

SCHWEIZERISCHE EIDGENOSSENSCHAFT
EIDGENÖSSISCHES INSTITUT FÜR GEISTIGES EIGENTUM

(11) **CH** **719 540 A2**

(51) Int. Cl.: **H02K** **16/02** (2006.01)
B60K **6/26** (2007.10)

Patentanmeldung für die Schweiz und Liechtenstein

Schweizerisch-liechtensteinischer Patentschutzvertrag vom 22. Dezember 1978

(12) **PATENTANMELDUNG**

(21) Anmeldenummer: 000329/2022

(22) Anmeldedatum: 25.03.2022

(43) Anmeldung veröffentlicht: 13.10.2023

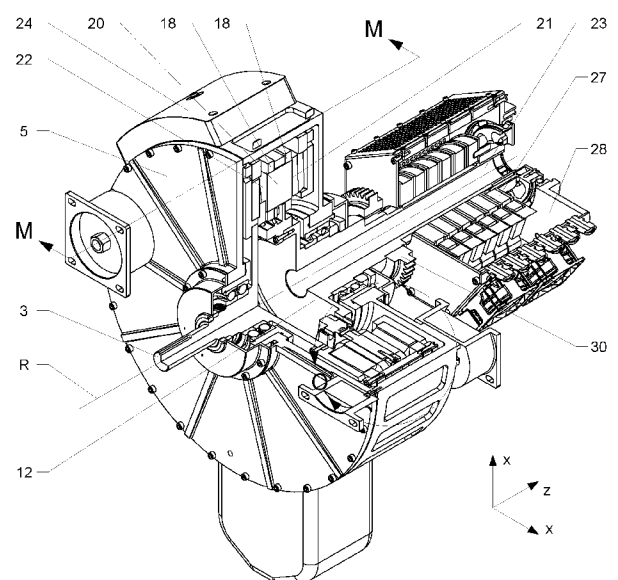
(71) Anmelder:
4QT GmbH, c/o Inspire AG Technoparkstrasse 1
8005 Zürich (CH)

(72) Erfinder:
Marc Vetter, 8057 Zürich (CH)
Milos Jecmenica, 11221 Belgrad (RS)
Mladen Terzic, 11050 Belgrad (RS)
Uygar Pala, 8046 Zürich (CH)

(74) Vertreter:
RENTSCH PARTNER AG, Kirchenweg 8 Postfach
8034 Zürich (CH)

(54) **Doppelrotormaschine**

(57) Die Offenbarung betrifft eine Doppelrotormaschine (DRM) zur selektiven Übertragung von mechanischer Leistung und/oder Erzeugung von elektrischer Leistung in einem Antriebsstrang eines Kraftfahrzeugs. Die Doppelrotormaschine umfasst eine Abtriebswelle 3, einen Eingangsrotor und einen mit einer Abtriebswelle 12 gekoppelten Ausgangsrotor. Der Ausgangsrotor ist drehbar um die Drehachse angeordnet und mechanisch mit der durch ein Gehäuse 5 verlaufenden Abtriebswelle 12 verbunden, um die Doppelrotormaschine mechanisch mit einem Verbraucher mechanischer Leistung koppeln zu können.



Beschreibung

TECHNISCHES GEBIET

[0001] Die vorliegende Offenbarung betrifft eine Doppelrotormaschine zur selektiven Übertragung von mechanischer Leistung und/oder Erzeugung von elektrischer Leistung und einen Antriebsstrang für ein Kraftfahrzeug mit einer solchen Doppelrotormaschine.

HINTERGRUND DER OFFENBARUNG

[0002] Herkömmliche Fahrzeuge, die von einem Verbrennungsmotor (ICE) angetrieben werden, arbeiten selten mit einem optimalen Wirkungsgrad des Verbrennungsmotors. Je nach den Vorgaben des Fahrers und den Anforderungen der Fahrbahn werden die Motordrehzahl und das Drehmoment des Verbrennungsmotors bestimmt und über ein mechanisches Getriebe auf die Räder übertragen. Verbrennungsmotoren arbeiten jedoch nur in einem begrenzten Drehzahl- und Drehmomentbereich mit einem hohen Wirkungsgrad. Um einen Verbrennungsmotor konstant mit einem hohen Wirkungsgrad zu betreiben, müssen die Motordrehzahl und das Drehmoment so gesteuert werden, dass die CO₂-Emissionen möglichst gering gehalten werden, indem sie im besagten Bereich mit hohem Wirkungsgrad bleiben. Ein Vier-Quadranten-Transducer (4QT)-System, das dies erreicht, besteht in der Regel aus einem Verbrennungsmotor, einer Batterie und dem Vier-Quadranten-Transducer, der zwischen dem Verbrennungsmotor und den Rädern angeordnet ist. Im Vergleich zu einem konventionellen Fahrzeug dient der Vier-Quadranten-Wandler als Getriebe, arbeitet jedoch zusätzlich als Elektromotor und Generator, um eine Über- oder Unterversorgung mit Motordrehzahl und Drehmoment durch den ständig mit hohem Wirkungsgrad arbeitenden Verbrennungsmotor auszugleichen.

[0003] Im Folgenden werden mehrere aus dem Stand der Technik bekannte Vier-Quadranten-Wandler beschrieben.

[0004] Die 1989 im Namen von Jean Paul Sibeud veröffentlichte FR2630868A1 betrifft eine Vorrichtung, die dazu bestimmt ist, zwischen einer rotierenden Motorwelle und einer rotierenden Antriebswelle angeordnet zu werden, und zwar im Antriebsstrang eines Kraftfahrzeugs. Sie besteht aus einer elektrischen Maschine, die einerseits aus zwei konzentrischen Rotoren besteht, die koaxial zu einem Stator angeordnet sind, in dessen Inneren sie sich befinden, wobei einer dieser Rotoren fest mit der Motorwelle verbunden ist, während der andere fest mit der Empfängerwelle verbunden ist.

[0005] Die 2014 im Namen von Caterpillar Inc. veröffentlichte US2014292131A1 betrifft eine geschaltete Doppelrotor-Reluktanzmaschine mit einem festen Stator und separaten Eingangs- und Ausgangsrotoren auf beiden Seiten des festen Stators, die zur Übertragung von Leistung zwischen einer Energiequelle wie einem Gasmotor und einer mechanischen Antriebseinheit wie Rädern oder Raupen verwendet wird.

[0006] EP3075587A1, veröffentlicht 2016 im Namen von Marc Vetter, betrifft eine Antriebsanordnung für ein Kraftfahrzeug, umfassend einen Verbrennungsmotor mit mindestens einer Abtriebswelle, die eine Drehbewegung erzeugt, mindestens ein Rad, insbesondere mindestens zwei Räder, das/die von dem Verbrennungsmotor angetrieben wird/werden, wobei das Rad oder jedes der Räder eine Antriebswelle umfasst, der die Drehbewegung zugeführt wird, um das jeweilige Rad anzutreiben. Die Antriebsanordnung umfasst ferner mindestens eine elektromechanische Maschine, die zwischen der Abtriebswelle und mindestens einer der Antriebswellen angeordnet ist, so dass mit der elektromechanischen Maschine die jeweilige Antriebswelle mit der Abtriebswelle in und ausser Eingriff bringbar ist, wobei die von der Abtriebswelle bereitgestellte Drehbewegung direkt oder indirekt in die elektromechanische Maschine eingegeben wird und von der elektromechanischen Maschine direkt oder indirekt an die Antriebswelle ausgegeben wird, wenn die elektromechanische Maschine die Abtriebswelle und die Antriebswelle in Eingriff bringt.

