

(12) **Österreichische Patentanmeldung**

(21) Anmeldenummer: A 50969/2022  
(22) Anmeldetag: 19.12.2022  
(43) Veröffentlicht am: 15.04.2024

(51) Int. Cl.: **H02K 99/00** (2014.01)  
**H02K 19/26** (2006.01)  
**H02K 11/00** (2006.01)  
**H01M 8/00** (2006.01)  
**H02K 5/18** (2006.01)

(56) Entgegenhaltungen:  
DE 102004006789 A1  
WO 02097951 A2  
US 5923106 A  
US 6005322 A  
US 9112197 B1  
WO 2009115646 A1

(71) Patentanmelder:  
AVL List GmbH  
8020 Graz (AT)

(72) Erfinder:  
LE RHUN Franck Dipl.-Ing.  
8010 Graz (AT)  
BRUHN Tanner  
8020 Graz (AT)  
Alesnik Ales  
48390 Commerce, Michigan (US)

(74) Vertreter:  
Lenhart Helmut Dipl.-Ing.  
8020 Graz (AT)

(54) **Drehende elektrische Maschine mit hochintegrierter Brennstoffzellenbaugruppe**

(57) Die vorliegende Erfindung betrifft eine drehende elektrische Maschine (10) mit einer hochintegrierten Anordnung einer Brennstoffzellenbaugruppe in einer Motorbaugruppe. Ein radial außenliegender Rotor (1) umfasst eine Mehrzahl von Feldspulen (2) und ein radial innenliegendes Stator (3) umfasst wenigstens einen Brennstoffzellenstapel (4). Erfindungsgemäß umfasst der wenigstens eine Brennstoffzellenstapel (4) wenigstens zwei im Wesentlichen parallel zueinander angeordnete, gegenläufig elektrisch durchflossene Stapelabschnitte (4a, 4b), zum Erzeugen wenigstens eines elektromagnetischen Statorfeldes mittels eines elektrochemisch erzeugten Stromflusses durch den wenigstens einen Brennstoffzellenstapel (4).

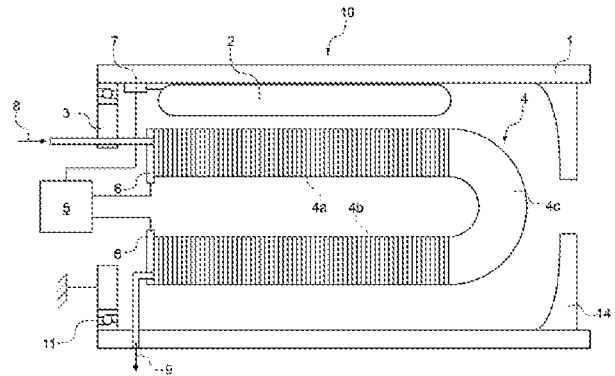


Fig. 4

## Zusammenfassung

Die vorliegende Erfindung betrifft eine drehende elektrische Maschine (10) mit einer hochintegrierten Anordnung einer Brennstoffzellenbaugruppe in einer Motorbaugruppe. Ein radial außenliegender Rotor (1) umfasst eine Mehrzahl von Feldspulen (2) und ein radial innenliegenden Stator (3) umfasst wenigstens einen Brennstoffzellenstapel (4). Erfindungsgemäß umfasst der wenigstens eine Brennstoffzellenstapel (4) wenigstens zwei im Wesentlichen parallel zueinander angeordnete, gegenläufig elektrisch durchflossene Stapelabschnitte (4a, 4b), zum Erzeugen wenigstens eines elektromagnetischen Statorfeldes mittels eines elektrochemisch erzeugten Stromflusses durch den wenigstens einen Brennstoffzellenstapel (4).

Fig. 4

## **Drehende elektrische Maschine mit hochintegrierter Brennstoffzellenbaugruppe**

Die vorliegende Erfindung betrifft eine drehende elektrische Maschine, mit anderen Worten eine drehende elektrisch generierende Maschine, mit einer hochintegrierten Anordnung einer Brennstoffzellenbaugruppe und einer Motorbaugruppe sowie ein System, insbesondere ein Notfallaggregat für mechanische Leistung mit demselben.

Die drehende elektrische Maschine findet Anwendung auf dem Gebiet der elektrochemischen Leistungserzeugung aus erneuerbaren Energien, insbesondere in Form von Wasserstoff gespeicherter Energie. Dabei kann die Erfindung beispielsweise als Notfallaggregat zur Bereitstellung von mechanischer Leistung bei einem Stromausfall oder ähnlichem verwendet werden.

Es sind Notstromsysteme und autarke Inselsysteme bekannt, die bei einem Ausfall eines Versorgungsnetzes ersatzweise oder permanent elektrische Energie bereitstellen, wobei derartige Systeme in unterschiedlichen Dimensionen zunehmend auch auf einer Leistungserzeugung aus der Brennstoffzellentechnologie basieren.

In der Regel bestehen die Systeme aus separaten Einheiten der hauptsächlichen Systemkomponenten, wie einem Brennstoffzellenstapel, Spannungswandlern und, je nach erforderter Leistung bei einem Stromausfall, einem passend konfigurierten elektrischen Antrieb für eine Pumpe oder ein Gebläse bzw. ggf. einem Generator. Je nach Leistungsstärke der einzelnen Systemkomponenten und Komplexität der Leistungsumwandlungen erfordern derartige Systeme einen entsprechend großen Bau- raum und haben ein hohes Gewicht.

Es bestehen Bedarfsfälle für ganzjahres Speicher in der Gebäudetechnik, in vorübergehend stationären Anwendungen oder autarken, zumindest zeitweise mobilen Anwendungen, in denen eine Ausfallsicherheit bei Stromausfall oder eine gelegentlich autarke Erzeugung von verschiedenen mechanischen Leistungsformen gewünscht ist. Demnach besteht Bedarf an einer ggf. handhabbaren Einheit oder einem entsprechenden System zur autarken Leistungserzeugung mit einem kompakten Aufbau und einer verringerten Anzahl an separat mitzuführenden bzw. zu installierenden Komponenten im Vergleich zu einem herkömmlichen System.

Es wurden Ansätze zur Integration von Elektromotoren und Brennstoffzellen verfolgt. Ein Ansatz stellt auf einem Motortyp mit Permanentmagneten ab, deren Materialeinsatz von seltenen Erden insbesondere bei mittlerer und größerer Leistungsdimensionierung relativ kostenintensiv ist. Ein anderer Ansatz sieht eine mit dem Motorrotor gekoppelte, rotierende Brennstoffzelle vor, deren Fluidversorgung und Auswuchtungsgleichgewicht sich entsprechend aufwändig gestaltet und Bedenken hinsichtlich des Wartungsbedarfs und Zuverlässigkeit aufwirft.

Es ist eine Aufgabe der Erfindung, eine kompakte, bauteilreduzierte und/oder wartungsarme Technik zu schaffen, welche die Funktionen einer erneuerbaren, elektrochemischen Energieerzeugung und einer mechanischen Leistungsumwandlung integriert in einer Einheit vereint. Es ist ferner eine Aufgabe der Erfindung, eine dementsprechende integrierte Einheit in Form einer drehenden elektrischen Maschine bereitzustellen, die vergleichsweise kostengünstig ohne den Einsatz von seltenen Erden herstellbar ist, und einen vergleichsweise einfachen, wartungsarmen Aufbau aufweist.

Die voranstehenden Aufgaben werden gelöst durch eine drehende elektrische Maschine mit den Merkmalen des Anspruchs 1. Weitere Merkmale und Details der Erfindung ergeben sich aus den Unteransprüchen, der Beschreibung und den Zeichnungen.

Die erfindungsgemäße drehende elektrische Maschine umfasst eine hochintegrierte Anordnung einer Brennstoffzellenbaugruppe in einer Motorbaugruppe. Ein radial außenliegender Rotor umfasst eine Mehrzahl von Feldspulen, zum Erzeugen von elektromagnetischen Rotorfeldern mittels eines individuellen Stromflusses durch die Feldspulen. Ein radial innenliegender Stator umfasst wenigstens einen Brennstoffzellenstapel, zur elektrochemischen Erzeugung von elektrischer Leistung für die Feldspulen des Rotors aus Reaktionsgasen. Erfindungsgemäß umfasst insbesondere der wenigstens eine Brennstoffzellenstapel wenigstens zwei im Wesentlichen parallel zueinander angeordnete, gegenläufig elektrisch durchflossene Stapelabschnitte, zum Erzeugen wenigstens eines elektromagnetischen Statorfeldes mittels eines elektrochemisch erzeugten Stromflusses durch den wenigstens einen Brennstoffzellenstapel.

