

(12) **Patentschrift**

(21) Anmeldenummer: A 50247/2019
(22) Anmeldetag: 21.03.2019
(45) Veröffentlicht am: 15.11.2020

(51) Int. Cl.: **H02P 21/00** (2016.01)
H02P 21/04 (2006.01)
H02P 27/06 (2006.01)
H02P 25/03 (2016.01)
H02P 25/10 (2006.01)
H02K 1/27 (2006.01)

(56) Entgegenhaltungen:
EP 2136467 A1
EP 2048772 A1
WO 2016032509 A1
JP 2008029148 A

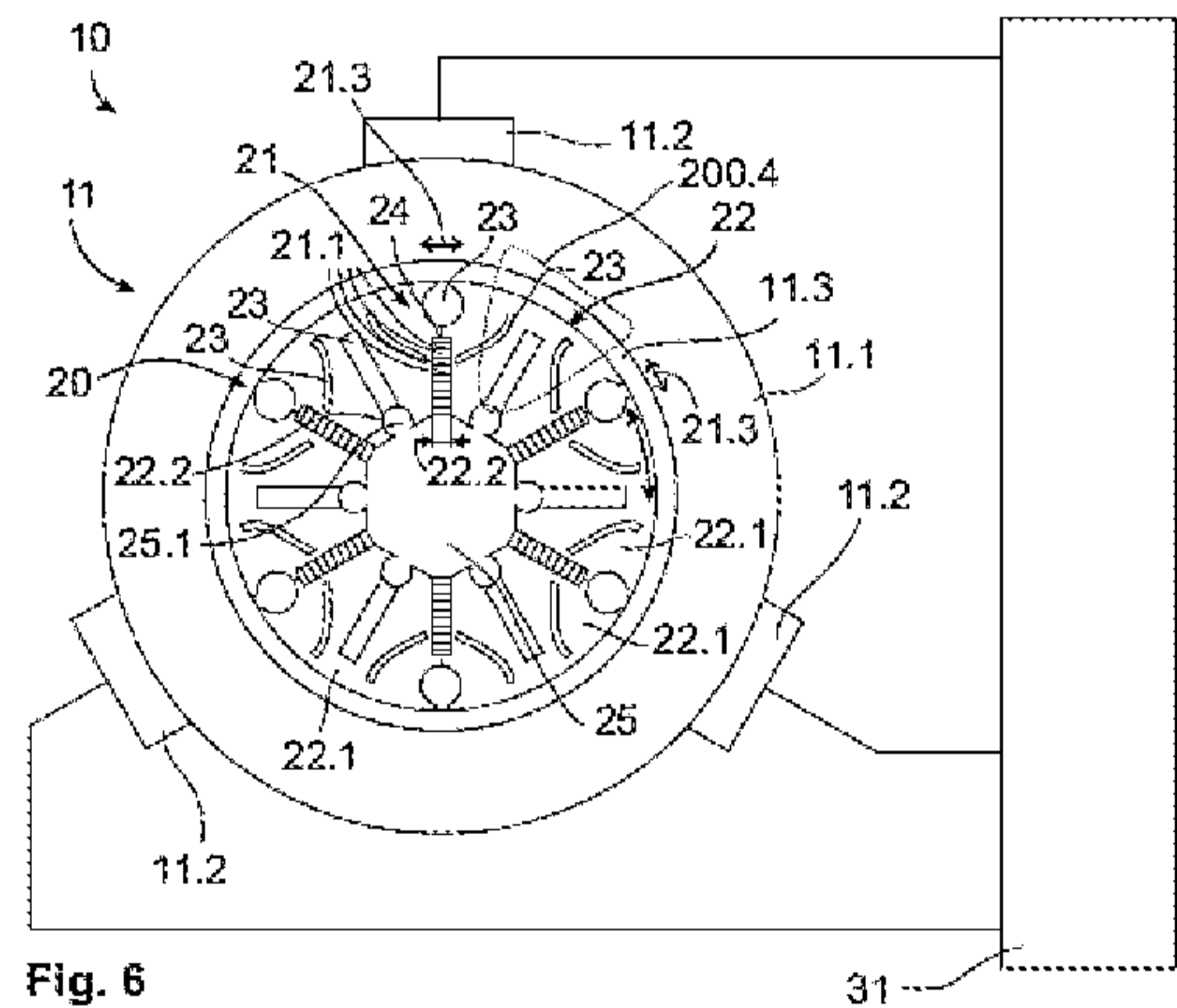
(73) Patentinhaber:
AVL List GmbH
8020 Graz (AT)
AVL Software and Functions GmbH
93059 Regensburg (DE)

(72) Erfinder:
Davydov Vitaly
8301 Laßnitzhöhe (AT)
Garcia de Madinabeitia Merino Inigo
8010 Graz (AT)

(74) Vertreter:
Hartinger Mario Dipl.Ing.
8020 Graz (AT)

(54) **Verfahren zum Betreiben einer Antriebsvorrichtung, Computerprogrammprodukt, Antriebsvorrichtung sowie Kraftfahrzeug**

(57) Die vorliegende Erfindung betrifft Verfahren (100) zum Betreiben einer Antriebsvorrichtung (10) mit einer elektrischen Maschine (11), die einen Stator (11.1) und einen Rotor (20) aufweist, wobei der Rotor (20) mit einem magnetischen Statorfeld des Stators (11.1) magnetisch koppelbar ist, wobei ein Magnetisierungszustand (200) einer Magneteinheit (21) des Rotors (20) durch das Statorfeld beeinflussbar ist. Ferner betrifft die Erfindung ein Computerprogrammprodukt (300), eine Antriebsvorrichtung (10), insbesondere für ein Kraftfahrzeug (1), sowie ein Kraftfahrzeug (1).



Beschreibung

VERFAHREN ZUM BETREIBEN EINER ANTRIEBSVORRICHTUNG, COMPUTERPROGRAMMPRODUKT, ANTRIEBSVORRICHTUNG SOWIE KRAFTFAHRZEUG

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren zum Betreiben einer Antriebsvorrichtung mit einer elektrischen Maschine, ein Computerprogrammprodukt, eine Antriebsvorrichtung aufweisend eine elektrische Maschine sowie ein Kraftfahrzeug.

[0002] Elektrische Maschinen in Form von Elektromotoren sind aus dem Stand der Technik bekannt. Dabei ist üblicherweise ein Stator und ein Rotor vorgesehen, um ein Drehmoment elektromagnetisch zu erzeugen. Das erzeugbare elektrische Drehmoment hängt dabei u.a. vom Einsatz eines Magnetmaterials ab. So werden beispielsweise bei einigen elektrischen Maschinen sog. Permanentmagnete eingesetzt, um einen magnetischen Fluss zu erzeugen bzw. aufrecht zu erhalten. Um höhere Drehmomente zu erreichen, werden die Permanentmagnete daher vergrößert, um eine höhere Magnetisierung des Rotors zu erreichen. Aus dem Stand der Technik werden solche Elektromotoren beispielsweise durch die EP 2136467 A1, die EP2048772 A2, die WO2016 032509 A1 oder die JP 2008029148 A offenbart. Da die magnetischen Materialien der Permanentmagnete jedoch häufig schwer sind, wird dadurch auch das Gewicht der elektrischen Maschine beeinflusst. Durch ein höheres Gewicht wiederum kann die Effizienz der elektrischen Maschine sinken. Darüber hinaus sind Permanentmagnete häufig teuer, insbesondere wenn seltene Erden zum Einsatz kommen.

[0003] Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es, einen Betrieb einer Antriebsvorrichtung mit einer elektrischen Maschine, insbesondere hinsichtlich eines erzeugbaren Drehmoments und/oder eines erforderlichen Einsatzes von magnetischem Material, zu verbessern.

[0004] Die voranstehende Aufgabe wird durch den Gegenstand der jeweiligen Patentansprüche gelöst. Insbesondere wird die voranstehende Aufgabe durch das Verfahren zum Betreiben einer Antriebsvorrichtung gemäß Anspruch 1, das Computerprogrammprodukt gemäß Anspruch 13, die Antriebsvorrichtung gemäß Anspruch 14 sowie das Kraftfahrzeug gemäß Anspruch 26 gelöst. Weitere Vorteile der Erfindung ergeben sich aus den Unteransprüchen, der Beschreibung und den Zeichnungen. Dabei gelten Merkmale und Details, die im Zusammenhang mit dem erfindungsgemäßen Verfahren beschrieben worden sind, selbstverständlich auch im Zusammenhang mit dem erfindungsgemäßen Computerprogrammprodukt, der erfindungsgemäßen Antriebsvorrichtung und/oder dem erfindungsgemäßen Kraftfahrzeug und jeweils umgekehrt, sodass bezüglich der Offenbarung zu den einzelnen Erfindungsaspekten stets wechselseitig Bezug genommen wird bzw. werden kann. Insbesondere können die Ausgestaltungen der Antriebsvorrichtung die Ausführung des Verfahrens begünstigen und/oder verbessern.

[0005] Gemäß einem ersten Aspekt der vorliegenden Erfindung ist ein Verfahren zum Betreiben einer Antriebsvorrichtung mit einer elektrischen Maschine beansprucht. Die elektrische Maschine weist einen Stator und einen Rotor auf, wobei der Rotor mit einem magnetischen Statorfeld des Stators magnetisch koppelbar ist. Weiterhin ist ein Magnetisierungszustand einer Magneteinheit des Rotors durch das Statorfeld beeinflussbar. Das Verfahren umfasst folgende Schritte:

- Betreiben der elektrischen Maschine in einem ersten Normalzustand, in welchem der Magnetisierungszustand durch einen Normalkontrollmodus vorgegeben wird,
- Überführen der elektrischen Maschine vom ersten Normalzustand in einen Sonderzustand, in welchem der Magnetisierungszustand eine Tendenz zu einem stabilen Betriebspunkt aufweist,
- Stabilisieren des Sonderzustands durch einen Sonderkontrollmodus, welcher der Tendenz des Magnetisierungszustandes zum stabilen Betriebspunkt entgegenwirkt.

[0006] Vorzugsweise handelt es sich bei dem ersten Normalzustand und/oder bei dem Sonderzustand um einen Betriebspunkt der Magneteinheit zum Betreiben der Antriebsvorrichtung unter Last und/oder unter Nulllast. Das Überführen der elektrischen Maschine kann somit insbesondere ein Anfahren eines instabilen Betriebspunktes umfassen. Unter einem instabilen Betriebspunkt kann ein Betriebspunkt verstanden werden, in welchem der Magnetisierungszustand ohne äu-

Bere Einflussnahme, insbesondere ohne Stabilisierung, dazu strebt, den instabilen Betriebspunkt zu verlassen. Vorzugsweise handelt es sich bei der elektrischen Maschine um einen Elektromotor zum Antreiben und/oder Abbremsen der Antriebsvorrichtung. Die Magneteinheit des Rotors kann insbesondere einen Permanentmagneten und/oder mehrere Permanentmagnete, vorzugsweise in Form eines oder mehrerer Magnetstapel, umfassen. Vorzugsweise kann die Magneteinheit ein magnetisierbares und/oder magnetisches Material, insbesondere in Form von AlNiCo, d.h. eine Legierung aus Eisen, Aluminium, Nickel und Cobalt, aufweisen. Hier ist beispielsweise auch Fe-CrCo, Ferrite oder SmCo denkbar. AlNiCo weist insbesondere eine hohe Remanenz und damit hohe erreichbare Drehmomente auf. Insbesondere kann dieser restmagnetische Sonderzustand, der insbesondere durch die Remanenz hervorgerufen wird, dann genutzt werden, wenn besonders hohe Drehmomente erforderlich sind. So ist dies beispielsweise denkbar, wenn die Antriebsvorrichtung Teil eines Kraftfahrzeugs ist und ein starkes Bremsmanöver durchgeführt werden soll. Vorzugsweise wird in einem Sonderkontrollmodus ein maximales Drehmoment erzeugt, das größer ist als das maximale Drehmoment, das im Normalkontrollmodus erzeugbar ist. Der Normalkontrollmodus und der Sonderkontrollmodus können sich insbesondere beim Ansteuern von Phasen einer Mehrphasenschaltung zum Erzeugen des Statorfeldes unterscheiden. Ferner können sich der Normalkontrollmodus und der Sonderkontrollmodus in einem Grundprinzip zur Kontrolle des Magnetisierungszustands unterscheiden.

[0007] Somit ist es möglich, die Antriebsvorrichtung in einem Betriebspunkt zu betreiben, welcher aufgrund der physikalischen und/oder konstruktiven Ausbildungen der elektrischen Maschine instabil und somit nicht zuverlässig nutzbar ist.

[0008] Vorzugsweise kann im Rahmen der Erfindung vorgesehen sein, dass beim Überführen der elektrischen Maschine vom ersten Normalzustand in den Sonderzustand eine magnetische Restflussdichte des Magnetisierungszustands erhöht wird. Unter der Restflussdichte kann vorzugsweise eine Remanenz verstanden werden, insbesondere bei welcher eine Magnetisierung aufgrund eines magnetischen Feldes bei Verschwinden des äußeren Feldes zurückbleibt. Insbesondere erfolgt das Überführen der elektrischen Maschine vom ersten Normalzustand in den Sonderzustand entlang einer Hystereseurve, wobei sich der erste Normalzustand und/oder der Sonderzustand vorzugsweise im zweiten Quadranten der Hystereseurve befindet.

