

(12) **Österreichische Patentanmeldung**

(21) Anmeldenummer: A 559/2012
(22) Anmeldetag: 10.05.2012
(43) Veröffentlicht am: 15.11.2013

(51) Int. Cl. : **H02K 1/32** (2006.01)
H02K 9/06 (2006.01)
H02K 9/04 (2006.01)
H02K 9/18 (2006.01)
H02K 5/18 (2006.01)
H02K 5/20 (2006.01)

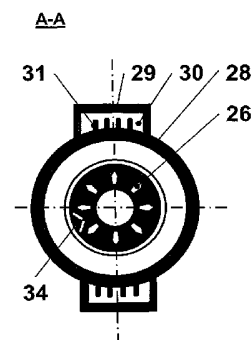
(56) Entgegenhaltungen:
DE 102009025929 A1
EP 0649211 A2 DE 10122425 A1
DE 2659650 A1 EP 2360816 A1

(73) Patentanmelder:
HEHENBERGER GERALD DIPL.ING.
9020 KLAGENFURT (AT)

(54) **Differentialantrieb für eine Energiegewinnungsanlage**

(57) Eine elektrische Maschine mit einem Rotor und einem Stator weist im Rotor (32) axial ausgerichtete Lüftungskanäle (26) auf. Der Flächenanteil der Lüftungskanäle (26) an der Querschnittsfläche des Rotors (32) beträgt wenigstens 5%, vorzugsweise wenigstens 15%, besonders bevorzugt wenigstens 30%, ganz besonders bevorzugt wenigstens 45% und insbesondere wenigstens 60%. Damit weist der Rotor sowohl eine gute Kühlung als auch ein kleines Massenträgheitsmoment auf.

Fig. 4

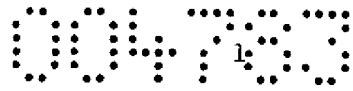




Zusammenfassung:

Eine elektrische Maschine mit einem Rotor und einem Stator weist im Rotor (32) axial ausgerichtete Lüftungskanäle (26) auf. Der Flächenanteil der Lüftungskanäle (26) an der Querschnittsfläche des Rotors (32) beträgt wenigstens 5%, vorzugsweise wenigstens 15%, besonders bevorzugt wenigstens 30%, ganz besonders bevorzugt wenigstens 45% und insbesondere wenigstens 60%. Damit weist der Rotor sowohl eine gute Kühlung als auch ein kleines Massenträgheitsmoment auf.

◁(Fig. 4)▷



Die Erfindung betrifft eine elektrische Maschine mit einem Rotor und einem Stator.

Die Erfindung betrifft des Weiteren eine Energiegewinnungsanlage, insbesondere Windkraftanlage, mit einer Antriebswelle, einem Generator und mit einem Differentialgetriebe mit drei An- bzw. Abtrieben, wobei ein erster Antrieb mit der Antriebswelle, ein Abtrieb mit dem Generator und ein zweiter Antrieb mit einem Differential-Antrieb verbunden ist und wobei das Differentialgetriebe ein Planetengetriebe ist.

Drehzahlvariable Antriebe, wie z.B. für Energiegewinnungsanlagen oder industrielle Anwendungen, erfordern in vielen Fällen den Einsatz einer variablen Drehzahl, einerseits zur Erhöhung des Wirkungsgrades im Teillastbereich und andererseits zur Regelung des Drehmomentes bzw. der Drehzahl im Triebstrang der Anlage.

Derzeit sind Anlagen im Einsatz, welche diese Forderung durch Einsatz von drehzahlvariablen Generator-Lösungen, zunehmend in der Form von sogenannten permanentmagneterregten Niederspannungs-Synchrongeneratoren in Kombination mit IGBT-Frequenzumrichtern, erfüllen. Diese Lösungen haben jedoch den Nachteil, dass die Anlagen mittels Transformatoren an das Mittelspannungsnetz anzuschließen sind und die für die variable Drehzahl notwendigen Frequenzumrichter entsprechend leistungsstark und daher eine Quelle für Wirkungsgradverluste und ungewollte Ausfälle sind. Alternativ werden daher auch sogenannte Differenzialantriebe eingesetzt, welche direkt an das Mittelspannungsnetz angeschlossene fremderregte Mittelspannungsgeneratoren in Kombination mit einem Differenzialgetriebe und einem Hilfsantrieb, welcher vorzugsweise eine permanentmagneterregte Synchronmaschine in Kombination mit einem IGBT-Frequenzumrichter kleinerer Leistung vorsieht, verwenden. Dieser sogenannte Servomotor ist aufgrund der meist hohen Getriebeübersetzung sehr hohen dynamischen Beanspruchungen ausgesetzt.

Die hohe dynamische Beanspruchung führt wiederum zu einer entsprechend großen thermischen Belastung des Servomotors, was in weiterer Folge ein über dem Standard dimensioniertes Kühlsystem erfordert. Darüber hinaus schlägt die WO2010/108209 ein möglichst

kleines Massenträgheitsmoment vor, um das Regelungsverhalten für eine Anlage mit Differenzialantrieb zu optimieren.

Aufgabe der Erfindung ist es daher, eine elektrische Maschine zur Verwendung als Servomotor so auszulegen, dass die Forderungen nach einer ausreichenden Kühlung und einem kleinen Massenträgheitsmoment in ausreichendem Maße gleichzeitig erfüllt werden.

Gelöst wird diese Aufgabe mit einem Servomotor mit den Merkmalen des Anspruchs 1.

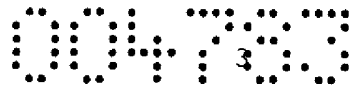
Damit kann die Forderung nach einer langen Lebensdauer bei hochdynamischer Beanspruchung, wie dies z.B. für Energiegewinnungsanlagen typisch ist, sowie einem kleinen Trägheitsmoment in ausreichendem Maße erfüllt werden.

Bevorzugte Ausführungsformen der Erfindung sind Gegenstand der Unteransprüche.

