



(10) **DE 10 2013 209 713 A1** 2014.11.27

(12) **Offenlegungsschrift**

(21) Aktenzeichen: **10 2013 209 713.1**

(22) Anmeldetag: **24.05.2013**

(43) Offenlegungstag: **27.11.2014**

(51) Int Cl.: **H02K 23/04 (2006.01)**

(71) Anmelder:

**MAHLE International GmbH, 70376 Stuttgart, DE**

(74) Vertreter:

**BRP Renaud und Partner mbB Rechtsanwälte  
Patentanwälte Steuerberater, 70173 Stuttgart, DE**

(72) Erfinder:

**Mack, Bernd, 73630 Remshalden, DE**

(56) Ermittelter Stand der Technik:

DE	24 29 886	A1
DE	26 05 561	A1
DE	10 2004 054 862	A1
EP	1 227 569	A1

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

**Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen**

(54) Bezeichnung: **Elektromotor, insbesondere für ein Kraftfahrzeug**

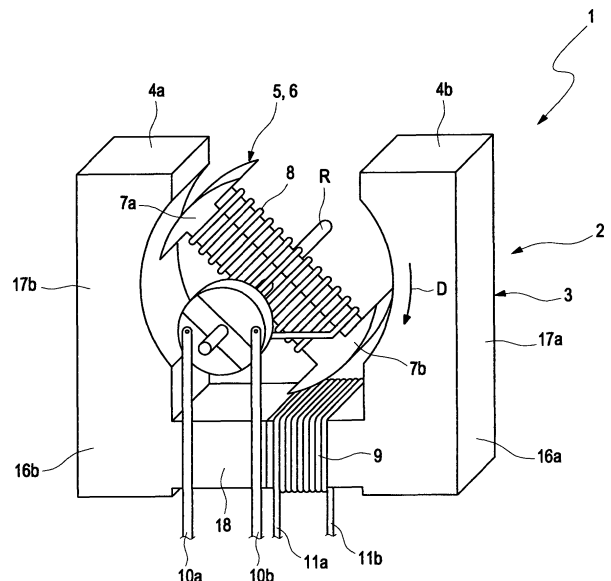
(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft einen Elektromotor (1), insbesondere für ein Kraftfahrzeug,

– mit einem Stator (2) und einem Rotor (5), welcher relativ zum Stator (2) um eine Rotationsachse (R) drehverstellbar ist,

– wobei der Stator (2) einen Stator-Permanentmagneten (3) umfasst, auf welchem eine Statorwicklung (9) zum einstellbaren Erzeugen eines zusätzlichen Magnetfelds angeordnet ist,

– wobei der Rotor (5) einen Rotor-Permanentmagneten (6) umfasst, auf welchem eine Rotorwicklung (8) zum einstellbaren Erzeugen eines zusätzlichen Magnetfelds angeordnet ist,

– wobei der Elektromotor (1) derart ausgebildet ist, dass er zwischen einem ersten Betriebszustand, in welchem sowohl die Statorwicklung (9) als auch die Rotorwicklung (8) zum Erzeugen eines jeweiligen zusätzlichen Magnetfeldes bestromt sind, und einem zweiten Betriebszustand, in welchem die Statorwicklung (9) nicht bestromt ist, umschaltbar ist.



## Beschreibung

**[0001]** Die folgende Erfindung betrifft einen Elektromotor, insbesondere für ein Kraftfahrzeug, sowie ein Kraftfahrzeug mit einem solchen Elektromotor. Die Erfindung betrifft des Weiteren ein Verfahren zum Betreiben eines solchen Elektromotors.

**[0002]** Herkömmliche Elektromotoren in der Art von elektrischen DC-Kleinmaschinen sind üblicherweise permanenterregt aufgebaut, d. h. der Stator eines solchen Elektromotors umfasst üblicherweise einen oder mehrere Stator-Permanentmagnete. Entsprechend weist der Rotor, welcher relativ zum Stator um eine Rotationsachse drehverstellbar ist, einen Rotor-Permanentmagneten auf, auf welchem eine Rotorwicklung angebracht sein kann. Bei größeren DC-Gleichstrommaschinen werden die Stator-Permanentmagnete oftmals durch eine Statorwicklung ersetzt. Dies bedeutet, dass der Elektromotor dann sowohl eine Rotorwicklung als auch eine Statorwicklung aufweist, die auf verschiedene Weise miteinander verschaltet werden können. Bei der sogenannten Reihenschlussmaschine ist die Statorwicklung elektrisch in Reihe zur Rotorwicklung geschaltet. Dies ermöglicht, dass der Elektromotor auch bei einer geringen Drehgeschwindigkeit des Rotors ein relativ hohes Drehmoment bereitstellen kann. In einer zur Reihenschlussmaschine alternativen Variante, der sogenannten Nebenschlussmaschine, ist die Statorwicklung hingegen elektrisch parallel zur Rotorwicklung geschaltet. Das von einem solchen Elektromotor bereitgestellte Drehmoment ist im Gegensatz zu Reihenschlussmaschinen drehzahlunabhängig und proportional zu der dem Elektromotor bereitgestellte elektrische Versorgungsspannung. Solche Elektromotoren eignen sich daher besonders für die Verwendung in drehzahlvariablen Antrieben. Schließlich können DC-Gleichstrommaschinen auch als sogenannte fremderregte Maschinen betrieben werden, was bedeutet, dass die beiden Wicklungen jeweils separat mit elektrischer Energie versorgt werden. Über den sogenannten Erregerstrom kann dabei Einfluss auf die Motor-Charakteristik des Elektromotors ausgeübt werden.