[0009] Insbesondere liegt der stabile Betriebspunkt, zu welchem der Magnetisierungszustand im Sonderzustand die Tendenz aufweist, auf einer Luftspaltgeraden, insbesondere der Hystereseurve. Unter der Tendenz im Sinne der Erfindung ist ein Magnetisierungszustand zu verstehen, welcher ohne äußere Einflussnahme, insbesondere ohne äußere Stabilisierung, dazu strebt, den stabilen Betriebspunkt einzunehmen. Wird im Rahmen der Überführung der elektrischen Maschine vom ersten Normalzustand in den Sonderzustand der Magnetisierungszustand derart geändert, dass ein magnetisches Feld eine bestimmte Stärke überschreitet, kann die Magneteinheit, insbesondere die Permanentmagnete der Magneteinheit, eine magnetische Flussdichte verlieren. Die Magneteinheit strebt also insbesondere danach die Flussdichte zu verringern, bis der stabile Betriebspunkt erreicht ist. Durch den Sonderkontrollmodus wird dieser Tendenz insbesondere entgegengewirkt und der Betriebspunkt insbesondere auf einer Geraden parallel zur Luftspaltgeraden gehalten. Bei der Luftspaltgeraden handelt es sich insbesondere um eine Kennlinie der elektrischen Maschine im B-H-Diagramm. Insbesondere erfolgt beim Stabilisieren des Sonderzustands ein Betreiben der elektrischen Maschine im Sonderkontrollmodus. Somit kann bei einem geringen Einsatz von magnetischem und/oder magnetisierbarem Material ein hohes Drehmoment erzielt werden. Insbesondere können Permanentmagnete der Magneteinheit geometrisch schmal ausgeführt werden, wodurch entsprechendes Material eingespart werden kann. Dadurch können das Gewicht und/oder die Kosten für die elektrische Maschine gesenkt werden.

[0010] Vorzugsweise kann im Sonderkontrollmodus bei einem erfindungsgemäßen Verfahren der Tendenz des Magnetisierungszustandes zum stabilen Betriebspunkt durch einen konstanten Stabilisierungsstrom am Rotor entgegengewirkt werden. Der Stabilisierungsstrom kann insbesondere an einer Phase einer Mehrphasenschaltung der Antriebsvorrichtung aufgebracht werden und somit ein magnetisches Feld oder einen Teil eines magnetischen Feldes erzeugen, welches oder welcher der Tendenz des Magnetisierungszustandes entgegenwirkt. Somit kann in einfacher

Art und Weise der Sonderzustand stabilisiert werden. Insbesondere kann es sich bei dem Stabilisierungsstrom um einen positiven oder negativen D-Achsen-Strom handeln. Insbesondere kann im Sonderzustand, vorzugsweise durch den Stabilisierungsstrom, eine Reluktanz erzeugt werden, die zu einem Reluktanzmoment führt, das zusätzlich zum elektrischen Drehmoment wirkt, das im ersten Normalzustand erzeugt wird. Insbesondere kann somit das erzeugbare maximale Drehmoment einer Summe des Reluktanzmomentes und eines maximalen Drehmomentes im Normalzustand entsprechen.

[0011] Vorzugsweise kann der Normalkontrollmodus eine Pulskontrolle, insbesondere durch Aussenden von Stromimpulsen, umfassen. Durch die Pulskontrolle kann im Normalkontrollmodus eine Schrittsteuerung des Rotors realisiert sein. Insbesondere können dabei die Phasen zum Ansteuern des Statorfeldes mit einem Signal belegt werden, dessen Amplitude das Drehmoment im Normalkontrollmodus vorgibt. Dadurch kann in vorteilhafterweise ein Magnetisierungsprozess entlang einer Hysteresekurve realisiert sein. Insbesondere kann es sich bei den Stromimpulsen um positive oder negative D-Achsen-Stromimpulse handeln, durch welche Rotormagneten jeweils entsprechend magnetisiert oder demagnetisiert werden.

[0012] Vorzugsweise kann im Normalkontrollmodus und/oder im Sonderkontrollmodus ein Abbremsen des Rotors erfolgen. Somit kann die elektrische Maschine auch als elektrische Bremse eingesetzt werden, um die Antriebsvorrichtung, insbesondere ein Fahrzeug, in welchem die Antriebsvorrichtung verbaut ist, zu bremsen. Dadurch können mechanische Bremsen des Fahrzeugs zum Beispiel vorteilhafterweise geringer dimensioniert sein oder das Fahrzeug kann ohne mechanische Bremsen betreibbar sein. Durch die hohen erzeugbaren Drehmomente im Sonderkontrollmodus kann zum Beispiel auch ein Notbremsmanöver durchführbar sein und somit das Abbremsen insgesamt verbessert sein.

[0013] Vorzugsweise kann beim Überführen der elektrischen Maschine vom ersten Normalzustand in den Sonderzustand zumindest einer der folgenden Schritte ausgeführt werden:

- Magnetisieren des Rotors, insbesondere durch Erhöhen einer Amplitude der Pulskontrolle und/oder
- Aufrechterhalten einer Amplitude der Pulskontrolle.

[0014] Dadurch kann beim Magnetisieren eine Zielhysterese, d.h. eine gewünschte Breite und/oder Höhe der Hysteresekurve, initiiert werden, wobei durch das Demagnetisieren der Sonderzustand erreicht werden kann. Dadurch kann ein Magnetisierungszustand erreicht werden, dessen magnetische Flussdichte höher ist, als die magnetische Flussdichte im Ausgangspunkt. Eine Zeitspanne zum Aufrechterhalten der Amplitude kann von der Magneteinheit und/oder von der Mehrphasenschaltung abhängen, um den Sonderzustand zu erreichen.

[0015] Vorzugsweise kann bei einem erfindungsgemäßen Verfahren folgender Schritt vorgesehen sein:

- Überführen der elektrischen Maschine vom Sonderzustand in einen zweiten Normalzustand, in welchem der Magnetisierungszustand durch den Normalkontrollmodus vorgegeben wird.

[0016] Vorzugsweise kann das Überführen der elektrischen Maschine vom Sonderzustand in den zweiten Normalzustand ein Demagnetisieren des Rotors, insbesondere durch Absenken und/oder Deaktivieren des Stabilisierungsstroms und/oder durch Ausführen einer Pulskontrolle, insbesondere durch Aussenden von Stromimpulsen, durchgeführt werden. Dadurch kann in den Normalkontrollmodus zurückgekehrt werden, wenn zum Beispiel das erhöhte Drehmoment nicht mehr benötigt wird. Dies kann beispielsweise bei einer höheren Geschwindigkeit der Fall sein. Wenn die Restflussdichte die geforderte Restflussdichte nicht übersteigt, kann der Stabilisierungsstrom reduziert oder ausgesetzt werden. Wenn die Restflussdichte die geforderte Restflussdichte übersteigt, kann ein demagnetisierender, insbesondere negativer, D-Stromimpuls aufgebracht werden.

[0017] Vorzugsweise kann bei einem erfindungsgemäßen Verfahren vorgesehen sein, dass zwischen der Magneteinheit des Rotors und einem Spalt zwischen dem Rotor und dem Stator und/oder in einem Rotorkörper des Rotors ein amagnetischer Bereich vorgesehen ist und der amag-

netische Bereich im Normalkontrollmodus und/oder im Sonderkontrollmodus einer Demagnetisierung der Magneteinheit entgegenwirkt. Insbesondere kann der amagnetische Bereich im Sonderkontrollmodus der Tendenz zu einem stabilen Betriebspunkt des Magnetisierungszustandes entgegenwirken und somit den Sonderzustand stabilisieren. Dies kann insbesondere von einer entsprechenden Dimensionierung des amagnetischen Bereichs abhängen. Unter einem amagnetischen Bereich kann ein Bereich verstanden werden, der keine oder lediglich eine geringe, insbesondere eine vernachlässigbare, Magnetisierbarkeit aufweist. Vorzugsweise kann der amagnetische Bereich durch Materialeigenschaften von beispielsweise Luft, Kunststoff und/oder austenitischen Stahl ausgebildet werden. Insbesondere wirkt der amagnetische Bereich der Demagnetisierung der Magneteinheit durch einen magnetischen Q-Achsen-Fluss und/oder einen Q-Achsen-Strom entgegen, der eine Art magnetische Überbrückung bewirkt.

[0018] Ferner kann bei einem erfindungsgemäßen Verfahren vorgesehen sein, dass der Magnetisierungszustand der Magneteinheit eine Magnetisierungsrichtung umfasst, die im ersten Normalzustand und/oder im Sonderzustand tangential zum Rotor ausgerichtet wird, und/oder dass im Sonderzustand der Magnetisierungszustand in einem Betriebspunkt vor einem Kniepunkt der Hysteresekurve stabilisiert wird, insbesondere wobei zuvor eine Magnetisierung des Permanentmagneten, vorzugsweise unter Null-Last Bedingung, bis zur Sättigung erfolgt. Vorzugsweise kann der Kniepunkt im zweiten Quadranten der Hysteresekurve, insbesondere in einem B-H-Diagramm, liegen. Unter dem Kniepunkt kann insbesondere ein Punkt im B-H-Diagramm verstanden werden, ab welchem eine Entmagnetisierungskennlinie des magnetischen oder magnetisierbaren Materials eine signifikante Steigerungsänderung aufweist, d.h. beispielsweise von einer Geraden abweicht. Der Betriebspunkt liegt insbesondere bei Nulllast vor. Unter der Magnetisierungsrichtung kann insbesondere die Anordnung der Pole, insbesondere von Permanentmagneten der Magneteinheit, verstanden werden. Die tangentiale Richtung zum Rotor kann somit insbesondere eine Tangente am Umfang des Rotors umfassen, bzw. eine Parallele zu der Tangente. Insbesondere durch den Betriebspunkt vor dem Kniepunkt, d.h. insbesondere oberhalb und/oder unterhalb des Kniepunktes der Hysteresekurve, in Verbindung mit der tangentialen Ausrichtung der Magnete kann der notwendige Strom zur Magnetisierung der Magneteinheit reduziert sein und somit die Stabilisierung des Magneten vereinfacht sein und/oder weniger magnetisches Material benötigt werden. Vorzugsweise ist die Breite derart ausgestaltet, dass ein Permanentmagnet der Magneteinheit in einem Betriebspunkt vor dem Kniepunkt im zweiten Quadranten des B-H-Diagramms betrieben wird, nachdem dieser unter Null-Last Bedingung bis zur Sättigung magnetisiert wurde.

[0019] Ferner ist es bei dem erfindungsgemäßen Verfahren denkbar, dass eine magnetische Flusskomponente des Statorfeldes zumindest teilweise tangential zu der Magneteinheit des Rotors ausgerichtet wird. Insbesondere kann die Ausrichtung der magnetischen Flusskomponente durch eine Ausgestaltung des Rotors vorgegeben werden. Somit kann die Ausrichtung während des Betriebs der elektrischen Maschine permanent erfolgen. Vorzugsweise kann es sich bei der magnetischen Flusskomponente um einen Q-Achsen-Fluss handeln. Insbesondere kann die magnetische Flusskomponente dabei tangential zu Permanentmagneten der Magneteinheit ausgerichtet sein, d.h. insbesondere zumindest teilweise senkrecht zur Magnetisierungsrichtung der Permanentmagnete erzeugt werden. Dies kann beispielsweise durch amagnetische Bereiche unterstützt beziehungsweise konstruktiv vorgegeben werden, um einer Demagnetisierung der Magneteinheit entgegen zu wirken. Somit kann auch dadurch die Stabilisierung des Sonderzustandes weiter unterstützt werden.

[0020] Ferner ist es bei einem erfindungsgemäßen Verfahren denkbar, dass die Magneteinheit gegen Wirbelströme, insbesondere durch eine Schutzschicht der Magneteinheit und/oder eines Rotorkörpers, abgeschirmt wird. Bei der Schutzschicht kann es sich um eine Laminierung der Magnete und/oder des Rotorkörpers handeln. Insbesondere können durch die Schutzschicht Wirbelströme reduziert werden, sodass eine Magnetisierung der Magneteinheit verkürzt werden kann. Gleichzeitig kann die Schutzschicht eine mechanische Festigkeit des Rotors verbessern, was sich positiv auf den Betrieb und eventuell entstehende Neben- und/oder Störeffekte auswirken kann. Insbesondere kann die Laminierung in Scheiben vorgesehen sein, um die Magnetein-

heit gegen Wirbelströme abzuschirmen.

