum Motorgehäuse 23 in radialer Richtung elektrisch zu isolieren.

[0059] **Fig. 3** zeigt ein weiteres Detail der bereits in den **Fig. 1-2** gezeigten Axialflussmaschine 1. Der Schnittverlauf der **Fig. 3** ist gegenüber dem von **Fig. 1** und **Fig. 2** etwas auf dem Umfang versetzt, so dass die Schnittebene durch eine Verbindungsstelle der Sternpunktschiene mit einer Spule 5,25 hindurchgeht. Die Verbindungsstellen zwischen jeweils einer der drei Stromschienen (Stromphase-U, Stromphase-V und Stromphase-W) und einer Spule 5,25 sind technisch in analoger Weise gelöst. Die Verbindungsstellen des Stromversorgungssystems sind auch auf den nachfolgenden perspektivischen Abbildungen der **Fig. 4-5** erkennbar. An den Verbindungsstellen zwischen den Spulen 5,25 und den Stromschienen 8,18, die bei diesem Ausführungsbeispiel überlappend ausgeführt sind, sind die Drahtenden der Spulen 5,25 von der Isolierschicht, die den Spulendraht umgibt, befreit und mit den ebenfalls blanken Fortsätzen der stromführenden Schienen elektrisch verbunden (beispielsweise verschweißt, verlötet, oder verpresst). Die elektrischen Verbindungsstellen der Axialflussmaschine 1 können statt überlappend auch auf Stoß ausgeführt werden und dann beispielsweise verschweißt oder verlötet werden.

[0060] Die **Fig. 1-3** zeigen, dass die Verschaltung und Stromversorgung der Spulen 5,25 über das radial über dem Rotor 17 angeordnete Stromversorgungssystem erfolgt, welches im Wesentlichen aus den Stromschienen 8,18, den Phasenanschlüssen und den elektrischen Verbindungselementen bzw. Verbindungen zwischen diesen Komponenten und zwischen diesen Komponenten und den Spulen 5,25, besteht. Es sind keine elektrischen Verbindungselemente axial hinter dem Statoreisen erforderlich. Mit anderen Worten, alle elektrischen Leiter könne durch das hier beschriebene Bauprinzip in den mittleren axialen Bereich der Axialflussmaschine 1 angeordnet werden. Dieser Bereich erstreckt sich von der dem Rotor 17 abgewandten Seite des Statoreisens [Joch] des einen Statorkörpers 15 bis zum der dem Rotor 17 abgewandten Seite des Statoreisens [Joch] des anderen Statorkörpers 16. Indem kein Bauraum für elektrische Leiter axial hinter dem Statoreisen oder gar hinter den Statorseitenwänden

vorgehalten werden muss, kann die Axialflussmaschine 1 axial sehr kurz aufgebaut werden. Indem die Stromschienen 8,18 in einen Ringraum integriert werden, der vom Statormantel 27 gebildet wird und radial außen von dem Motorgehäuse 23 verschlossen wird, sind die Stromschienen 8,18 sehr platzsparend in die mechanische Struktur des Stators 4 integriert. Alternativ kann der Ringraum, in dem die stromführenden Schienen untergebracht sind, auch radial außen durch ein zusätzliches Motorelement abgedeckt werden, so dass die Stromschienen komplett von Motorteilen umschlossen sind und kein zusätzliches Motorgehäuse erforderlich ist, um die Stromführenden Schienen abzudecken.

[0061] Der Statormantel 27 ist ein ringförmiges oder rohrförmiges Bauteil (oder eine ringförmige oder rohrförmige Baugruppe), das den Rotor 17 vollständig umfasst und an seinen beiden axialen Endbereichen jeweils einen Flansch aufweist, der jeweils an dem Ringraum vorbei nach radial außen reicht und an dem jeweils eine Statorseitenwand befestigt ist. In den Flanschen des Statormantels 27 sind mehrere auf dem Umfang verteilte Öffnungen vorgesehen, durch die die Anschlussdrähte der Spulen 5,25 hindurchragen. Es ist besonders sinnvoll jeweils beide Spulenenden 9,10 einer Spule 5,25 durch dieselbe Öffnung im Flansch des Statormantels 27 zu ziehen, da dies die Wirbelstromverluste der Axialflussmaschine 1 verringert. Die mechanische Verbindung zwischen dem Statormantel 27 und der jeweiligen Statorseitenwand erfordert einen größeren radialen Bauraum als der rohrförmige axiale Mittelteil des Statormantels 27.

[0062] Indem das Stromversorgungssystem den radialen Bauraum über dem rohrförmigen axialen Mittelteil des Statormantels 27 nutzt, ist die Axialflussmaschine 1 in weiten Teilen des Umfangs auch mit dem radial außen angeordneten Stromversorgungssystem radial nicht größer, als er ohnehin sein müsste, um die mechanische Struktur des Stators 4 (z.B. die Befestigungselemente) unterbringen zu können. An der Stelle, an der die Phasenanschlüsse radial über dem Rotor 17 angeordnet sind, muss das Motorgehäuse 23 weiter nach radial außen gezogen werden, um Bauraum für die Phasenanschlüsse zu schaffen und falls nötig die Phasenanschlüsse mechanisch zu fixieren. Dieser zusätzliche radiale Bauraum ist bei der hier vorgestellten Motorbauform jedoch nur an einer Stelle des Motorumfangs erforderlich.

[0063] Der Ringraum, in dem das Stromversorgungssystem und dessen Verbindungsstellen untergebracht ist, wird radial außen erst durch das Montage der Axialflussmaschine 1 in das Motorgehäuse 23 verschlossen. Dadurch sind alle Verbindungsstellen des Stromversorgungssystems während des Montagevorgangs der Axialflussmaschine 1 sehr gut

zugänglich. Dies erleichtert die Montage und ermöglicht großserientaugliche Schweiß- oder Lötprozesse. Der Ringraum in dem das Stromversorgungssystem untergebracht ist, ist durch Dichtungen (z.B. O-Ringe) zwischen dem Stator 4 und dem Motorgehäuse 23 abgedichtet. Dies verhindert das Eindringen von Schmutz oder Feuchtigkeit und bietet auch die Möglichkeit den Ringraum durch ein absichtlich eingeleitetes Fluid zu fluten, beispielsweise ist so eine Kühlung der elektrischen Leiter realisierbar.