**[0003]** Die vorangehend vorgestellten Elektromotoren werden im Praxiseinsatz nun häufig nicht nur in einem aktiven Drehbetrieb eingesetzt, in welchem der Rotor relativ zum Stator rotiert, sondern oftmals auch in einem sogenannten Haltebetrieb, in welchem sich der Rotor relativ zum Stator in Ruhe befindet und gegen eine externe Gegenkraft oder einen mechanischen Anschlag arbeitet. Beispielsweise kann in einem solchen Haltebetrieb des Elektromotors in einer Abgasanlage eines Kraftfahrzeugs eine im Abgasstrang angeordnete Klappenvorrichtung entgegen dem vom Abgas erzeugten Abgasdruck in einem geschlossenen Zustand gehalten werden. Im Haltebetrieb kann die dem Elektromotor zu-

geführte elektrische Energie nicht in kinetische Energie des rotierenden Rotors umgesetzt werden, sondern muss stattdessen vollständig in Wärme umgewandelt werden. Um eine Beschädigung oder sogar eine Zerstörung des Elektromotors aufgrund einer abwärme-bedingten Überhitzung der Komponenten des Elektromotors, insbesondere des nur über die Rotorwelle thermisch mit dem Gehäuse des Elektromotors gekoppelten Rotors, zu vermeiden, kann der dem Elektromotor zugeführte Strom beispielsweise über Pulsweiten-Modulation (PWM) auf einen Maximalwert begrenzt werden. Eine derartige Strombegrenzung führt jedoch zu einer unerwünschten Begrenzung des vom Elektromotor bereitgestellten maximalen Drehmoments.

**[0004]** Die vorliegende Erfindung beschäftigt sich mit dem Problem, bei der Entwicklung von Elektromotoren, insbesondere für ein Kraftfahrzeug, neue Wege aufzuzeigen.

**[0005]** Die vorangehend genannte Aufgabe wird gelöst durch den Gegenstand der unabhängigen Patentansprüche. Bevorzugte Ausführungsformen sind Gegenstand der abhängigen Patentansprüche.

**[0006]** Die Erfindung beruht auf dem allgemeinen Gedanken, einen Elektromotor mit einem Stator und einem relativ zum Stator drehverstellbaren Rotor bereitzustellen, wobei der Elektromotor derart ausgebildet ist, dass er zwischen einem ersten Betriebszustand, in welchem sowohl die Statorwicklung als auch die Rotorwicklung des Elektromotors zum Erzeugen eines jeweiligen Magnetfelds – also zusätzlich zu dem vom Permanentmagneten des Stators erzeugten Magnetfeldern – bestromt werden, und einem zweiten Betriebszustand, in welchem die Statorwicklung nicht bestromt wird, so dass von dieser kein zusätzliches Magnetfeld erzeugt wird, umschaltbar ist.

**[0007]** Solange sich der Elektromotor im ersten Betriebszustand befindet, wird durch das von der Statorwicklung erzeugte zusätzliche Magnetfeld ein auf den Rotor wirkendes zusätzliches Drehmoment erzeugt, welches im Elektromotor beispielsweise bei einer besonders hohen externen Drehmomentanforderung zur Verfügung steht. Somit kann der Elektromotor immer dann vom zweiten in den ersten Betriebszustand umgeschaltet werden, wenn der Rotor des Elektromotors stillsteht, d. h. der Elektromotor sich im Haltebetrieb befindet, oder sich nur mit einer relativ geringen Drehzahl dreht und eine große äußere Drehmomentanforderung vorliegt, d. h. der Rotor stark beschleunigt werden soll, was erfindungsgemäß im ersten Betriebszustand mit Hilfe des zusätzlichen, vom Stator erzeugten Drehmoments erreicht werden kann. Die dabei am Stator erzeugte zusätzliche Abwärme kann vom Stator direkt an das Gehäuse des Elektromotors abgeführt werden.

**[0008]** Für den Fall hoher Drehzahlen kann der Elektromotor in den zweiten Betriebszustand geschaltet werden, in welchem die Statorwicklung nicht bestromt wird und somit kein zusätzliches Magnetfeld erzeugt wird. In diesem Betriebszustand ist aufgrund der nicht vorhandenen Bestromung der Statorwicklung die vom Elektromotor erzeugte Abwärme gegenüber dem ersten Betriebszustand reduziert.

**[0009]** Insgesamt erlaubt der erfindungsgemäße Elektromotor also einen flexiblen Einsatz hinsichtlich des von ihm bereitstellbaren Drehmoments bei unterschiedlichsten Drehzahlen und auch hinsichtlich unterschiedlicher äußerer Drehmomentanforderungen.

**[0010]** In einer bevorzugten Ausführungsform kann der Elektromotor eine Steuerungseinheit umfassen, welche den Elektromotor bei Überschreiten einer vorbestimmten Schwellldrehzahl vom ersten in den zweiten Betriebszustand und bei Unterschreiten der Schwellldrehzahl vom zweiten in den ersten Betriebszustand umschaltet. Auf diese Weise wird, wie vorangehend erläutert, erreicht, dass bei Stillstand bzw. einer relativ geringen Drehzahl des Rotors unterhalb der Schwellldrehzahl vom im Elektromotor im Bedarfsfall ein gegenüber dem zweiten Betriebszustand vergrößertes Drehmoment bereitgestellt wird. Sobald die vorbestimmte Schwellldrehzahl überschritten ist, wird durch das Umschalten vom ersten in den zweiten Betriebszustand das zusätzliche Stator-Magnetfeld wieder abgeschaltet. Die momentane Drehzahl des Elektromotors kann dabei beispielsweise mittels eines im Elektromotor verbauten Drehzahlsensors bestimmt werden. Alternativ kann aber auch daran gedacht sein, dass keine Messung der Drehzahl erfolgt, sondern dass diese von der Steuerungseinheit in Abhängigkeit von verschiedenen Parametern wie dem elektrischen Strom durch den Stator bzw. Rotor berechnet wird oder ein Umschalten zwischen den Betriebszuständen bei Über- bzw. Unterschreiten eines vorhandenen Schwell-Rotorstroms erfolgt.