[0021] Weiterhin ist es bei einem erfindungsgemäßen Verfahren denkbar, dass während des Verfahrens eine Harmonisierung eines am Rotor erzeugten Drehmoments, insbesondere durch mehrere entlang einer Rotorachse des Rotors versetzt angeordnete amagnetische Bereiche, durchgeführt wird. Insbesondere können die amagnetischen Bereiche durch schräg verlaufende Läufernuten gebildet sein. Dadurch kann ein erzeugtes Drehmoment geglättet werden, d.h. insbesondere das Drehmoment stabilisiert werden. Die versetzt angeordneten amagnetischen Bereiche können zum Beispiel dadurch erzielt werden, dass der Rotor aus mehreren Blechen aufgebaut wird, die zueinander entlang der Rotorachse asymmetrisch sind. Insbesondere können die amagnetischen Bereiche entlang der Rotorachse derart versetzt sein, dass sich ein Winkel am Rotor eines ersten amagnetischen Bereichs von einem Winkel am Rotor eines zweiten amagnetischen Bereichs, der hinter dem ersten amagnetischen Bereich auf der Rotorachse angeordnet ist, unterscheidet.

[0022] Gemäß einem weiteren Aspekt der vorliegenden Erfindung ist ein Computerprogrammprodukt beansprucht, das Befehle umfasst, die bei einer Ausführung, insbesondere der Befehle und/oder des Programms, durch eine Kontrolleinheit die Kontrolleinheit veranlassen ein erfindungsgemäßes Verfahren auszuführen.

[0023] Das Computerprogrammprodukt kann als computerlesbarer Anweisungscode in jeder geeigneten Programmiersprache wie beispielsweise in JAVA oder C++ implementiert sein. Das Computerprogrammprodukt kann auf einem computerlesbaren Speichermedium wie einer Datendisk, einem Wechsellaufwerk, einem flüchtigen oder nichtflüchtigen Speicher, oder einem eingebauten Speicher/Prozessor abgespeichert sein. Der Anweisungscode kann einen Computer oder andere programmierbare Geräte wie die Kontrolleinheit derart programmieren, dass die gewünschten Funktionen ausgeführt werden. Ferner kann das Computerprogrammprodukt in einem Netzwerk wie beispielsweise dem Internet bereitgestellt werden bzw. sein, von dem es bei Bedarf von einem Nutzer heruntergeladen werden kann. Das Computerprogrammprodukt kann sowohl mittels eines Computerprogramms, d. h. einer Software, als auch mittels einer oder mehrerer spezieller elektronischer Schaltungen, d.h. in Hardware, oder in beliebig hybrider Form, d. h. mittels Software-Komponenten und Hardware-Komponenten, realisiert werden bzw. sein.

[0024] Damit bringt ein erfindungsgemäßes Computerprogrammprodukt die gleichen Vorteile mit sich, wie sich ausführlich bereits mit Bezug auf ein erfindungsgemäßes Verfahren beschrieben worden sind.

[0025] Gemäß einem weiteren Aspekt der vorliegenden Erfindung ist eine Antriebsvorrichtung, insbesondere für ein Kraftfahrzeug, beansprucht. Die Antriebsvorrichtung weist eine elektrische Maschine mit einem Stator und einem Rotor auf, wobei der Rotor mit einem magnetischen Statorfeld des Stators magnetisch koppelbar ist. Ferner weist die Antriebsvorrichtung eine Kontrolleinheit mit einem Normalsteuermodul zum Betreiben der elektrischen Maschine in einem ersten Normalzustand auf, wobei im ersten Normalzustand der Magnetisierungszustand durch einen Normalkontrollmodus vorgebar ist. Der Rotor weist weiterhin eine Magneteinheit auf, wobei ein Magnetisierungszustand der Magneteinheit des Rotors durch das Statorfeld beeinflussbar ist. Die Kontrolleinheit umfasst ferner ein Überführungsmodul zum Überführen der elektrischen Maschine vom ersten Normalzustand in einen Sonderzustand, in welchem der Magnetisierungszustand eine Tendenz zu einem stabilen Betriebspunkt aufweist. Weiterhin umfasst die Kontrolleinheit ein Stabilisierungsmodul zum Stabilisieren des Sonderzustands durch einen Sonderkontrollmodus, welcher der Tendenz des Magnetisierungszustands zum stabilen Betriebspunkt entgegenwirkt.

[0026] Somit bringt eine erfindungsgemäße Antriebsvorrichtung die gleichen Vorteile mit sich, wie sie bereits mit Bezug auf ein erfindungsgemäßes Verfahren und/oder ein erfindungsgemäßes Computerprogrammprodukt beschrieben worden sind. Die Kontrolleinheit kann ein zentrales Steuergerät der Antriebsvorrichtung, insbesondere des Kraftfahrzeugs, umfassen. Weiterhin ist es denkbar, dass mehrere dezentrale Steuergeräte vorgesehen sind, die die Kontrolleinheit bilden. Somit kann durch die erfindungsgemäße Antriebsvorrichtung eine Möglichkeit geschaffen sein einen magnetischen Fluss zu erhöhen bzw. einen Betriebspunkt zu erreichen, in dem eine

magnetische Flussdichte erhöht ist und somit ein höheres Drehmoment erzeugbar ist. Vorzugsweise kann die Antriebsvorrichtung für den Normalkontrollmodus und/oder den Sonderkontrollmodus mit einer Energiespeichereinheit, insbesondere in Form einer Fahrzeugbatterie, verbunden sein. Bei dem Rotor kann es sich vorteilhafterweise um einen Innenläufer oder einen Außenläufer handeln.

[0027] Vorzugsweise kann bei einer erfindungsgemäßen Antriebsvorrichtung das Stabilisierungsmodul dazu ausgebildet sein, einen konstanten Stabilisierungsstrom am Stator zu initiieren, welcher der Tendenz des Magnetisierungszustands zum stabilen Betriebspunkt entgegenwirkt. Dadurch kann in einfacher Art und Weise eine Stabilisierung des Sonderzustands realisiert sein. Der Stabilisierungsstrom kann insbesondere an einer Phase einer Mehrphasenschaltung der Antriebsvorrichtung aufbringbar sein, um ein magnetisches Feld oder einen Teil eines magnetischen Feldes zu erzeugen, welches oder welcher der Tendenz des Magnetisierungszustandes entgegenwirkt.

[0028] Vorzugsweise ist das Normalsteuermodul zum Durchführen einer Pulskontrolle, insbesondere durch Aussenden von Stromimpulsen ausgebildet. Insbesondere kann das Normalsteuermodul dazu ausgebildet sein eine Umrichtereinheit einer Mehrphasenschaltung der Antriebsvorrichtung anzusteuern und dadurch Stromimpulse mit Amplituden auszusenden. Durch die Stromimpulse kann das Folgen einer Hystereseurve ermöglicht sein. Insbesondere kann die Umrichtereinheit dazu Halbleiterbauelemente aufweisen, um einen Drehstrombetrieb der elektrischen Maschine durch die Pulskontrolle zu ermöglichen.

[0029] Weiterhin kann vorzugsweise bei einer erfindungsgemäßen Antriebsvorrichtung vorgesehen sein, dass das Normalsteuermodul zum Abbremsen des Rotors im Normalkontrollmodus und/oder das Stabilisierungsmodul zum Abbremsen des Rotors im Sonderkontrollmodus ausgebildet ist. Dadurch können die Anforderungen an eine mechanische Bremse der Antriebsvorrichtung reduziert sein, wenn das Abbremsen durch die elektrische Maschine möglich ist und insbesondere ein verstärktes Abbremsen im Sonderkontrollmodus durchführbar ist.

[0030] Vorzugsweise kann bei einer erfindungsgemäßen Antriebsvorrichtung das Überführungsmodul zum Magnetisieren des Rotors, insbesondere durch Erhöhen einer Amplitude der Pulskontrolle und/oder durch Aufrechterhalten einer Amplitude der Pulskontrolle, ausgebildet sein. Zusätzlich oder alternativ kann das Überführungsmodul zum Demagnetisieren des Rotors, insbesondere durch Absenken einer Amplitude der Pulskontrolle, ausgebildet sein. Somit kann in einfacher Art und Weise der erste Normalzustand in den Sonderzustand überführt werden, indem einer Hystereseurve, insbesondere im B-H-Diagramm, gefolgt wird. Insbesondere kann durch das Überführungsmodul ein entsprechender Stromimpuls oder mehrere Stromimpulse einer Mehrphasenschaltung zum Ansteuern von Phasen des Stators bzw. der Mehrphasenschaltung vorgegeben werden.

[0031] Weiterhin ist es bei einer erfindungsgemäßen Antriebsvorrichtung denkbar, dass die Kontrolleinheit ein Rückführungsmodul zum Überführen der elektrischen Maschine vom Sonderzustand in einen zweiten Normalzustand, in welchem der Magnetisierungszustand durch den Normalkontrollmodus vorgebar ist, ausgebildet ist. Dadurch kann ein Bereich hoher Drehmomente wieder verlassen werden und zum Beispiel in einen Bereich niedriger Drehmomente mit hohen Geschwindigkeiten zurückgekehrt werden. Insbesondere kann die Hystereseurve somit vom Sonderzustand in den Normalzustand abgeschrieben werden, wobei der zweite Normalzustand im Vergleich zum ersten Normalzustand den Beginn einer neuen Hystereseurve, insbesondere einer veränderten Hystereseurve, darstellen kann.

[0032] Vorzugsweise kann bei einer erfindungsgemäßen Antriebsvorrichtung zwischen der Magneteinheit des Rotors und einem Spalt zwischen dem Rotor und dem Stator und/oder in einem Rotorkörper des Rotors zumindest ein amagnetischer Bereich vorgesehen sein, durch den eine Demagnetisierung der Magneteinheit entgegenwirkbar ist. Insbesondere kann der Rotorkörper einen oder mehrere Rotorpole bilden. Durch den amagnetischen Bereich kann somit insbesondere die Stabilisierung des Sonderzustands unterstützt werden. Der amagnetische Bereich kann zum Beispiel Luft, Kunststoff, austenitischen Stahl und/oder dergleichen aufweisen. Insbeson-

dere kann unter dem amagnetischen Bereich ein Bereich verstanden werden, in welchem ein Material und/oder ein Stoff nur geringfügig, d.h. insbesondere vernachlässigbar, magnetisierbar ist. Dadurch können die Magnetfelder geführt werden, sodass sich eine positive Beeinflussung von Permanentmagneten der Magneteinheit ergeben kann. Insbesondere kann ein amagnetischer Bereich radial oberhalb von Permanentmagneten der Magneteinheit angeordnet sein.

[0033] Weiterhin ist es bei einer erfindungsgemäßen Antriebsvorrichtung denkbar, dass die Magneteinheit derart am Rotor angeordnet ist, dass der Magnetisierungszustand der Magneteinheit eine Magnetisierungsrichtung umfasst, die im ersten Normalzustand und/oder im Sonderzustand tangential zum Rotor ausgerichtet ist, und/oder dass ein Permanentmagnet der Magneteinheit eine derartige Breite aufweist, dass im Sonderzustand der Magnetisierungszustand in einem Betriebspunkt vor einem Knipunkt einer Hysteresekurve stabilisierbar ist, insbesondere wenn zuvor eine Magnetisierung des Permanentmagneten, vorzugsweise unter Null-Last Bedingung, bis zur Sättigung erfolgt ist. Ohne Stabilisierung kann der Magnetisierungszustand in einem Betriebspunkt außerhalb des Knipunktes liegen. Durch die Stabilisierung kann der Betriebspunkt in einen stabilen Bereich vor dem Knipunkt verschoben werden. Insbesondere können mehrere Permanentmagnete gestapelt am Rotor angeordnet sein. Vorzugsweise ist die Magnetisierungsrichtung dabei jeweils tangential zum Rotor, d.h. senkrecht zu einem Rotorradius. Dadurch ergibt sich eine vorteilhafte Anordnung der Magnete für den Sonderzustand, wobei zum Beispiel durch einen positiven D-Achsen-Strom der Permanentmagnet der Magneteinheit im Sonderzustand stabilisiert werden kann. Vorzugsweise ist die Breite derart ausgestaltet, dass ein Permanentmagnet der Magneteinheit in einem Betriebspunkt vor dem Knipunkt im zweiten Quadranten des B-H-Diagramms betreibbar ist, nachdem dieser unter Null-Last Bedingung bis zur Sättigung magnetisiert wurde.

[0034] Weiterhin ist es bei einer erfindungsgemäßen Antriebsvorrichtung denkbar, dass eine Schutzschicht an der Magneteinheit und/oder an einem Rotorkörper angeordnet ist, durch welche die Magneteinheit gegen Wirbelströme zumindest teilweise abschirmbar ist, insbesondere wobei die Schutzschicht eine Laminierung, eine Beschichtung und/oder ein Deckelelement aus amagnetischem Material umfasst. Die Wirbelströme können in Bezug auf ein erreichbares maximales Moment negativ wirken. Insbesondere können die Wirbelströme für eine starke Erhitzung des Rotors sorgen und/oder einen erhöhten Materialaufwand zum Erreichen eines maximalen Drehmomentes bedingen. Durch die Schutzschicht, insbesondere in Form einer Laminierung und/oder einer Beschichtung, können die Wirbelströme reduziert sein. Vorzugsweise kann die Schutzschicht in radialer Richtung des Rotors außen an den Permanentmagneten angeordnet sein. Das Deckelelement kann ferner eine hohe mechanische Festigkeit aufweisen. Das amagnetische Material des Deckelelementes umfasst vorzugsweise einen austenitischen Stahl. Weiterhin kann das Deckelelement vorteilhafterweise mit den Permanentmagneten formschlüssig zwischen zwei Körperelementen angeordnet sein.