Nachfolgend werden bevorzugte Ausführungsformen der Erfindung unter Bezugnahme auf die angeschlossenen Zeichnungen detailliert beschrieben. Es zeigt:

- Fig. 1 das Prinzip eines elektromechanischen Differenzialsystems mit einem Servomotor gemäß Stand der Technik,
- Fig. 2 den typischen Aufbau eines Servomotors gemäß Stand der Technik,
- Fig. 3 eine erfindungsgemäße Ausführungsform eines Servomotors,
- Fig. 4 einen Querschnitt des Servomotors gemäß Fig. 3 und
- Fig. 5 den Einfluss der Größe der Lüftungskanäle auf das Massenträgheitsmoment des Rotors des Servomotors.

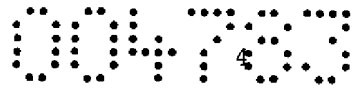
Im Folgenden wird das Prinzip eines Differenzialantriebes am Beispiel einer Windkraftanlage beschrieben. Die Leistung des Rotors einer Windkraftanlage errechnet sich aus der Formel



Rotor-Leistung = Rotorfläche * Leistungsbeiwert * Luftdichte/2 * Windgeschwindigkeit³,

wobei der Leistungsbeiwert abhängig von der Schnelllaufzahl (= Verhältnis Blattspitzen-Geschwindigkeit zu Windgeschwindigkeit) des Rotors der Windkraftanlage ist. Der Rotor einer Windkraftanlage ist für einen optimalen Leistungsbeiwert basierend auf einer im Zuge der Entwicklung festzulegenden Schnelllaufzahl (meist ein Wert zw. 7 und 9) ausgelegt. Aus diesem Grund ist beim Betrieb der Windkraftanlage im Teillastbereich eine entsprechend kleine Drehzahl einzustellen, um einen optimalen aerodynamischen Wirkungsgrad zu gewährleisten.

Fig. 1 zeigt ein mögliches Prinzip eines Differenzialantriebes für eine Windkraftanlage bestehend aus einer Differenzialstufe 4 als Differentialgetriebe 11 bis 13, einer Anpassungs-Getriebestufe 5, einem elektrischen Servomotor 6 und einem Frequenzumrichter 7. Der Rotor 1 der Windkraftanlage, der auf einer Antriebswelle 2 sitzt, treibt ein Hauptgetriebe 3 an. Das Hauptgetriebe 3 ist meist ein 3-stufiges Getriebe mit zwei Planetenstufen und einer Stirnradstufe, kann aber auch, vor allem bei Einsatz von höherpoligen Generatoren, mit weniger Stufen, unter anderem auch in Kombination mit sogenannten Stufenplaneten oder sogenannten leistungsverzweigten Getriebestufen, ausgeführt sein. Zwischen dem Hauptgetriebe 3 und dem Generator 8 befindet sich die Differenzialstufe 4, welche vom Hauptgetriebe 3 über einen Planetenträger 12 der Differenzialstufe 4 angetrieben wird. Der Generator 8, vorzugsweise ein fremderregter Mittelspannungs-Synchrongenerator, ist mit einem Hohlrad 13 der Differenzialstufe 4 verbunden und wird von diesem angetrieben. Ein Ritzel 11 der Differenzialstufe 4 ist mit dem Servomotor 6 verbunden. Die Drehzahl des Servomotors 6 wird geregelt, um einerseits bei variabler Drehzahl des Rotors 1 eine konstante Drehzahl des Generators 8 zu gewährleisten und andererseits das Drehmoment im Antriebsstrang der Windkraftanlage zu regeln. Um die Eingangsdrehzahl für den Servomotor 6 zu erhöhen wird im gezeigten Fall ein mehrstufiges Differenzialgetriebe gewählt, welches eine Anpassungs-Getriebestufe 5 in Form einer Stirnradstufe zwischen der Differenzialstufe 4 und dem Servomotor 6 vorsieht. Da im Bereich des Differenzialantriebes 6 auch ein massive Kupplung 14 als Verbindungselement zwischen Hauptgetriebe



und Differenzialgetriebe liegt, ist unter Umständen ein entsprechend großer Achsversatz für den Servomotor 6 erforderlich. In diesem Falle kann dies für die Anpassungsgetriebestufe 5 entweder durch große Zahnradurchmesser oder eine mehrstufige Ausführung dieser Anpassungsgetriebestufe 5 realisiert werden. Der Servomotor 6 ist eine Drehstrommaschine, welche über einen Frequenzumrichter 7 und einen Transformator 9 mit dem Netz verbunden wird. Aufgrund der hohen dynamischen Anforderungen wird als Servomotor 6 vorzugsweise eine permanentmagneterregte Synchronmaschine gewählt. Der Servomotor kann jedoch prinzipiell jede denkbare Art von elektrischer Maschine sein.

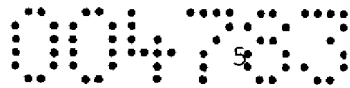
Die Drehzahlgleichung für das Differenzialgetriebe lautet:

$$\text{Drehzahl}_{\text{Generator}} = x * \text{Drehzahl}_{\text{Rotor}} + y * \text{Drehzahl}_{\text{Servomotor}} ,$$

wobei die $\text{Drehzahl}_{\text{Generator}}$ konstant ist und sich die Faktoren x und y aus den gewählten Getriebeübersetzungen von Hauptgetriebe und Differenzialgetriebe ableiten lassen. Das Drehmoment am Rotor wird durch das anstehende Windangebot und den aerodynamischen Wirkungsgrad des Rotors bestimmt. Das Verhältnis zwischen dem Drehmoment an der Rotorwelle und dem am Servomotor ist konstant, wodurch sich das Drehmoment im Antriebsstrang durch den Servomotor regeln lässt. Die Drehmomentgleichung für den Servomotor lautet:

$$\text{Drehmoment}_{\text{Servomotor}} = \text{Drehmoment}_{\text{Rotor}} * y / x ,$$

wobei der Größenfaktor y/x ein Maß für das notwendige Auslegungs-Drehmoment des Servomotors ist. Die Leistung des Servomotors ist im Wesentlichen proportional dem Produkt aus prozentueller Abweichung der Rotordrehzahl von dessen Grunddrehzahl mal Rotor-Leistung. Dementsprechend erfordert ein großer Drehzahlbereich grundsätzlich eine entsprechend große Dimensionierung des Servomotors. Das heißt, je kleiner der notwendige Drehzahlbereich an der Antriebswelle ist, desto kleiner kann der erforderliche Servomotor und demzufolge auch der Aufwand für dessen Herstellung und Betrieb sein. Andererseits erfordert ein kleiner Drehzahlbereich ein entsprechend großes Übersetzungsverhältnis des Differenzialgetriebes, um den Servomotor mit typischen