Die Erfindung sieht somit erstmals einen hochintegrierten Aufbau aus einem Elektromotor und einem Brennstoffzellenstapel vor, bei dem der Brennstoffzellenstapel die

Funktion einer Feldspule am Motorstator übernimmt. Basierend auf dem Prinzip einer Leiterschleife eines elektrischen Leiters mit parallelen, gegenläufig durchflossenen Schleifenabschnitten, bildet sich um den erfindungsgemäß ausgebildeten Brennstoffzellenstapel mit eben solchen elektrisch gegenläufig durchflossenen Stapelabschnitten herum, ein bipolares elektromagnetisches Feld, welches als Statorfeld für einen Elektromotor, insbesondere eine fremderregte Synchronmaschine verwendet wird. Dabei treten schaltbare Rotorfelder von elektromagnetischen Feldspulen am Motorrotor mit dem durch den erfindungsgemäß ausgebildeten Brennstoffzellenstapel statisch erzeugten Statorfeld in elektromagnetische Wechselwirkung und bewirken in bekannter Weise unter entsprechender externer Steuerung von Phasenströmen für die Rotorfelderzeugung eine in Rotation gerichtete motorische Kraft.

Als ein Vorteil der Erfindung wird dadurch eine kompakte Einheit bereitgestellt, in welcher die Systemkomponente zur Energieerzeugung und die Systemkomponente eines elektrischen Antriebs auf kleinem baulich integriert sind.

Ein weiterer Vorteil besteht darin, dass aufgrund der direkten Umwandlung von elektrischer Energie in Bewegungsenergie in der erfindungsgemäßen drehenden elektrischen Maschine, Systemkomponenten eines herkömmlichen Systems, wie ein Batteriespeicher zum Puffern von Energie entfallen.

In diesem Zusammenhang besteht ein darüberhinausgehender Vorteil der Erfindung darin, dass eine hochintegrierte Anordnung von zwei Baugruppen geschaffen wird, welche sich dadurch auszeichnet, dass die Funktion eines Bauteils aus der Motorbaugruppe, d.h. der Statorspulen, durch ein anderes Bauteil aus der Brennstoffzellenbaugruppe, d.h. einer Leiterstruktur und Form des Brennstoffzellenstapels übernommen wird, wonach das betreffende Bauteil ersatzlos entfallen kann.

Zudem besteht ein Vorteil darin, dass im Vergleich zu einem herkömmlichen System keine Zuführung von elektrischer Energie aus einem Batteriespeicher oder einem Netzanschluss zum Starten von Systemkomponenten erforderlich ist. Durch Befüllung der Anoden des Brennstoffzellenstapels mit einem Brennstoffgas wird an dem Brennstoffzellenstapel eine initiale Spannung erzeugt, welche mittels des Inverters einen positiven Regelkreis zur Umschaltung der Rotorpole sowie eine Rotation des Synchronmotors in Gang setzt. Somit ist ein Betriebspunkt der erfindungsgemäßen drehenden elektrischen Maschine bereits lediglich mittels Anpassung einer Durch-

flussrate der Brennstoffgaszufuhr, d.h. unter Verzicht bzw. Einsatz sehr einfacher primärer Steuerungstechnik, einstellbar bzw. steuerbar.

Als weitere Vorteile der Erfindung ergeben sich durch Verringerung der Anzahl an Systemkomponenten und Bauteile eine Einsparung von Bauraum, Gewicht, Material, Fertigungsaufwand und Kosten. Ebenso vorteilhaft verringern sich durch die geringere Anzahl an erforderlichen Bauteilen ein Wartungsbedarf und eine Störanfälligkeit der der erfindungsgemäßen drehenden elektrischen Maschine im Vergleich zu einem herkömmlichen System, insbesondere in Notfallsituationen wie einem Stromausfall in einem Versorgungsnetz.

Gemäß einem vorteilhaften Aspekt der Erfindung kann der wenigstens eine Brennstoffzellenstapel einen U-förmigen Wendeabschnitt aufweisen, der die gegenläufig elektrisch durchflossenen Stapelabschnitte in Serienschaltung elektrisch verbindet. Somit kann auch ein nicht parallel gegenläufiger Abschnitt des Brennstoffzellenstapels für die Energieerzeugung genutzt werden. Ferner wird im Sinne einer Leiter schleife ein homogener Stromfluss basierend auf einem ähnlichen elektrischen Widerstand bzw. Leitfähigkeit über die gesamte Stapellänge durch den Brennstoffzellenstapel erzielt.

Gemäß einem vorteilhaften Aspekt der Erfindung kann der U-förmige Wendeabschnitt eine Fluidverbindung für die Reaktionsgase zwischen den Stapelabschnitten aufweisen. Dadurch wird eine integrale und strukturell homogene Fluidversorgung über die gesamte Stapellänge durch den Brennstoffzellenstapel erzielt.

Gemäß einem vorteilhaften Aspekt der Erfindung kann der Stator wenigstens zwei Brennstoffzellenstapel mit jeweils zwei gegenläufig elektrisch durchflossenen Stapelabschnitten umfassen, zur Bereitstellung von vier Statorpolen. Durch die Erhöhung der Polzahl am Stator wird eine gleichmäßigere Drehmomentverteilung in Bezug auf eine Umdrehung des Elektromotors erzielt.

Gemäß einem vorteilhaften Aspekt der Erfindung kann der Rotor drei Feldspulen umfassen, zur Bereitstellung von drei Rotorpolen. In dieser Konfiguration wird eine leicht verfügbare Regelungstechnik basierend auf einem dreiphasigen Drehstrom zur Ansteuerung der erfindungsgemäßen drehenden elektrischen Maschine eingesetzt.

Gemäß einem vorteilhaften Aspekt der Erfindung kann der Rotor sechs Feldspulen umfassen, zur Bereitstellung von sechs Rotorpolen. Durch die Erhöhung der Polzahl

am Rotor wird eine gleichmäßigere Drehmomentverteilung in Bezug auf eine Umdrehung des Elektromotors erzielt.

Gemäß einem vorteilhaften Aspekt der Erfindung kann am Rotor ein mit wenigstens einer Feldspule des Rotors elektrisch verbundener Schleifring bereitgestellt sein und ein im gegenseitigen Kontakt stehender, mit wenigstens einem Phasenstrom einer Invertervorrichtung elektrisch verbundener Schleifkontakt. Somit wird auf einfache Weise eine elektrische Verbindung zwischen stehenden und rotierenden Bauteilen der Motorbaugruppe bereitgestellt.

Gemäß einem vorteilhaften Aspekt der Erfindung können mehrere strömungsgerichtete Flügelemente bereitgestellt sein, die mit dem Rotor gekoppelt sind, zum Erzeugen eines zum Stator gerichteten, konvektiv kühlenden Luftstroms. Somit wird der Brennstoffzellenstapel mit geringem technischen Aufwand gekühlt.

Gemäß einem vorteilhaften Aspekt der Erfindung kann ein Systemumfeld der drehenden elektrischen Maschine eine Invertervorrichtung bereitgestellt sein, die dazu eingerichtet ist, einen von dem Brennstoffzellenstapel bereitgestellten Gleichstrom in Phasenströme umzuwandeln, die jeweils einer der Feldspulen des Rotors zugeordnet sind, zur Bereitstellung eines individuellen Stromflusses durch jede Feldspule des Rotors. Somit wird im Vergleich zur einer möglichen mechanischen Ausführungsform mit einem zur Welle gekoppelten Alternator, eine Ausführungsform mit einer elektronischen, flexibleren und selbsttätig anlaufenden Steuerung bereitgestellt.

Gemäß einem vorteilhaften Aspekt der Erfindung kann ein Systemumfeld der drehenden elektrischen Maschine eine Flüssigkeitskühlung umfassend eine Pumpe, einen Wärmetauscher, eine Kühlmittelzuleitung zu und eine Kühlmittelableitung aus dem Brennstoffzellenstapel bereitstellen. Somit wird die Abwärme aus der elektrochemischen Energieerzeugung besser aus hochleistungsfähigen Brennstoffzellenstapeln abgeführt.

Gemäß einem vorteilhaften Aspekt der Erfindung kann ein Systemumfeld der drehenden elektrischen Maschine Fluidzuleitungen zum Zuführen von Reaktionsgasen zu dem wenigstens einen Brennstoffzellenstapel und Fluidableitungen zum Ableiten der reagierten Abgase aus dem wenigstens Brennstoffzellenstapel bereitstellen, wobei die Fluidableitungen zu einer Umgebung geöffnet sind. Somit wird eine technisch

einfache Ausführungsform zugunsten einer kompakten und wartungsarmen Technik geschaffen.

Gemäß einem vorteilhaften Aspekt der Erfindung kann eine Fluidableitung aus einem Anodenabschnitt des Brennstoffzellenstapels in einem Drehverteiler enden, der mit dem Rotor gekoppelt ist. Der Drehverteiler erzeugt in strömungsdynamisch geeigneter Ausgestaltung eine Spülung in dem Anodenpfad des Brennstoffzellenstapels. Ferner wird das Anodenabgas mittels der Rotation homogener in der Umgebung verteilt, wodurch lokale Ansammlungen einer ggf. kritischen Konzentration von Stickstoff besser verhindert werden.