[0035] Vorzugsweise ist zumindest ein Permanentmagnet der Magneteinheit formschlüssig zumindest teilweise in einem Rotorkörper des Rotors angeordnet. Dadurch kann die Befestigung bzw. Montage vereinfacht sein und in einfacher Art und Weise eine konstruktive bzw. montage-technische Genauigkeit erzielt werden, um den Normalzustand und/oder den Sonderzustand möglichst genau ansteuern zu können. Durch geringere Toleranzen können folglich Störfaktoren aufgrund mechanischer Abweichungen und daraus resultierender Einflüsse reduziert werden.

[0036] Vorzugsweise kann bei einer erfindungsgemäßen Antriebsvorrichtung vorgesehen sein, dass ein Rotorkörper des Rotors zumindest zwei Körperelemente aufweist, die mit der Magneteinheit und/oder einem Rotorschaft formschlüssig zusammenwirken. Insbesondere kann der Rotorschaft ein Formschlusselement aufweisen, das mit einem Gegenformschlusselement zumindest eines der Körperelemente zusammenwirkt. Das Formschlusselement und/oder das Gegenformschlusselement kann schwalbenschwanzförmig und/oder zylindrisch ausgestaltet sein, um eine hohe mechanische Festigkeit zu ermöglichen. Die Körperelemente können in Umfangsrichtung des Rotors und/oder in Richtung einer Rotorachse des Rotors angeordnet sein. Insbesondere können mehrere Körperelemente entlang der Rotorachse einen Stapel bilden. Insbesondere kann der Rotorkörper somit in mehrere Körperelemente aufgeteilt sein, um die Montage zu ver-

einfachen und geringere Toleranzen zu ermöglichen. Insbesondere ist durch die Aufteilung des Rotorkörpers in mehrere Körperelemente ist jedes Körperelement in Bezug auf die Toleranzen in Bezug auf die Montage separat zu betrachten, sodass die Toleranzen geringer gewählt werden können. Dies kann sich wiederum positiv auf die elektromagnetischen Eigenschaften auswirken, da konstruktive bzw. fertigungstechnische Abweichungen geringere Störeffekte bewirken. Der Rotorschafft kann beispielsweise aus einem amagnetischen Material, z.B. austenitischem Stahl, hergestellt sein. Der Formschluss kann zum Beispiel durch zylindrische und/oder schwalbenschwanzförmige Formschlussbereiche erzielt werden, so dass auch hohe mechanische Kräfte im Betrieb aufgenommen werden können, ohne elektromagnetische Störeffekte hervorzurufen.

[0037] Weiterhin kann bei einer erfindungsgemäßen Antriebsvorrichtung vorgesehen sein, dass zumindest zwei amagnetische Bereich entlang einer Drehachse des Rotors versetzt zueinander angeordnet sind. Insbesondere können mehrere Rotorelemente axial aneinander angeordnet werden, wobei jeweils amagnetische Bereiche der Rotorelemente in Umfangsrichtung versetzt sein können, um die versetzte Anordnung entlang der Drehachse zu bewirken. Dadurch kann ein erzeugtes Drehmoment am Rotor geglättet sein und folglich ein Betrieb insbesondere bei hohen Drehmomenten, d.h. zum Beispiel im Sonderzustand, verbessert sein.

[0038] Vorzugsweise ist die Kontrolleinheit, insbesondere das Normalsteuermodul, das Überführungsmodul und/oder das Stabilisierungsmodul, dazu ausgebildet ist, ein erfindungsgemäßes Verfahren durchzuführen. Dafür kann die Kontrolleinheit insbesondere dazu ausgebildet, das erfindungsgemäße Computerprogrammprodukt auszuführen.

[0039] Gemäß einem weiteren Aspekt der vorliegenden Erfindung ist ein Kraftfahrzeug mit einer Antriebsvorrichtung mit einer erfindungsgemäßen Antriebsvorrichtung zum Betreiben zumindest eines Rades des Kraftfahrzeugs beansprucht.

[0040] Vorzugsweise kann die Antriebsvorrichtung mehrere elektrische Maschinen zum Betreiben jeweils eines oder mehrerer Räder des Kraftfahrzeugs aufweisen. Vorzugsweise kann jedes Rad des Kraftfahrzeugs von einer elektrischen Maschine der Antriebsvorrichtung betreibbar sein. Somit bringt ein erfindungsgemäßes Kraftfahrzeug die gleichen Vorteile mit sich, wie sie bereits ausführlich mit Bezug auf ein erfindungsgemäßes Verfahren, ein erfindungsgemäßes Computerprogrammprodukt und/oder eine erfindungsgemäße Antriebsvorrichtung beschrieben worden sind. Unter dem Betreiben des Rades kann insbesondere ein Antreiben und/oder Abbremsen verstanden werden.

[0041] Weitere, die Erfindung verbessernde Maßnahmen ergeben sich aus der nachfolgenden Beschreibung zu verschiedenen Ausführungsbeispielen der Erfindung, welche in den Figuren schematisch dargestellt sind. Sämtliche aus den Ansprüchen, der Beschreibung oder den Figuren hervorgehende Merkmale und/oder Vorteile, einschließlich konstruktiver Einzelheiten und räumlicher Anordnungen können sowohl für sich als auch in den verschiedenen Kombinationen erfindungswesentlich sein. Es zeigen jeweils schematisch:

- [0042]** Fig. 1 ein erfindungsgemäßes Verfahren in schematischer Darstellung des Verfahrensschritte mit einem erfindungsgemäßen Computerprogramm,
- [0043]** Fig. 2 ein Überführen von einem ersten Normalzustand in einen Sonderzustand beim erfindungsgemäßen Verfahren,
- [0044]** Fig. 3 Kontrollmodi bei dem erfindungsgemäßen Verfahren.
- [0045]** Fig. 4 eine Pulskontrolle mit nachfolgender Stabilisierung bei dem Verfahren,
- [0046]** Fig. 5 ein Drehmoment bei dem erfindungsgemäßen Verfahren in einem Diagramm,
- [0047]** Fig. 6 eine erfindungsgemäße Antriebsvorrichtung mit einer elektrischen Maschine,
- [0048]** Fig. 7 ein Rotor der elektrischen Maschine in einer Seitenansicht in schematischer Darstellung,
- [0049]** Fig. 8 ein erfindungsgemäßes Kraftfahrzeug.

[0050] Element mit gleicher Funktion und Wirkungsweise sind in den Fig. 1-8 jeweils mit denselben Bezugszeichen versehen.

[0051] In Fig. 1 ist schematisch ein erfindungsgemäßes Verfahren 100 zum Betreiben einer Antriebsvorrichtung 10 in schematischer Darstellung der Verfahrensschritte dargestellt. Die Verfahrensschritte können insbesondere durch ein Computerprogramm 300 abgearbeitet werden, wobei das Computerprogramm 300 Befehle 301 umfasst, die bei einer Ausführung des Programms durch eine Kontrolleinheit 12 der Antriebsvorrichtung 10 die Kontrolleinheit 12 dazu veranlassen das Verfahren 100 auszuführen.

[0052] Insbesondere die Fig. 6 und 8 zeigen dabei die Antriebsvorrichtung 10 mit weiteren Aspekten. So zeigt die Fig. 8 ein erfindungsgemäßes Kraftfahrzeug 1 mit der Antriebsvorrichtung 10, wobei die Antriebsvorrichtung 10 hier zwei elektrische Maschinen 11 aufweist, die durch eine Kontrolleinheit 12 mit je einer Mehrphasenschaltung 30 verbunden sind, sodass durch die Kontrolleinheit 12 die elektrische Maschinen 11 über die Mehrphasenschaltung 30, insbesondere über eine Umrichtereinheit 31 der Mehrphasenschaltung 30 je elektrischer Maschine 11, ansteuerbar ist. Eine Ausgestaltung der Antriebsvorrichtung 10 mit nur einer elektrischen Maschine 11 und einer Umrichtereinheit 31 ist ebenfalls denkbar. Eine Energieversorgung der elektrischen Maschinen kann vorzugsweise durch einen Energiespeicher 3, insbesondere in Form einer Fahrzeugbatterie, der Antriebsvorrichtung 10 erfolgen. Um ein Rad 2 des Kraftfahrzeugs 1 zu betreiben, d.h. insbesondere anzutreiben und/oder abzubremesen, weist die jeweilige elektrische Maschine 11, wie insbesondere in Fig. 6 dargestellt, einen Stator 11.1 und einen Rotor 20 auf, wobei der Rotor 20 mit einem magnetischen Statorfeld des Stators 11.1 magnetisch koppelbar ist. Das magnetische Statorfeld kann insbesondere durch die Umrichtereinheit 31 in Abhängigkeit von einer Ansteuerung durch die Kontrolleinheit 12 erzeugt werden. Dazu können Phasen 11.2 am Stator 11.1 bestromt werden, die vorzugsweise Wicklungen aufweisen, sodass das Statorfeld entstehen kann. Die magnetische Kopplung des Statorfeldes und des Rotors wird insbesondere zumindest teilweise durch eine Magneteinheit 21 des Rotors 20 erzeugt, wobei die Magneteinheit 21 mehrere Permanentmagnete 21.1 aufweist und ein Magnetisierungszustand 200 der Magneteinheit 21 durch das Statorfeld beeinflussbar ist. Insbesondere können jeweils mehrere Permanentmagnete 21.1 gestapelt am Rotor 20 angeordnet sein.

[0053] Das Verfahren 100 umfasst ein Betreiben 101 der elektrischen Maschine 11 in einem ersten Normalzustand 201, in welchem der Magnetisierungszustand 200 durch einen Normalkontrollmodus 210 vorgegeben wird. Der Normalsteuermodus 210 kann vorzugsweise durch ein Normalsteuermodul 13 der Kontrolleinheit 12 ausführbar sein. Wie in Fig. 3 dargestellt, umfasst der Normalkontrollmodus 210 hohe Rotordrehzahlen 231, d.h. insbesondere hohe Rotorgeschwindigkeiten, bei einem niedrigen Drehmoment 230. Weiterhin umfasst das Verfahren 100 ein Überführen 102 der elektrischen Maschine 11 vom ersten Normalzustand 201 in einen Sonderzustand 202, in welchem der Magnetisierungszustand 200 eine Tendenz zu einem stabilen Betriebspunkt 203 auf einer Luftspaltgeraden 203.1 aufweist. Das Überführen 102 der elektrischen Maschine 11 vom ersten Normalzustand 201 in einen Sonderzustand 202 kann vorzugsweise durch ein Überführungsmodul 14 der Kontrolleinheit 12 durchgeführt werden.

[0054] Der Verlauf des Magnetisierungszustandes 200 beim Überführen 102 der elektrischen Maschine 11 vom ersten Normalzustand 201 in einen Sonderzustand 202 ist in Fig. 2 in einem schematischen B-H-Diagramm dargestellt, wobei eine magnetische Flussdichte 200.2 gegenüber einer magnetischen Feldstärke 200.1 aufgetragen ist. Der Verlauf des Magnetisierungszustandes 200 weist zumindest einen Teil einer Hystereseurve 200.3 auf. Beim Überführen 102 der elektrischen Maschine 11 vom ersten Normalzustand 201 in den Sonderzustand 202 wird insbesondere zunächst ein Magnetisieren 102.1 des Rotors 20, vorzugsweise bis zur Sättigung, durchgeführt und insbesondere anschließend ein Reduzieren 102.2 des Magnetisierens 102.1 des Rotors 20. Fig. 4 zeigt einen Phasenstromparameter 232, d.h. einen Strom oder eine Amplitude an zumindest einer der Phasen 11.4, gegenüber der Zeit t . Der Normalsteuermodus 210 umfasst vorzugsweise eine Pulskontrolle 211. Zum Magnetisieren 102.1 des Rotors 20 erfolgt ein Erhöhen der Amplitude 211.1 und Aufrechterhalten der Amplitude 211.1, bis zum Reduzieren 102.2 durch Absenken der Amplitude 211.1 durch die Pulskontrolle 211. Insbesondere kann die Pulskontrolle

211 einen oder mehrere Stromimpulse umfassen, bei denen die Phasen 11.2 bestromt werden. Ist der Sonderzustand 202 erreicht, indem ein Überführen 102 der elektrischen Maschine 11 vom ersten Normalzustand 201 in den Sonderzustand 202 erzeugt wurde, erfolgt ein Stabilisieren 103 des Sonderzustands 202 durch einen Sonderkontrollmodus 220, der der Tendenz des Magnetisierungszustands 200 zum stabilen Betriebspunkt 203 entgegenwirkt. Wie in Fig. 4 dargestellt, kann der Sonderzustand 202 durch einen Stabilisierungsstrom 221 stabilisiert werden, der insbesondere einen konstanten Strom an einer oder mehrerer der Phasen 11.2 aufweist. Der Stabilisierungsstrom 221 kann vorzugsweise durch ein Stabilisierungsmodul 15 gesteuert und/oder geregelt werden. Die Tendenz des Magnetisierungszustandes 200 zum stabilen Betriebspunkt 203 kann insbesondere eine Demagnetisierung der Magneteinheit 21, insbesondere von Permanentmagneten 21.1 der Magneteinheit 21, umfassen, wobei insbesondere eine Magnetisierung der Permanentmagnete 21.1 dazu tendiert bis zum Erreichen der Luftspaltgeraden 203.1 abzunehmen. Durch das Stabilisieren 103 des Sonderzustands 202 kann ein höherer magnetischer Fluss 200.2 erreicht und beim Betreiben der Antriebsvorrichtung 10 ausgenutzt werden, der wiederum zu einem höheren Drehmoment 230 führt.