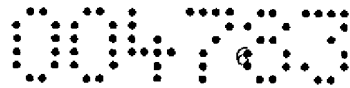
Nennndrehzahlen - vorzugsweise zw. 1.000rpm und 1.500rpm - auslegen zu können. Ein großes Übersetzungsverhältnis des Differenzialgetriebes führt jedoch andererseits zu einer großen dynamischen Belastung des Servomotors, da eine Drehzahländerung am Rotor eine entsprechend große Änderung am Servomotor bedingt. Dies ist der Grund für die eingangs erwähnten Forderungen nach verbesserter Kühlung und kleinem Massenträgheitsmoment des Servomotors.

Um den Differentialantrieb entsprechend gut ausnutzen zu können, wird dieser sowohl motorisch als auch generatorisch betrieben. Das führt dazu, dass im motorischen Betrieb Leistung in die Differentialstufe 4 eingespeist wird und im generatorischen Betrieb Leistung der Differentialstufe 4 entnommen wird. Diese Leistung wird im Falle eines elektrischen Differential-Antriebes vorzugsweise in das Netz eingespeist bzw. diesem entnommen. Das heißt, dass die als Servomotor 6 bezeichnete elektrische Maschine sowohl als Motor als auch als Generator betrieben wird.

Die beschriebene Ausführungsform ist nur ein Beispiel und ist bei technisch ähnlichen Anwendungen ebenfalls umsetzbar. Dies betrifft v.a. Wasserturbinen bzw. Pumpen und Anlagen zur Gewinnung von Energie aus Meeresströmungen. Für diese Anwendungen gelten die gleichen Grundvoraussetzungen wie für Windkraftanlagen, nämlich variable Strömungsgeschwindigkeit. Die Antriebswelle wird jeweils von der vom Strömungsmedium, beispielsweise Wasser, angetriebenen Einrichtung direkt oder indirekt angetrieben.

Darüber hinaus gilt das Gesagte auch für jede Art von Anlagen, welche aufgrund der Rahmenbedingungen Differenzialantriebe zur Realisierung variabler Drehzahl an der Antriebswelle einsetzen, das heißt jede Art von Antrieben für (Industrie)Anlagen, welche mit eingeschränktem Drehzahlbereich betrieben werden.

Der am Beispiel der Windkraftanlage genannte Generator 6 ist bei z.B. Industrie- oder Pump-antrieben ein Motor, wobei sich in diesem Fall der zu Fig. 1 beschriebenen Leistungsfluss umdreht. Ebenso ist es naheliegend, dass ein Antrieb anwendungsspezifisch sowohl motorisch als auch generatorisch betrieben wird.



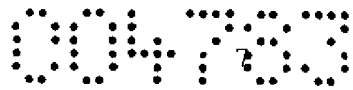
Die WO2010/108209 empfiehlt für ein gutes Regelungsverhalten einer Windkraftanlage mit elektrischem Differenzial-Antrieb ein maximales Massenträgheitsmoment für den Differenzial-Antrieb $J_{DA, \max}$, welches sich nach folgender Formel berechnen lässt:

$$J_{DA, \max} = (J_R / s_{ges}^2) * f_A ,$$

wobei f_A ein Applikationsfaktor ist, welcher ein Maß für das zu erzielende Regelungsverhalten der Windkraftanlage ist. Die Variable s_{ges} ist das Verhältnis des Drehzahlbereiches des Differenzial-Antriebes zum Drehzahlbereich des Rotors der Windkraftanlage ($s_{ges} = \text{Drehzahlbereich Differenzial-Antrieb} / \text{Drehzahlbereich Rotor}$) und J_R ist das Massenträgheitsmoment des Rotors der Windkraftanlage. Mit einem Applikationsfaktor von $f_A = 0,2$ können laut WO2010/108209 bereits gute Ergebnisse bezüglich Regelungsverhalten erzielt werden. Grundsätzlich wird jedoch festgestellt, dass mit kleiner werdendem f_A noch bessere Resultate erzielt werden können, wobei für Anwendungen mit kleinerem f_A ein Mehraufwand zur Reduktion der Masse des Rotors des Differenzial-Antriebes notwendig wird.

Gemäß WO2010/108209 ist eine Verringerung des Applikationsfaktors auf z.B. $f_A = 0,10$ eine weitere, für hochdynamische Anwendungen notwendige Verbesserung. Dies ist jedoch mit zunehmenden Fertigungskosten für den Rotor des Differenzial-Antriebes verbunden.