[0064] Statt die Phasenanschlüsse 28 des Hochvolt-Terminals 7, wie in den Figuren gezeigt, an einer Stelle des Motorumfangs radial außerhalb des ansonsten zylinderförmigen Motorbauraums anzuordnen, können alternativ die Phasenanschlüsse 28 auch an einer Stelle des Umfangs axial (oder axial und radial) außerhalb des ansonsten zylinderförmigen Motorbauraums angeordnet werden. Axial versetzte Phasenanschlüsse 28 können dann beispielsweise auf demselben Radius wie die Stromschienen 8,18 an der Stirnseite der Axialflussmaschine 1 positioniert angeordnet werden. Mit anderen Worten ausgedrückt, abweichend von der **Fig. 4** oder **Fig. 5** können alternativ die Phasenanschlüsse 28 auch axial und/oder radial außerhalb der Statorgeometrie liegend, aus der Axialflussmaschine 1 geführt werden. Diese Ausführungsform kann entsprechend der Bauraumintegration der Axialflussmaschine 1 vorteilhaft sein. Die drei Phasenanschlüsse 28 können statt in unmittelbarer Nähe zueinander auch auf dem Umfang der Axialflussmaschine 1 verteilt positioniert werden.

[0065] Die **Fig. 4** zeigt die Spulen 5,25 einer Axialflussmaschine 1 zusammen mit einigen wenigen Nachbarbauteilen in einer entsprechend freigestellten perspektivischen Ansicht. Damit man die Stromschienen 8,18 zumindest partiell erkennen kann, wurden die beiden Isolierkörper 19, die eigentlich jede stromführende Schiene auf ihrer kompletten Umfangslänge umschließen, im vorderen Teil der Abbildungen auf einem Teil des Umfangs entfernt. Bei dem hier abgebildeten Ausführungsbeispiel ist zu erkennen, dass die Breite der Stromschienen 8,18 stufenweise verringert wird, je weiter die Bereiche der Stromschienen 8,18 von dem Phasenanschluss 28 der elektrischen Axialflussmaschine 1 entfernt sind. Da sich der vom Phasenanschluss 28 in die Stromschiene 8,18 eingeleitete elektrische Strom auf die mit der Stromschiene 8,18 verbundenen Spulen 5,25 aufteilt, wird die vom Grundkörper der Stromschiene 8,18 zu übertragende Stromstärke immer geringer, je mehr Spulen 5,25 bereits mit Strom versorgt wurden. In der **Fig. 4** ist erkennbar, dass, wenn man gedanklich dem in die Stromschiene 8,18 eingeleiteten Strom vom Phasenanschluss 28 hin zu der letzten am Ende der Stromschiene 8,18 angeschlossenen Spule 5,25 folgt, nach jeder Verbindungsstelle 24 der Stromschiene 8,18, über die

eine weitere Spule 5,25 angeschlossen ist, die Breite der Stromschiene 8,18 schmaler wird. Da nach jeder Verbindungslasche 24 weniger Strom durch die Stromschiene 8,18 übertragen werden muss, wird auch nur noch ein geringerer Leiterquerschnitt benötigt. Den Querschnitt der Stromschiene 8,18 dann zu reduzieren, spart Material und reduziert das Gewicht und die Kosten.

[0066] In den **Fig. 4-5** sind die Phasenanschlüsse 28 der Axialflussmaschine 1 an dem Hochvolt-Terminal 7 erkennbar. Das Hochvolt-Terminal 7 ist radial oberhalb der Stromschienen 8,18 positioniert. Jede der drei Stromschien 8,18 ist durch eine Verbindungslasche 29 mit einem Stromanschlussbolzen 30 verbunden. Die drei Stromanschlussbolzen 30 sind über einen gemeinsamen Sockel 31 mit den restlichen Motorkomponenten mechanisch verbunden. Der Sockel 31 fixiert die Stromanschlussbolzen 30 mechanisch und isoliert die Stromanschlussbolzen 30 elektrisch. Durch den Sockel 31 werden auch die erforderlichen Luft- und Kriechstrecken sowohl zwischen den Stromanschlussbolzen 30 als auch zwischen den Stromanschlussbolzen 30 und den elektrisch leitfähigen Stator- oder Gehäusebauteilen sichergestellt. Die Stromanschlussbolzen 30 weisen bei diesem Ausführungsbeispiel abgeflacht Bereiche mit einer Gewindebohrung auf, an denen ein elektrischer Leiter festgeschraubt werden kann.

[0067] Was der **Fig. 4** auch entnommen werden kann, ist, dass die ersten Stromschienen 8 und die zweiten Stromschienen 18 an dem gemeinsamen Hochvolt-Terminal 7 angebunden sind. Dabei sind die Stromschienen 8,18 zumindest abschnittsweise in einem ringförmigen oder ringsegmentförmigen Isolierkörper 19 aufgenommen, wobei der Isolierkörper 19 im Querschnitt eine E-artige Kontur mit zwei radial voneinander beabstandeten, einseitig offenen Nuten 20,21 aufweist, in welchen die Stromschienen 8,18 aufgenommen sind.

[0068] Die Verbindungslaschen 29, die die Stromschiene 8,18 mit den Anschlussbolzen 30 verbinden, sind bei diesem Ausführungsbeispiel absichtlich dünn und mehrfach abgewinkelt ausgeführt. Dadurch können relative Positionsabweichungen und/oder geringe Relativbewegungen und/oder Axialbewegungen, die beispielsweise durch Bauteiltoleranzen, elastische Bauteilverformungen oder Wärmedehnungen zwischen den Stromschienen 8,18 und den Stromanschlussbolzen 30 entstehen können, durch eine Verformung (vorzugsweise eine elastische Verformung) der Verbindungslaschen 29 ausgeglichen werden. Dieses Ausgleichsvermögen der Verbindungslaschen 29 ist bei dem gezeigten Motorkonzept besonders sinnvoll, da der Stator 4 dieser Axialflussmaschine 1 auf einer axialen Seite des Motors radial in der Nähe der Wellenlager mit einer Seitenwand des Gehäuses 23 verschraubt ist

und der Sockel 31 der Stromanschlussbolzen 30 radial außerhalb des Rotors 17 und radial außerhalb der Stromschienen 8,18 mit dem Gehäuse 23 verbunden ist. Durch die weit entfernt liegenden Befestigungsstellen des Stators 4, zu dem auch die Stromschien 8,18 gehören, und den Stromanschlussbolzen 30, sind Lageungenauigkeiten bei der Montage oder Lageveränderung im Betrieb der Axialflussmaschine 1 zwischen den Stromschien 8,18 und den Stromanschlussbolzen 30 sehr wahrscheinlich.