ZUSAMMENFASSUNG DER OFFENBARUNG

[0007] Die Motor-Generator-Lösungen in typischen und bekannten Vier-Quadranten-Transducer (4QT)-Antriebssträngen sind eine Kombination aus einer Doppelrotormaschine, in der Regel eine Radialfluss-Permanentmagnet-Synchronmaschine (RFPMSM), und einem Stator. Die mechanische Leistung des Verbrennungsmotors wird auf einen Außenrotor der RFPMSM übertragen, der mit einer Antriebswelle verbunden ist, oder die mechanische Leistung wird von den Wicklungen eines Innenrotors und eines Stators der RFPMSM in elektrische Leistung umgewandelt. Die Motordrehzahl und das auf den Außenrotor übertragene Drehmoment werden gesteuert, so dass die Drehzahl der Antriebswelle unabhängig vom Verbrennungsmotor ist.

[0008] Eine Lösung zur Realisierung eines solchen 4QT ist ein geschalteter Reluktanzmotor (SRM) in Radialflusskonfiguration (RF), der sich durch einfache Herstellung, Robustheit, einfache Wartung, hohen Wirkungsgrad, Betriebsfähigkeit unter extremen Bedingungen, niedrige Kosten und schnelle Beschleunigung auszeichnet. Die aus dem Stand der Technik bekannten SRMs haben jedoch mehrere Nachteile, wie z. B. ein hohes Geräuschaufkommen aufgrund der magnetkraftbedingten Vibrationen des Stators und eine hohe Drehmomentwelligkeit, und die Antriebsleistung hängt stark von der Regelstrategie ab. Es ist ein Ziel der Offenbarung, mindestens ein Problem des Standes der Technik zu lösen.

[0009] Eine Doppelrotormaschine (DRM) gemäß der Offenbarung zur selektiven Übertragung mechanischer Leistung und/oder Erzeugung elektrischer Leistung in einem Antriebsstrang eines Kraftfahrzeugs ist mechanisch mit einer elektrischen Maschine eines Antriebsstrangs zu einem fortschrittlichen Vier-Quadranten-Wandler verschaltbar. Durch den Ver-

zucht auf den Stator bekannter Ansätze kann ein System aufgebaut werden, das sowohl eine hohe Drehmomentdichte als auch eine hohe Leistungsdichte aufweist. Typischerweise umfasst die Doppelrotormaschine eine Eingangsantriebswelle, einen Eingangsrotor und einen Ausgangsrotor, der mit einer Abtriebswelle gekoppelt ist. In einer bevorzugten Variante umfasst die Doppelrotormaschine die Eingangsantriebswelle zur mechanischen Kopplung der Doppelrotormaschine mit einem Verbrennungsmotor, wobei sich die Eingangsantriebswelle in axialer Richtung in ein Gehäuse der Doppelrotormaschine erstreckt. Üblicherweise ist der Eingangsrotor mechanisch mit der Eingangsantriebswelle verbunden und innerhalb des Gehäuses um eine gemeinsame Drehachse drehbar angeordnet. Der Abtriebsrotor ist um die Drehachse drehbar angeordnet und mechanisch mit der durch das Gehäuse verlaufenden Abtriebswelle verbunden, um die Doppelrotormaschine mechanisch mit einem Verbraucher mechanischer Leistung zu koppeln. Als Verbraucher mechanischer Leistung kommt mindestens eine der folgenden Einrichtungen in Betracht: die Antriebswelle zum Antrieb der Räder, ein hydraulisches oder pneumatisches System oder dergleichen.

[0010] Je nach Ausführungsform besteht der Eingangsrotor aus einer scheibenförmigen ersten Anordnung von Ferromagneten und einer scheibenförmigen zweiten Anordnung von Ferromagneten, die konzentrisch zur ersten Anordnung angeordnet sind und in axialer Richtung einen gewissen Abstand zu dieser aufweisen, wobei mindestens ein Abstandshalter in axialer Richtung verläuft, der die erste und die zweite Anordnung von Ferromagneten fest miteinander verbindet. Üblicherweise ist der Ausgangsrotor um die Drehachse drehbar zwischen der ersten und der zweiten scheibenförmigen Anordnung von Ferromagneten angeordnet.

[0011] Um mechanische Leistung zu übertragen und/oder elektrische Leistung zu erzeugen, umfasst der Ausgangsrotor typischerweise eine scheibenförmige Anordnung von Elektromagneten, die konzentrisch zu der ersten und zweiten Anordnung von Ferromagneten angeordnet sind, um elektrische Leistung zu erzeugen, wenn sie sich mit einer geringeren Winkelgeschwindigkeit als der Eingangsrotor drehen.

[0012] Vorzugsweise hat die Doppelrotormaschine eine Axialflusskonfiguration (AF). Mit anderen Worten, der magnetische Fluss zwischen den Elektromagneten des Ausgangsrotors und den Ferromagneten des Eingangsrotors ist im Allgemeinen parallel zur Drehachse ausgerichtet. Dies ermöglicht eine kompakte Bauweise der Doppelrotormaschine und verbessert die Flexibilität des Systems. Außerdem ermöglicht eine NF-Topologie im Vergleich zum Stand der Technik eine Erhöhung der Polzahl und damit der Leistungsdichte, was zu einer DRM mit höherer Leistung führt. Es ist jedoch auch eine Radialflusskonfiguration möglich. Ein zusätzlicher Vorteil des DRM gemäß der Offenbarung ist, dass keine Permanentmagnete erforderlich sind.

[0013] Während des Betriebs ist der Ausgangsrotor vorzugsweise mit einer höheren Winkelgeschwindigkeit antreibbar als der Eingangsrotor, wenn der Ausgangsrotor mit elektrischer Energie versorgt wird. Alternativ oder zusätzlich kann der Ausgangsrotor mit einer geringeren Winkelgeschwindigkeit als der Eingangsrotor angetrieben werden, um elektrische Energie zu erzeugen. Dadurch kann der Verbrennungsmotor stets im hohen Wirkungsgradbereich betrieben werden, was zu einer Verringerung des Kraftstoffverbrauchs um 15 bis 30 % im Vergleich zu einem herkömmlichen Fahrzeug führt. Ein geringerer Kraftstoffverbrauch bei gleicher Leistung führt zu einer Verringerung der CO₂-Emissionen.

[0014] Gute Ergebnisse lassen sich erzielen, wenn mindestens ein Ferromagnet des ersten Arrays und/oder des zweiten Arrays einen im Wesentlichen U- oder V-förmigen Querschnitt aufweist. Vorzugsweise haben alle Ferromagnete der ersten Anordnung und/oder der zweiten Anordnung einen im Wesentlichen U- oder V-förmigen Querschnitt.

[0015] In einer bevorzugten Variante ist der Eingangsrotor mehrteilig ausgeführt. Je nach Ausführungsform umfasst der Eingangsrotor einen ersten scheibenförmigen Sockel, auf dem im montierten Zustand die Ferromagnete des ersten Arrays lösbar angeordnet sind, und einen zweiten scheibenförmigen Sockel, auf dem im montierten Zustand die Ferromagnete des zweiten Arrays lösbar angeordnet sind. Dadurch kann die Komplexität bei der Herstellung des Eingangsrotors reduziert werden, da seine Teile separat und effizient hergestellt werden können. Vorzugsweise sind die erste und/oder die zweite Basis zumindest teilweise aus einem leichten Material, insbesondere einem nichtmagnetischen Material, wie Metall oder Metallverbindungen wie Aluminium, hergestellt. Es sind jedoch auch andere Werkstoffe möglich, z. B. Verbundwerkstoffe wie faserverstärkte Kunststoffe.

