

(19)

österreichisches
patentamt

(10)

AT 009 002 U2 2007-03-15

(12)

Gebrauchsmusterschrift

(21) Anmeldenummer:

GM 636/06

(51) Int. Cl.⁷: H02K 9/02

(22) Anmeldetag:

2006-08-24

H02K 9/193

(42) Beginn der Schutzdauer:

2007-01-15

(45) Ausgabetag:

2007-03-15

(73) Gebrauchsmusterinhaber:

AVL LIST GMBH
A-8020 GRAZ, STEIERMARK (AT)

(72) Erfinder:

STROHSCHEIN WOLFRAM DIPL.ING.
JUDENDORF-STRASSENGEL,
STEIERMARK (AT).
HÖLLRIGL REINHARD DIPL.ING.
GRAZ, STEIERMARK (AT).

(54) ELEKTRISCHE ANTRIEBS- UND BELASTUNGSMASCHINE FÜR HOCHLEISTUNGS-PRÜFSTÄNDE

(57) Zur Verbesserung der Verlustwärmableitung ragt von der dem anzukoppelnden Aggregat abgewandten Seite, der Einschubseite (15), her eine rohrförmige, nicht mitdrehende Lanze (6) in den hohen Rotor (1), deren äußeres Ende (7) einen Anschluss (8) für die Zufuhr von gasförmigem Kühlmedium und die im Inneren des Rotors (1) zumindest eine Austrittsöffnung (9) aufweist. Der Rotor (1) weist beidseitig im Bereich der Wickelköpfe (11) des Stators (2) ausmündende Ventilationsöffnungen (12) auf, von denen austretend das Kühlmedium in weiterer Folge über am Gehäuse (3) der Maschine im Bereich um die Wickelköpfe (11) des Stators (2) verteilte Austrittsöffnungen (14) abströmen kann.

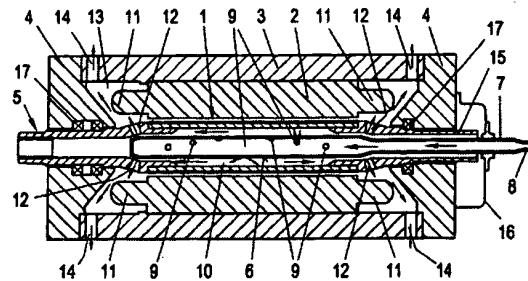


Fig. 1

Die Erfindung betrifft eine elektrische Antriebs- und Belastungsmaschine für Hochleistungs-Prüfstände, ausgebildet insbesonders als aktiv mit Kühlmedium gekühlte, permanentmagneterregte Synchronmaschine, mit einem an das zu prüfende Aggregat koppelbaren Rotor mit geringem Trägheitsmoment.

5 Elektrische Maschinen für den Antrieb bzw. das Abbremsen verschiedenster Maschinen- und Fahrzeugkomponenten auf Prüfständen sind in vielfältigsten Ausführungen bekannt und ermöglichen die Prüfung beispielsweise von Brennkraftmaschinen, Getrieben, Antriebssträngen und deren Teilen unter realitätsnahen Bedingungen, ohne dass tatsächlich der Prüfling mit den ihn
10 in der Realität belastenden Nachbaraggregaten verbunden oder in ein tatsächliches Fahrzeug eingebaut sein musste. Damit können einzelne Komponenten, wie etwa ein Getriebe, auch vollkommen unabhängig von dem dieses in der Realität treibenden Motor und den davon in weiterer Folge angetriebenen Teile des Antriebsstranges geprüft, entwickelt und optimiert werden, was große Vorteile bietet. Die für übliche Anwendungen bekannten Elektromaschinen
15 haben aber zumindest im Hochleistungsbereich - verglichen mit realen Brennkraftmaschinen mit gleicher Leistung bzw. gleichem Drehmoment - viel zu hohe Trägheitsmomente, was realitätsnahe Prüfmethoden behindert oder unmöglich macht - hohe Leistungen und Drehmomente der Elektromaschinen zusammen mit geringsten Trägheitsmomenten sind deshalb ein Ziel, das
20 eine für Hochleistungs-Prüfstände (wie insbesonders etwa für Formel 1-Getriebeentwicklungen oder dgl.) zu erreichende Voraussetzung ist.