[0069] Die **Fig. 4-5** zeigen auch, dass alle elektrischen Leiter, die die Statorspulen 5,25 mit Strom versorgen, radial außerhalb der Statorspulen 5,25 angeordnet wurden. Durch das beschriebene Bauprinzip und das Verschaltungskonzept sind keine elektrischen Leiter zur Versorgung der Statorspulen 5,25 in dem radialen Bereich zwischen der Rotationsachse der Axialflussmaschine 1 und den Statorspulen 5,25 erforderlich. In dem radialen Bereich zwischen dem radialen Innenbereich und dem radialen Außenbereich der Statorspulen 5,25 sind auch keine elektrischen Verbindungen zwischen den Statorspulen 5,25 erforderlich. Da die Statorspulen 5,25 zweilagig gewickelt sind, wobei in einer ersten Windungslage mehrere Windungen axial voreinander verlaufen.

[0070] Am Ende dieser ersten Windungslage wird der Draht radial etwas nach außen gezogen, damit eine zweite Windungslage außen um die erste Windungslage herumgewickelt werden kann. Bei dieser zweiten Windungslage wird der Draht axial wieder zurück zum Anfang der ersten Windungslage gewickelt. Daher befinden sich beide Spulenenden 9,10 einer Statorspule 5,25 axial auf einer Seite der entsprechenden Statorspule. Indem man bei dem Ausführungsbeispiel beide Spulenenden 9,10 der Statorspulen 5,25 auf derselben axialen Seite radial außen angeordnet hat, ist der Weg sehr kurz, den die Drähte an den Spulenenden 9,10 bis zu den Stromschienen 8,18 zurücklegen müssen. Dies erleichtert die Montage, spart Material (z.B. Kupfer) und erfordert nur wenig Bauraum. Auch alle anderen beschriebenen Merkmale, wie beispielsweise, dass keine elektrischen Leiter radial innen oder tangential zwischen den Statorspulen 5,25 benötigt werden, ermöglicht eine axial sehr kompakt bauende Axialflussmaschine 1. Axial muss kein Bauraum für elektrische Leiter, die die Spulen mit Strom versorgen, vorgesehen werden und die mechanische und magnetische Struktur des Stators wird radial innen auch nicht durch Öffnungen, Aussparungen, Freiräume oder Kanäle für elektrische Leiter, die die Spulen versorgen, geschwächt.

[0071] Die **Fig. 5** zeigt eine Anordnung von fünf Spulenpaaren mit ihren Stromschien 8,18 und Phasenanschlüssen 28. In der **Fig. 5** sind alle bereits zur

Fig. 4 beschriebenen elektrischen Leiter und deren Verbindungsstellen gut erkennbar. In der **Fig. 5** ist auch das Verschaltungsprinzip der gezeigten Axialflussmaschine 1 gut nachvollziehbar. Die elektrische Axialflussmaschine 1 wird über die drei Phasenanschlüsse 28 mit Strom versorgt. Nachfolgend wird der Stromfluss von einem Phasenanschluss 28 aus beschrieben. Da es sich um eine Drehstromsystem handelt, fließt der Strom natürlich nicht nur über einen Phasenanschluss 28.

[0072] Der **Fig. 5** ist auch gut entnehmbar, dass die Statorspulen 5,25 jeweils ein erstes Spulenende 9 und ein zweites Spulenenden 10 aufweisen, wobei das erste Spulenende 9 einen radial verlaufenden Abschnitt 11 und einen axial verlaufenden Abschnitt 12 aufweist, und der axial verlaufende Abschnitt 12 eine der Stromschienen 8,18 elektrisch kontaktiert und das zweite Spulenende 10 einen radial verlaufenden Abschnitt 13 und einen axial verlaufenden Abschnitt 14 aufweist, und der axial verlaufende Abschnitt 14 die Sternpunktschiene elektrisch kontaktiert.

[0073] Der Strom fließt von einem der drei Stromanschlussbolzen 30 in die daran angeschlossene Stromschiene 8,18 und teilt sich dann auf in die an dieser Stromschien 8,18 angeschlossenen Paaren an Statorspulen 5,25. Der Strom fließt dabei teilweise über eine der Verbindungsglaschen 24 der Stromschiene 8,18 in einen Anschlussdraht (Spuleneingang) einer der auf der rechten Seite abgebildeten Spulen 25. Die Spuleneingänge sind bei dem abgebildeten Ausführungsbeispiel die relativ zum Spulenkörper außermittig angeordneten Drähte. Der Strom fließt dann durch die Windungen der Statorspule 25 zum Spulenausgangsdraht (mittig angeordneter Draht). Der Spulenausgangsdraht der ersten Statorspule 25 des Spulenpaares (Spule auf der rechten Seite) ist mit dem Spuleneingangsdraht (mittig angeordneter Draht) der linken Statorspule 5 verbunden. Der Strom fließt dadurch in die zweite Statorspule 5 des in Reihe geschalteten Spulenpaares und fließt dann auch durch dessen Windungen zum Spulenausgangsdraht (außermittig angeordneter Draht), der mit der Sternpunktschiene verbunden ist. Von der Sternpunktschiene aus fließt der Strom zu den beiden anderen Phasenanschlüssen 28 der Axialflussmaschine 1 zurück. Der Strom fließt dabei von der Sternpunktschiene aus durch Statorspulen 5,25 zurück, die mit den anderen Phasenanschlüssen 28 verbunden sind. Da das Verschaltungsprinzip aller Statorspulen 5,25 vergleichbar ist, fließt der Strom durch diese Statorspulen 5,25 wie eben beschrieben nur in entgegengesetzter Richtung und passiert so die erwähnten Elemente in umgekehrter Reihenfolge.