[0016] Gegebenenfalls sind die Ferromagnete der ersten und/oder der zweiten Anordnung durch Stützelemente an der ersten bzw. zweiten scheibenförmigen Basis fixiert, insbesondere sind die Stützelemente im Querschnitt zumindest teilweise innerhalb der U- oder V-Form des jeweiligen Ferromagneten angeordnet. Vorzugsweise haben die erste und die zweite scheibenförmige Anordnung im Wesentlichen den gleichen Durchmesser, insbesondere umfasst die scheibenförmige erste Anordnung die gleiche Anzahl von Ferromagneten wie die scheibenförmige zweite Anordnung.

[0017] Für eine hohe magnetische Flussdichte umfasst der Ausgangsrotor mehrere ferromagnetische Kerne, die jeweils in axialer Richtung einen ersten Endabschnitt aufweisen, der der ersten Anordnung von Ferromagneten zugewandt ist, und einen zweiten Endabschnitt, der der zweiten Anordnung von Ferromagneten zugewandt ist. Vorzugsweise ist der erste und/oder der zweite Endabschnitt jedes ferromagnetischen Kerns zumindest teilweise von Wicklungen eines Wicklungssatzes umschlossen. Zur Stabilisierung der Anordnung von Elektromagneten ist vorzugsweise zwischen jeweils zwei benachbarten Kernen ein Abstandshalter angeordnet. Dies ermöglicht ähnlich wie bei der ersten und zweiten Anordnung von Ferromagneten einen segmentierten Aufbau / mehrteiligen Aufbau des Ausgangsrotors. Gegebenenfalls können die Abstandshalter einen im Wesentlichen rechteckigen Querschnitt senkrecht zur Achsrichtung und die Kerne einen entsprechenden im Wesentlichen gleichschenkligen trapezförmigen Querschnitt aufweisen.

[0018] Typischerweise haben die Anzahl der Ferromagnete und die Anzahl der Elektromagnete ein Verhältnis von 1,1 bis 1,5, insbesondere 1,2. Bevorzugte Zahlenverhältnisse von Elektromagneten und Ferromagneten sind 12/18 oder 10/12 oder 20/24, am bevorzugtesten 15 / 18 (Elektromagneten am Ausgangsrotor) / (Ferromagneten am Eingangsrotor, jede Anordnung mit 18 Ferromagneten). Je nach Anwendungsbereich können die Zahlen jedoch variieren, um den räumlichen Abmessungen der Eingangs- und Ausgangsrotoren Rechnung zu tragen.

[0019] Falls vorhanden, umfasst die scheibenförmige Anordnung von Elektromagneten in der Regel mindestens einen Satz von Wicklungen, die elektrisch mit einer Batterie verbunden werden können, um elektrische Energie aufzunehmen und/oder an die Batterie zu liefern. In einer bevorzugten Variante umfasst die Anordnung von Elektromagneten drei oder mehr Sätze von Wicklungen. Eine gute Führung der elektrischen Verbindungen ist möglich, wenn die Abtriebswelle eine zentrale Öffnung aufweist, die sich in axialer Richtung konzentrisch zur Drehachse erstreckt, um elektrische Verbindungen des mindestens einen Satzes von Wicklungen zu führen.

[0020] Die Ferromagnete des ersten Arrays sind vorzugsweise im Wesentlichen spiegelsymmetrisch zu den Ferromagneten des zweiten Arrays angeordnet. Dies führt zu einem höheren Wirkungsgrad im Vergleich zu Konfigurationen, bei denen das erste Array in Umfangsrichtung versetzt zu den Ferromagneten des zweiten Arrays angeordnet ist.

[0021] Für eine gute Leistung beträgt der Abstand in axialer Richtung (parallel zur Drehachse) zwischen dem Ausgangsrotor und dem Eingangsrotor zwischen 0,1 mm und 2 mm, vorzugsweise zwischen 0,5 mm und 1,5 mm, insbesondere etwa 1 mm.

[0022] Aufgrund der hohen Leistungsdichte des DRM gemäß der Offenbarung kann eine Kühleinrichtung an der Außenseite des Gehäuses angeordnet werden. Die Kühleinrichtung ist mit der Innenseite des Gehäuses strömungstechnisch verbunden, um eine gute thermische Kontrolle der darin angeordneten Komponenten zu gewährleisten. Vorzugsweise ist die Kühleinrichtung als Ölsprühkühlung ausgebildet, die mindestens eine mit einer Ölwanne verbundene Düse umfasst, insbesondere eine oder zwei Einheiten mit jeweils zwei oder drei Düsen.

[0023] Ein weiterer Aspekt der Offenbarung betrifft einen Antriebsstrang für ein Kraftfahrzeug, wobei der Antriebsstrang eine Doppelrotormaschine wie oben beschrieben umfasst, wobei eine elektrische Maschine mechanisch mit der Ausgangswelle der Doppelrotormaschine gekoppelt ist, um ein Drehmoment dazwischen zu übertragen. Die elektrische Maschine ist typischerweise als Elektromotor/Generator ausgeführt. In dem Antriebsstrang wird der Vier-Quadranten-Wandler durch die Doppelrotormaschine und die mit ihr mechanisch gekoppelte elektrische Maschine gebildet, wobei die Doppelrotormaschine zur Steuerung der den Rädern zugeführten Motordrehzahl und die elektrische Maschine zur Steuerung des Drehmoments verwendet werden kann.

[0024] Falls vorhanden, ist die elektrische Maschine in der Regel elektrisch mit einer Batterie verbunden, insbesondere mit der gleichen Batterie wie die Doppelrotormaschine. In einigen Varianten bestehen die elektrischen Verbindungen zwischen der Batterie und der Doppelrotormaschine und/oder der elektrischen Maschine aus einem Schleifring. Vorzugsweise sind die Schleifringe für jede elektrische Verbindung der Doppelrotormaschine und/oder der elektrischen Maschine in einem gemeinsamen Schleifringgehäuse angeordnet. Für eine kompakte Bauweise erstreckt sich die Abtriebswelle in axialer Richtung in das Schleifringgehäuse, was eine kurze Leitungsstrecke von den Elektromagneten zu den Schleifringen ermöglicht.

[0025] In einer bevorzugten Variante ist eine Steuereinheit mit dem mindestens einen Satz von Wicklungen des Ausgangsrotors der Doppelrotormaschine verbunden und so konfiguriert, dass sie eine Bedieneringabe empfängt und die Übertragung der Drehzahl vom Eingangsrotor zum Ausgangsrotor auf der Grundlage der Bedieneringabe steuert. Gegebenenfalls kann die Steuereinheit mit der elektrischen Maschine verbunden werden und so konfiguriert sein, dass sie das zwischen der Abtriebswelle und der elektrischen Maschine übertragene Drehmoment durch Steuerung der elektrischen Maschine bestimmt. Auf diese Weise lassen sich sowohl das Drehmoment als auch die Motordrehzahl steuern, die dem Verbraucher mechanischer Leistung, z. B. den Rädern des Kraftfahrzeugs, zur Verfügung gestellt werden.