[0055] Fig. 3 zeigt hierzu ein Diagramm, bei dem eine Rotordrehzahl 231 gegenüber dem Drehmoment 230 aufgetragen ist, wobei erkennbar ist, dass bei hohen Geschwindigkeiten im Normalkontrollmodus 210 Betriebspunkte angefahren werden können, die hohe Drehmomente 230 nicht benötigen, während im Sonderkontrollmodus 220 ein maximales Drehmoment erreicht werden kann, das höher ist als ein maximales Drehmoment im Normalkontrollmodus 210.

[0056] Fig. 5 hierzu nochmal ein Diagramm, bei dem ein Rotorwinkel 233 gegenüber dem Drehmoment 230 aufgetragen ist, wobei sich ein elektrisches Drehmoment 230.1 des Rotors 20 aus einer Summe eines Drehmomentes 221.1 durch den Stabilisierungsstrom 221 und einem Drehmoment 211.2 aufgrund einer Amplitude 211.1 der Pulskontrolle 11 im Normalkontrollmodus 210 ergibt. Bei dem Drehmoment 221.1 aufgrund des Stabilisierungsstroms 221 handelt es sich insbesondere um ein Reluktanzmoment, durch welches somit das gesamte Drehmoment 230.1 verbessert ist.

[0057] Um in einen zweiten Normalzustand 204 zu gelangen kann, insbesondere durch ein Rückführungsmodul 16 der Kontrolleinheit 12, ein Überführen 104 der elektrischen Maschine 11 vom Sonderzustand 202 in den zweiten Normalzustand 204 erfolgen. Im zweiten Normalzustand kann der Magnetisierungszustand 200 durch den Normalkontrollmodus 210 vorgegeben werden. Das Überführen 104 der elektrischen Maschine 11 vom Sonderzustand 202 in den zweiten Normalzustand 204 umfasst vorzugsweise ein Demagnetisieren des Rotors 20 durch ein Absenken und/oder Deaktivieren des Stabilisierungsstroms 221 und/oder durch Ausführen einer Pulskontrolle 211, insbesondere durch Aussenden von Stromimpulsen. Um den gewünschten zweiten Normalzustand 204 zu erreichen, kann vorgesehen sein, dass ein durch die Stromimpulse negativer D-Achsen Strom aufgebracht wird.

[0058] Um die Stabilisierung zu unterstützen weist ferner, wie in Fig. 6 dargestellt, der Rotor 20 amagnetische Bereiche 23 auf, die zumindest teilweise zwischen den Permanentmagneten 21.1 und einem Luftspalt 11.3 zwischen dem Stator 11.1 und dem Rotor 20 angeordnet sind. Durch die amagnetischen Bereiche 23 kann ein magnetischer Fluss gelenkt werden, um die Stabilisierung zu unterstützen. Die amagnetischen Bereiche 23 können beispielsweise Luft, Kunststoff und/oder austenitischen Stahl, die nur geringfügig, insbesondere vernachlässigbar, magnetisierbar sind, aufweisen. Weiterhin umfasst der Rotor 20 einen Rotorkörper 22, der verschiedene Körperelemente 22.1 aufweist, wobei die Körperelemente 22.1 die Permanentmagneten 21.1 formschlüssig einschließen. Darüber hinaus sind die Körperelemente 22.1 jeweils formschlüssig mit einem Rotorscheft 25 verbunden, sodass sich eine einfache Montage des Rotors 20 ergibt. Dazu weisen die Körperelemente 22.1 jeweils, insbesondere schwalbenschwanzförmige und/oder zylindrische, Gegenformschlusselemente 22.2 auf, die mit Formschlusselementen 25.1 des Rotorschaftes 25 den Formschluss bewirken. Insbesondere sind die Körperelemente 22.1 keilförmig ausgestaltet. Durch den Formschluss ist zum einen die Montage des Rotors 20 deutlich vereinfacht und zum anderen können die Toleranzen insbesondere in Verbindung mit der Aufteilung des Rotorkörpers 22 in verschiedene Rotorelemente 22.1 gering gehalten werden, sodass

herstellungsbedingte Störgrößen auf die elektromagnetischen Eigenschaften des Rotors 20 reduziert werden können. Dadurch können die Ströme besser geleitet werden und folglich kann die Stabilisierung 103 verbessert erfolgen. Die Permanentmagneten 21.1 weisen ferner eine Breite 22.2 auf, durch welche die Magneteinheit 21 außerhalb eines Kniefunktes des zweiten Quadranten der Hysteresekurve 200.3, wie in Fig. 2 dargestellt, den Sonderzustand 202 aufweist. Ferner ist eine Magnetisierungsrichtung 21.3 der Permanentmagnete 21.1 vorgesehen, die tangential zum Rotor 20 ist, d.h. insbesondere senkrecht zu einem Rotorradius steht, der durch die Permanentmagneten 21.1 geht. Zumindest teilweise tangential zu dem Permanentmagneten 21.1 und insbesondere senkrecht zur Magnetisierungsrichtung 21.3 wird im Normalkontrollmodus 210 und/oder im Sonderkontrollmodus 220 eine magnetische Flusskomponente 200.4 des Magnetisierungszustands 200, insbesondere in Form eines Q-Achsen-Flusses, ausgerichtet, um die Stabilisierung 103 zu unterstützen. Ferner ist eine Schutzschicht 24 vorgesehen, die eine Laminierung der Körperelemente 22.1 und/oder der Permanentmagneten 21.1 umfasst, um Wirbelströme zu reduzieren. Weiterhin umfasst die Schutzschicht 24 für jeweils für mehrere gestapelte Permanentmagneten 21.1 ein Deckelelement, das aus einem amagnetischen Material, insbesondere austenitischem Stahl, ausgebildet ist. Dadurch können die Wirbelströme weiter reduziert und die mechanische Festigkeit verbessert sein. Insbesondere sind die Deckelelemente zwischen den Körperelementen 22.1 formschlüssig angeordnet.

[0059] Darüber hinaus sind die amagnetischen Bereiche 23 versetzt entlang einer Rotorachse 26 angeordnet, wie in Fig. 7 gezeigt. Dadurch können rüttelartige Verläufe des Drehmomentes 230 vermieden werden oder reduziert werden.

[0060] Die Erfindung lässt neben den dargestellten Ausführungsformen weitere Gestaltungsgrundsätze zu. D. h. die Erfindung soll nicht auf die mit Bezug auf die Figuren erläuterten Ausführungsbeispiele beschränkt betrachtet werden.

BEZUGSZEICHENLISTE

- 1 Kraftfahrzeug
- 2 Rad
- 3 Energiespeicher

- 10 Antriebsvorrichtung
- 11 elektrische Maschine
 - 11.1 Stator
 - 11.2 Phase
 - 11.3 Spalt
- 12 Kontrolleinheit
- 13 Normalsteuermodul
- 14 Überführungsmodul
- 15 Stabilisierungsmodul
- 16 Rückführungsmodul

- 20 Rotor
- 21 Magneteinheit
 - 21.1 Permanentmagnet
 - 21.2 Breite von 21.1
 - 21.3 Magnetisierungsrichtung
- 22 Rotorkörper
 - 22.1 Körperelement
 - 22.2 Gegenformschlusselement
- 23 amagnetischer Bereich
- 24 Schutzschicht
- 25 Rotorscheft
 - 25.1 Formschlusselement
- 26 Drehachse

- 30 Mehrphasenschaltung
- 31 Umrichtereinheit

- 100 Verfahren
- 101 Betreiben von 11 in 201
- 102 Überführen von 11 von 201 nach 202
 - 102.1 Magnetisieren von 20
 - 102.2 Reduzieren von 102.1
- 103 Stabilisieren von 202
- 104 Überführen von 11 von 202 nach 204

- 200 Magnetisierungszustand
 - 200.1 magnetische Feldstärke (H)
 - 200.2 magnetische Flussdichte (B)
 - 200.3 Hysterese
 - 200.4 magnetische Flusskomponente
- 201 erster Normalzustand
- 202 Sonderzustand
- 203 stabiler Betriebspunkt
 - 203.1 Luftspaltgerade
- 204 zweiter Normalzustand

- 210 Normalkontrollmodus
- 211 Pulskontrolle
 - 211.1 Amplitude
 - 211.2 Drehmoment aufgrund von 211.1

- 220 Sonderkontrollmodus
- 221 Stabilisierungsstrom
 - 221.1 Drehmoment durch 221

- 230 Drehmoment (T)
 - 230.1 elektrisches Drehmoment
- 231 Rotordrehzahl (n)
- 232 Phasenstromparameter (I)
- 233 Rotorwinkel (β)

- 300 Computerprogrammprodukt
- 301 Befehle

- t Zeit

Patentansprüche

1. Verfahren (100) zum Betreiben einer Antriebsvorrichtung (10) mit einer elektrischen Maschine (11), die einen Stator (11.1) und einen Rotor (20) aufweist, wobei der Rotor (20) mit einem magnetischen Statorfeld des Stators (11.1) magnetisch koppelbar ist, wobei ein Magnetisierungszustand (200) einer Magneteinheit (21) des Rotors (20) durch das Statorfeld beeinflussbar ist, wobei das Verfahren (100) folgende Schritte umfasst:
 - Betreiben (101) der elektrischen Maschine (11) in einem ersten Normalzustand (201), in welchem der Magnetisierungszustand (200) durch einen Normalkontrollmodus (210) vorgegeben wird,
 - Überführen (102) der elektrischen Maschine (11) vom ersten Normalzustand (201) in einen Sonderzustand (202), in welchem der Magnetisierungszustand (200) eine Tendenz zu einem stabilen Betriebspunkt (203) aufweist,
 - Stabilisieren (103) des Sonderzustands (202) durch einen Sonderkontrollmodus (220), welcher der Tendenz des Magnetisierungszustands (200) zum stabilen Betriebspunkt (203) entgegenwirkt.
2. Verfahren (100) nach Anspruch 1,
dadurch gekennzeichnet, dass
beim Überführen (102) der elektrischen Maschine (11) vom ersten Normalzustand (201) in den Sonderzustand (202) eine magnetische Restflussdichte des Magnetisierungszustands (200) erhöht wird.
3. Verfahren (100) nach einem der Ansprüche 1 oder 2,
dadurch gekennzeichnet, dass
im Sonderkontrollmodus (202) der Tendenz des Magnetisierungszustands (200) zum stabilen Betriebspunkt (203) durch einen konstanten Stabilisierungsstrom (221) am Stator (11.1) entgegengewirkt wird.
4. Verfahren (100) nach einem der vorhergehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet, dass
der Normalkontrollmodus (210) eine Pulskontrolle (211), insbesondere durch Aussenden von Stromimpulsen, umfasst.
5. Verfahren (100) nach einem der vorhergehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet, dass
im Normalkontrollmodus (210) und/oder um Sonderkontrollmodus (220) ein Abbremsen des Rotors (20) erfolgt.
6. Verfahren (100) nach einem der vorhergehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet, dass
beim Überführen (102) der elektrischen Maschine (11) vom ersten Normalzustand (201) in den Sonderzustand (202) zumindest einer der folgenden Schritte ausgeführt wird:
 - Magnetisieren (102.1) des Rotors (20), insbesondere durch Erhöhen einer Amplitude (211.1) der Pulskontrolle (211) und/oder
 - Aufrechterhalten einer Amplitude (211.1) der Pulskontrolle (211).
7. Verfahren (100) nach einem der vorhergehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet, dass
das Verfahren (100) folgenden Schritt umfasst:
 - Überführen (104) der elektrischen Maschine (11) vom Sonderzustand (202) in einen zweiten Normalzustand (204), in welchem der Magnetisierungszustand (200) durch den Normalkontrollmodus (210) vorgegeben wird.
8. Verfahren (100) nach einem der vorhergehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet, dass
zwischen der Magneteinheit (21) des Rotors (20) und einem Spalt (11.3) zwischen dem Rotor (20) und dem Stator (11.1) und/oder in einem Rotorkörper (22) des Rotors (20) ein amagnetischer Bereich (23) vorgesehen ist, und der amagnetische Bereich (23) im Normalkon-