[0074] Dadurch, dass die Statorspulen 5,25 eines Spulenpaares mit ihren mittig aus dem Spulenkörper

rausführenden Drähten verbunden sind, und die Stromschienen 8,18 so ausgestaltet sind, dass die außermittig von den Spulenkörpern abzweigenden Drähte immer auf die richtige Verbindungsglasche der jeweils richtigen stromführenden Stromschiene 8,18 treffen, können alle Statorspulen 5,25 baugleich sein. Dies betrifft nicht nur die Außenform der Statorspulen 5,25, sondern auch den Windungssinn der Statorspulen 5,25.

[0075] Anhand der **Fig. 4-5** wurde beschrieben, wie durch ein Stromversorgungssystem, bestehend aus einer Sternpunktschiene und drei Stromschienen (Stromphase U, Stromphase V und Stromphase W), alle jeweils zu einem in Reihe geschalteten Spulenpaare zusammengeschlossene Statorspulen 5,25 mit Strom versorgt werden können. Es ist alternativ auch möglich auf die Reihenschaltung der gegenüberliegenden Statorspulen 5,25 zu verzichten. Das ist auch durch ein Stromversorgungssystem bestehend aus einer Sternpunktschiene und drei Stromschienen (Stromphase U, Stromphase V und Stromphase W) möglich. Jede Statorspule 5,25 ist dann direkt mit einer der Stromschienen 8,18 verbunden und das andere Ende der Statorspule 5,25 ist dann mit dem Sternpunktring verbunden. Es können alternativ auch zwei Sternpunktringe verwendet werden, so dass ein Sternpunktring alle Statorspulen 5,25 der einen Statorhälfte bzw. des einen Statorkörpers 15,16 verbindet und der andere Sternpunktring verbindet dann alle Statorspulen 5,25 der anderen Statorhälfte bzw. des anderen Statorkörpers 15,16.

[0076] Ein weiteres alternatives Stromversorgungssystem kann aus zwei Sternpunktschienen und sechs Stromschienen gebildet werden. Dann steht für jede Statorhälfte bzw. jeden Statorkörper 15,16 ein eigenes Stromversorgungssystem bestehend aus einer Sternpunktschiene und drei Stromschienen zu Verfügung. Die beiden Stromversorgungssysteme können dieselben drei Phasenanschlüsse nutzen oder jedes Stromversorgungssystem wird jeweils mit drei Phasenanschlüssen ausgestattet. Jede Statorspule ist dann immer auf einer Seite mit einer Stromschiene seiner Statorhälfte bzw. seines Statorkörpers 15,16 verbunden und mit dem anderen Ende mit der Sternpunktschiene seiner Statorhälfte bzw. seines Statorkörpers 15,16.

[0077] Bei allen beschriebenen Verschaltungsvarianten kann die Sternpunktschiene auch immer durch mehrere Verbindungselemente ersetzt werden, die jeweils die Spulenausgänge einer mit der Phase-U einer mit der Phase-V und einer mit der Phase W verbunden Spulen elektrisch verbinden. Auch bei diesen alternativen Verschaltungsvarianten könne die Stromversorgungssysteme radial außerhalb des Rotors 17 angeordnet werden. So können beispielsweise durch Isolierkörper mit einer erhöhten Anzahl an Schlitzen auch mehr stromführende Schiene in

dem Ringraum radial außerhalb des Rotors 17 angeordnet werden. Prinzipiell kann alternativ auch die Dreiecksschaltung verwendet werden. Hierbei entfällt dann die Sternpunktschiene. Die Spulen sind dann mit beiden Enden jeweils an einer anderen Stromschiene (zwei unterschiedliche Stromphasen) verbunden. Alternativ kann pro Statorhälfte bzw. pro Statorkörper 15,16 auch ein separater Ringraum radial außerhalb des Rotors 17 oder radial außerhalb der Statorspulen 5,25 der jeweiligen Statorhälfte bzw. des jeweiligen Statorkörpers 15,16 angeordnet werden.

[0078] Die Erfindung ist nicht auf die in den Figuren dargestellten Ausführungsformen beschränkt. Die vorstehende Beschreibung ist daher nicht als beschränkend, sondern als erläuternd anzusehen. Die nachfolgenden Patentansprüche sind so zu verstehen, dass ein genanntes Merkmal in zumindest einer Ausführungsform der Erfindung vorhanden ist. Dies schließt die Anwesenheit weiterer Merkmale nicht aus. Sofern die Patentansprüche und die vorstehende Beschreibung ‚erste‘ und ‚zweite‘ Merkmal definieren, so dient diese Bezeichnung der Unterscheidung zweier gleichartiger Merkmale, ohne eine Rangfolge festzulegen.

[0079] Die in dieser Anmeldung benutzten Begriffe radial, axial, tangential und Umfangsrichtung beziehen sich immer auf die Rotationsachse der Axialflussmaschine 1.

Bezugszeichenliste

1	Axialflussmaschine
2	Antriebsstrang
3	Kraftfahrzeugs
4	Stator
5	Statorspulen
6	Leistungselektronik
7	Hochvolt-Terminal
8	Stromschienen
9	Spulenende
10	Spulenenden
11	Abschnitt
12	Abschnitt
13	Abschnitt
14	Abschnitt
15	Statorkörper
16	Statorkörper
17	Rotor
18	Stromschienen

19	Isolierkörper
20	Nut
21	Nut
22	Rotorwelle
23	Gehäuse
24	Verbindungsblaschen
25	Statorspulen
26	Isoliereinlage
27	Statormantel
28	Phasenanschlüsse
29	Verbindungsblasche
30	Stromanschlussbolzen
31	Sockel

Patentansprüche

1. Elektrische Axialflussmaschine (1), insbesondere für einen Antriebsstrang (2) eines hybriden oder vollelektrisch betriebenen Kraftfahrzeugs (3), umfassend einen Stator (4) mit einer Mehrzahl von über den Umfang des Stators (4) verteilten Statorspulen (5) und einer Leistungselektronik (6) zur Bestromung der Statorspulen (5) sowie einem Hochvolt-Terminal (7) zur Herstellung einer elektrischen Verbindung zwischen den Statorspulen (5) und der Leistungselektronik (6), **dadurch gekennzeichnet**, dass in radialer Richtung oberhalb der Statorspulen (5) Stromschienen (8) angeordnet sind, die den Stator (4) und/oder einen relativ zum Stator (4) drehbaren Rotor (17) ringförmig umschließen und die Statorspulen (5) elektrisch leitend mit dem Hochvolt-Terminal (7) verbinden.