[0026] Es versteht sich von selbst, dass sowohl die vorangehende allgemeine Beschreibung als auch die folgende detaillierte Beschreibung Ausführungsformen darstellen und dazu dienen, einen Überblick oder einen Rahmen für das Verständnis der Art und des Charakters der vorliegenden Offenbarung zu schaffen. Die beiliegenden Figuren dienen dem weiteren Verständnis und sind Bestandteil dieser Beschreibung und werden in diese aufgenommen. Die Figuren veranschaulichen verschiedene Ausführungsformen und dienen zusammen mit der Beschreibung dazu, die Prinzipien und die Funktionsweise der offengelegten Konzepte zu erläutern.

KURZBESCHREIBUNG DER FIGUREN

[0027] Die hier beschriebene Offenbarung wird aus der nachstehenden detaillierten Beschreibung und den beigefügten Figuren, die nicht als einschränkend für die in den beigefügten Ansprüchen beschriebene Offenbarung angesehen werden sollten, besser verstanden. Die Figuren zeigen:

Fig. 1 eine Explosionsdarstellung einer ersten Variante einer Doppelrotormaschine gemäß der Offenbarung;

- Fig. 2 eine Teilschnittansicht der ersten Variante der Doppelrotormaschine;
- Fig. 3 eine Detailansicht der Doppelrotormaschine aus Fig. 2, gekennzeichnet durch den Kreis O;
- Fig. 4 eine Schnittansicht der ersten Variante der Doppelrotormaschine von Fig. 2, die durch die Schnittlinie MM gekennzeichnet ist; und
- Fig. 5 eine schematische Darstellung einer ersten Variante eines Antriebsstrangs gemäß der Offenbarung.

BESCHREIBUNG DER AUSFÜHRUNGSFORMEN

[0028] Im Folgenden wird im Detail auf bestimmte Ausführungsformen Bezug genommen, von denen Beispiele in den beigefügten Figuren dargestellt sind, in denen einige, aber nicht alle Merkmale gezeigt werden. In der Tat können die hier offengelegten Ausführungsformen in vielen verschiedenen Formen verkörpert werden und sollten nicht so ausgelegt werden, dass sie auf die hier dargelegten Ausführungsformen beschränkt sind; vielmehr werden diese Ausführungsformen bereitgestellt, damit diese Offenbarung den geltenden rechtlichen Anforderungen genügt. Wann immer möglich, werden gleiche Referenznummern verwendet, um auf gleiche Komponenten oder Teile zu verweisen.

[0029] **Figur 1** zeigt eine Explosionsdarstellung einer ersten Variante einer Doppelrotormaschine 1 gemäß der Offenbarung. **Figur 2** zeigt eine Teilschnittansicht der ersten Ausführungsform der Doppelrotormaschine 1, wobei **Figur 3** eine Detailansicht der Doppelrotormaschine 1 aus **Figur 2**, angedeutet durch den Kreis O, zeigt. In **Figur 4** ist eine Schnittansicht der ersten Ausführungsform der Doppelrotormaschine 1 aus **Figur 2**, angedeutet durch die Schnittlinie MM, und in **Figur 5** eine erste Ausführungsform eines erfindungsgemäßen Antriebsstrangs 2 in einer schematischen Darstellung gezeigt.

[0030] Die erste Variante der Doppelrotormaschine 1, wie sie in den **Figuren 1 bis 4** dargestellt ist, umfasst typischerweise eine Eingangsantriebswelle 3, einen Eingangsrotor 6 und einen Ausgangsrotor 11, die mit einer Abtriebswelle 12 zur selektiven Übertragung von mechanischer Leistung und/oder Erzeugung von elektrischer Leistung in einem Antriebsstrang 2 eines Kraftfahrzeugs (nicht dargestellt) gekoppelt sind. Die Eingangsantriebswelle 3 ist mechanisch mit einem ICE 4 verbindbar, während die Abtriebswelle 12 mechanisch mit den Rädern 30 eines entsprechenden Kraftfahrzeugs verbindbar ist. Wie in **Figur 2** am besten zu erkennen ist, erstreckt sich die Eingangsantriebswelle 3 in axialer Richtung z in ein Gehäuse 5 der Doppelrotormaschine 1. An der Eingangsantriebswelle 3 ist der Eingangsrotor 6 um eine Drehachse R im Gehäuse 5 drehbar angeordnet. Der Ausgangsrotor 11 ist um die gleiche Drehachse R drehbar angeordnet und mit der Abtriebswelle 12 mechanisch verbunden, die das Gehäuse 5 gegenüber der Antriebswelle 3 durchsetzt.

[0031] Wie in **Figur 1** zu sehen ist, besteht der Eingangsrotor 3 aus einer scheibenförmigen ersten Anordnung 8 von Ferromagneten 7 und einer scheibenförmigen zweiten Anordnung 9 von Ferromagneten 7, die konzentrisch zur ersten Anordnung 8 angeordnet sind und in axialer Richtung z einen Abstand D1 zu dieser aufweisen. Mehrere Abstandshalter 10, die sich in axialer Richtung z erstrecken, verbinden die erste und die zweite Anordnung 8, 9 der Ferromagnete 7 fest miteinander. Die erste und die zweite Anordnung 8, 9 von Ferromagneten 7 bilden eine käfigartige Struktur zur Aufnahme des Ausgangsrotors 11 darin. Der Ausgangsrotor 11 ist drehbar um die Drehachse R zwischen der ersten und der zweiten Anordnung 8, 9 von Ferromagneten 7 angeordnet. Der Ausgangsrotor 11 umfasst typischerweise eine scheibenförmige Anordnung 14 von Elektromagneten 13, die konzentrisch zu der ersten und der zweiten Anordnung 8, 9 von Ferromagneten 7 angeordnet sind, um elektrische Leistung zu erzeugen, wenn sie mit einer geringeren Winkelgeschwindigkeit als der Eingangsrotor 3 rotieren.

[0032] Was den Aufbau des Eingangsrotors 3 und des Ausgangsrotors 11 betrifft, so weisen beide, wie in **Figur 1** dargestellt, im Vergleich zu bekannten Rotoren eine segmentierte / mehrteilige Struktur auf. Die Ferromagnete 7 der ersten Anordnung 8 und der zweiten Anordnung 9 haben einen im Wesentlichen U- oder V-förmigen Querschnitt in einer Ebene parallel zur Achsrichtung z. Diese Ferromagnete 7 sind auf einem ersten Sockel 15 bzw. einem zweiten Sockel 16 abnehmbar angeordnet und durch Stützelemente 17 daran befestigt. Die Trägerelemente 17 erstrecken sich entlang einer durch den U- bzw. V-förmigen Querschnitt der Ferromagnete 7 gebildeten Einbuchtung. Die Stützelemente 17 sind mittels Schrauben an der jeweiligen Basis 15, 16 befestigt. Die beiden Reihen von Ferromagneten 8, 9 der ersten Variante haben jeweils achtzehn (18) Ferromagnete.

[0033] Der Ausgangsrotor 11 umfasst fünfzehn (15) Elektromagnete 13. Jeder Elektromagnet umfasst einen ersten Endabschnitt 21, der der ersten Anordnung 8 von Ferromagneten 7 gegenüberliegt, und einen zweiten Endabschnitt 22, der der zweiten Anordnung 9 von Ferromagneten 7 gegenüberliegt. Der Abstand D1 zwischen dem ersten Endabschnitt 21 und der ersten Anordnung 8 von Ferromagneten 7 beträgt in der gezeigten Variante etwa 1 mm. In ähnlicher Weise liegt der Abstand D1 zwischen dem zweiten Endabschnitt 22 und der zweiten Anordnung 9 von Ferromagneten 7 in der gezeigten Variante bei etwa 1 mm.