Gemäß einem vorteilhaften Aspekt der Erfindung kann ein Systemumfeld der drehenden elektrischen Maschine einen Durchflussregler bereitstellen, der eine Flussrate der Reaktionsgase in den Zuleitungen jeweils regelt. Somit wird im Vergleich zu einer möglichen Ausführungsform mittels manuell einstellbarem Durchflussventil eine Ausführungsform mit flexiblerer Steuerung geschaffen.

Gemäß einem vorteilhaften Aspekt der Erfindung kann wenigstens eine Zuleitung ein Ventil vom stromlos geöffneten Typ umfassen, an dem eine Netzspannung angelegt ist. Somit wird ein Notstromsystem geschaffen, das bei einem Stromausfall in einem Versorgungsnetz selbsttätig die elektrochemische Energieerzeugung und die elektrisch drehende Maschine in Gang setzt.

Gemäß einem vorteilhaften Aspekt der Erfindung können die Reaktionsgase jeweils in einem geschlossenen Druckbehälter gespeichert sein. Beispielsweise durch einen Druckspeicher für das Oxidationsgas wird eine Ausführungsform mit verbesserter Starteigenschaft, insbesondere ohne Erfordernis einer Startenergiezuführung, im Vergleich zu einer möglichen Ausführungsform mit einer offenen Luftansaugung oder einer motorisch unterstützten Luftkompression geschaffen.

Gemäß einem vorteilhaften Aspekt der Erfindung kann ein Systemumfeld der drehenden elektrischen Maschine eine Pumpe oder eine Strömungsmaschine bereitstellen, die mit dem Rotor mechanisch gekoppelt ist. Somit kann bei Bedarf die mechanisch bereitgestellte Energie ganz oder teilweise zur autarken Bereitstellung oder einer Aufrechterhaltung einer ggf. sicherheitsrelevanten Förderleistung genutzt werden.

Weitere Vorteile, Merkmale und Einzelheiten der Erfindung ergeben sich aus der nachfolgenden Beschreibung, in der unter Bezugnahme auf die Zeichnungen, Ausführungsbeispiele der Erfindung im Einzelnen beschrieben sind. Dabei können die in den Ansprüchen und in der Beschreibung erwähnten Merkmale jeweils einzeln für sich oder in beliebiger Kombination erfindungswesentlich sein. Es zeigen schematisch:

- Fig. 1 eine allgemeine Darstellung eines bekannten Versuchsaufbaus zur Erläuterung des zugrundeliegenden physikalischen Wirkungsprinzips einer Leiterschleife in einem Magnetfeld;
- Fig. 2A eine allgemeine Darstellung einer physikalischen Gesetzmäßigkeit an einem durchflossenen Leiter;
- Fig. 2B eine Darstellung zur Übertragung des physikalischen Wirkungsprinzips einer Leiterschleife auf einen erfindungsgemäß ausgebildeten Brennstoffzellenstapel;
- Fig. 3 ein Blockdiagramm zur schematischen Darstellung von Systemkomponenten eines Systemumfelds der erfindungsgemäßen drehenden elektrischen Maschine;
- Fig. 4 einen Längsschnitt durch eine drehende elektrische Maschine gemäß einer Ausführungsform der Erfindung;
- Fig. 5 einen Längsschnitt durch die drehende elektrische Maschine und ein Systemumfeld gemäß einer Ausführungsform der Erfindung;
- Fig. 6A einen Querschnitt durch eine Ausführungsform der drehenden elektrischen Maschine mit einer ersten Konfiguration der Polanzahl;
- Fig. 6B einen Querschnitt durch eine Ausführungsform der drehenden elektrischen Maschine mit einer zweiten Konfiguration der Polanzahl;
- Fig. 6C einen Querschnitt durch eine Ausführungsform der drehenden elektrischen Maschine mit einer dritten Konfiguration der Polanzahl; und

Fig. 7 ein Nyquist Diagramm und ein schematisches Ersatzschaltbild zur Erläuterung einer frequenzabhängigen Impedanz eines Brennstoffzellenstapels im Hinblick auf eine Funktionalität als Feldspule.

#### Ausführliche Beschreibung der Ausführungsformen

In Fig. 1 ist ein aus der physikalischen Lehre bekannter Versuchsaufbau zur Demonstration der Lorentz Kraft dargestellt, an dem sich das Grundprinzip eines Motors oder Generators und eine Technik zur Kontaktierung von rotatorisch bewegten Leitern einer Synchronmaschine mit einem Permanentmagnetfeld nachvollziehen lässt. Dieses Prinzip wird auch der drehenden elektrischen Maschine 10 zugrunde gelegt.

Fig. 2A zeigt ferner eine aus der physikalischen Lehre bekannte Darstellung eines Magnetfeldes, das sich gemäß der „Rechte-Hand-Regel“ um einen stromdurchflossenen Leiter ausbildet, wobei der Leiter durch einen Brennstoffzellenstapel ersetzt ist. Fig. 2B stellt einen U-förmig ausgebildeten Brennstoffzellenstapel 4 dar, welcher eine Weiterbildung aus der Leiterschleife aus Fig. 1 und des Brennstoffzellenstapels aus Fig. 2A ist. Mit anderen Worten kann der U-förmig ausgebildete Brennstoffzellenstapel 4 anstelle der Leiterschleife in Fig. 1 eingesetzt werden. Darauf aufbauend sieht der Aufbau der drehenden elektrischen Maschine 10 vor, die Funktionen eines Rotors und eines Stators des Aufbaus aus Fig. 1 radial zu tauschen. Ferner sieht der Aufbau der drehenden elektrischen Maschine 10 vor das statische Permanentmagnetfeld durch ein steuerbares elektromagnetisches Feld zu ersetzen.

Fig. 3 stellt Bestandteile der drehenden elektrischen Maschine 10 sowie eine Verknüpfung von interagierenden Systemkomponenten dar. So wird beispielsweise zunächst eine in dem entsprechenden Systemumfeld gespeicherte chemische Energie in einem Behälter mit Brennstoffgas, z.B. Wasserstoff ( $H_2$ ), und ein Oxidationsgas, z.B. Luftsauerstoff oder konzentrierter Sauerstoff ( $O_2$ ) einer Brennstoffzelle 4 (FC) zugeführt. In der Brennstoffzelle 4 erfolgt die Umwandlung in elektrische Energie in Form eines Gleichstroms, welcher über einen Inverter 5 in einen mehrphasigen Wechselstrom umgewandelt, einer Mehrzahl von Spulen 2 zur Erzeugung individueller elektromagnetischer Felder zugeführt wird.

In Fig. 4 ist eine Ausführungsform der drehenden elektrischen Maschine 10 im Längsschnitt dargestellt. Es sind drei Feldspulen 2 über den Umfang eines Rotors 1 angeordnet, wovon eine Feldspule 2 im Schnittbild erfasst ist. Der glockenförmige

Rotor 1 ist radial äußerliegend über ein Kugellager 11 an einem radial innenliegenden Stator 3 drehbar gelagert. Die Rotorglocke weist an einem freien Ende Flügelemente 14 auf, die derart gerichtet sind, dass sie bei Rotation einen Luftstrom durch den Rotor 1 erzeugen. Innerhalb der Rotorglocke ist ein Brennstoffzellenstapel 4 an dem Stator 3 angeordnet. Ein elektrisches Potential zwischen zwei Endplatten 6 des Brennstoffzellenstapels 5 ist zur Zuführung eines erzeugten Gleichstroms mit einem Eingang einer steuerbaren Invertervorrichtung 5 zur dreiphasigen DC/AC-Umwandlung elektrisch verbunden. Drei Phasenausgänge der Invertervorrichtung 5 sind über einen Gleitkontakt in Form einer Kohlebürste und einem Gleitring 7 jeweils mit einer der drei Feldspulen 2 an dem Rotor 1 elektrisch verbunden. Ein Massepotential ist über den Rotor 1 und den Stator 3 geerdet.

Der Brennstoffzellenstapel 4 ist U-förmig ausgestaltet und umfasst dementsprechend zwei freie Enden, an denen die Endplatten 6 angeordnet sind. Zwei parallel zueinander verlaufende Stapelabschnitte 4a und 4b des Brennstoffzellenstapels 4 sind über einen Wendeabschnitt 4c elektrisch verbunden und entsprechend einer gemeinsamen Stapelrichtung in Serie geschaltet. Somit werden die parallelen Stapelabschnitte 4a und 4b, deren einzelne Brennstoffzellen ebenfalls in Serie geschaltet sind, von einem Stromfluss der erzeugten Energie, gegenläufig zwischen den beiden Potentialen an den Endplatten 6 durchflossen. Die parallelen Stapelabschnitte 4a und 4b und der Wendeabschnitt 4c umfassen einen gleichartigen inneren Querschnitt in Bezug auf eine Fluidversorgung, welche den Brennstoffzellenstapel 4 in Stapelrichtung durchströmt. Hierzu sind insbesondere eine Zuleitung 8 von Reaktionsgasquellen und eine Ableitung 9 von Abgasen bzw. Produktwasser in eine Umgebung, an den gegenüberliegenden Enden des Brennstoffzellenstapels 4 angeordnet.