2. Axialflussmaschine (1) nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Hochvolt-Terminal (7) radial oberhalb der Stromschienen (8) positioniert ist

3. Axialflussmaschine (1) nach einem der vorherigen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Rotor (4) der Axialflussmaschine (1) einen ersten scheibenförmigen Statorkörper (15) und einen axial von diesem beabstandeten zweiten scheibenförmigen Statorkörper (16) aufweist und axial zwischen dem ersten Statorkörper (15) und dem zweiten Statorkörper (16) ein Rotor (17) angeordnet ist, wobei der erste Statorkörper (15) eine Mehrzahl von über den Umfang des ersten Statorkörpers (15) verteilten ersten Statorspulen (5) und der zweite Statorkörper (16) eine Mehrzahl von über den Umfang des

zweiten Statorkörpers (16) verteilten zweiten Statorspulen (25) aufweisen, und
 in radialer Richtung oberhalb der ersten Statorspulen (5) erste Stromschienen (8) angeordnet sind, die den ersten Statorkörper (15) ringförmig umschließen und die ersten Statorspulen (5) und/oder die zweiten Statorspulen (25) elektrisch leitend mit dem Hochvolt-Terminal (7) verbinden und
 in radialer Richtung oberhalb der zweiten Statorspulen (25) zweite Stromschienen (18) angeordnet sind, die den zweiten Statorkörper (15) und/oder den Rotor (17) ringförmig umschließen und die ersten Statorspulen (5) und/oder die zweiten Statorspulen (25) elektrisch leitend mit dem Hochvolt-Terminal (7) verbinden.

der Isolierkörper (19) im Querschnitt eine E-artige Kontur mit zwei radial voneinander beabstandeten, einseitig offenen Nuten (20,21) aufweist, in welchen die Stromschienen (8,18) aufgenommen sind.

10. Axialflussmaschine (1) nach einem der vorherigen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass ein auf den entgegengesetzten Rotorseiten angeordnetes Spulenpaar (5,25) elektrisch in Reihe geschaltet ist.

Es folgen 6 Seiten Zeichnungen

4. Axialflussmaschine (1) nach einem der vorherigen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Statorspulen (5) jeweils ein erstes Spulenende (9) und ein zweites Spulenenden (10) aufweisen, wobei
 das erste Spulenende (9) einen radial verlaufenden Abschnitt (11) und einen axial verlaufenden Abschnitt (12) aufweist, und der axial verlaufende Abschnitt (12) eine der Stromschienen (8,18) oder eine andere Spule elektrisch kontaktiert und/oder
 das zweite Spulenende (10) einen radial verlaufenden Abschnitt (13) und einen axial verlaufenden Abschnitt (14) aufweist, und der axial verlaufende Abschnitt (14) eine der Stromschienen (8,18) oder eine andere Spule oder eine Sternpunktschiene elektrisch kontaktiert.

5. Axialflussmaschine (1) nach einem der vorherigen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Statorspulen (5,25) im Wesentlichen identisch ausgebildet sind.

6. Axialflussmaschine (1) nach einem der vorherigen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die ersten Stromschienen (8) und die zweiten Stromschienen (18) im Wesentlichen identisch ausgebildet sind.

7. Axialflussmaschine (1) nach einem der vorherigen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die ersten Stromschienen (8) und die zweiten Stromschienen (18) an dem gemeinsamen Hochvolt-Terminal (7) angebunden sind.

8. Axialflussmaschine (1) nach einem der vorherigen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Stromschienen (8,18) und/oder die Sternpunktschiene zumindest abschnittsweise in einem ringförmigen oder ringsegmentförmigen Isolierkörper (19) aufgenommen sind.