[0034] Wie in **Figur 1** zu sehen ist, sind die Endabschnitte 21, 22 jedes Kerns 20 mit Windungen 18 umwickelt. Die Wicklungen 18 um die Endabschnitte 21, 22 eines jeden Kerns 20 gehören jeweils zu einer gemeinsamen Wicklung 18. Die dargestellte Variante umfasst drei einzelne Sätze von Wicklungen 18, die es ermöglichen, den Ausgangsrotor 11 mit drei Phasen zu betreiben. Zur elektrischen Verbindung der Wicklungen 18 mit einer Batterie 19 zur Aufnahme und/oder Abgabe

von elektrischer Energie an die Batterie 19 weist die Abtriebswelle 12 eine zentrale, sich in axialer Richtung z konzentrisch zur Drehachse R erstreckende Öffnung 23 zur Durchführung elektrischer Verbindungen der Wicklungen 18 auf.

[0035] Zur Kühlung, insbesondere der Elektromagnete 13 des Ausgangsrotor 11, ist an einer Außenseite des Gehäuses 5 eine Kühleinrichtung 24 angeordnet. Die Kühleinrichtung 24 ist in der gezeigten Variante als Ölsprühkühlung 24 ausgebildet, die mit einer Innenseite des Gehäuses 5 in Fluidverbindung steht. Die Ölsprühkühlung 24 umfasst mehrere Düsen, die von einer Ölwanne versorgt werden, um Öl auf die Rotoren 3, 11 zu sprühen.

[0036] In **Figur 5** ist die erste Variante des Antriebsstrangs 2 dargestellt, der typischerweise aus einem ICE 4 besteht, der über eine Antriebswelle 3 mechanisch mit dem DRM 1 verbunden ist. Das DRM 1 ist andererseits über ein Getriebe 30, das mechanisch mit der Abtriebswelle 12 gekoppelt ist, mechanisch mit einer elektrischen Maschine 25 verbunden. Die elektrische Maschine 25 ist in der Regel elektrisch mit einer Batterie 19 verbunden, insbesondere mit der gleichen Batterie 19 wie die Doppelrotormaschine 1.

[0037] Die durchgezogenen Linien in **Figur 5** zeigen eine Verbindung zur Übertragung von Energie, entweder mechanischer oder elektrischer Energie. Die gestrichelten Linien zeigen Signalwege an. In der gezeigten Variante ist eine Steuereinheit 26 mit dem mindestens einen Satz von Wicklungen 18 des Ausgangsrotors 11 der Doppelrotormaschine 1 verbunden. Die Steuereinheit 26 ist so konfiguriert, dass sie eine Bedienereingabe empfängt und die Übertragung der Drehgeschwindigkeit vom Eingangsrotor 3 auf den Ausgangsrotor 11 auf der Grundlage der Bedienereingabe steuert. Darüber hinaus ist die Steuereinheit 26 typischerweise mit der elektrischen Maschine 25 verbunden und so konfiguriert, dass sie das zwischen der Abtriebswelle 12 und der elektrischen Maschine 25 übertragene Drehmoment durch Steuerung der elektrischen Maschine 25 bestimmt. Die Abtriebswelle 12 ist ferner direkt oder indirekt mit den Rädern 29 des jeweiligen Kraftfahrzeugs auf bekannte Weise mechanisch verbindbar.

[0038] In den dargestellten Varianten umfassen die elektrischen Verbindungen zwischen der Batterie 19 und der Doppelrotormaschine 1 und/oder der elektrischen Maschine 25 jeweils einen Schleifring 27. Wie in den **Figuren 2 und 4** am besten zu erkennen ist, sind die Schleifringe 27 für jede elektrische Verbindung der Doppelrotormaschine 1 und/oder der elektrischen Maschine 25 in einem gemeinsamen Schleifringgehäuse 28 angeordnet. Vorzugsweise erstreckt sich die Abtriebswelle 12 in axialer Richtung z in das Schleifringgehäuse 28, so dass ein kurzer Verdrahtungsweg von den Elektromagneten 13 zu den Schleifringen 27 möglich ist. Vielmehr sind die in der Beschreibung verwendeten Wörter eher beschreibend als einschränkend, und es versteht sich, dass verschiedene Änderungen vorgenommen werden können, ohne vom Umfang der Offenbarung abzuweichen.

LISTE DER BEZEICHNUNGEN

[0039]

- 1 Doppelrotor-Maschine (DRM)
- 2 Antriebsstrang
- 3 Antriebswelle
- 4 Verbrennungsmotor (ICE)
- 5 Gehäuse (Doppelrotormaschine)
- 6 Eingangsrotor
- 7 Ferromagnet
- 8 Erste Anordnung von Ferromagneten
- 9 Zweite Anordnung von Ferromagneten
- 10 Abstandshalter
- 11 Abtriebsrotor
- 12 Abtriebswelle
- 13 Elektromagnet
- 14 Anordnung von Elektromagneten (Ausgangsrotor)
- 15 Erste Basis (Eingangsrotor)
- R Drehachse
- 16 Zweite Basis (Eingangsrotor)
- 17 Stützelement (Eingangsrotor)
- 18 Wicklungen
- 19 Batterie
- 20 Kern (ferromagnetisch, Ausgangsrotor)
- 21 Erster Endabschnitt
- 22 Zweiter Endabschnitt
- 23 Zentrale Öffnung (Abtriebswelle)
- 24 Kühlung bedeutet
- 25 Elektrische Maschine
- 26 Kontrolleinheit
- 27 Schleifring
- 28 Schleifringgehäuse

29 Räder
30 Verzahnung

D1 Abstand (zwischen erster und zweiter Anordnung von Ferromagneten)
D2 Abstand (zwischen Eingangs- und Ausgangsrotor)