In der in Fig. 4 dargestellten Ausführungsform umfasst der Wendeabschnitt 4c zugunsten einer Verwendung von einheitlichen Teilen in einer Stapelstruktur keine Brennstoffzellen im gekrümmten Bereich des Wendeabschnitts 4c. In einer alternativen Ausführungsform kann der Wendebereich 4c ebenfalls gestapelte einheitliche bzw. planar geformte Brennstoffzellen umfassen, die mit in Bezug auf die Krümmung des Wendebereichs 4c angepassten Bipolarplatten oder sonstigen dazwischenliegenden Verbindungselementen gestapelt sind. In einer weiteren alternativen Ausführungsform kann der Wendeabschnitt 4c eine andere Form als eine gekrümmte U-Form, z.B. eine rechteckige Form aufweisen. Ferner kann in einer alternativen Ausführungsform der Wendeabschnitt 4c lediglich aus elektrischen Leitern und Leitungen

zur elektrischen Verbindung und zur Fluidverbindung zwischen den Stapelabschnitten 4a und 4b bestehen.

Fig. 5 zeigt ein Systemumfeld, in dem eine Ausführungsform der drehenden elektrischen Maschine 10 eingebettet ist, und welches sich insbesondere als Notfallaggregat oder mobiles Aggregat zur Bereitstellung von mechanischer Leistung aus erneuerbarer, chemisch gespeicherter Leistung eignet. Die drehende elektrische Maschine 10 umfasst hierbei am Rotor 1 sechs Feldspulen 2, von denen zwei Feldspulen im dargestellten Längsschnitt erfasst sind. Eine übrige Ausgestaltung der Rotorglocke und des Stators mit dem Brennstoffzellenstapel 4 entsprechen im Wesentlichen der Ausführungsform aus Fig. 4. Zusätzlich wird der Brennstoffzellenstapel 4 der drehenden elektrischen Maschine 10 zur Verbesserung einer Leistungsfähigkeit durch eine Flüssigkeitskühlung 15 gekühlt. Die Flüssigkeitskühlung 15 umfasst hierzu eine Zuleitung und Ableitung sowie die üblichen, nicht weiter detailliert dargestellten Komponenten eines Radiators und einer Pumpe zur Zirkulation eines Kühlmittels durch den Brennstoffzellenstapel 4 und den Radiator.

Als Energiespeicher sind zwei Druckbehälter 13h und 13o bereitgestellt, die mit hochkonzentriertem Wasserstoff und Sauerstoff als Brennstoffgas bzw. als Oxidationsgas befüllt sind. Ein Durchflussregler 12 öffnet, schließt und reguliert eine Zuleitung 8h zum Zufluss des Wasserstoffs aus dem Druckbehälter 13h in die Anoden und eine Zuleitung 8o zum Zufluss des Sauerstoffs aus dem Druckbehälter 13o in die Kathoden der Brennstoffzellen des Brennstoffzellenstapels 4. Die vereinfacht dargestellten Ableitungen 9h und 9o münden in eine Umgebung, wobei zumindest die Ableitung 9h zum Auslassen des Anodenabgas mit einem Restgehalt an Wasserstoff, an einem Drehverteiler angeschlossen ist. Dieser ist als ein nicht weiter dargestellter Drehteller mit innenliegender Kanalführung ausgebildet, welcher mit dem Rotor 1 gekoppelt ist, um eine rotatorische Verteilung von unverbrauchtem Wasserstoff in der Umgebung unter Vermeidung lokaler Konzentrationsbildungen zu gewährleisten.

In einer alternativen Ausführungsform kann anstelle des Durchflussreglers 12 ein manuell betätigbares Durchflussventil an den Zuleitungen 8 vorgesehen sein. In einer, insbesondere als Ersatzaggregat bei Stromausfällen geeigneten, Ausführungsform ist anstelle oder zusätzlich zu dem Durchflussregler 12 stromlos geöffnete Ventile vorgesehen, die bei Wegfall einer Versorgungsnetzspannung selbsttätig eine Öffnung der Fluidversorgung und ein Anlaufen der drehenden elektrischen Maschine

10 auslösen. In einer vereinfachten Ausführungsform entfällt der Druckbehälter 130 für das Oxidationsgas, wobei die Zuleitung 80 offen gestaltet ist, zur Durchleitung von Luftsauerstoff aus der Umgebung. In einer weiterführenden Ausführungsform kann ein Gebläse vorgesehen sein, welches Luftsauerstoff in die Zuleitung 80 zuführt. Dabei kann das Gebläse mechanisch angetrieben und mit dem Rotor 1 gekoppelt sein, oder das Gebläse kann elektrisch angetrieben sein und von dem Brennstoffzellenstapel 4 elektrisch versorgt werden, vorzugsweise über ein Relais zur verzögerten Leistungsabnahme während eine Anlaufphase der drehenden elektrischen Maschine 10.

In den Figuren 6A, 6B und 6C sind verschiedene Konfigurationen der Anzahl von Statorpolen und Rotorpolen für Ausführungsformen der drehenden elektrischen Maschine 10 dargestellt. Fig. 6A zeigt die zu Fig. 4 beschriebene Ausführungsform mit drei Rotorpolen entsprechend den über den Umfang des Rotors 1 verteilten drei Feldspulen 2 und zwei Statorpolen entsprechend einem U-förmigen Brennstoffzellenstapel 4 am Stator 3. Die Konfiguration in Fig. 6B umfasst eine Anordnung von zwei ineinander verschränkten U-förmigen Brennstoffzellenstapeln 4 zur Ausbildung von vier Statorpolen gegenüber 3 Rotorpolen. Die Konfiguration in Fig. 6C umfasst darüber hinaus die doppelte Anzahl an Feldspulen 2 am Rotor 1 zur Ausbildung von 6 Rotorpolen gegenüber vier Statorpolen.

Die Feldspulen 2 am Rotor 1 der drehenden elektrischen Maschine werden vergleichbar zu einer Ansteuerung von Feldspulen an einem Stator einer bekannten fremderregten Synchronmaschine geschaltet. So werden in Rotationsrichtung umschaltende Magnetfelder in Umdrehungsrichtung und Drehgeschwindigkeit bzw. Frequenz gesteuert, die am Rotor 1 der drehenden Maschine 10 anstatt an einem Stator einer herkömmlichen fremderregten Synchronmaschine erzeugt werden. Diese wirken mit einem statischen Magnetfeld zusammen, dass am Stator 3 der drehenden Maschine 10 anstatt an einem Rotor einer herkömmlichen fremderregten Synchronmaschine erzeugt wird.

Fig. 7 zeigt eine Hilfsschaltung und ein Bode-Plot bzw. Diagramm eines realen und eines imaginären Anteils der frequenzabhängigen Impedanz einer beispielgebenden Ausführungsform des Brennstoffzellenstapels 4. Daraus ergibt sich ein geringer Anteil des realen Innenwiderstands in einem Frequenzbereich um etwa 1000 Hz. Der Frequenzbereich eines möglichst niedrigen Innenwiderstands bzw. Impedanz des

Brennstoffzellenstapels 4 dient zur Optimierung einer Ansteuerungsfrequenz der Feldspulen 2 am Rotor 1 durch die Invertervorrichtung 5 auf einen möglichst effizienten Betriebspunkt der drehenden elektrischen Maschine 10. Ein solcher Betriebspunkt wird durch im Brennstoffzellenstapel 4 induzierte Ströme beeinflusst, die aufgrund der Wechselwirkung der rotierenden Magnetfelder auf das statische Magnetfeld am Brennstoffzellenstapel 4 frequenzabhängig induziert werden.

Die voranstehenden Erläuterungen der Ausführungsformen beschreiben die vorliegende Erfindung ausschließlich im Rahmen von Beispielen. Selbstverständlich können einzelne Merkmale der Ausführungsformen, sofern technisch sinnvoll, frei miteinander kombiniert werden, ohne den Rahmen der vorliegenden Erfindung zu verlassen.