9. Axialflussmaschine (1) nach einem der vorherigen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass

Anhängende Zeichnungen

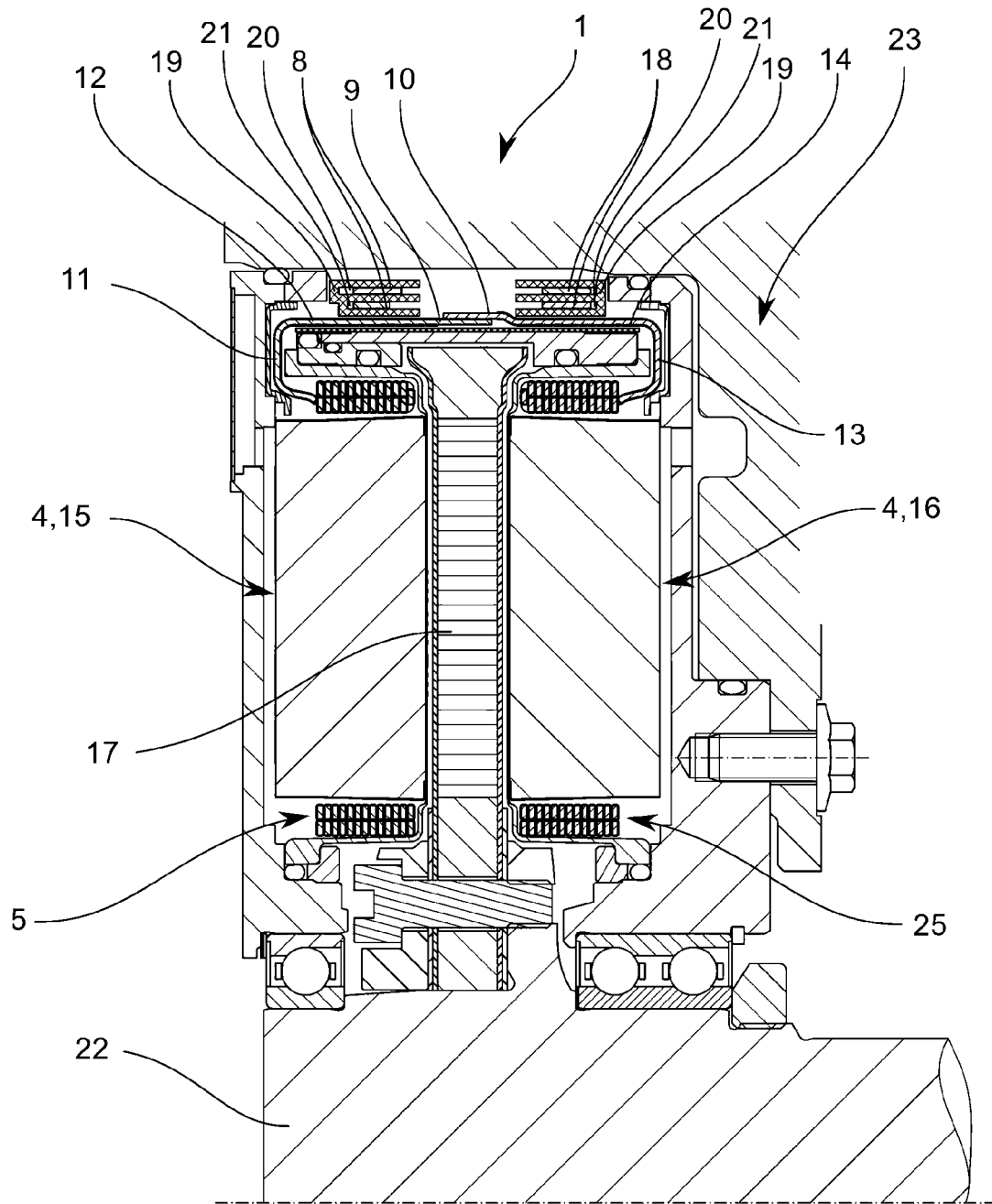


Fig. 1

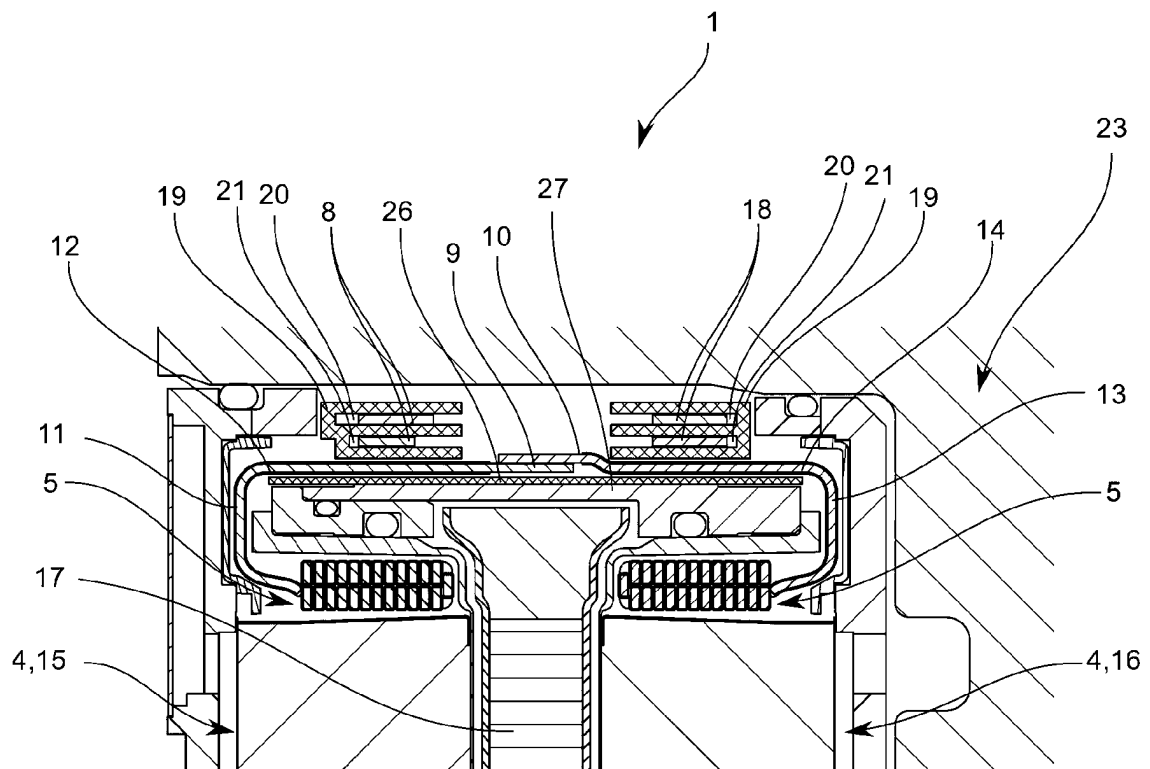


Fig. 2

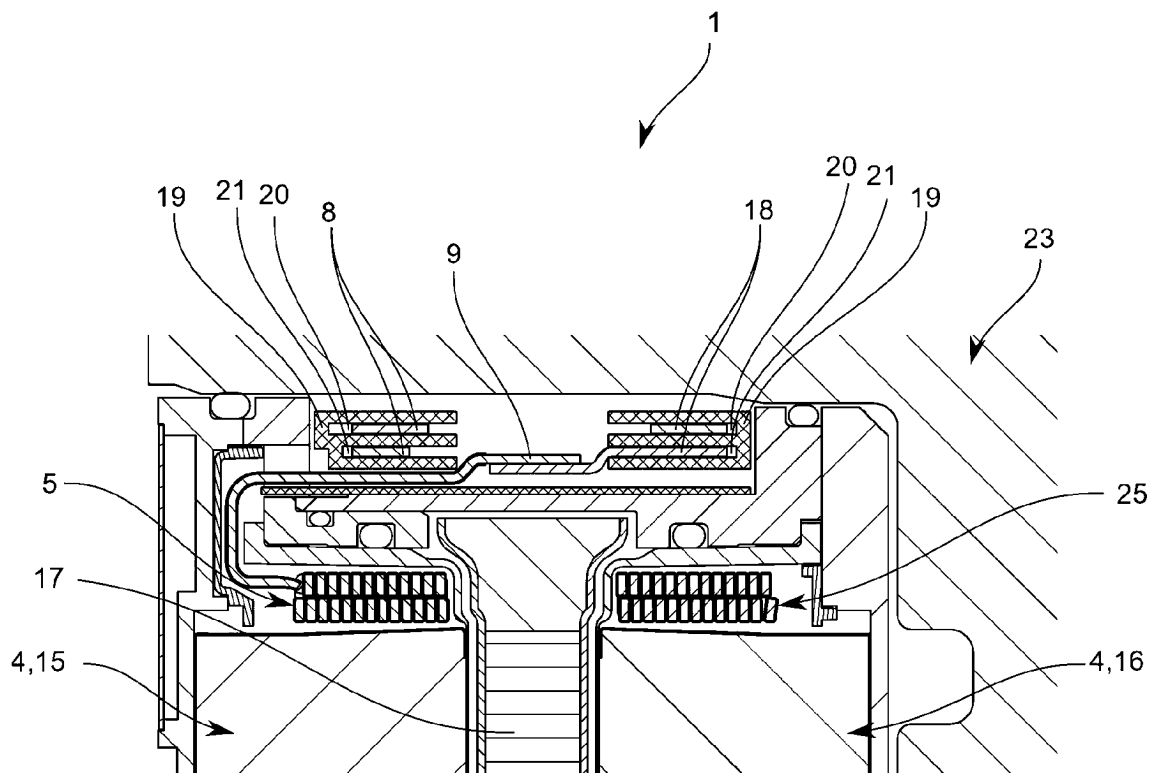


Fig. 3