Patentansprüche

1. Doppelrotormaschine (1) zur selektiven Übertragung von mechanischer Leistung und/oder Erzeugung von elektrischer Leistung in einem Antriebsstrang (2) eines Kraftfahrzeugs, wobei die Doppelrotormaschine (1) umfasst:
 - a. eine Antriebswelle (3) zur mechanischen Kopplung der Doppelrotormaschine (1) mit einem Verbrennungsmotor (4), wobei sich die Antriebswelle (3) in axialer Richtung in ein Gehäuse (5) erstreckt;
 - b. einen Eingangsrotor (6), der mechanisch mit der Antriebswelle (3) verbunden ist und innerhalb des Gehäuses (5) um eine gemeinsame Drehachse (R) drehbar angeordnet ist, wobei der Eingangsrotor (6) umfasst
 - i. eine scheibenförmige erste Anordnung (8) von Ferromagneten (7);
 - ii. eine scheibenförmige zweite Anordnung (9) von Ferromagneten (7), die konzentrisch zur ersten Anordnung (8) angeordnet ist und in axialer Richtung (R, z) einen bestimmten Abstand (D1) von dieser hat, wobei
 - iii. mindestens ein Abstandshalter (10), der sich in axialer Richtung erstreckt und die erste und die zweite Anordnung (8, 9) von Ferromagneten (7) fest miteinander verbindet;
 - c. einen Ausgangsrotor (11), der um die Drehachse drehbar zwischen der ersten und der zweiten Anordnung von Ferromagneten (8, 9) angeordnet ist und mechanisch mit einer durch das Gehäuse (5) verlaufenden Abtriebswelle (12) zur mechanischen Kopplung der Doppelrotormaschine (1) mit einem Verbraucher von mechanischer Leistung verbunden ist, wobei
 - d. der Ausgangsrotor (11) eine scheibenförmige Anordnung (14) von Elektromagneten (13) umfasst, die konzentrisch zu der ersten und der zweiten Anordnung (8, 9) von Ferromagneten (7) angeordnet sind, um elektrische Leistung zu erzeugen, wenn sie mit einer niedrigeren Winkelgeschwindigkeit als der Eingangsrotor (6) rotieren.
2. Doppelrotormaschine (1) nach Anspruch 1, **wobei** der Ausgangsrotor (11) mit einer höheren Winkelgeschwindigkeit als der Eingangsrotor (6) antreibbar ist, wenn dem Ausgangsrotor (11) elektrische Leistung zugeführt wird.
3. Doppelrotormaschine (1) nach wenigstens einem der vorhergehenden Ansprüche, **wobei** wenigstens ein Ferromagnet (7) der ersten Anordnung (8) und/oder der zweiten Anordnung (9) einen im Wesentlichen U- oder V-förmigen Querschnitt aufweist, insbesondere alle Ferromagnete (7) der ersten Anordnung (8) und/oder der zweiten Anordnung (9) einen im Wesentlichen U- oder V-förmigen Querschnitt aufweisen.
4. Doppelrotormaschine (1) nach mindestens einem der vorhergehenden Ansprüche, **wobei** der Eingangsrotor (6) einen scheibenförmigen ersten Sockel (15) aufweist, auf dem im montierten Zustand die Ferromagnete (7) der ersten Anordnung (8) lösbar angeordnet sind, und einen scheibenförmigen zweiten Sockel (16), auf dem im montierten Zustand die Ferromagnete (7) der zweiten Anordnung (9) lösbar angeordnet sind.
5. Doppelrotormaschine (1) nach Anspruch 4, **wobei** die Ferromagnete (7) der ersten und/oder der zweiten Anordnung (8, 9) durch Stützelemente (17) an der ersten bzw. zweiten Basis (15, 16) lagefixiert sind, insbesondere die Stützelemente (17) in einer Querschnittsansicht zumindest teilweise innerhalb der U- oder V-Form des jeweiligen Ferromagneten (7) angeordnet sind.
6. Doppelrotormaschine (1) nach mindestens einem der vorhergehenden Ansprüche, **wobei** die scheibenförmige Anordnung (14) von Elektromagneten (13) mindestens einen Satz von Wicklungen (18) umfasst, die elektrisch mit einer Batterie (19) verbunden werden können, um elektrische Energie von der Batterie (19) zu erhalten und/oder der Batterie (19) elektrische Energie zuzuführen.
7. Doppelrotormaschine (1) nach Anspruch 6, **wobei** der Ausgangsrotor (11) mehrere ferromagnetische Kerne (20) umfasst, die jeweils in axialer Richtung einen ersten, der ersten Anordnung (8) von Ferromagneten (7) zugewandten Endabschnitt (21) und einen zweiten, der zweiten Anordnung (9) von Ferromagneten (7) zugewandten Endabschnitt (22) aufweisen, wobei der erste und/oder der zweite Endabschnitt (21, 22) jedes ferromagnetischen Kerns (20) zumindest teilweise von Wicklungen (18) einer gemeinsamen Phase umschlossen ist.
8. Doppelrotormaschine (1) nach einem der vorhergehenden Ansprüche 2 bis 7, **wobei** die Abtriebswelle (12) eine zentrale, sich in axialer Richtung (R, z) konzentrisch zur Rotationsachse (R) erstreckende Öffnung (23) zum Durchführen von elektrischen Verbindungen des mindestens einen Wicklungssatzes (18) aufweist.
9. Doppelrotormaschine (1) nach mindestens einem der vorhergehenden Ansprüche, **wobei** die scheibenförmige erste Anordnung (8) die gleiche Anzahl von Ferromagneten (7) aufweist wie die scheibenförmige zweite Anordnung (9)
10. Doppelrotormaschine (1) nach mindestens einem der vorhergehenden Ansprüche, **wobei** die Ferromagnete (7) der ersten Anordnung (8) im wesentlichen spiegelsymmetrisch zu den Ferromagneten (7) der zweiten Anordnung (9) angeordnet sind.

11. Doppelrotormaschine (1) nach mindestens einem der vorhergehenden Ansprüche, **wobei** ein Abstand (D2) in axialer Richtung (R, z) zwischen Ausgangsrotor (11) und Eingangsrotor zwischen 0,1 mm und 2 mm, vorzugsweise zwischen 0,5 mm und 1,5 mm, insbesondere 1 mm beträgt.
12. Doppelrotormaschine (1) nach mindestens einem der vorhergehenden Ansprüche, **wobei** an einer Außenseite des Gehäuses (5) eine Kühleinrichtung (24) angeordnet ist, die mit einer Innenseite des Gehäuses (5) in Strömungsverbindung steht.
13. Antriebsstrang (2) für ein Kraftfahrzeug, wobei der Antriebsstrang eine Doppelrotormaschine (1) nach mindestens einem der Ansprüche 1 bis 12 aufweist, wobei eine elektrische Maschine (25) mit der Abtriebswelle (12) der Doppelrotormaschine (1) mechanisch gekoppelt ist, um ein Drehmoment dazwischen zu übertragen.
14. Antriebsstrang (2) nach Anspruch 13, **wobei** eine Steuereinheit (26) mit dem mindestens einen Satz von Wicklungen (18) des Ausgangsrotors (11) der Doppelrotormaschine (1) verbunden ist und so konfiguriert ist, dass sie eine Bedienereingabe empfängt und die Übertragung der Drehzahl von dem Eingangsrotor (6) auf den Ausgangsrotor (11) basierend auf der Bedienereingabe steuert.
15. Antriebsstrang (2) nach Anspruch 14, **wobei** die Steuereinheit (26) mit der elektrischen Maschine (25) verbunden ist und dazu ausgebildet ist, das zwischen der Abtriebswelle (12) und der elektrischen Maschine (25) übertragene Drehmoment durch Steuerung der elektrischen Maschine (25) zu bestimmen.