**Bezugszeichenliste**

- 1 Rotor
- 2 Feldspule
- 3 Stator
- 4 Brennstoffzellenstapel
- 4A Stapelabschnitt parallel gegenläufig
- 4B Stapelabschnitt parallel gegenläufig
- 4C Wendeabschnitt
- 5 Invertervorrichtung
- 6 Endplatten
- 7 Schleifring / Schleifkontakt
- 8 Zuleitung
- 8h Zuleitung Brennstoffgas
- 8o Zuleitung Oxidationsgas
- 9 Ableitung
- 9h Ableitung Brennstoffgas
- 9o Ableitung Oxidationsgas
- 10 drehende elektrische Maschine
- 11 Lager
- 12 Durchflussregler
- 13h Druckbehälter Brennstoffgas
- 13o Druckbehälter Sauerstoffgas
- 14 Flügelement
- 15 Flüssigkeitskühlung

## Patentansprüche

1. Drehende elektrische Maschine (10) mit einer hochintegrierten Anordnung einer Brennstoffzellenbaugruppe und einer Motorbaugruppe, aufweisend:  
  
einen radial außenliegenden Rotor (1), der eine Mehrzahl von Feldspulen (2) umfasst, zum Erzeugen von elektromagnetischen Rotorfeldern mittels eines individuellen Stromflusses durch die Feldspulen (2); und  
  
einen radial innenliegenden Stator (3), der wenigstens einen Brennstoffzellenstapel (4) aufweist, zur elektrochemischen Erzeugung von elektrischer Leistung für die Feldspulen (2) des Rotors (1) aus Reaktionsgasen ( $H_2$ ,  $O_2$ );  
  
wobei der wenigstens eine Brennstoffzellenstapel (4) wenigstens zwei im Wesentlichen parallel zueinander angeordnete, gegenläufig elektrisch durchflossene Stapelabschnitte (4a, 4b) umfasst, zum Erzeugen wenigstens eines elektromagnetischen Statorfeldes mittels eines erzeugten Stromflusses durch den wenigstens einen Brennstoffzellenstapel (4).
2. Drehende elektrische Maschine (10) nach Anspruch 1, wobei der wenigstens eine Brennstoffzellenstapel (4) einen U-förmigen Wendeabschnitt (4c) aufweist, der die gegenläufig elektrisch durchflossenen Stapelabschnitte (4a, 4b) in Serienschaltung elektrisch verbindet.
3. Drehende elektrische Maschine (10) nach Anspruch 1 oder 2, wobei der U-förmige Wendeabschnitt (4c) eine Fluidverbindung für die Reaktionsgase ( $H_2$ ,  $O_2$ ) zwischen den Stapelabschnitten (4a, 4b) aufweist, zur Herstellung einer integralen Fluidversorgung durch den Brennstoffzellenstapel (4).
4. Drehende elektrische Maschine (10) nach einem der Ansprüche 1 bis 3, wobei der Stator (3) wenigstens zwei Brennstoffzellenstapel (4) mit jeweils zwei gegenläufig elektrisch durchflossenen Stapelabschnitten (4a, 4b) umfasst, zur Bereitstellung von vier Statorpolen.
5. Drehende elektrische Maschine (10) nach einem der Ansprüche 1 bis 4, wobei der Rotor (1) drei Feldspulen (2) umfasst, zur Bereitstellung von drei Rotorpolen.

6. Drehende elektrische Maschine (10) nach einem der Ansprüche 1 bis 4, wobei der Rotor (1) sechs Feldspulen (2) umfasst, zur Bereitstellung von sechs Rotorpolen.
7. Drehende elektrische Maschine (10) nach einem der Ansprüche 1 bis 6, ferner umfassend einen mit wenigstens einer Feldspule (2) des Rotors (1) elektrisch verbundenen Schleifring (7) und einen im gegenseitigen Kontakt stehenden, mit wenigstens einem Phasenstrom einer Invertervorrichtung (5) elektrisch verbundenem Schleifkontakt.
8. Drehende elektrische Maschine (10) nach einem der Ansprüche 1 bis 7, ferner umfassend mehrere strömungsgerichtete Flügelemente (14), die mit dem Rotor (1) gekoppelt sind, zum Erzeugen eines zum Stator (3) gerichteten, konvektiv kühlenden Luftstroms.
9. System mit einer drehenden elektrischen Maschine (10) nach einem der Ansprüche 1 bis 8, ferner aufweisend:  
  
eine Invertervorrichtung (5), die dazu eingerichtet ist, einen von dem Brennstoffzellenstapel (4) bereitgestellten Gleichstrom in Phasenströme umzuwandeln, die jeweils einer der Feldspulen (2) des Rotors (1) zugeordnet sind, zur Bereitstellung eines individuellen Stromflusses durch jede Feldspule (2) des Rotors.
10. System nach Anspruch 9, ferner mit einer Flüssigkeitskühlung (15) umfassend eine Pumpe, einen Wärmetauscher, eine Kühlmittelzuleitung zu und eine Kühlmittelableitung aus dem Brennstoffzellenstapel (4), zur Abfuhr von Abwärme aus dem Brennstoffzellenstapel (4).
11. System nach Anspruch 9 oder 10, ferner mit Fluidzuleitungen (8, 8h, 8o, 9, 9h, 9o) zum Zuführen von Reaktionsgasen zu dem wenigstens einen Brennstoffzellenstapel und Fluidableitungen zum Ableiten der reagierten Abgase aus dem wenigstens einen Brennstoffzellenstapel (4), wobei die Fluidableitungen zu einer Umgebung geöffnet sind.
12. System nach Anspruch 11, wobei eine Fluidableitung (9h) aus einem Anodenabschnitt des Brennstoffzellenstapels (4) in einem Drehverteiler endet, der mit dem Rotor (1) gekoppelt ist, zum Verteilen eines Anodenabgases.

13. System nach einem der Ansprüche 9 bis 12, ferner aufweisend einen Durchflussregler (12), der eine Flussrate der Reaktionsgase in den Zuleitungen (8, 8h, 8o) jeweils regelt.
14. System nach einem der Ansprüche 9 bis 13, wobei eine wenigstens eine Zuleitung (8h) ein Ventil vom stromlos geöffneten Typ umfasst, an dem eine Netzspannung angelegt ist.
15. System nach einem der Ansprüche 9 bis 14, wobei die Reaktionsgase jeweils in einem geschlossenen Druckbehälter (13h, 13o) gespeichert sind.
16. System nach einem der Ansprüche 9 bis 15, ferner aufweisend eine Pumpe oder eine Strömungsmaschine, die mit dem Rotor (1) mechanisch gekoppelt ist, zum Umwandeln von mechanischer Leistung in eine fluiddynamische Förderleistung.