Fig. 2 zeigt eine typische Bauform eines Servomotors gemäß Stand der Technik. Auf einer Rotorwelle 21 sitzt das Rotor-Blechpaket 22 mit vorzugsweise sogenannten eingebetteten Permanentmagneten. Diese Bauart wird bevorzugt für Servomotore verwendet, welche auch im sogenannten Feldschwächebereich arbeiten. Eine alternative, massenträgheitsmomentarme Bauweise wäre, die Permanentmagnete direkt am Umfang der Rotorwelle 21 zu befestigen, was jedoch zu wesentlichen Einschränkungen der Leistungsfähigkeit (Feldschwächbarkeit, Dynamik, Wirkungsgrad, etc.) des Servomotors führen kann. Im Gehäuse 20 befindet sich der gewickelte Stator 23. Dieses Gehäuse 20 hat z.B. einen integrierten Wassermantel, welcher die Aufgabe hat, die durch die Verlustleistung bedingte Abwärme des Stators abzuführen. Da der

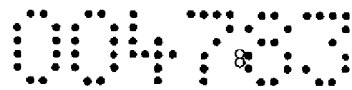


permanent-magneterregte Rotor 22 oft nur sehr geringe Verluste hat, wird darauf verzichtet, diesen separat zu kühlen.

Geht man davon aus, dass für eine gute Regelbarkeit der Applikationsfaktor $f_a < 0,15$ ist, so benötigt man für eine typische 3MW Windkraftanlage einen Servomotor mit eingebetteten Permanentmagneten und einem Massenträgheitsmoment von $< 1,6 \text{ kgm}^2$. Dies lässt sich mit einem Servomotor gem. Fig. 2 zwar realisieren, erfordert jedoch besondere Maßnahmen in der Konstruktion.

Darüber hinaus darf man im Falle hochdynamischer Belastungen und bei Betrieb im Feldschwächebereich die thermische Belastung des Rotors 22 nicht vernachlässigen. Erschwerend wirkt der Umstand, dass Permanentmagnete sehr temperaturempfindlich sind und bei Temperaturen über 160°C schnell die Magnetisierung verlieren. Diese Tatsache erfordert eine leistungsstarke Rotorkühlung, um die Lebensdauer des Servomotors in der Höhe von beispielsweise in der Windenergie geforderten 175.000 Betriebsstunden zu gewährleisten.

Fig. 3 und 4 zeigen eine erfindungsgemäße Ausführungsvariante eines Servomotors, welcher oben genannte Voraussetzungen erfüllt. Auf der Rotorwelle 21, welche zur Reduktion des Massenträgheitsmomentes auch als Hohlwelle ausgeführt sein kann, sitzt ein Blechpaket 25, welches Lüftungskanäle 26 hat. Somit wird der Rotor 33 im Wesentlichen von der Rotorwelle 21 und dem Blechpaket 25 gebildet. Ein Gehäuse weist Lagerschilde 27, einen wassergekühlten Mantel 28 und optional einen oder mehrere Anbauteile 29 auf, welche Kühlkanäle 30 aufnehmen und entweder mit dem wassergekühlten Mantel 28 mitgegossen bzw. an diesen angegossen sind oder als separate Anbauteile befestigt werden. Durch die Lüftungskanäle 26 und die Kühlkanäle 30 kann ein Luftstrom zirkulieren, welcher ermöglicht, dass die vom Rotor erhitzte Luft die Wärme beim Durchströmen der Kühlkanäle 30 in den wassergekühlten Mantel 28 des Gehäuses abgibt. Alternativ kann ein separater Wärmetauscher in den Kühlluft-Kreislauf integriert werden. Der Rotor 32 wird beispielsweise so



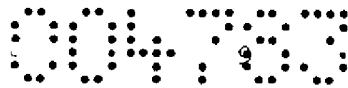
konstruiert, dass bei dessen Drehbewegung die Luft automatisch in den Kühlluft-Kanälen 26 und 30 zirkuliert. Um jedoch die Zirkulation zu verbessern, kann ein Lüfterrad 24 an der Rotorwelle 21 angebracht werden. Alternativ bietet sich an, einen separat (mechanisch oder elektrisch) angetriebenen Lüfter in den Kühlluft-Kreislauf zu integrieren, womit die Kühlung von der Drehzahl und der Drehrichtung der Rotorwelle unabhängig wird. Entscheidet man sich für den Einsatz eines Lüfterrades 24 mit variablem Luftdurchsatz bei verschiedenen Drehrichtungen bzw. Drehzahlen, so ist darauf Augenmerk zu legen, dass die Drehrichtung mit höherem Kühlluft-Durchsatz die Drehrichtung des Servomotors ist, bei der die höheren Rotorverluste entstehen.

Um ein optimales Gesamtergebnis zu erhalten, werden die Kühlluft-Kanäle für die Führung der Kühlluft bzw. das Lüfterrad 24 bevorzugt so gestaltet, dass auch der Luftspalt zwischen dem Blechpaket 25 und dem Stator 23 durchlüftet und somit gekühlt wird.

Eine weitere Verbesserungsmaßnahme ist, in den Rotor-Blechpaketen 25 im Wesentlichen radiale Lüftungskanäle vorzusehen, in denen die Kühlluft vom Lüftungskanal 26 im Wesentlichen radial nach außen in den Luftspalt zwischen dem Blechpaket 25 und dem Stator 23 strömen kann. Damit wird, u.a. auch durch die fliehkraftbedingte Beschleunigung der Kühlluft in den radialen Lüftungskanälen, eine zusätzliche Verbesserung der Kühlung des Rotors 32 erzielt.

Zusätzlich bietet sich der Einsatz von zwei oder mehreren Lüfterrädern 24, z.B. auf beiden Seiten des Blechpaketes 25, an. Dabei ist als Ausführungsvariante die Drehrichtung für optimalen Luftdurchsatz für die beiden Lüfter gegensinnig auszulegen. Mit diesem Ansatz erreicht man in beide Drehrichtung des Servomotors annähernd gleichen Luftdurchsatz.

Fig. 4 zeigt den Querschnitt des Servomotors gemäß Fig. 3. Im Schnitt erkennt man beispielhaft zwei Anbauteile 29, welche die Kühlkanäle 30 aufnehmen. Das Gehäuse kann jedoch auch nur mit einem oder mehr als zwei Anbauteilen 29 ausgeführt werden. Die



Anzahl der Anbauteile 29 hängt letztendlich vom Ausmaß der zu kühlenden Verluste und den Fertigungsmöglichkeiten ab. Alternativ können die Angüsse 29 auch entfallen und es kann die durch die Lüftungskanäle 26 strömende Luft auch in einer separaten Rückkühleinheit gekühlt werden. In Fig. 4 sind in den Kühlkanälen 30 Kühlrippen 31 angeordnet, welche einen verbesserten Wärmeübergang in den wassergekühlten Mantel 28 des Gehäuses gewährleisten. Zusätzlich oder alternativ kann ein Wärmetauscher in den Kühlluft-Kreislauf integriert werden.