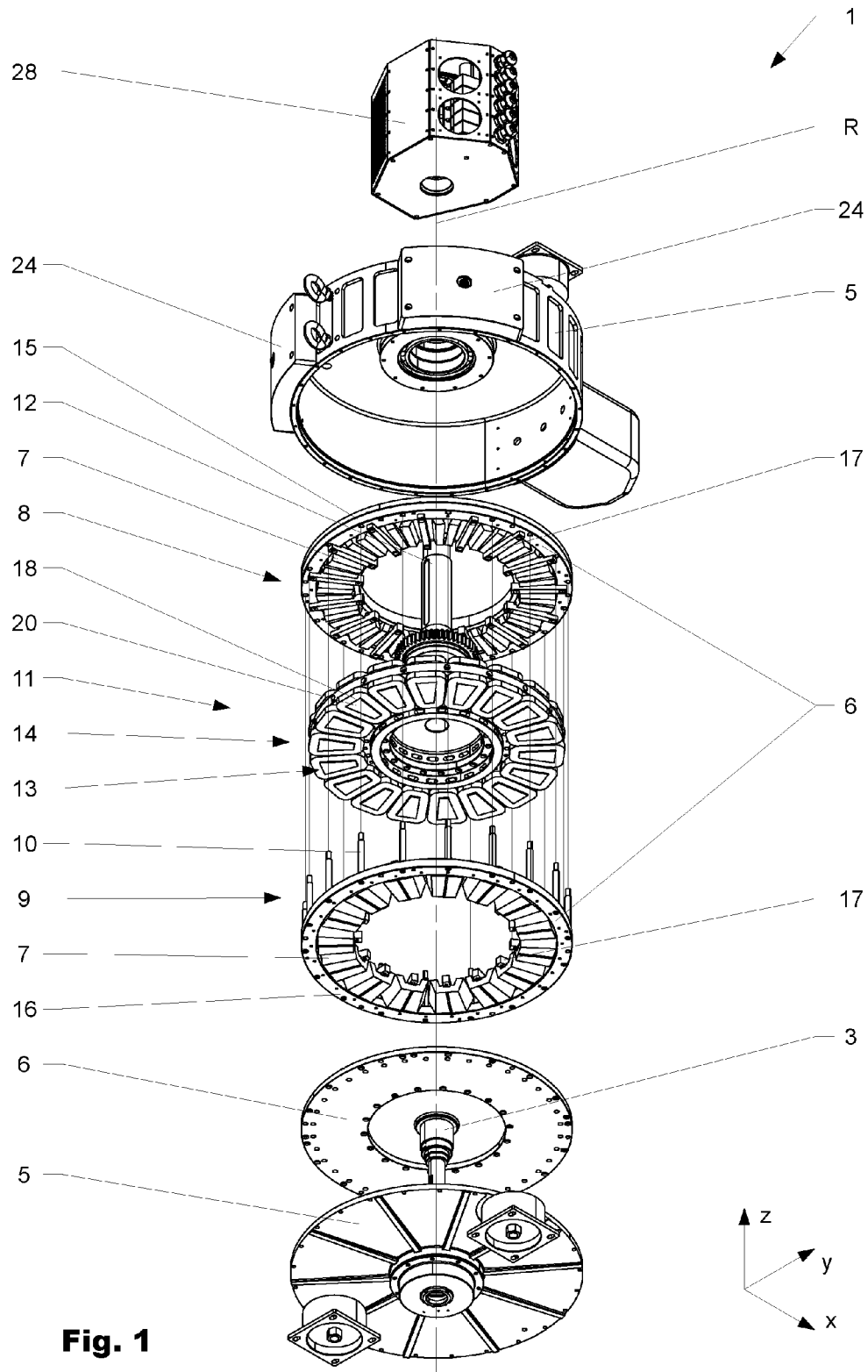


Fig. 1

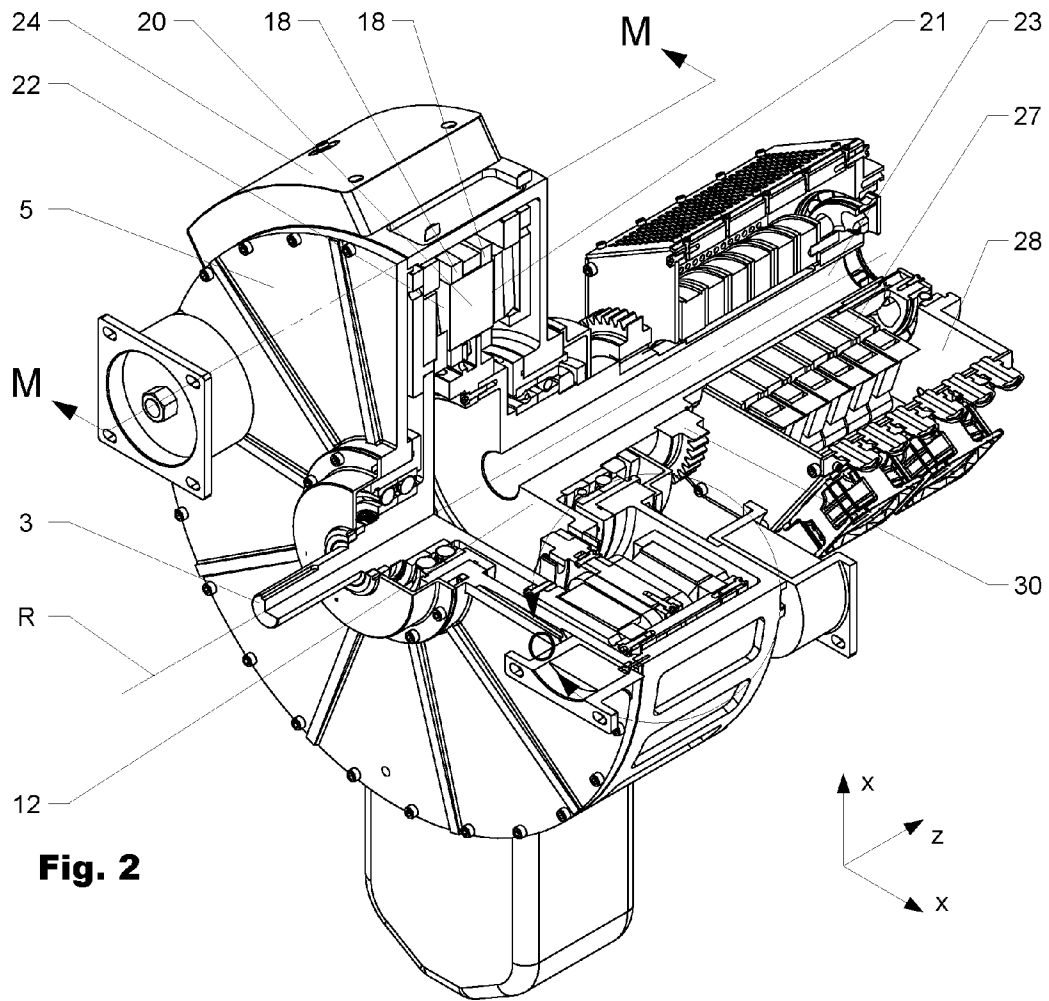


Fig. 2

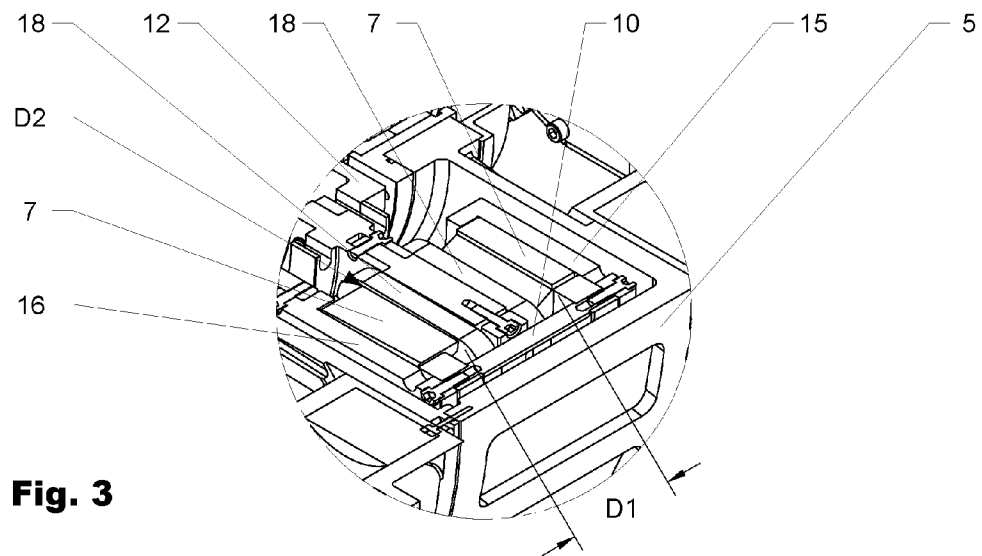