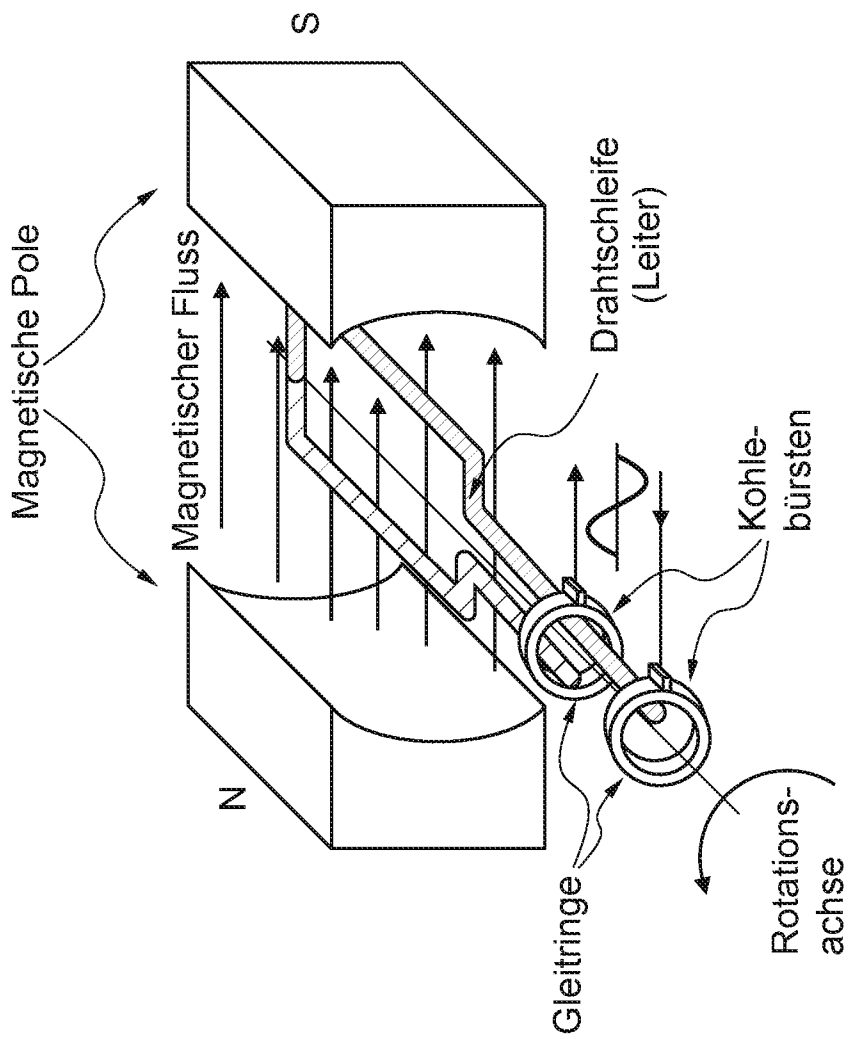


Fig. 1

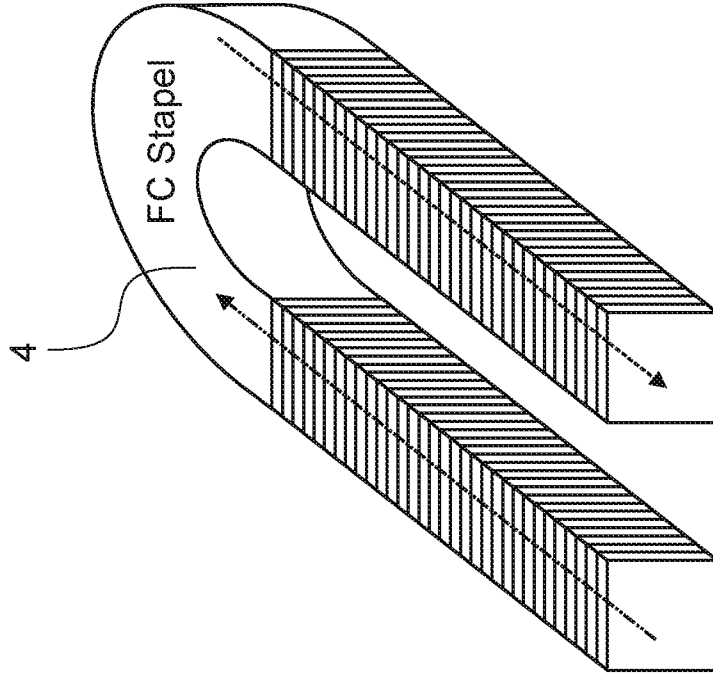


Fig. 2B

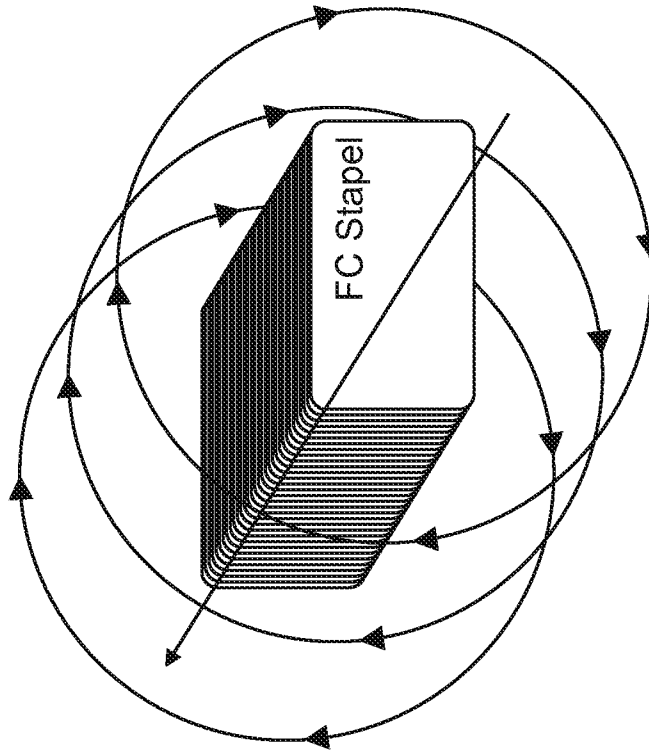


Fig. 2A

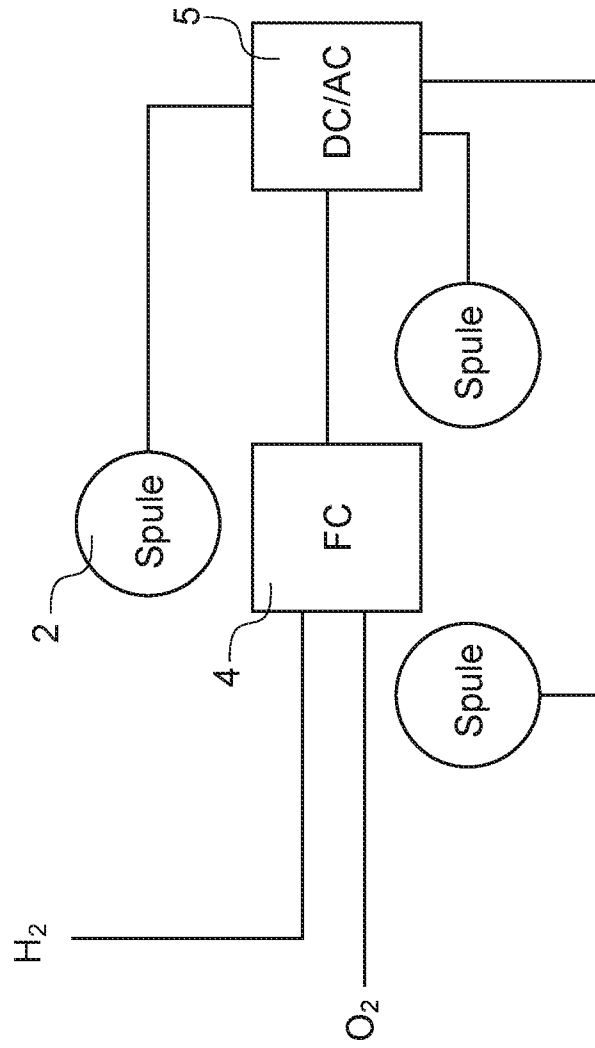


Fig. 3

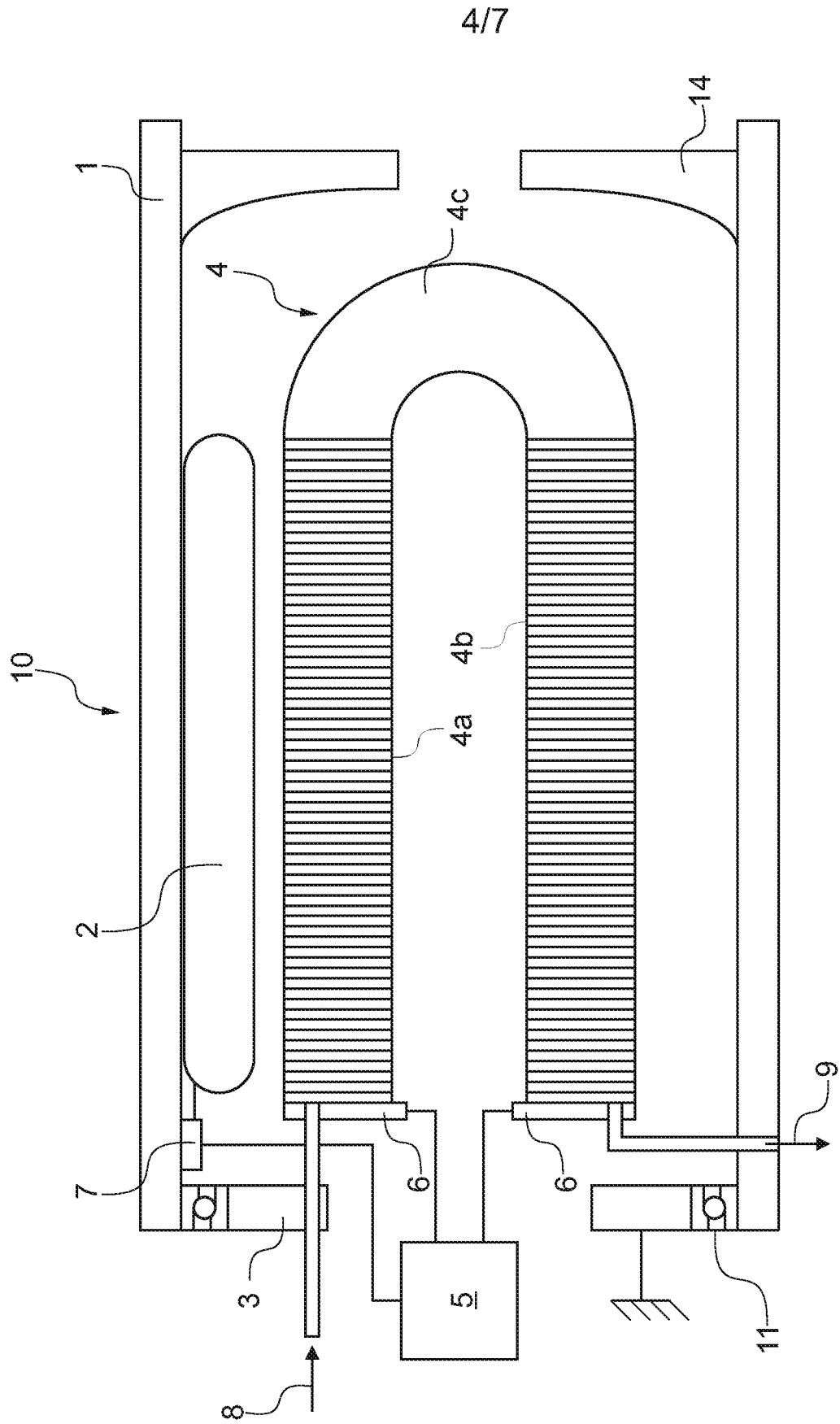


Fig. 4

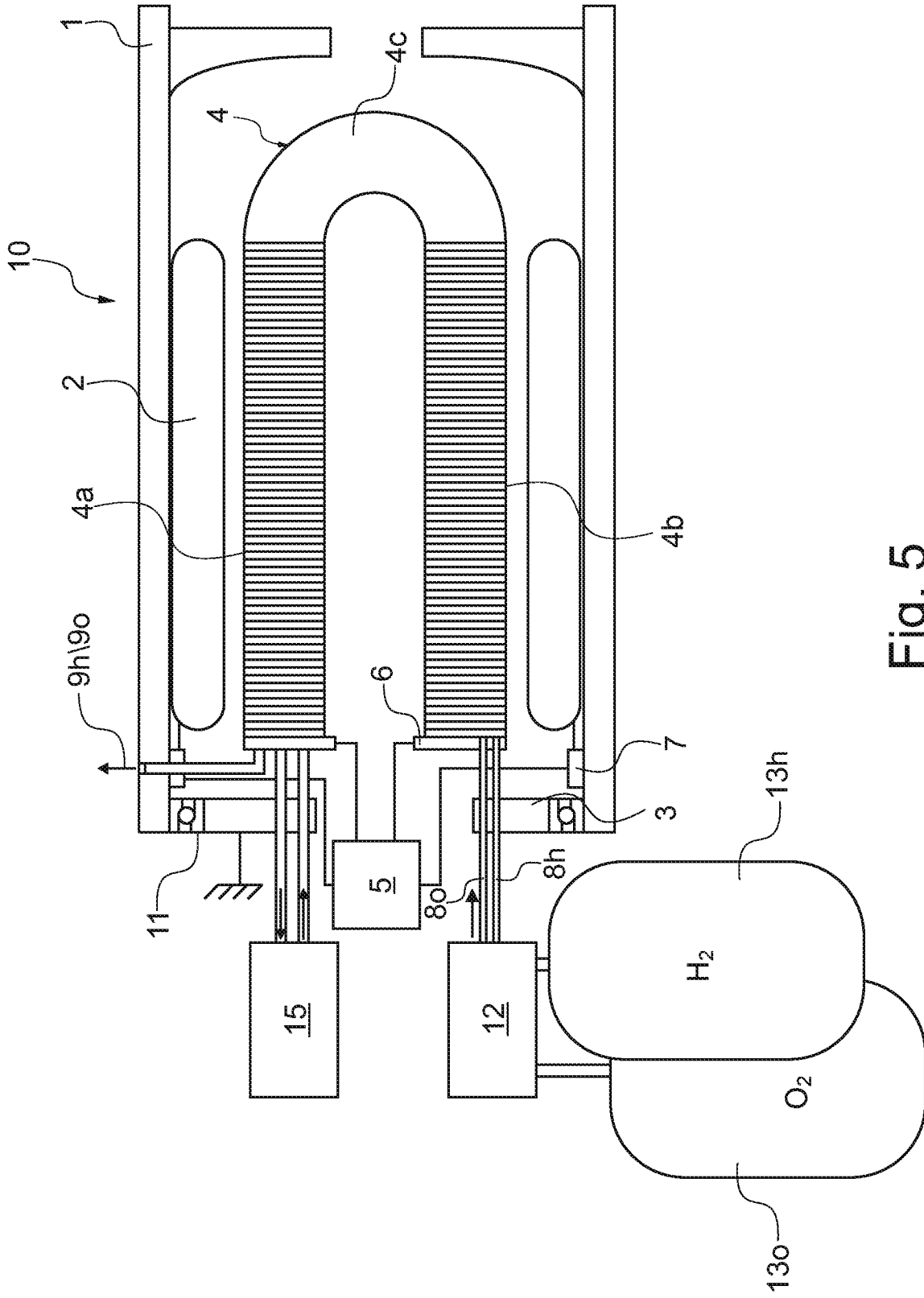


Fig. 5

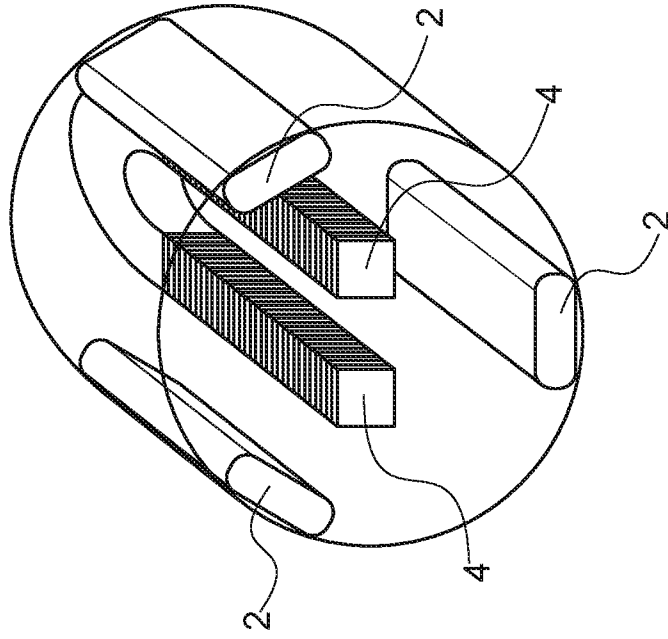


Fig. 6A

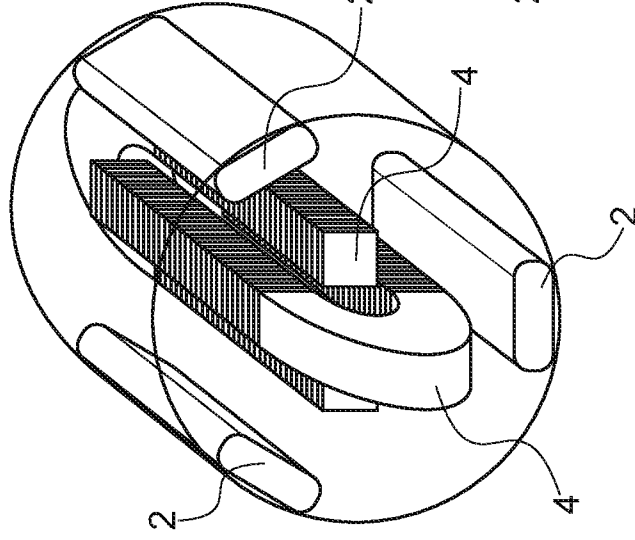


Fig. 6B

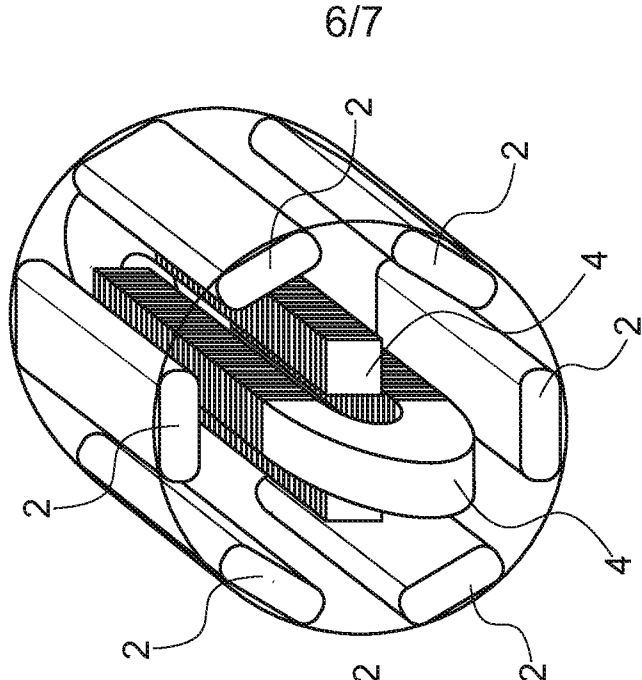


Fig. 6C

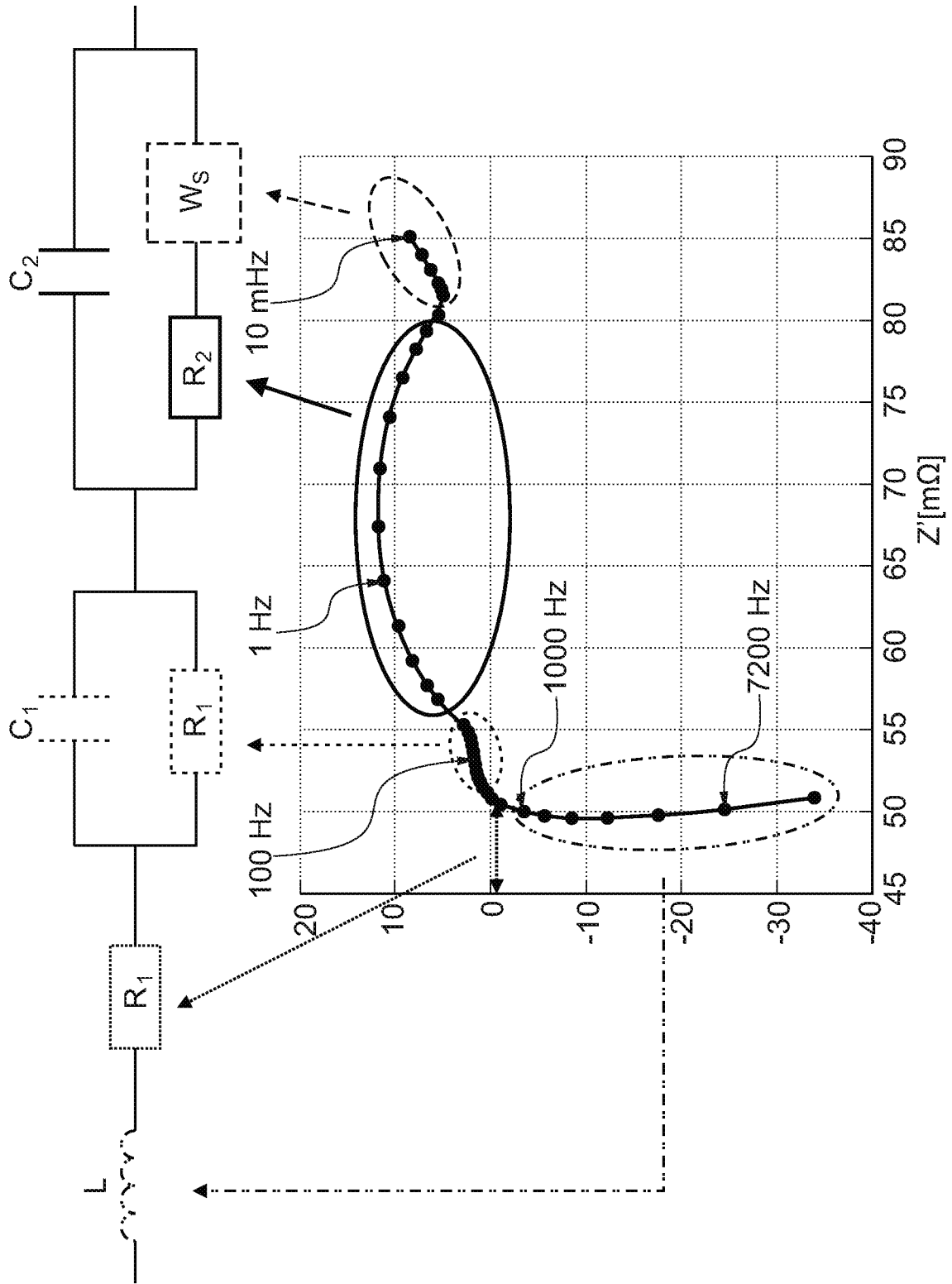


Fig. 7

## Patentansprüche

1. Drehende elektrische Maschine (10) mit einer hochintegrierten Anordnung einer Brennstoffzellenbaugruppe und einer Motorbaugruppe, aufweisend:  
  
einen radial außenliegenden Rotor (1), der eine Mehrzahl von Feldspulen (2) umfasst, zum Erzeugen von elektromagnetischen Rotorfeldern mittels eines individuellen Stromflusses durch die Feldspulen (2); und  
  
einen radial innenliegenden Stator (3), der wenigstens einen Brennstoffzellenstapel (4) aufweist, zur elektrochemischen Erzeugung von elektrischer Leistung für die Feldspulen (2) des Rotors (1) aus Reaktionsgasen ( $H_2$ ,  $O_2$ );  
  
dadurch gekennzeichnet, dass der wenigstens eine Brennstoffzellenstapel (4) wenigstens zwei im Wesentlichen parallel zueinander angeordnete, gegenläufig elektrisch durchflossene Stapelabschnitte (4a, 4b) umfasst, zum Erzeugen wenigstens eines elektromagnetischen Statorfeldes mittels eines erzeugten Stromflusses durch den wenigstens einen Brennstoffzellenstapel (4).
2. Drehende elektrische Maschine (10) nach Anspruch 1, wobei der wenigstens eine Brennstoffzellenstapel (4) einen U-förmigen Wendeabschnitt (4c) aufweist, der die gegenläufig elektrisch durchflossenen Stapelabschnitte (4a, 4b) in Serienschaltung elektrisch verbindet.