**[0011]** In weiterbildenden Varianten kann das Umschalten des Elektromotors zwischen den zwei Betriebszuständen nicht nur in Abhängigkeit von der Rotordrehzahl, sondern in Abhängigkeit von weiteren Parametern wie beispielsweise einer externen Drehmomentanforderung o. ä. erfolgen. Auch kann vorgesehen sein, dass die Umschaltung zwischen den beiden Betriebszuständen bei Unterschreiten bzw. Überschreiten eines vorbestimmten Rotor-Schwellstroms erfolgt. Hier ergeben sich für den Fachmann vielfältige technische Realisationsmöglichkeiten.

**[0012]** Bei einer vorteilhaften Weiterbildung können die Statorwicklung und die Rotorwicklung elektrisch zueinander in Reihe geschaltet und im Elektromotor eine von der Steuerungseinheit ansteuerbare schaltbare Kurzschlusschaltung vorgesehen sein, mittels welcher die Statorwicklung zum Um-

schalten zwischen den beiden Betriebszuständen wahlweise überbrückbar ist. Der erste Betriebszustand des Elektromotors entspricht dabei einer inaktiven Kurzschlusschaltung, d. h. die Statorwicklung wird nicht überbrückt und ist somit aktiv, d. h. durch die Statorwicklung fließt zum Erzeugen des zusätzlichen Stator-Magnetfelds elektrischer Strom. Im zweiten Betriebszustand, in welchem die Statorwicklung nicht bestromt werden soll, ist die Kurzschlusschaltung aktiv und überbrückt die Statorwicklung elektrisch, so dass elektrischer Strom nur durch die Überbrückungsleitung der Kurzschlusschaltung fließt. Die Reihenschaltung von Stator- und Rotorwicklung weist den Vorteil auf, dass bei unterbrochener Kurzschlusschaltung, in der Stator und Rotor gleichzeitig bestromt werden, die dem Elektromotor von außen bereitgestellt elektrische Versorgungsspannung im Sinne eines Spannungsteilers sowohl auf die Rotorwicklung als auch auf die Statorwicklung verteilt wird, so dass die im Rotor abfallende elektrische Leistung aufgrund der Spannungsteilung reduziert wird. Auf diese Weise kann die Gefahr einer Erhitzung des Rotors und somit des gesamten Elektromotors, welche zu einer Beschädigung oder gar einer Zerstörung des Elektromotors führen kann, stark reduziert werden. Zudem wird mittels eines solchen Spannungsteilers die Bereitstellung einer separaten PWM-Schaltung zur Pulsweitenmodulation und einer damit erzielbaren Reduzierung der im Elektromotor auftretenden Abwärme überflüssig. Dies bedeutet wiederum eine erhebliche Kostenreduzierung bei der Herstellung des Elektromotors.

**[0013]** Bei einer besonders bevorzugten Weiterbildung kann die Kurzschlusschaltung einen parallel zur Statorwicklung geschalteten elektrischen Schalter umfassen, welcher zwischen einem geschlossenen Zustand, in welchem die beiden Wicklungsenden der Statorwicklung elektrisch kurzgeschlossen sind, und einem geöffneten Zustand, in welchem der elektrische Kurzschluss zwischen den beiden Wicklungsenden unterbrochen ist, umschaltbar ist. Ein solcher Schalter kann ein mechanischer Schalter, aber auch ein Halbleiterschalter in der Art eines Transistors, insbesondere eines FET-Transistors oder bipolaren Transistors, sein.

**[0014]** In einer alternativen, ebenfalls bevorzugten Ausführungsform können die Statorwicklung und die Rotorwicklung jeweils separate Anschlüsselemente aufweisen und somit jeweils separat angesteuert werden. In diesem Fall ist der Elektromotor als sog. fremderregte elektrische Maschine ausgebildet. Dies bedeutet, dass sowohl die Rotorwicklung als auch die Statorwicklung unabhängig voneinander bestromt werden können. Auf diese Weise kann in dem Elektromotor eine gezielte elektrische Leistungsregelung realisiert werden. Die Steuerung der separaten Bestromung kann dabei mittels der vorangehend vorgestellten Steuerungseinheit erfolgen. Der dem Stator

und dem Rotor zugeführte elektrische Strom kann jeweils über eine separate Pulsweiten-Modulationseinheit, welche von der Steuerungseinheit angesteuert wird, eingestellt werden.

**[0015]** In einer besonders kompakten Ausführungsform kann der Stator-Permanentmagnet den Rotor in einer Drehrichtung des Rotors wenigstens teilweise umgeben und einen ersten Statorpol umfassen, welcher entlang der Drehrichtung des Rotors in einen zweiten Statorpol übergeht. Gemäß dieser Ausführungsform ist der Stator-Permanentmagnet U-förmig mit einem ersten und zweiten U-Schenkel und einer U-Basis aufgebaut. Der erste U-Schenkel bildet den ersten Statorpol und der zweite U-Schenkel den zweiten Statorpol aus. Die beiden Statorpole gehen im Bereich der U-Basis ineinander über oder grenzen in diesem Bereich aneinander an. Die Statorwicklung ist wenigstens abschnittsweise auf der U-Basis angeordnet. Mittels einer solchen Anordnung von Rotor und Stator kann die Statorwicklung besonders platzsparend in den Elektromotor integriert werden.