- trollmodus (210) und/oder im Sonderkontrollmodus (220) einer Demagnetisierung der Magneteinheit (21) entgegenwirkt.
9. Verfahren (100) nach einem der vorhergehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet, dass
der Magnetisierungszustand (200) der Magneteinheit (21) eine Magnetisierungsrichtung (21.3) umfasst, die im ersten Normalzustand (201) und/oder im Sonderzustand (202) tangential zum Rotor (20) ausgerichtet wird, und/oder dass im Sonderzustand (202) der Magnetisierungszustand (200) in einem Betriebspunkt vor einem Knipunkt einer Hysteresekurve (200.3) stabilisiert wird, insbesondere wobei zuvor eine Magnetisierung (102.1) des Permanentmagneten (21.1) bis zur Sättigung erfolgt.
 10. Verfahren (100) nach einem der vorhergehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet, dass
eine magnetische Flusskomponente (200.4) des Statorfeldes zumindest teilweise tangential zu der Magneteinheit (21) des Rotors (20) ausgerichtet wird.
 11. Verfahren (100) nach einem der vorhergehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet, dass
die Magneteinheit (21) gegen Wirbelströme, insbesondere durch eine Schutzschicht (24) der Magneteinheit (21) und/oder eines Rotorkörpers (22), abgeschirmt wird.
 12. Verfahren (100) nach einem der vorhergehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet, dass
während des Verfahrens (100) eine Harmonisierung eines am Rotor (20) erzeugten Drehmoments, insbesondere durch mehrere entlang einer Rotorachse (26) des Rotors (20) versetzt amagnetische Bereiche (23), durchgeführt wird.
 13. Computerprogrammprodukt (300), umfassend Befehle (301), die bei einer Ausführung durch eine Kontrolleinheit (12) die Kontrolleinheit (12) veranlassen, ein Verfahren (100) nach einem der vorhergehenden Ansprüche auszuführen.
 14. Antriebsvorrichtung (10), insbesondere für ein Kraftfahrzeug (1), aufweisend eine elektrische Maschine (11) mit einem Stator (11.1) und einem Rotor (20), wobei der Rotor (20) mit einem magnetischen Statorfeld des Stators (11.1) magnetisch koppelbar ist, und eine Kontrolleinheit (12) mit einem Normalsteuermodul (13) zum Betreiben der elektrischen Maschine (11) in einem ersten Normalzustand (201), in welchem der Magnetisierungszustand (200) durch einen Normalkontrollmodus (210) vorgebar ist, wobei der Rotor (20) eine Magneteinheit (21) aufweist und ein Magnetisierungszustand (200) der Magneteinheit (21) des Rotors (20) durch das Statorfeldes beeinflussbar ist,
dadurch gekennzeichnet, dass
die Kontrolleinheit (12) ein Überführungsmodul (14) zum Überführen (102) der elektrischen Maschine (11) vom ersten Normalzustand (201) in einen Sonderzustand (202), in welchem der Magnetisierungszustand (200) eine Tendenz zu einem stabilen Betriebspunkt (203) aufweist, und ein Stabilisierungsmodul (15) zum Stabilisieren (103) des Sonderzustands (202) durch einen Sonderkontrollmodus (220), welcher der Tendenz des Magnetisierungszustands (200) zum stabilen Betriebspunkt (203) entgegenwirkt, umfasst.
 15. Antriebsvorrichtung (10) nach Anspruch 14,
dadurch gekennzeichnet, dass
das Stabilisierungsmodul (15) dazu ausgebildet ist, einen konstanten Stabilisierungsstrom (221) am Stator (11.1) zu initiieren, welcher der Tendenz des Magnetisierungszustands (200) zum stabilen Betriebspunkt (203) entgegenwirkt.
 16. Antriebsvorrichtung (10) nach einem der Ansprüche 14 oder 15,
dadurch gekennzeichnet, dass
das Normalsteuermodul (13) zum Durchführen einer Pulskontrolle (211), insbesondere durch Aussenden von Stromimpulsen, ausgebildet ist.

17. Antriebsvorrichtung (10) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Normalsteuermodul (13) zum Abbremsen des Rotors (20) im Normalkontrollmodus (210) und/oder das Stabilisierungsmodul (15) zum Abbremsen des Rotors (20) im Sonderkontrollmodus (220) ausgebildet ist.
18. Antriebsvorrichtung (10) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Überführungsmodul (14) zum Magnetisieren (102.1) des Rotors (20), insbesondere durch Erhöhen einer Amplitude (211.1) der Pulskontrolle (211) und/oder durch Aufrechterhalten einer Amplitude (211.1) der Pulskontrolle (211), und/oder zum Reduzieren (102.2) des Magnetisierens (102.1) des Rotors (20), insbesondere durch Absenken einer Amplitude (211.1) der Pulskontrolle (211), ausgebildet ist.
19. Antriebsvorrichtung (10) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Kontrolleinheit (12) ein Rückführungsmodul (16) zum Überführen (104) der elektrischen Maschine (11) vom Sonderzustand (202) in einen zweiten Normalzustand (204), in welchem der Magnetisierungszustand (200) durch den Normalkontrollmodus (210) vorgebar ist, ausgebildet ist.
20. Antriebsvorrichtung (10) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass zwischen der Magneteinheit (21) des Rotors (20) und einem Spalt (11.5) zwischen dem Rotor (20) und dem Stator (11.1) und/oder in einem Rotorkörper (22) des Rotors (20) zumindest ein amagnetischer Bereich (23) vorgesehen ist, durch den einer Demagnetisierung der Magneteinheit (21) entgegenwirkbar ist.
21. Antriebsvorrichtung (10) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Magneteinheit (21) derart am Rotor (20) angeordnet ist, dass der Magnetisierungszustand (200) der Magneteinheit (21) eine Magnetisierungsrichtung (21.3) umfasst, die im ersten Normalzustand (201) und/oder im Sonderzustand (202) tangential zum Rotor (20) ausgerichtet ist, und/oder dass ein Permanentmagnet (21.1) der Magneteinheit (21) eine derartige Breite (21.2) aufweist, dass im Sonderzustand (202) der Magnetisierungszustand (200) in einem Betriebspunkt vor einem Knipunkt einer Hysteresekurve (200.3) stabilisierbar ist, insbesondere wenn zuvor eine Magnetisierung (102.1) des Permanentmagneten (21.1) bis zur Sättigung erfolgt ist.
22. Antriebsvorrichtung (10) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass eine Schutzschicht (24) an der Magneteinheit (21) und/oder an einem Rotorkörper (22) angeordnet ist, durch welche die Magneteinheit (21) gegen Wirbelströme zumindest teilweise abschirmbar ist, insbesondere wobei die Schutzschicht (24) eine Laminierung, eine Beschichtung und/oder ein Deckelelement aus amagnetischem Material umfasst.
23. Antriebsvorrichtung (10) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass ein Permanentmagnet (21.1) der Magneteinheit (21) formschlüssig zumindest teilweise in einem Rotorkörper (22) des Rotors (20) angeordnet ist.
24. Antriebsvorrichtung (10) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass ein Rotorkörper (22) des Rotors (20) zumindest zwei Körperelemente (22.1) aufweist, die mit der Magneteinheit (21) und/oder einem Rotorschaft (25) formschlüssig zusammenwirken, insbesondere wobei der Rotorschaft (25) ein Formschlusselement (25.1) aufweist, das mit einem Gegenformschlusselement (22.2) zumindest eines der Körperelemente (22.1) zusammenwirkt.

25. Antriebsvorrichtung (10) nach einem der vorhergehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet, dass
zumindest zwei amagnetische Bereiche (23) entlang einer Drehachse (26) des Rotors (20)
versetzt zueinander angeordnet sind.
26. Antriebsvorrichtung (10) nach einem der vorhergehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet, dass
die Kontrolleinheit (12), insbesondere das Normalsteuermodul (13), das Überführungsmodul
(14) und/oder das Stabilisierungsmodul (15), dazu ausgebildet ist, ein Verfahren (100) nach
einem der Ansprüche 1 bis 12 durchzuführen.
27. Kraftfahrzeug (1) mit einer Antriebsvorrichtung (10) nach einem der Ansprüche 14 bis 26
zum Betreiben zumindest eines Rades (2) des Kraftfahrzeugs (1).