Geringe Trägheitsmomente der Elektromaschinen erfordern möglichst geringe Rotordurchmesser, was bei den angestrebten hohen Leistungen (Formel 1-Brennkraftmaschinen bringen größerenordnungsmäßig durchaus 700 bis 1.000 PS bei 20.000 U/min und mehr an die Getriebeeingangswelle) enorme Probleme mit der auf kleinstem Raum entstehenden und zur Ermöglichung eines Dauerbetriebes auch permanent abzuführenden Verlustwärme bringt. Die für derartige Anwendungen bereits bekannt gewordene Verwendung permanentmagneterregter Synchronmaschinen ermöglicht zwar gegenüber sonstigen geeigneten Elektromaschinen relativ sehr hohe Wirkungsgrade von typischerweise über 96 % (verglichen mit etwa 92 % für übliche Induktionsmotoren) - es bleibt aber doch bei einer angestrebten Leistung von zumindest kurzzeitig bis zu 1.000 PS die bei hohen Frequenzen auftretende große Verlustleistung, die in Form von Wärme permanent abzuführen ist, was bisher bei den angestrebten niedrigsten Trägheitsmomenten (größenordnungsmäßig etwa $0,01 \text{ kg m}^2$) nicht zu realisieren war.

35 Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es, eine elektrische Maschine der eingangs genannten Art so zu verbessern, dass bei geringstem Trägheitsmoment des an das zu prüfende Aggregat koppelbaren Rotors hohe Dauerleistungen durch sichere permanente Abfuhr der Verlustwärme möglich werden.

40 Diese Aufgabe wird gemäß der vorliegenden Erfindung bei einer elektrischen Maschine der eingangs genannten Art dadurch gelöst, dass zur Kühlung des in an sich bekannter Weise hohl ausgebildeten Rotors von der dem anzukoppelnden Aggregat abgewandten Seite her eine rohrförmige, nicht mitdrehende Lanze in den Rotor ragt, deren äußeres Ende einen Anschluss für die Zufuhr von gasförmigem Kühlmedium und die im Inneren des Rotors zumindest eine Austrittsöffnung aufweist, dass der Rotor beidseitig im Bereich der Wickelköpfe des Stators ausmündende Ventilationsöffnungen aufweist und dass am Gehäuse der Maschine im Bereich um die Wickelköpfe des Stators verteilte Austrittsöffnungen für das Kühlmedium angeordnet sind. Hohl ausgebildete Rotoren sind dabei an sich beispielsweise aus US 3 588 290, US 5 130 585 oder US 6 727 609 bekannt und dort auch zumindest zum Teil schon durch Zufuhr von gasförmigem Kühlmedium in den Innenraum gekühlt worden. Die Erfindung geht nun diesbezüglich weiter und verwendet eine in den hohlen Rotor ragende, rohrförmige Lanze, womit das gasförmige Kühlmedium gezielt zu Austrittsöffnungen im Inneren des Rotors gebracht und dort mit in weiten Grenzen wählbaren Strömungseigenschaften gegen die zu kühlenden Oberflächen gerichtet werden kann. Das gasförmige Kühlmedium strömt dann im Ringspaltbereich zwischen der nicht mitdrehenden Lanze und der Innenwand des Rotors ab und
45
50
55

kann beidseitig im Bereich der Wickelköpfe des Stators über die Ventilationsöffnungen austreten und damit auch die thermisch ebenfalls hochbelasteten Wickelköpfe des Stators kühlen, bevor es das Gehäuse der Maschine über entsprechend platzierte Austrittsöffnungen verlässt.

- 5 An der Einschubseite der Lanze kann in bevorzugter Ausgestaltung der Erfindung ein Ringspalt zum Rotor offen bleiben, über den Kühlmedium aus dem Rotor austreten kann, womit dieser in vorteilhafter Weise bis zu den dortigen Lagern gekühlt wird. Die der Einschubseite der Lanze gegenüberliegende Seite des Rotors kann entweder - vorzugsweise über eine Drosselöffnung - offen oder aber mit einem Anbauflansch oder einer sonstigen geeigneten Verbindung für eine anzutreibende Getriebewelle oder ein ähnliches Aggregat abgeschlossen sein.