In dieser Schnitt-Darstellung des Servomotors ist ein mögliches, erfindungsgemäßes Ausführungsbeispiel für die Lüftungskanäle 26 dargestellt. Anzahl, Form und Position dieser Lüftungskanäle 26 hängen von der Polpaarzahl des Servomotors und der Ausbildung der Permanentmagnete 34 im Rotor des Servomotors 6 ab. In Fig. 4 sind die Permanentmagnete 34 nur für einen Pol dargestellt, sind jedoch in der realen Ausführung am ganzen Umfang, entsprechend der Polpaarzahl des Rotors 32 des Servomotors, verteilt. Die Lüftungskanäle 26 sollen dabei radial möglichst weit außen liegen, um ein möglichst geringes Massenträgheitsmoment bzw. eine optimale Kühlung zu realisieren. Die Permanentmagnete 34 werden vorzugsweise im Bereich der Außenkontur des Rotors angebracht. Die Lüftungskanäle sind dann zwischen den Permanentmagneten 34 zu positionieren. Die Permanentmagnete 34 sind pro Pol einfach oder mehrfach ausgeführt und können einschichtig oder auch mehrschichtig gepackt sein. Weitere Konfigurationsmöglichkeiten sind z.B. V-förmige Anordnung (wie in Fig. 4 einschichtig dargestellt), eingebettet oder am Umfang des Rotors befestigt. Hier sind alle technisch realisierbaren Varianten umsetzbar. Die Größe, Anzahl und Lage der Lüftungskanäle 26 wird vorzugsweise so gewählt, dass die im Rotor durch die Permanentmagnete 34 entstehenden Feldstromlinien nicht oder nur im wirtschaftlich/technisch optimalen Ausmaß unterbrochen werden. Dies wird z.B. durch die im Wesentlichen parallele Anordnung der Wandabschnitte, die den Permanentmagneten 34 benachbart liegen, erreicht. Eine weitere zu erfüllende Rahmenbedingung für die Dimensionierung der Lüftungskanäle 26 ist, dass die mechanische Anbindung an die Rotorwelle 21 und das Rotor-Blechkpaket 25 selbst mechanisch und elektrisch ausreichend dimensioniert sind.

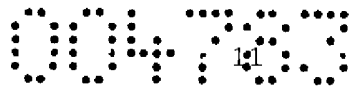
Die Variation des Querschnittes und der Lage der Lüftungskanäle 26 bewirkt eine entsprechend veränderbare Massenträgheit des

Rotors 32 des Servomotors 6. Fig. 5 zeigt den Einfluss der Größe der Lüftungskanäle auf das Massenträgheitsmoment des Rotors 32 des Servomotors 6. So ist bei dem gewählten Ausführungsbeispiel, welches ein auf ein kleines Massenträgheitsmoment ausgelegtes Rotordesign unterstellt (wie z.B. ein langgestreckter Rotor 32), die Forderung nach einem Massenträgheitsmoment von $< 1,6 \text{ kgm}^2$, um einen Applikationsfaktor $f_A < 0,15$ zu erreichen, zu erfüllen.

Zur Realisierung eines Massenträgheitsmomentes von $1,1 \text{ kgm}^2$, um einen Applikationsfaktor $f_A < 0,1$ zu erreichen, sind erfindungsgemäß Lüftungskanäle im Ausmaß von rund 60% des Blechquerschnittes vorgesehen.

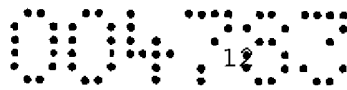
Die zusätzliche Forderung nach einer ausreichenden Kühlung des Rotors wird im Normalfall durch Lüftungskanäle im Ausmaß von insgesamt rund $\geq 5\%$ des Blechquerschnittes erfüllt. Bei hoher thermischer Belastung des Rotors müssen diese jedoch größer dimensioniert oder deren Anzahl erhöht werden.

Ein guter Kompromiss zwischen mechanischen Festigkeitserfordernissen und optimalem magnetischem Fluss im Rotor der Servomotors kann durch optimal dimensionierte Lüftungskanäle 26 im Ausmaß von insgesamt rund 15% bis 30% des Blechquerschnittes erreicht werden. Treten dynamische Anforderungen stärker in den Vordergrund, ist es empfehlenswert, optimal dimensionierte Lüftungskanäle 26 im Ausmaß von insgesamt rund 45% bis 75% des Blechquerschnittes zu realisieren.



Patentansprüche:

1. Elektrische Maschine mit einem Rotor und einem Stator, dadurch gekennzeichnet, dass im Rotor (32) axial ausgerichtete Lüftungskanäle (26) angeordnet sind.
2. Elektrische Maschine nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass der Flächenanteil der Lüftungskanäle (26) an der Querschnittsfläche des Rotors (32) wenigstens 5%, vorzugsweise wenigstens 15%, besonders bevorzugt wenigstens 30%, ganz besonders bevorzugt wenigstens 45% und insbesondere wenigstens 60% beträgt.
3. Elektrische Maschine nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass eine Rotorwelle (21) des Rotors (32) eine Hohlwelle ist.
4. Elektrische Maschine nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, dass sich von den axialen Lüftungskanälen (26) weitere Lüftungskanäle radial nach außen erstrecken.
5. Elektrische Maschine nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, dass ein Lüfterrad (24) vorgesehen ist, das bei gleicher Drehzahl in unterschiedliche Drehrichtungen einen unterschiedlich großen Volumensstrom erzeugt.
6. Elektrische Maschine nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, dass an jedem Ende des Rotors (32) wenigstens ein Lüfterrad (24) angeordnet ist, das bei gleicher Drehzahl in unterschiedliche Drehrichtungen einen unterschiedlich großen Volumensstrom erzeugt, sodass in beide Drehrichtungen eine annähernd gleich gute Belüftung des Rotors (32) erfolgt.
7. Elektrische Maschine nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, dass sie ein Gehäuse aufweist, an



dem wenigstens ein mit den Lüftungskanälen (26) verbundener Kühlkanal (30) angeordnet ist.