**[0016]** Besonders bevorzugt kann an der U-Basis eine sich in Umfangsrichtung der U-Basis erstreckende Ausnehmung oder Einkerbung vorgesehen sein, in welcher die Statorwicklung angeordnet ist. Dies ermöglicht eine mechanisch stabile Befestigung der Statorwicklung am Stator-Permanentmagnet.

**[0017]** Alternativ dazu kann an der U-Basis ein separates Bauteil, insbesondere eine Blechplatte, vorgesehen, insbesondere befestigt, sein, auf welcher die Statorwicklung angeordnet ist. Dies ermöglicht einen besonders einfachen Austausch der Statorwicklung, beispielsweise zu Reparaturzwecken, o. ä.

**[0018]** Besonders bevorzugt kann die Statorwicklung und/oder die Rotorwicklung einen Kupferdraht umfassen.

**[0019]** Die Erfindung betrifft des Weiteren ein Kraftfahrzeug mit wenigstens einem vorangehend vorgestellten Elektromotor.

**[0020]** Die Erfindung betrifft schließlich ein Verfahren zum Betreiben eines vorangehend vorgestellten Elektromotors, gemäß welchem der Elektromotor bei Überschreiten einer vorbestimmten Schwellendrehzahl des Rotors in einen ersten Betriebszustand geschaltet wird, in welchem sowohl die Statorwicklung als auch die Rotorwicklung zum Erzeugen eines jeweiligen zusätzlichen Magnetfeldes bestromt sind, so dass mittels des durch die bestromte Statorwicklung erzeugten zusätzlichen Stator-Magnetfeldes ein auf den Rotor wirkendes zusätzliches Drehmoment erzeugt wird. Gemäß diesem Verfahren wird der Elektromotor bei Unterschreiten der vorbestimmten Schwelldrehzahl des Rotors in einen zweiten Betriebszustand umgeschaltet, in welchem die Stator-

wicklung nicht bestromt wird und somit das zusätzliche Stator-Magnetfeld abgeschaltet wird.

**[0021]** Weitere wichtige Merkmale und Vorteile der Erfindung ergeben sich aus den Unteransprüchen, aus den Zeichnungen und aus der zugehörigen Figurenbeschreibung anhand der Zeichnungen.

**[0022]** Es versteht sich, dass die vorstehend genannten und die nachstehend noch zu erläuternden Merkmale nicht nur in der jeweils angegebenen Kombination, sondern auch in anderen Kombinationen oder in Alleinstellung verwendbar sind, ohne den Rahmen der vorliegenden Erfindung zu verlassen.

**[0023]** Bevorzugte Ausführungsbeispiele der Erfindung sind in den Zeichnungen dargestellt und werden in der nachfolgenden Beschreibung näher erläutert, wobei sich gleiche Bezugszeichen auf gleiche oder ähnliche oder funktional gleiche Komponenten beziehen.

**[0024]** Es zeigen, jeweils schematisch,

**[0025]** Fig. 1 einen erfindungsgemäßen Elektromotor in einer grobschematischen, perspektivischen Darstellung,

**[0026]** Fig. 2 eine schaltplanartige Darstellung des Elektromotors der Fig. 1,

**[0027]** Fig. 3 eine Variante des Elektromotors der Fig. 1 und Fig. 2 in einer schaltplanartigen Darstellung.

**[0028]** In der Fig. 1 ist ein erfindungsgemäßer Elektromotor grobschematisch dargestellt und mit **1** bezeichnet. Der Elektromotor **1** umfasst einen Stator **2**, welcher einen Stator-Permanentmagnet **3** aufweist. Der Stator-Permanentmagnet **3** weist wiederum zwei Pole **4a, b** auf. Des Weiteren umfasst der Elektromotor **1** einen Rotor **5**, der wie in der Fig. 1 gezeigt als Doppel-T-Anker **6** ausgebildet sein und einen Eisenkern aufweisen kann. Der Rotor **5** in Form eines Doppel-T-Ankers **6** weist zwei Pole **7a, b** auf, und auf dem Rotor **5** ist eine Rotorwicklung **8** aus einem Kupferdraht angeordnet. Durch Bestromen der Rotorwicklung **8** kann von dieser ein bezüglich seiner Stärke und Polung einstellbares Magnetfeld erzeugt werden.

**[0029]** Des Weiteren weist der Stator-Permanentmagnet **3** eine Statorwicklung **9** auf, mittels welcher durch Bestromen ebenfalls ein zusätzliches Magnetfeld erzeugt werden kann. Die Statorwicklung **9** kann ebenfalls aus einem Kupferdraht hergestellt sein. Sowohl die Rotorwicklung **8** als auch die Statorwicklung **9** weisen jeweilige Rotorwicklungs- bzw. Statorwicklungs-Endabschnitte **10a, 10b, 11a, 11b** auf, die auf verschiedene Weise miteinander verschaltet sein

können, was im Folgenden noch im Zusammenhang mit den **Fig. 2** und **Fig. 3** erläutert wird.

**[0030]** Der erfindungsgemäße Elektromotor **1** ist nun derart ausgebildet, dass er zwischen einem ersten Betriebszustand, in welchem sowohl die Statorwicklung **9** als auch die Rotorwicklung **8** zum Erzeugen eines jeweiligen zusätzlichen Magnetfelds bestromt werden, und einem zweiten Betriebszustand, in welchem die Statorwicklung **9** nicht bestromt wird, umschaltbar ist.