3. Drehende elektrische Maschine (10) nach Anspruch 1 oder 2, wobei der U-förmige Wendeabschnitt (4c) eine Fluidverbindung für die Reaktionsgase ( $H_2$ ,  $O_2$ ) zwischen den Stapelabschnitten (4a, 4b) aufweist, zur Herstellung einer integralen Fluidversorgung durch den Brennstoffzellenstapel (4).
4. Drehende elektrische Maschine (10) nach einem der Ansprüche 1 bis 3, wobei der Stator (3) wenigstens zwei Brennstoffzellenstapel (4) mit jeweils zwei gegenläufig elektrisch durchflossenen Stapelabschnitten (4a, 4b) umfasst, zur Bereitstellung von vier Statorpolen.
5. Drehende elektrische Maschine (10) nach einem der Ansprüche 1 bis 4, wobei der Rotor (1) drei Feldspulen (2) umfasst, zur Bereitstellung von drei Rotorpolen.

6. Drehende elektrische Maschine (10) nach einem der Ansprüche 1 bis 4, wobei der Rotor (1) sechs Feldspulen (2) umfasst, zur Bereitstellung von sechs Rotorpolen.
7. Drehende elektrische Maschine (10) nach einem der Ansprüche 1 bis 6, ferner umfassend einen mit wenigstens einer Feldspule (2) des Rotors (1) elektrisch verbundenen Schleifring (7) und einen im gegenseitigen Kontakt stehenden, mit wenigstens einem Phasenstrom einer Invertervorrichtung (5) elektrisch verbundenem Schleifkontakt.
8. Drehende elektrische Maschine (10) nach einem der Ansprüche 1 bis 7, ferner umfassend mehrere strömungsgerichtete Flügelemente (14), die mit dem Rotor (1) gekoppelt sind, zum Erzeugen eines zum Stator (3) gerichteten, konvektiv kühlenden Luftstroms.
9. System mit einer drehenden elektrischen Maschine (10) nach einem der Ansprüche 1 bis 8, ferner aufweisend:  
  