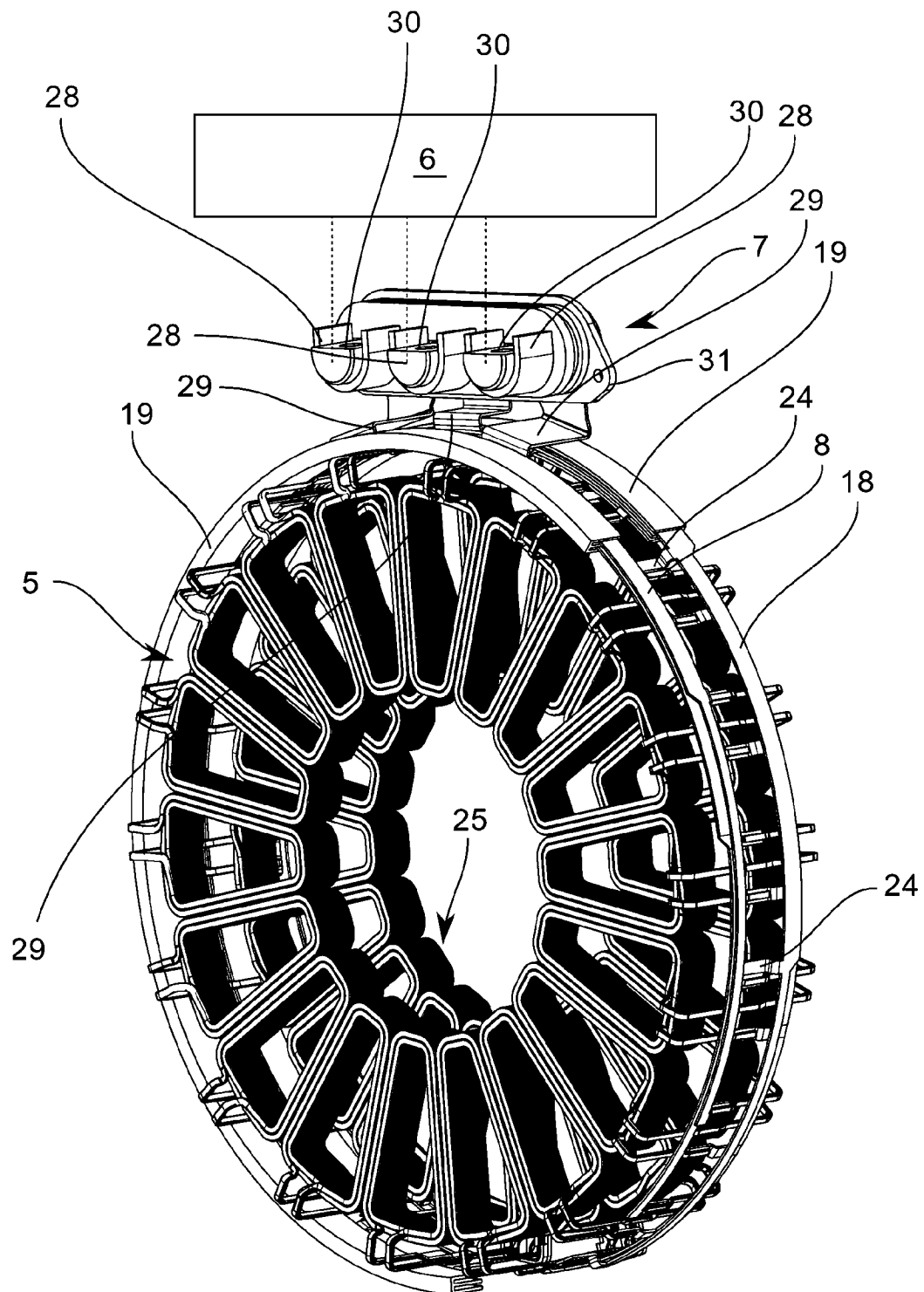


Fig. 4

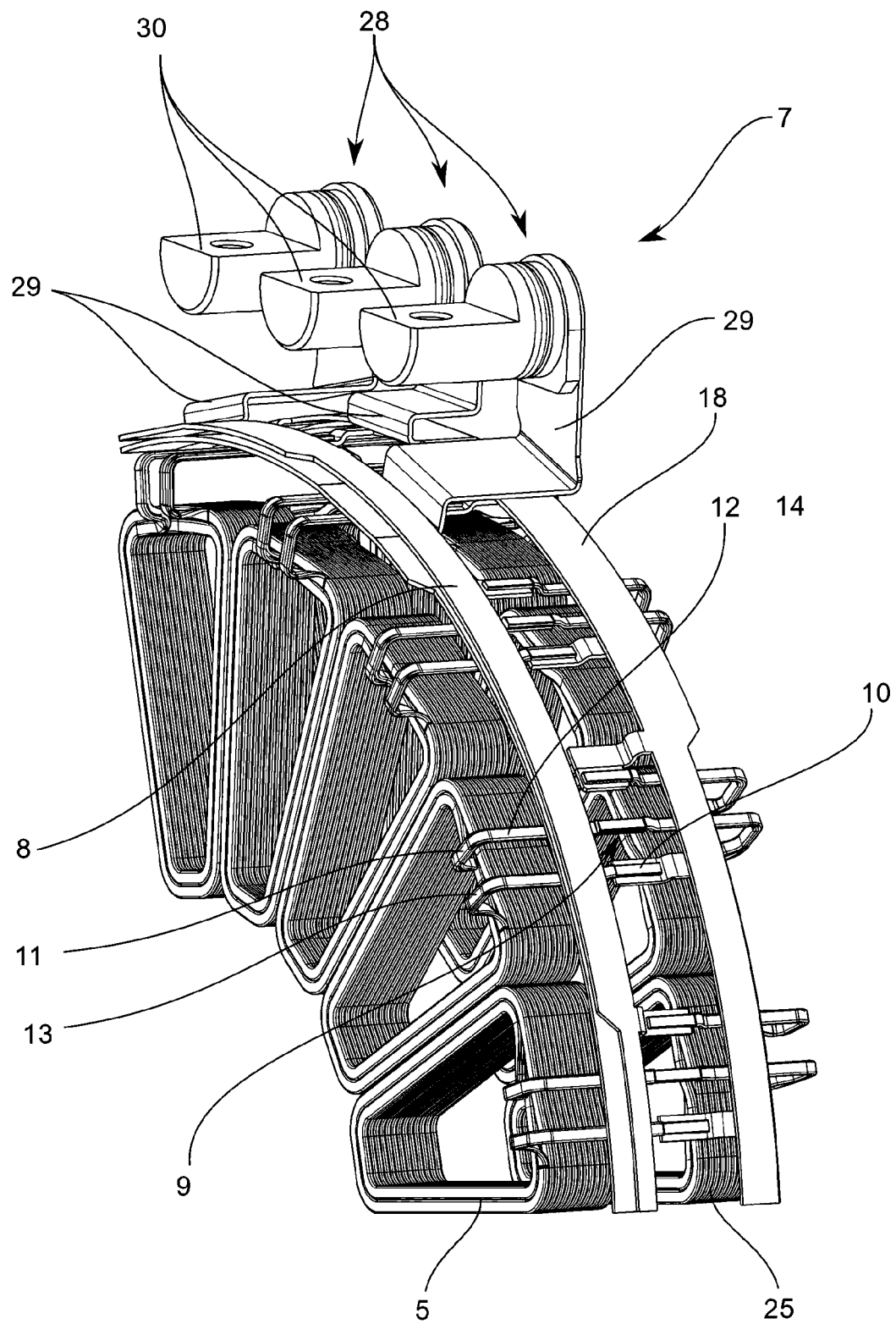


Fig. 5

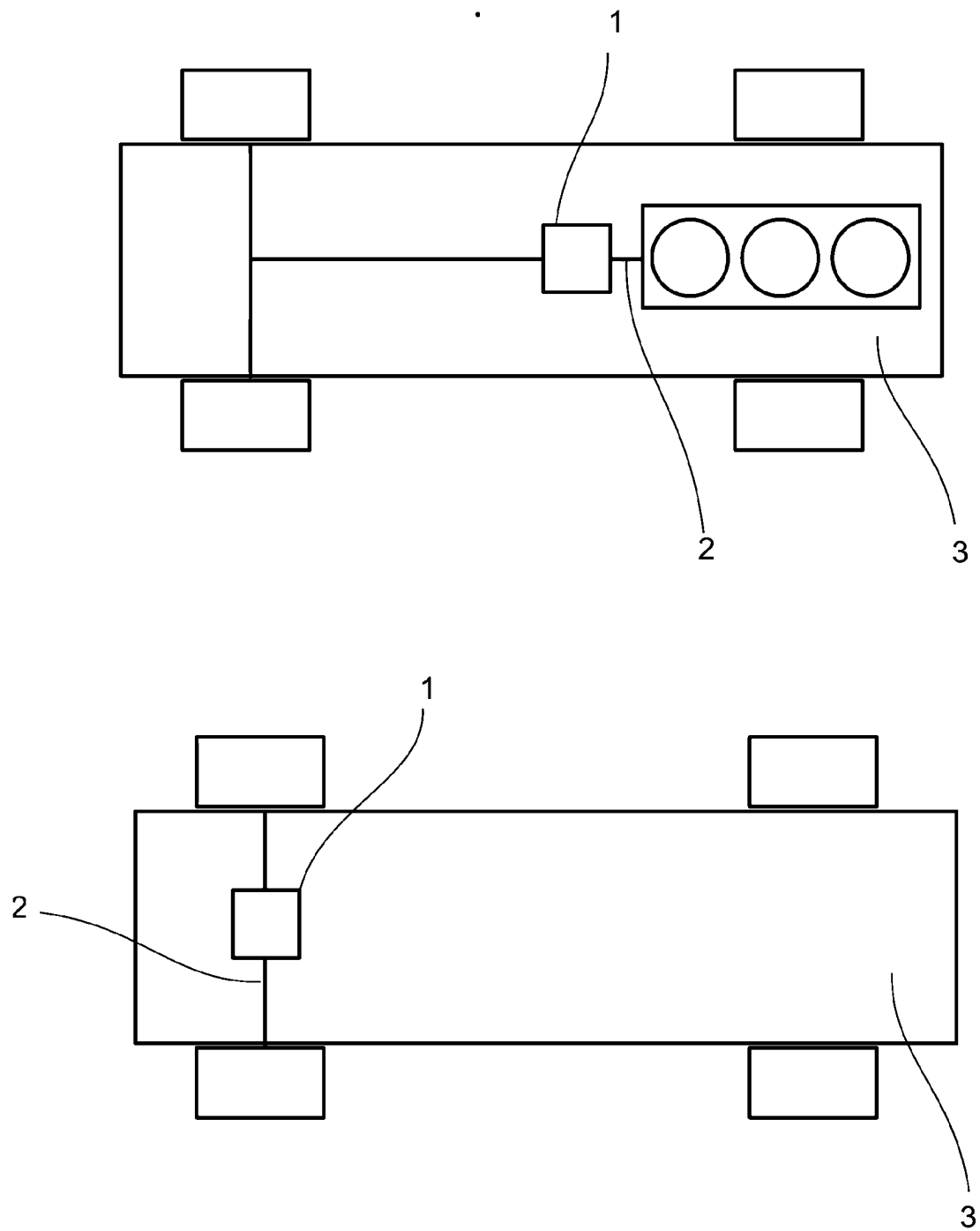


Fig. 6