**[0031]** Solange sich der Elektromotor **1** im ersten Betriebszustand befindet, wird durch das von der Statorwicklung **9** erzeugte zusätzliche Magnetfeld ein zusätzliches Drehmoment erzeugt, welches im Elektromotor **1** beispielsweise bei einer besonders hohen externen Drehmomentanforderung zur Verfügung steht. Somit kann der Elektromotor immer dann vom zweiten in den ersten Betriebszustand umgeschaltet werden, wenn der Rotor **5** des Elektromotors **1** stillsteht, d. h. der Elektromotor **1** sich im Haltebetrieb befindet, oder sich nur mit einer relativ geringen Drehzahl dreht und eine große äußere Drehmomentanforderung vorliegt, d. h. der Rotor stark beschleunigt werden soll. Dies wird im ersten Betriebszustand mit Hilfe des zusätzlichen Drehmoments besonders effektiv erreicht. Für den Fall, dass ein solches hohes Drehmoment nicht benötigt wird, kann der Elektromotor **1** hingegen in den zweiten Betriebszustand geschaltet werden, in welchem die Statorwicklung **9** nicht bestromt und somit kein zusätzliches Magnetfeld erzeugt wird. In diesem Zustand ist die vom Elektromotor **1** erzeugte Abwärmemenge reduziert.

**[0032]** Zum Umschalten zwischen den beiden Betriebszuständen kann der Elektromotor **1** eine Steuerungseinheit **12** aufweisen, die in der Darstellung der **Fig. 2** grobschematisch dargestellt ist. Die **Fig. 2** zeigt den Aufbau des Elektromotors **1** in einer schaltplanartigen Darstellung. Die Steuerungseinheit **12** kann beispielsweise in der Art eines herkömmlichen Mikrocontrollers ausgebildet sein. Der in der **Fig. 2** dargestellte Elektromotor **1** ist als Reihenschlussmotor realisiert, d. h. die Statorwicklung **9** des Stators **2** und Rotorwicklung **8** des Rotors **5** sind elektrisch zueinander in Reihe geschaltet. Dies kann beispielsweise durch eine geeignete, in der **Fig. 2** gezeigte Verschaltung der Anschlüsselemente **10a**, **10b**, **11a**, **11b** von Rotorwicklung **8** und Statorwicklung **9** erreicht werden.

**[0033]** Mittels der Steuerungseinheit **12** kann eine Kurzschlusschaltung **13** angesteuert werden, mittels welcher die Statorwicklung **9** zum Umschalten zwischen den beiden Betriebszuständen wahlweise überbrückbar ist. Die Kurzschlusschaltung **13** kann hierzu einen parallel zur Statorwicklung **9** geschalteten elektrischen oder elektronischen Schalter **14** umfassen. Der elektrische Schalter **14** kann als mechanischer Schalter, oder alternativ dazu, als Halbleiter-

schalter in der Art eines Transistors, beispielsweise eines FET-Transistors oder eines bipolaren Transistors, ausgebildet sein. Der Schalter **14** ist zwischen einen geschlossenen Zustand, in welchem die beiden Wicklungsenden **11a**, **11b** der Statorwicklung **9** elektrisch kurzgeschlossen sind, und einem geöffneten Zustand, in welchem der elektrische Kurzschluss zwischen den beiden Wicklungsenden **11a**, **11b** unterbrochen ist, umschaltbar. In dem geschlossenen Zustand des Schalters ist die Statorwicklung **9** inaktiv, d. h. sie wird nicht bestromt und erzeugt somit kein zusätzliches Magnetfeld. Dies bedeutet, dass der geschlossene Zustand des Schalters **14** dem zweiten Betriebszustand zugeordnet ist. Entsprechend wird die Statorwicklung **9** bei geöffnetem Schalter **14** bestromt, so dass von ihr ein zusätzliches Magnetfeld erzeugt wird. Der geöffnete Zustand des Schalters **14** entspricht also dem ersten Betriebszustand des Elektromotors **1**.

**[0034]** Am Elektromotor **1**, insbesondere im Bereich des Rotors **5**, kann optional ein Drehzahlsensor **15** vorgesehen sein, mittels welchem eine Drehzahl  $N$  bzw. Drehgeschwindigkeit des Rotors **5** bestimmbar ist. Der Drehzahlsensor **15** kann mit der Steuerungseinheit **12** derart zusammenwirken, dass die Steuerungseinheit **12** den Elektromotor **1** bei Unterschreiten einer vorbestimmten Schwelldrehzahl  $N_0$  vom zweiten in den ersten Betriebszustand umschaltet und bei Überschreiten der Schwelldrehzahl  $N_0$  vom ersten in den zweiten Betriebszustand umschaltet.

**[0035]** Es ist klar, dass in Varianten nicht unbedingt ein solcher Drehzahlsensor **15** erforderlich ist, um in Abhängigkeit von der vom Drehzahlsensor **15** bestimmten Drehzahl  $N$  des Rotors **5** zwischen den beiden Betriebszuständen umzuschalten; vielmehr kann das Umschalten zwischen dem Betriebszustand durch die Steuerungseinheit **12** auch in Abhängigkeit von anderen, externen Parametern, wie beispielsweise einem extern angeforderten Drehmoment, durchgeführt werden. Hier ergeben sich für den Fachmann vielfältige technische Realisierungsmöglichkeiten. Beispielsweise kann daran gedacht sein, dass das Umschalten zwischen den beiden Betriebszuständen in Abhängigkeit von einem extern angeforderten Drehmoment in Kombination mit der momentanen Drehzahl  $N$  des Rotors **5** erfolgt. Auch kann vorgesehen sein, dass die Umschaltung zwischen den beiden Betriebszuständen bei Unterschreiten bzw. Überschreiten eines vorbestimmten elektrischen Rotor-Schwellstroms erfolgt.