8. Elektrische Maschine nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, dass das Gehäuse einen wassergekühlten Mantel (28) aufweist.
9. Elektrische Maschine nach Anspruch 7 oder 8, dadurch gekennzeichnet, dass das Gehäuse Kühlrippen (31) aufweist, die in den Kühlkanal (30) ragen.
10. Elektrische Maschine nach einem der Ansprüche 1 bis 9, dadurch gekennzeichnet, dass am Rotor (32) Permanentmagnete (34) angeordnet sind, die zumindest teilweise zwischen Lüftungskanälen (26) liegen.
11. Elektrische Maschine nach einem der Ansprüche 1 bis 10, gekennzeichnet durch einen separat angetriebenen Lüfter.
12. Elektrische Maschine nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, dass der Lüfter im Kühlkanal (30) angeordnet ist.
13. Elektrische Maschine nach einem der Ansprüche 1 bis 12, gekennzeichnet durch einen Wärmetauscher, der mit den Lüftungskanälen (26) in Strömungsverbindung steht.
14. Elektrische Maschine nach einem der Ansprüche 10 bis 13, dadurch gekennzeichnet, dass den Permanentmagneten (34) benachbarte Wandabschnitte der Lüftungskanäle (26) im Wesentlichen parallel zu den Permanentmagneten (34) angeordnet sind.
15. Energiegewinnungsanlage, insbesondere Windkraftanlage, mit einer Antriebswelle, einem Generator (8) und mit einem Differentialgetriebe (4; 11 bis 13) mit drei An- bzw. Abtrieben, wobei ein erster Antrieb (12) mit der Antriebswelle, ein Abtrieb (13) mit dem Generator (8) und ein zweiter Antrieb (11) mit einem Differential-Antrieb (6)

verbunden ist und wobei das Differentialgetriebe (4; 11 bis 13) ein Planetengetriebe ist, dadurch gekennzeichnet, dass der Differential-Antrieb (6) eine elektrische Maschine nach einem der Ansprüche 1 bis 14 ist.

16. Antriebseinheit mit einer Antriebswelle, einem Hauptantrieb und mit einem Differentialgetriebe mit drei An- bzw. Abtrieben, wobei ein erster Antrieb mit der Antriebswelle, ein Abtrieb mit dem Hauptantrieb und ein zweiter Antrieb mit einem Differential-Antrieb verbunden ist und wobei das Differentialgetriebe ein Planetengetriebe ist, dadurch gekennzeichnet, dass der Differential-Antrieb eine elektrische Maschine nach 1 bis 14 ist