Fig. 3

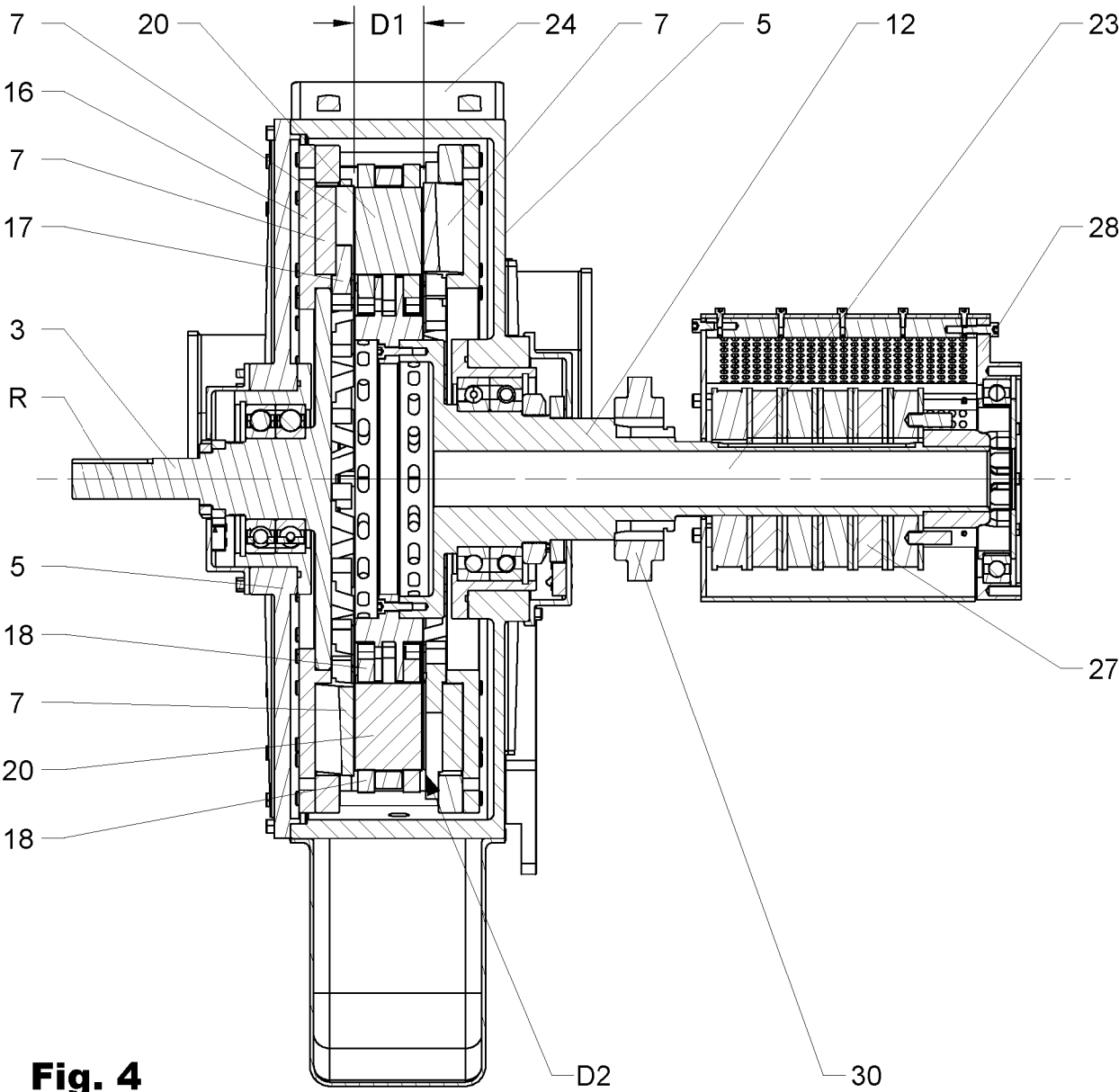


Fig. 4

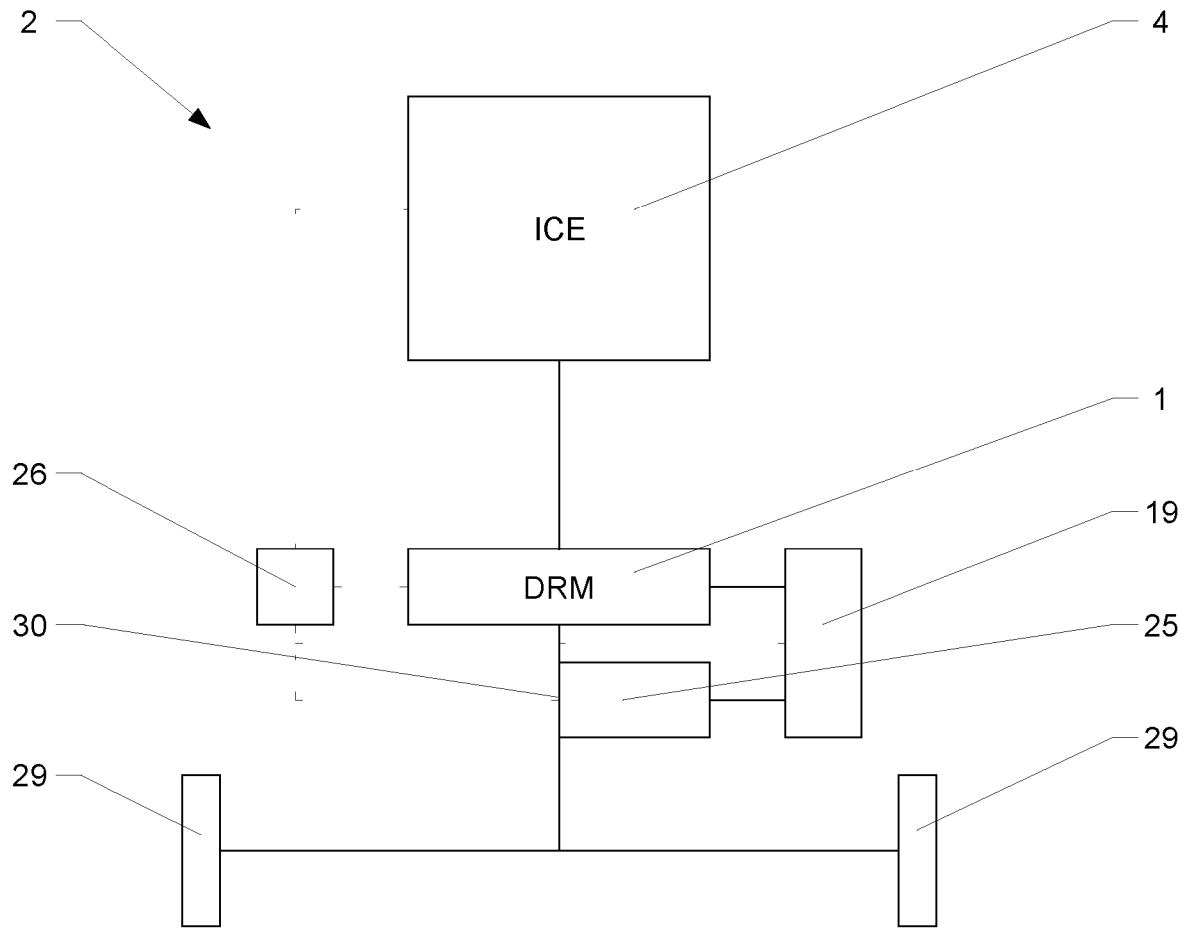


Fig. 5