eine Invertervorrichtung (5), die dazu eingerichtet ist, einen von dem Brennstoffzellenstapel (4) bereitgestellten Gleichstrom in Phasenströme umzuwandeln, die jeweils einer der Feldspulen (2) des Rotors (1) zugeordnet sind, zur Bereitstellung eines individuellen Stromflusses durch jede Feldspule (2) des Rotors.
10. System nach Anspruch 9, ferner mit einer Flüssigkeitskühlung (15) umfassend eine Pumpe, einen Wärmetauscher, eine Kühlmittelzuleitung zu und eine Kühlmittelableitung aus dem Brennstoffzellenstapel (4), zur Abfuhr von Abwärme aus dem Brennstoffzellenstapel (4).
11. System nach Anspruch 9 oder 10, ferner mit Fluidzuleitungen (8, 8h, 8o, 9, 9h, 9o) zum Zuführen von Reaktionsgasen zu dem wenigstens einen Brennstoffzellenstapel und Fluidableitungen zum Ableiten der reagierten Abgase aus dem wenigstens einen Brennstoffzellenstapel (4), wobei die Fluidableitungen zu einer Umgebung geöffnet sind.
12. System nach Anspruch 11, wobei eine Fluidableitung (9h) aus einem Anodenabschnitt des Brennstoffzellenstapels (4) in einem Drehverteiler endet, der mit dem Rotor (1) gekoppelt ist, zum Verteilen eines Anodenabgases.

13. System nach einem der Ansprüche 9 bis 12, ferner aufweisend einen Durchflussregler (12), der eine Flussrate der Reaktionsgase in den Zuleitungen (8, 8h, 8o) jeweils regelt.
14. System nach einem der Ansprüche 9 bis 13, wobei eine wenigstens eine Zuleitung (8h) ein Ventil vom stromlos geöffneten Typ umfasst, an dem eine Netzspannung angelegt ist.
15. System nach einem der Ansprüche 9 bis 14, wobei die Reaktionsgase jeweils in einem geschlossenen Druckbehälter (13h, 13o) gespeichert sind.
16. System nach einem der Ansprüche 9 bis 15, ferner aufweisend eine Pumpe oder eine Strömungsmaschine, die mit dem Rotor (1) mechanisch gekoppelt ist, zum Umwandeln von mechanischer Leistung in eine fluiddynamische Förderleistung.