004783

1/3

Fig.1

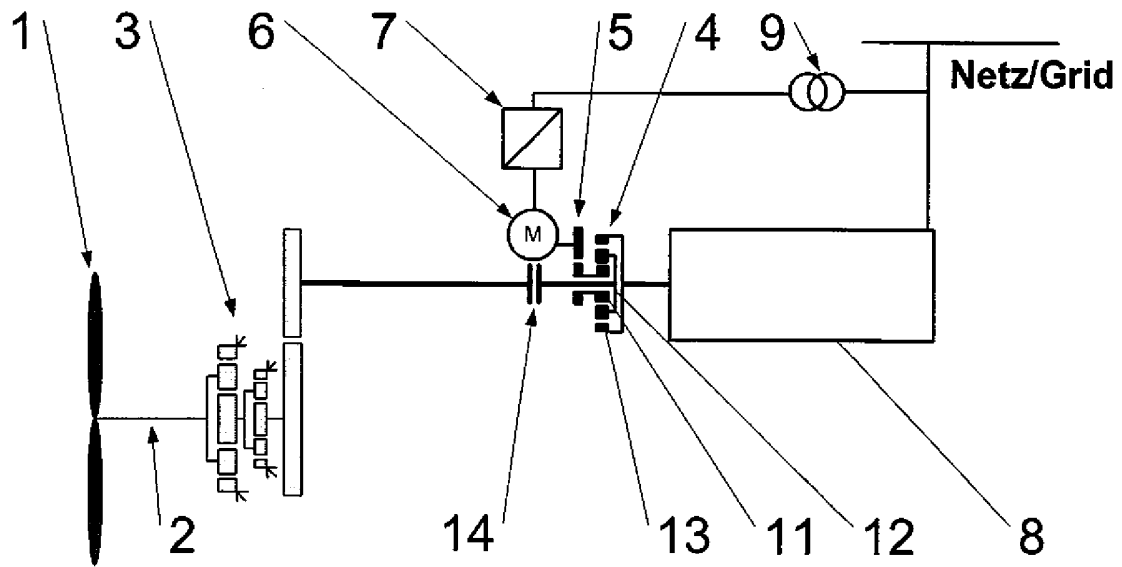


Fig.2

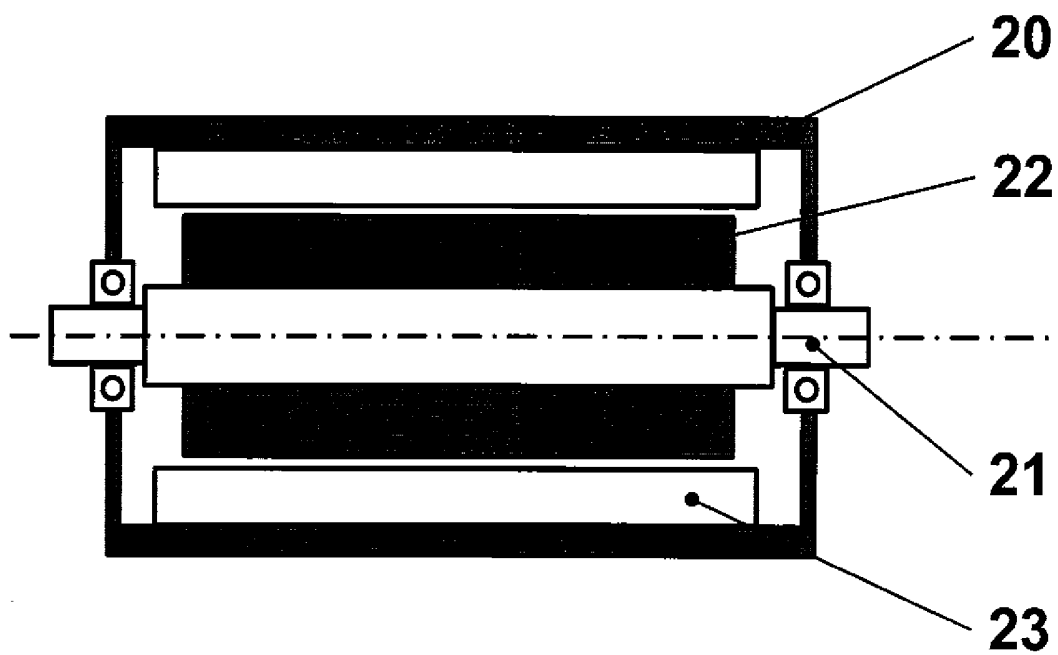


Fig. 3

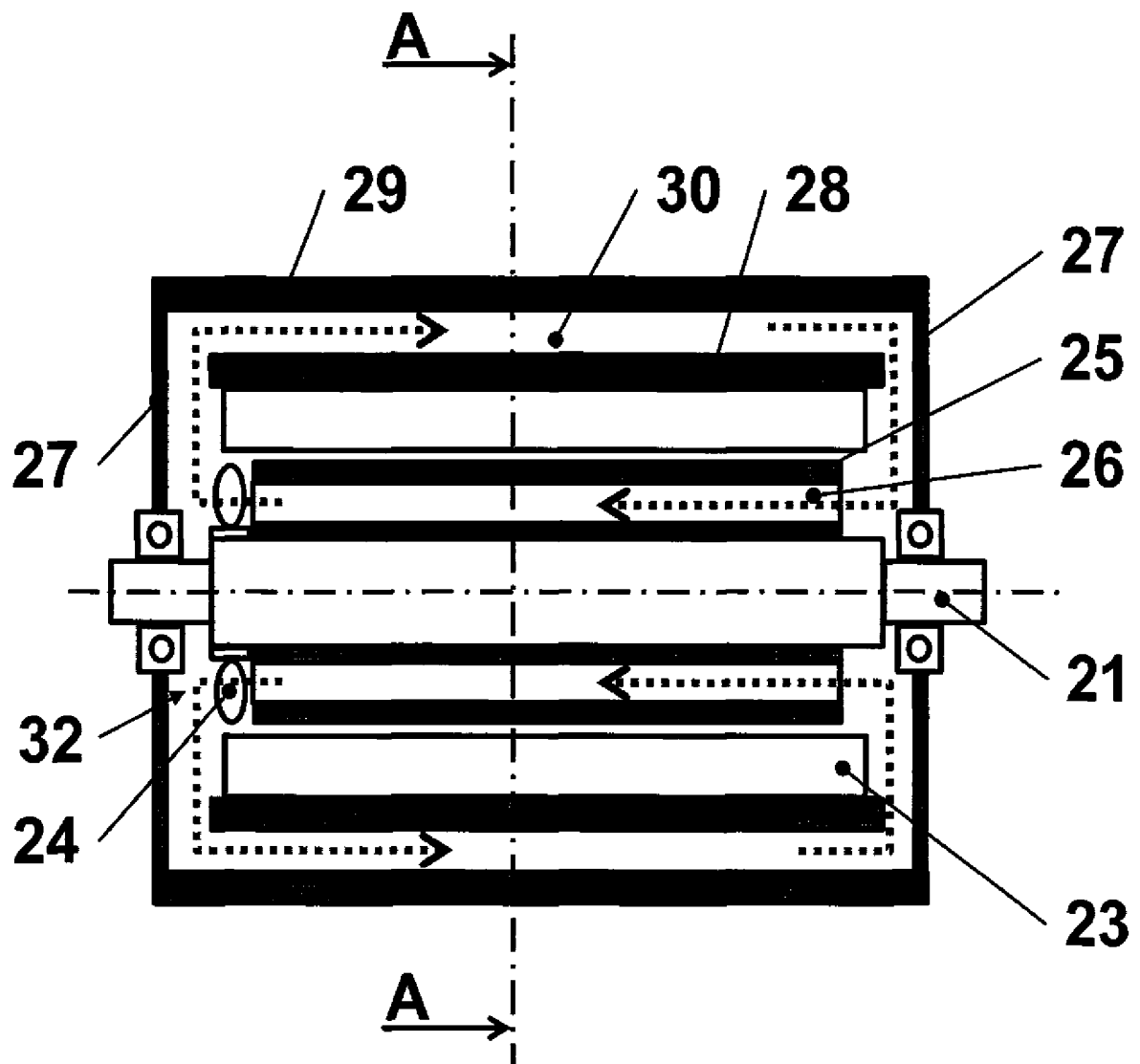


Fig. 4

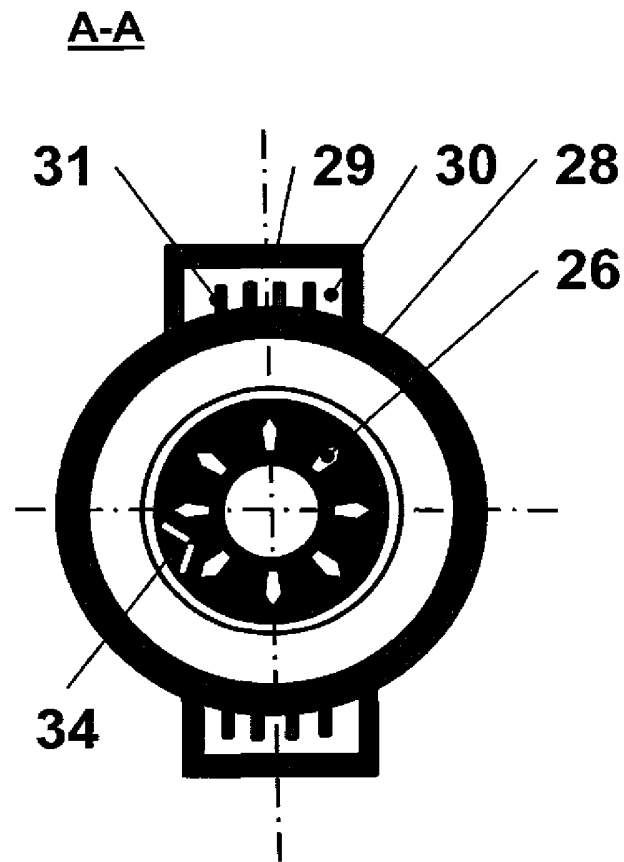
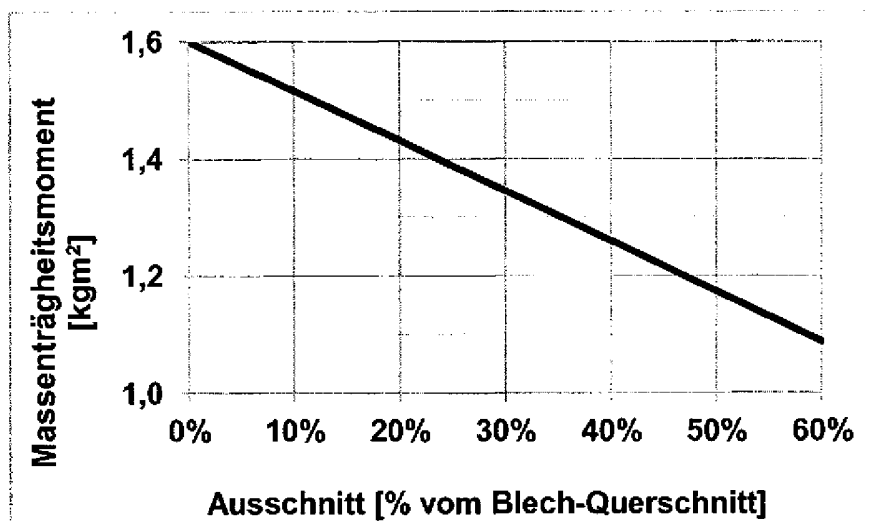


Fig. 5





Klassifikation des Anmeldungsgegenstands gemäß IPC: H02K 1/32 (2006.01); H02K 9/06 (2006.01); H02K 9/04 (2006.01); H02K 9/18 (2006.01); H02K 5/18 (2006.01); H02K 5/20 (2006.01)		
Klassifikation des Anmeldungsgegenstands gemäß ECLA: H02K 1/32; H02K 9/06; H02K 9/04; H02K 9/18; H02K5/18; H02K 5/20		
Recherchierter Prüfstoff (Klassifikation): H02K		
Konsultierte Online-Datenbank: EPODOC, WPI		
Dieser Recherchenbericht wurde zu den am 10. Mai 2012 eingereichten Ansprüchen 1-16 erstellt.		
Kategorie ^{*)}	Bezeichnung der Veröffentlichung: Ländercode, Veröffentlichungsnummer, Dokumentart (Anmelder), Veröffentlichungsdatum, Textstelle oder Figur soweit erforderlich	Betreffend Anspruch
X	DE 102009025929 A1 (SPEVACEK, ULRICH) 09. Dezember 2010 (09.12.2010)	1-5, 10, 14-16
Y	Zusammenfassung; Absätze [0016], [0018]; Figuren 1, 4, 5 Zusammenfassung	6-9, 11-13
Y	EP 0649211 A2 (MATSUSHITA ELECTRIC INDUSTRIAL CO., LTD) 19. April 1995 (19.04.1995) Zusammenfassung; Figur 1	6