Hierzu 4 Blatt Zeichnungen

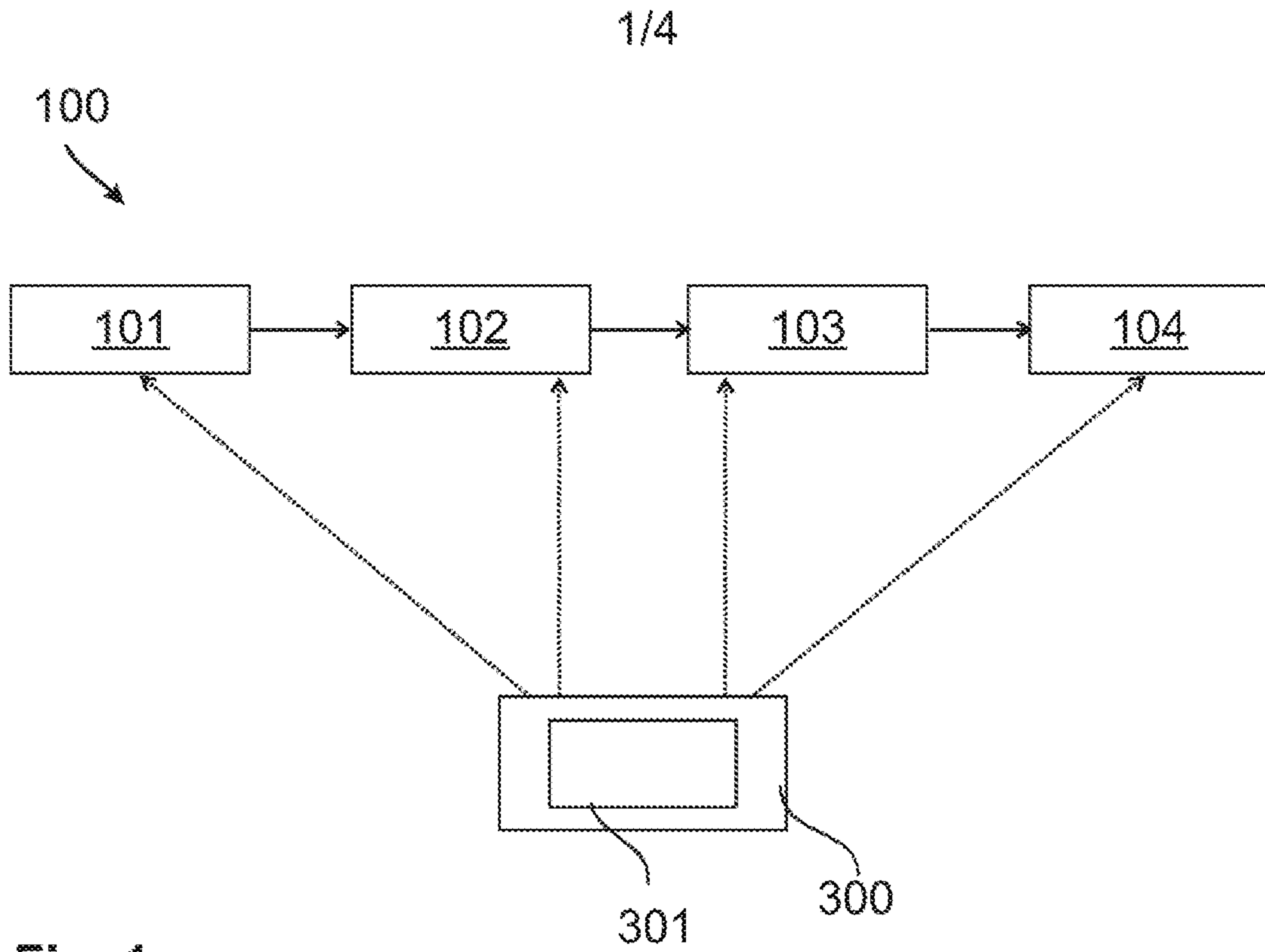


Fig. 1

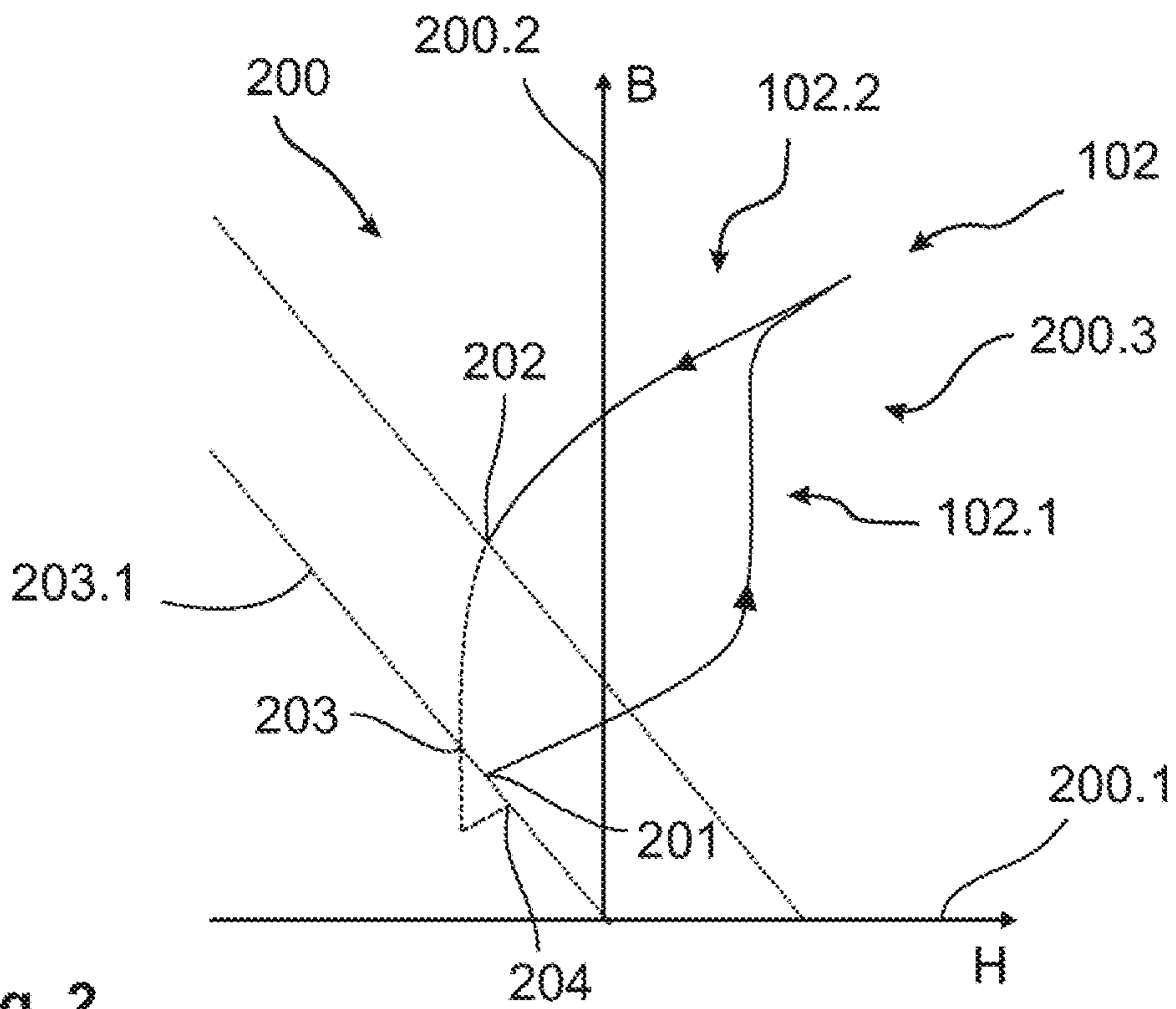


Fig. 2

2/4

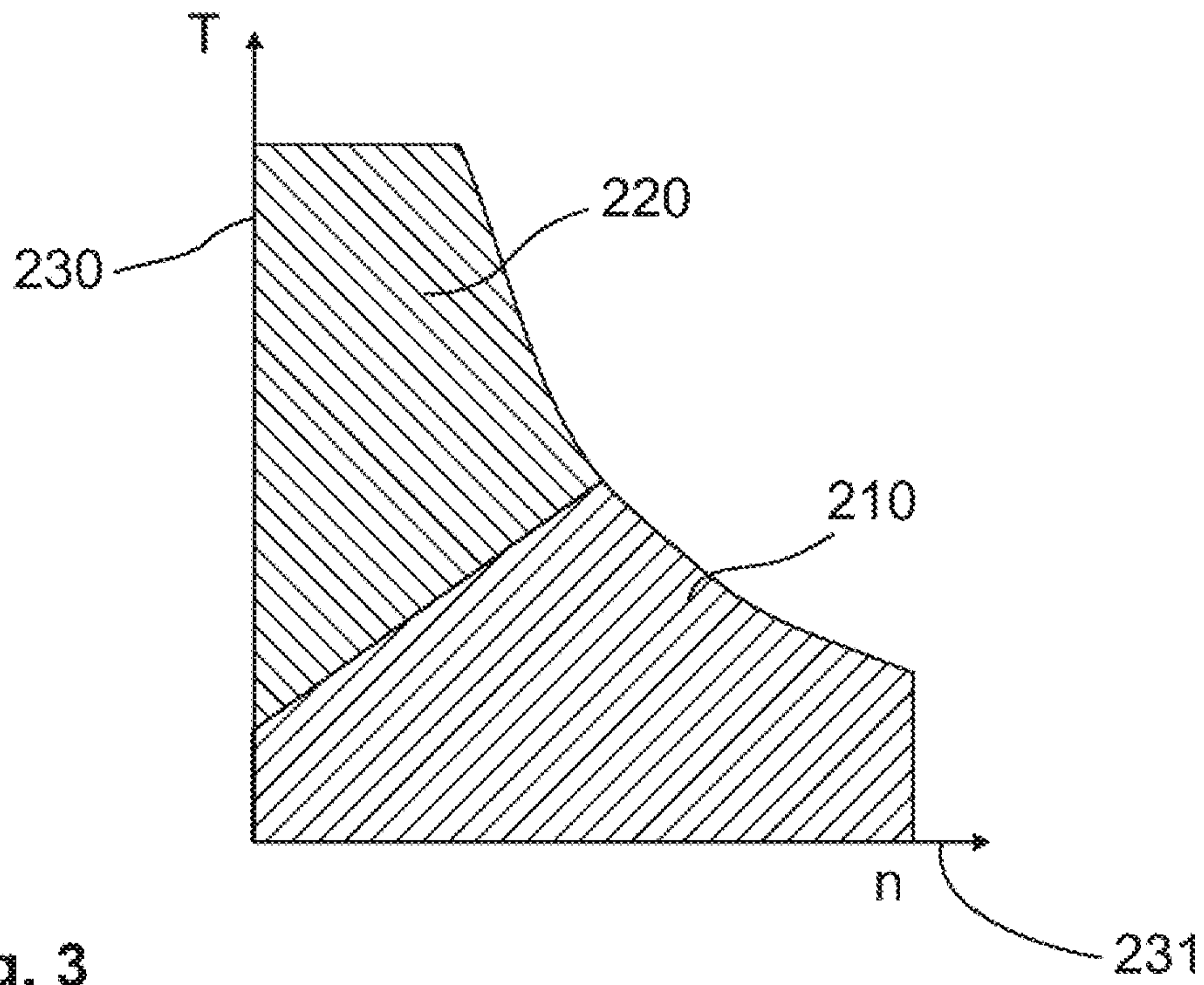


Fig. 3

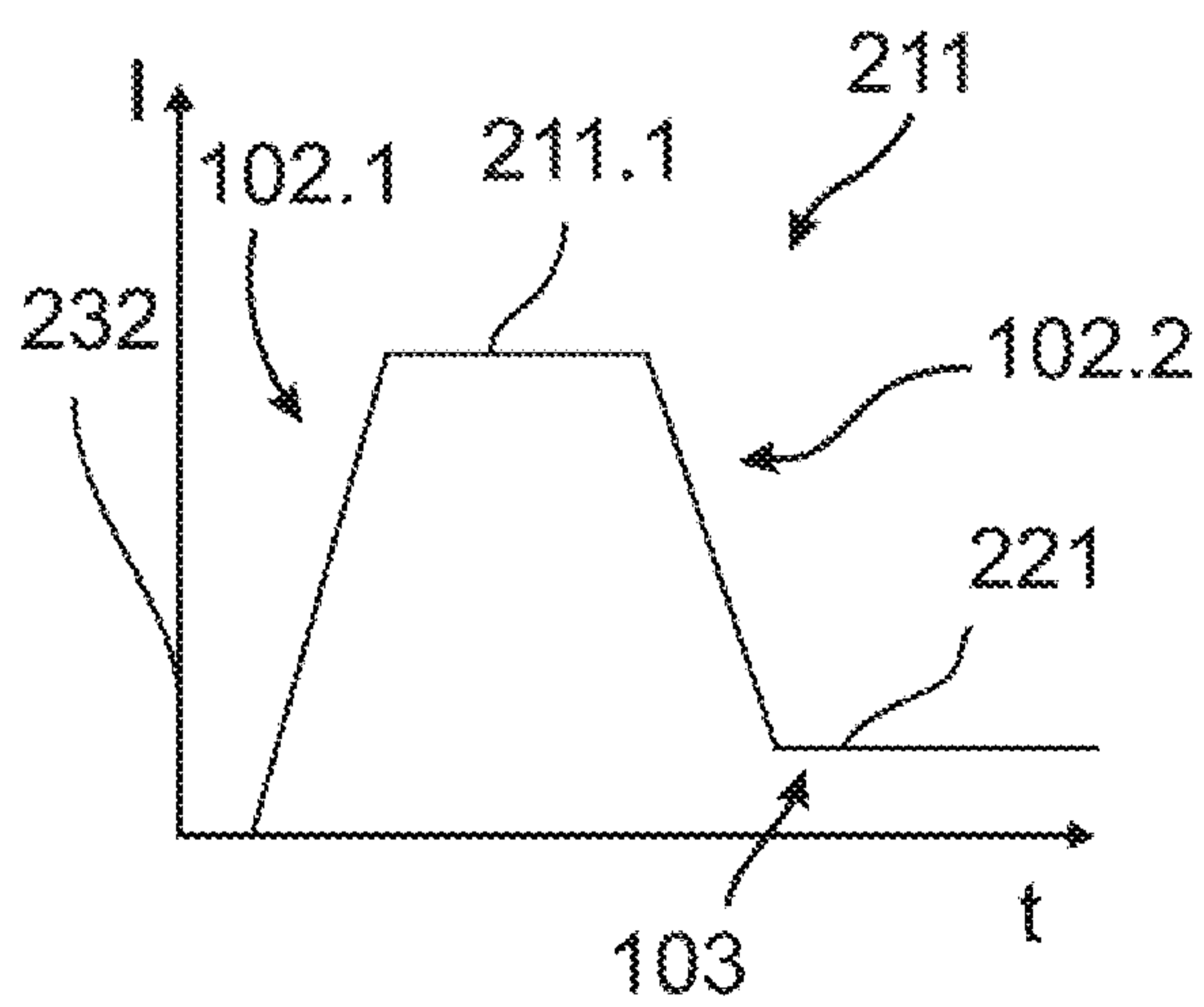