**[0036]** Betrachtet man nun wieder die Darstellung der **Fig. 1**, so erkennt man, dass der Stator-Permanentmagnet **3** den Rotor **5** in einer Drehrichtung  $D$  des Rotors **5** wenigstens teilweise umgibt. Der Stator-Permanentmagnet **3** umfasst einen ersten Statorpol **16a**, welcher entlang der Drehrichtung in einen zweiten Statorpol **16b** übergeht. Der Stator-Perma-

nentmagnet **3** kann wie in der **Fig. 1** gezeigt U-förmig mit einem ersten und zweiten U-Schenkel **17a**, **17b** und einer U-Basis **18** aufgebaut sein. Der erste U-Schenkel **17a** bildet dabei teilweise den ersten Statorpol **16a** aus, und entsprechend bildet der zweite U-Schenkel **17b** teilweise den zweiten Statorpol **16b** aus. Im Bereich der U-Basis **18** gehen die beiden Statorpole **16a**, **16b** ineinander über.

**[0037]** Wie in der **Fig. 1** gezeigt, kann die Statorwicklung **9** auf der U-Basis **18** angeordnet sein. Hierzu kann eine in der **Fig. 1** der Übersichtlichkeit halber nicht gezeigte spiralförmige Ausnehmung an der U-Basis **18** vorgesehen sein, welche sich in Umfangsrichtung der U-Basis **18** erstreckt. Alternativ kann anstelle einer spiralförmigen Ausnehmung auch eine entsprechende Einkerbung vorgesehen sein. Dies erlaubt eine mechanisch stabile Befestigung der Statorwicklung **9** auf der U-Basis **18**. Alternativ dazu kann in einer Variante aber an der U-Basis **18** auch ein separates Bauteil, beispielsweise in der Art einer Blechplatte, vorgesehen sein, auf welchem die Statorwicklung **9** angeordnet ist. Das separate Bauteil kann auf geeignete Weise an der U-Basis **18** befestigt werden.

**[0038]** In der **Fig. 3** ist nun eine Variante des Elektromotors der **Fig. 1** und **Fig. 2** schaltplanartig dargestellt, bei welcher die Statorwicklung **9** und die Rotorwicklung **8** separat voneinander mit elektrischer Energie versorgt und angesteuert werden. Die Ansteuerung kann dabei beispielsweise mittels Pulsweiten-Modulation (PWM) erfolgen, wodurch eine besonders gute Leistungsregelung des Elektromotors **1** erzielt werden kann, was zu einer geringeren Dissipation von Energie und damit verbundenen zu einer reduzierten Erwärmung des Elektromotors **1** führt. Wie in der **Fig. 3** gezeigt, können die Rotorwicklung **8** und die Statorwicklung **9** mittels getrennter Stromkreise **19**, **20** angesteuert werden, wobei in jedem der beiden Stromkreise eine Pulsweiten(PWM-)Modulationseinheit **21a**, **21b** vorgesehen sein kann, mittels welcher der durch die Statorwicklung **9** bzw. durch die Rotorwicklung **8** fließende elektrische Strom eingestellt werden kann. Die beiden Pulsweiten-Modulationseinheiten **21a**, **21b** können durch die Steuerungseinheit **12** angesteuert werden. Es ist klar, dass eine solche PWM-Einheit auch in dem in der **Fig. 2** gezeigten Reihenschlussmotor vorgesehen sein kann, um den durch die Rotorwicklung **8** und die Statorwicklung **9** fließenden elektrischen Strom einstellen zu können.

### Patentansprüche

1. Elektromotor (**1**), insbesondere für ein Kraftfahrzeug,  
 – mit einem Stator (**2**) und einem Rotor (**5**), welcher relativ zum Stator (**2**) um eine Rotationsachse (R) drehverstellbar ist,  
 – wobei der Stator (**2**) einen Stator-Permanentmagneten (**3**) umfasst, auf welchem eine Statorwicklung

(**9**) zum einstellbaren Erzeugen eines zusätzlichen Magnetfelds angeordnet ist,  
 – wobei auf dem Rotor (**5**) eine Rotorwicklung (**8**) zum einstellbaren Erzeugen eines Rotor-Magnetfelds angeordnet ist,  
 – wobei der Elektromotor (**1**) derart ausgebildet ist, dass er zwischen einem ersten Betriebszustand, in welchem sowohl die Statorwicklung (**9**) als auch die Rotorwicklung (**8**) zum Erzeugen eines jeweiligen zusätzlichen Magnetfeldes bestromt sind, und einem zweiten Betriebszustand, in welchem die Statorwicklung (**9**) nicht bestromt ist, umschaltbar ist.

2. Elektromotor nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Elektromotor (**1**) eine Steuerungseinheit (**12**) umfasst, welche den Elektromotor (**1**) bei Überschreiten einer vorbestimmten Schwelldrehzahl ( $N_0$ ) vom ersten in den zweiten Betriebszustand umschaltet und bei Unterschreiten der Schwelldrehzahl ( $N_0$ ) vom zweiten in den ersten Betriebszustand umschaltet.

3. Elektromotor nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Statorwicklung (**9**) und die Rotorwicklung (**8**) elektrisch zueinander in Reihe geschaltet sind und im Elektromotor (**1**) eine von der Steuerungseinheit (**12**) ansteuerbare schaltbare Kurzschlusschaltung (**13**) vorgesehen ist, mittels welcher die Statorwicklung (**9**) zum Umschalten zwischen den beiden Betriebszuständen wahlweise überbrückbar ist.