Y	DE 10122425 A1 (SIEMENS AG) 28. November 2002 (28.11.2002) Ansprüche 1, 3, 6, 7; Absatz [0027]; Figur 2	7-9, 11-13
X	DE 2659650 A1 (SIEMENS AG) 16. November 1978 (16.11.1978) Ansprüche 1, 3; Figuren 1, 2	1-4, 10-12
X	EP 2360816 A1 (INDAR ELECTRIC S.L) 24. August 2011 (24.08.2011) Ansprüche 2, 3; Figuren 1, 4	1-4
Datum der Beendigung der Recherche: 10. Mai 2013		☐ Fortsetzung siehe Folgeblatt
		Prüfer(in): KOVACS G.
^{*)} Kategorien der angeführten Dokumente: X Veröffentlichung von besonderer Bedeutung: der Anmeldungsgegenstand kann allein aufgrund dieser Druckschrift nicht als neu bzw. auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden. Y Veröffentlichung von Bedeutung: der Anmeldungsgegenstand kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren weiteren Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist. A Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert. P Dokument, das von Bedeutung ist (Kategorien X oder Y), jedoch nach dem Prioritätstag der Anmeldung veröffentlicht wurde. E Dokument, das von besonderer Bedeutung ist (Kategorie X), aus dem ein älteres Recht hervorgehen könnte (früheres Anmeldedatum, jedoch nachveröffentlicht, Schutz ist in Österreich möglich, würde Neuheit in Frage stellen). & Veröffentlichung, die Mitglied der selben Patentfamilie ist.		