Fig. 4

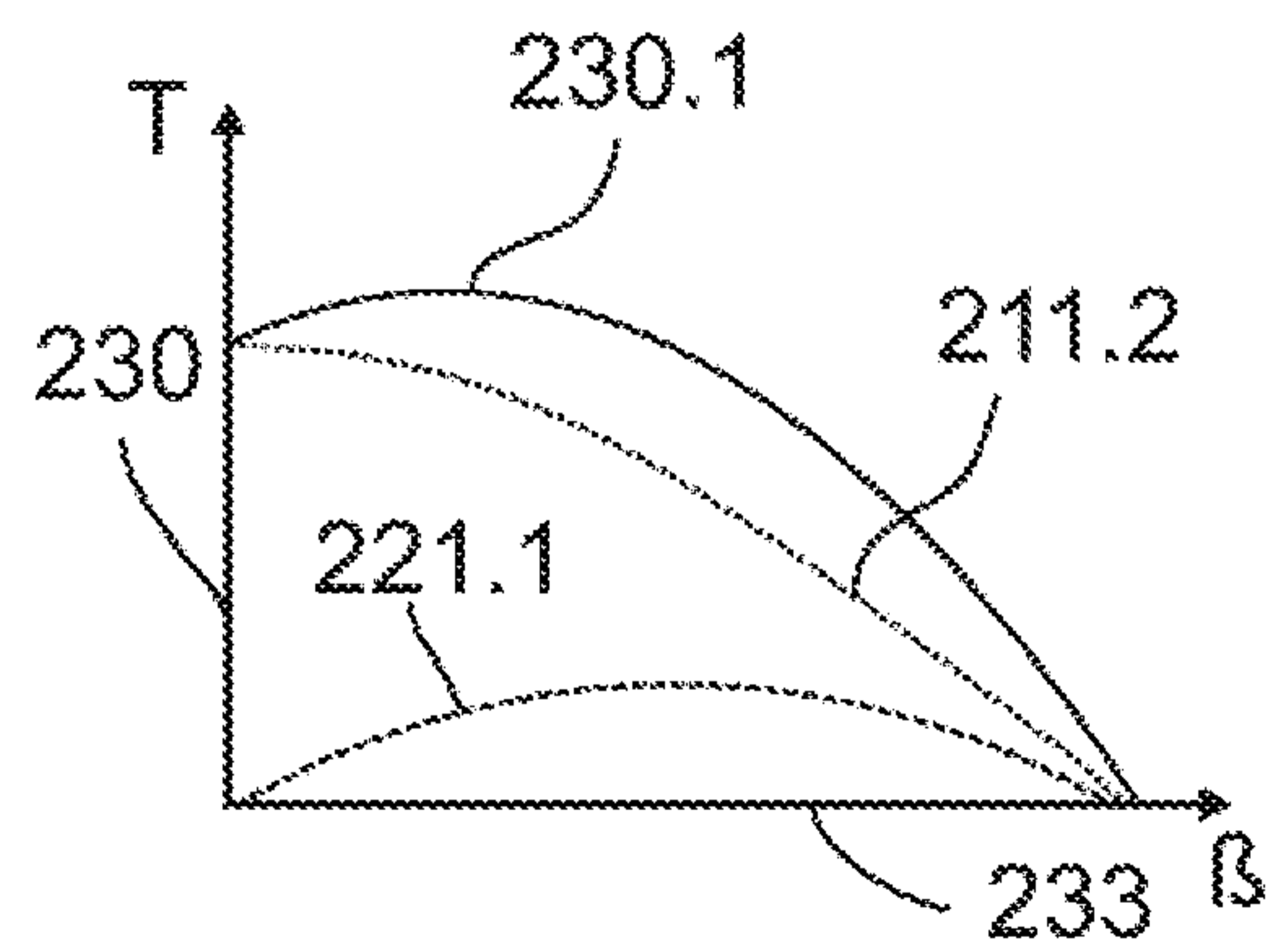


Fig. 5

3/4

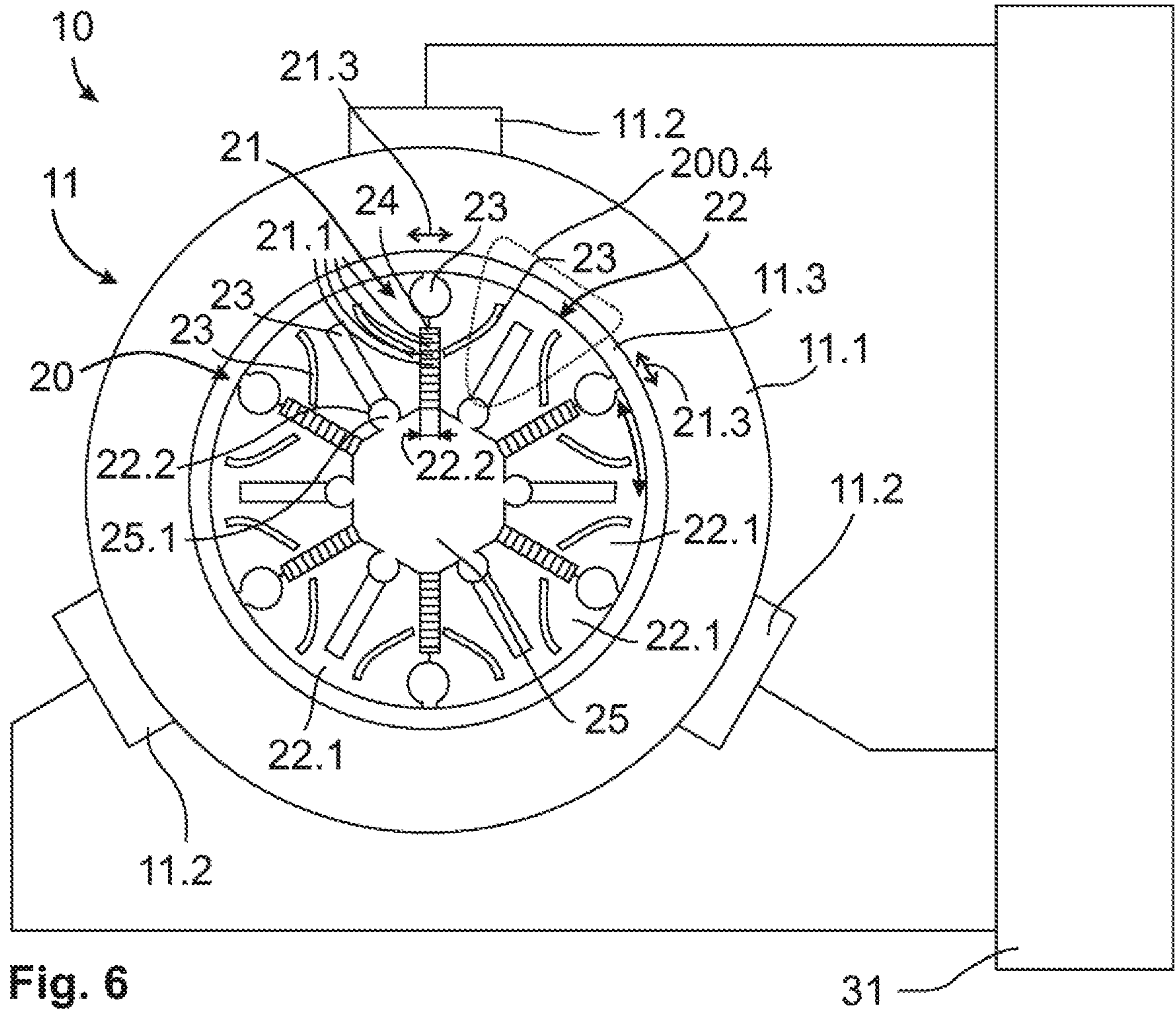


Fig. 6

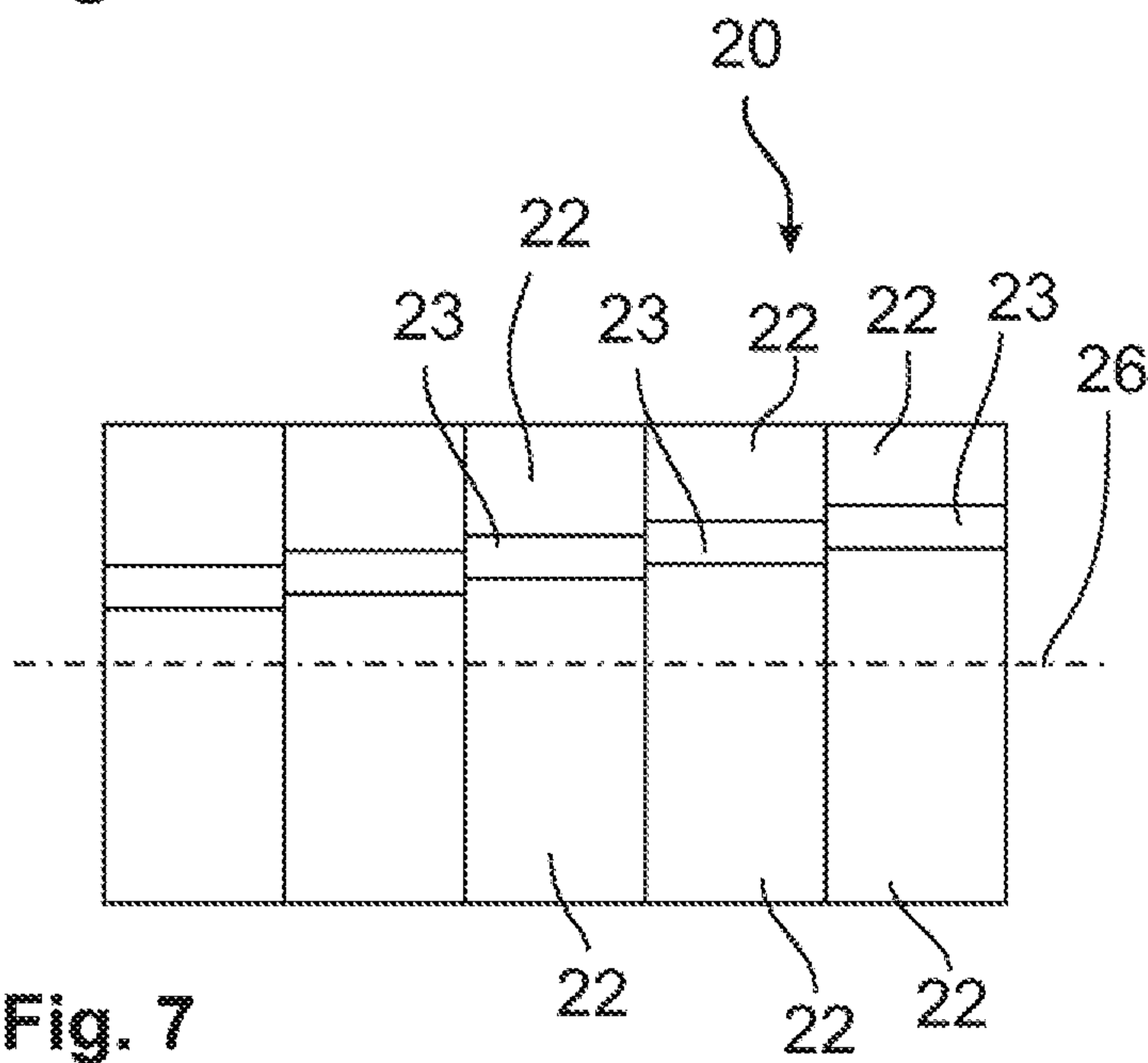


Fig. 7

4/4

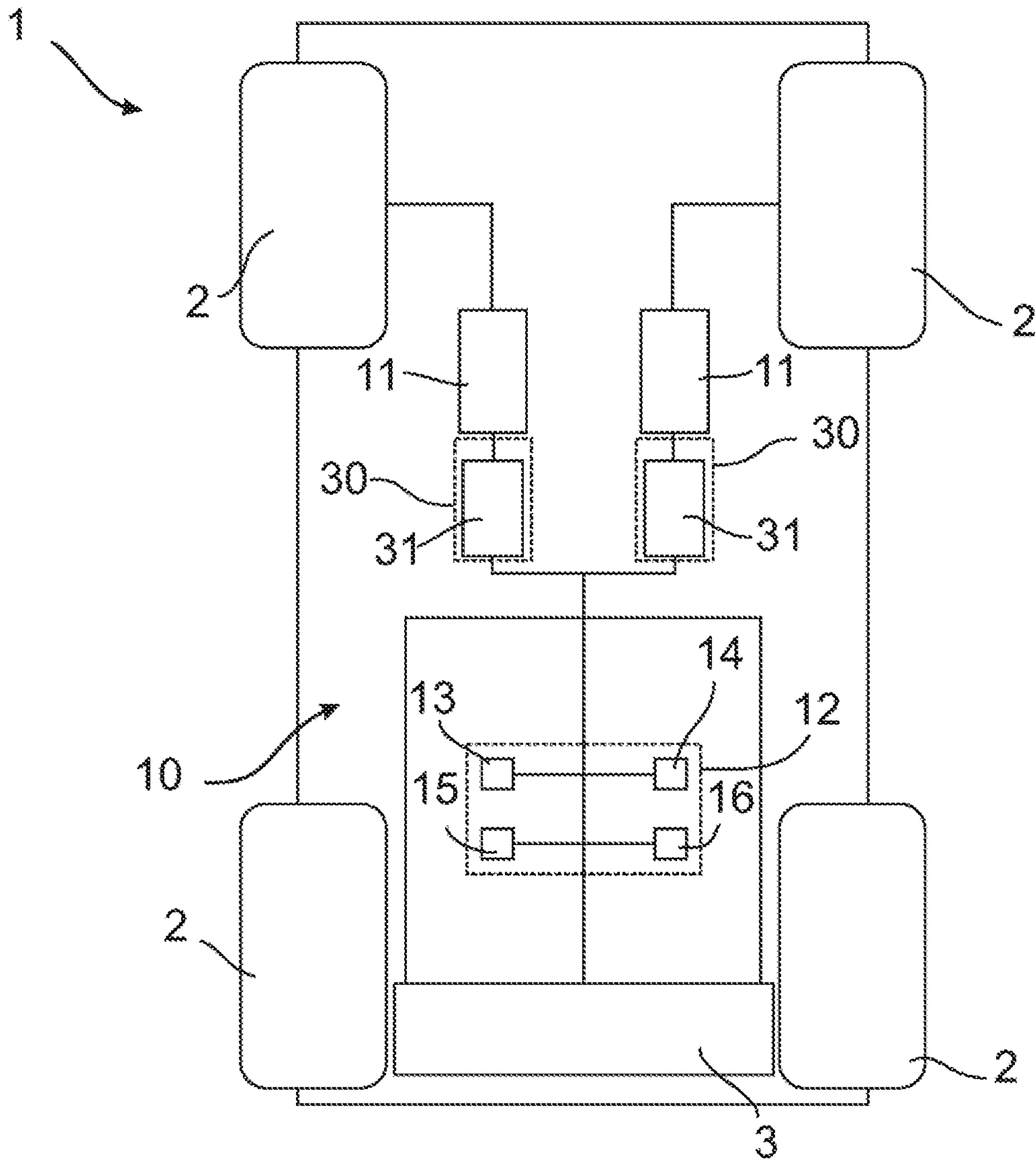


Fig. 8