4. Elektromotor nach Anspruch 3, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Kurzschlusschaltung (**13**) einen parallel zur Statorwicklung (**9**) geschalteten elektrischen Schalter (**14**) umfasst, welcher zwischen einem geschlossenen Zustand, in welchem die beiden Wicklungsenden (**11a**, **11b**) der Statorwicklung (**9**) elektrisch kurzgeschlossen sind, und einem geöffneten Zustand, in welchem der elektrische Kurzschluss zwischen den beiden Wicklungsenden (**11a**, **11b**) unterbrochen ist, umschaltbar ist.

5. Elektromotor nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Statorwicklung (**9**) und die Rotorwicklung (**8**) jeweils separate Anschlusselemente (**10a**, **10b**, **11a**, **11b**) aufweisen und somit getrennt voneinander ansteuerbar sind.

6. Elektromotor nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass  
 – der Stator-Permanentmagnet (**3**) den Rotor in einer Drehrichtung des Rotors wenigstens teilweise umgibt und einen ersten Statorpol (**16a**) umfasst, welcher entlang der Drehrichtung (D) in einen zweiten Statorpol (**16b**) übergeht,  
 – der Stator-Permanentmagnet (**3**) U-förmig mit einem ersten und zweiten U-Schenkel (**17a**, **17b**) und einer U-Basis (**18**) aufgebaut ist,

- der erste U-Schenkel (17a) den ersten Statorpol (16a) und der zweite U-Schenkel (17b) den zweiten Statorpol (16b) ausbildet,
- die beiden Statorpole (16a, 16b) im Bereich der U-Basis (18) ineinander übergehen oder aneinandergrenzen,
- die Statorwicklung (9) wenigstens abschnittsweise auf der U-Basis (18) angeordnet ist.

7. Elektromotor nach Anspruch 6, **dadurch gekennzeichnet**, dass an der U-Basis (18) eine sich in Umfangsrichtung der U-Basis (18) erstreckende spiralförmige Ausnehmung oder Einkerbung vorgesehen ist, in welcher die Statorwicklung (9) angeordnet ist.

8. Elektromotor Anspruch 6, **dadurch gekennzeichnet**, dass an der U-Basis (18) ein separates Bauteil, insbesondere eine Blechplatte, vorgesehen ist, auf welchem die Statorwicklung (9) angeordnet ist.

9. Elektromotor nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Statorwicklung (9) einen Kupferdraht umfasst.

10. Kraftfahrzeug, mit wenigstens einem Elektromotor (1) nach einem der vorhergehenden Ansprüche.

11. Verfahren zum Betreiben eines Elektromotors (1) nach einem der Ansprüche 1 bis 9,  
– gemäß welchem der Elektromotor (1) bei Unterschreiten einer vorbestimmten Schwelldrehzahl ( $N_0$ ) des Rotors (5) in einen ersten Betriebszustand geschaltet wird, in welchem sowohl die Statorwicklung (9) als auch die Rotorwicklung (8) zum Erzeugen eines jeweiligen zusätzlichen Magnetfeldes bestromt sind, so dass mittels des durch die bestromte Statorwicklung (9) erzeugten zusätzlichen Stator-Magnetfeldes ein auf den Rotor wirkendes zusätzliches Drehmoment erzeugt wird,  
– gemäß welchem der Elektromotor (1) bei Überschreiten der vorbestimmten Schwelldrehzahl ( $N_0$ ) des Rotors (5) in einen zweiten Betriebszustand umgeschaltet wird, in welchem die Statorwicklung (9) nicht bestromt wird und somit das zusätzliche Stator-Magnetfeld abgeschaltet wird.

Es folgen 2 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

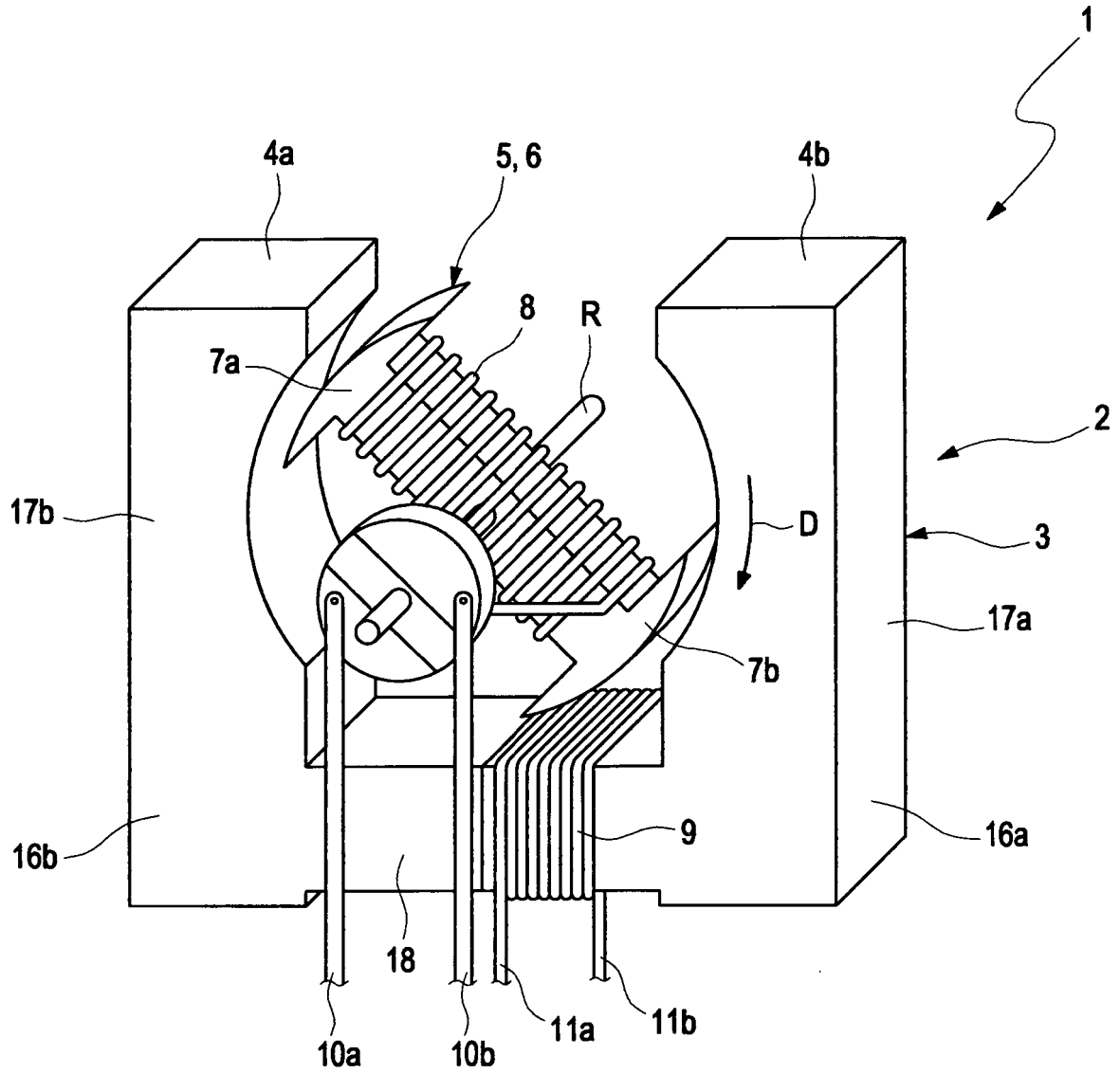


Fig. 1

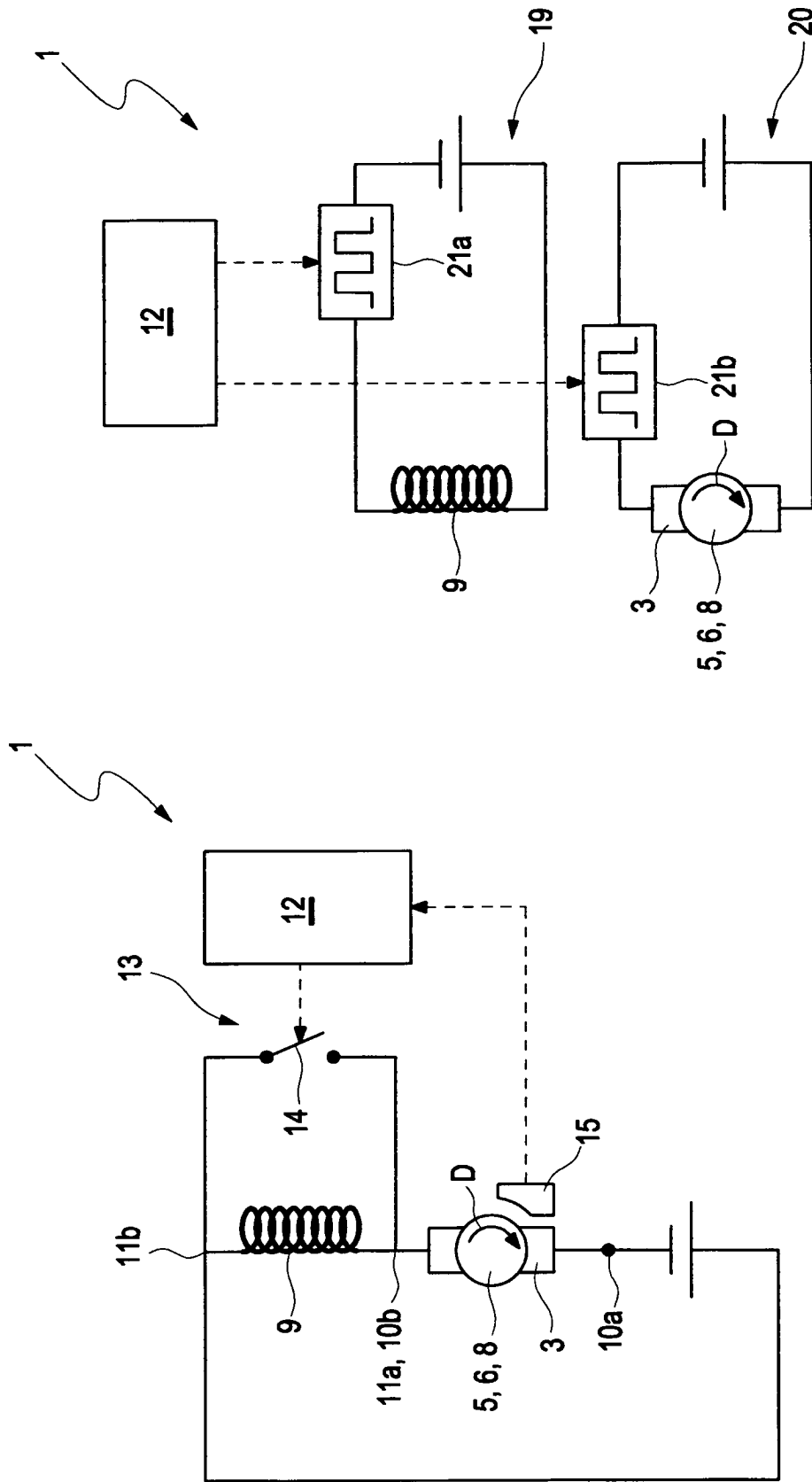


Fig. 2

Fig. 3