Die Lanze weist in besonders bevorzugter Ausgestaltung der Erfindung einen gegenüber dem Innendurchmesser des Rotors nur geringfügig kleineren Außendurchmesser und mehrere, in Längsrichtung der Lanze verteilte Austrittsöffnungen auf, die bevorzugt auch spiralartig über die 15 Länge der Lanze am Umfang verteilt angeordnet sein können. Es kann damit eine sehr hohe Strömungsgeschwindigkeit im Ringspalt zwischen Lanze und Rotor erhalten werden, was zusammen mit entsprechend dimensionierten Austrittsöffnungen aus der Lanze einerseits eine hohe Aufreffgeschwindigkeit des Kühlmediums auf die Innenwand des Rotors, und damit die gewünschte Durchdringung der zu Folge der Fliehkraft an der Rotorwand anhaftenden Laminarströmung, sicherstellt und andererseits einen ausreichenden Wärmeabtransport über das 20 gasförmige Kühlmedium ermöglicht. Die Verteilung der Austrittsöffnungen über die Länge der Lanze ermöglicht eine weitgehend gleichmäßige Kühlung des thermisch hochbelasteten, die Magnete tragenden Teils des Rotors.

- 25 Die Ventilationsöffnungen des Rotors in Richtung zu den Wickelköpfen des Stators sind bevorzugt mit sich von innen nach außen erweiterndem Querschnitt ausgebildet, was die an sich bereits durch die Fliehkraft unterstützte Ausströmung des gasförmigen Kühlmediums aus dem Rotor weiter unterstützt.
- 30 Die Austrittsöffnungen der Lanze können in weiterer Ausgestaltung der Erfindung entlang der Längsachse des Rotors auch verstellbar sein, vorzugsweise indem die Lanze in der Längsachse des Rotors verschieblich ist, womit gezielt bestimmte Bereiche bevorzugt gekühlt werden können.
- 35 In weiters bevorzugter Ausgestaltung der Erfindung sind zusätzlich der Stator und/oder die Statorwicklungen und/oder das Gehäuse und/oder die Lagerschilde in an sich bekannter Weise zusätzlich mit Kühlkanälen versehen, welche vorzugsweise von flüssigem Kühlmittel im geschlossenen Kreislauf durchströmbar sind. Dabei ist eine weitere Ausgestaltung der Erfindung von besonderem Vorteil, gemäß welcher die dem Rotor unmittelbar gegenüberliegenden Polschuhe der Statorwicklungen mit durchgehenden Kühlkanälen, vorzugsweise ausgebildet in Kühlrohren, versehen sind, die beidseits nach außen über elektrisch nichtleitende Anschlussstücke verbunden und mit einer elektrisch nichtleitenden Kühlflüssigkeit, vorzugsweise destilliertem Wasser mit zugesetzten Inhibitoren, durchströmbar sind. Auf Grund von Ummagnetisierung und Wirbelströmen erhitzt sich das Stator-Blechpaket sehr stark, wobei dieser Effekt durch die 40 zur Ermöglichung einer hohen Dynamik bei großen Leistungen zum Einsatz kommenden hohen Drehfrequenzen (typischerweise über 1 kHz) noch verstärkt werden. Neben der an sich bekannten Wassermantelkühlung, die einen Großteil der Statorwärme abführen kann, dient die beschriebene Polschuhkühlung zur effektiven und räumlich optimal platzierten Kühlung der Polschuhe selbst, welche einen Bereich extrem hoher Temperatur darstellen, die durch Wärmeabstrahlung auch unmittelbar auf den Rotor übertragen wird. Die Verwendung einer nichtleitenden Flüssigkeit, vorzugsweise mit entsprechenden Zusätzen, die verhindern, dass sich durch chemische Reaktionen Ladungsträger in der Flüssigkeit bilden, womit die Flüssigkeit sukzessive 45 leitend würde, ermöglicht eine effektive direkte Kühlung der Polschuhe ohne nachteilige Einflüsse auf das magnetische Verhalten.
- 50

Die Erfindung wird im folgenden noch an Hand der in der Zeichnung schematisch dargestellten Ausführungsbeispiele näher erläutert. Fig. 1 zeigt dabei einen Längsschnitt durch eine erfundungsgemäße Elektromaschine, Fig. 2 symbolisch das mit einer Polschuhkühlung versehene Statorpaket einer erfundungsgemäßen Elektromaschine und Fig. 3 einen Detailschnitt entlang der Linie III-III in Fig. 2 in vergrößertem Maßstab.

Die elektrische Antriebs- bzw. Belastungsmaschine gemäß Fig. 1 ist als permanentmagneterregte Synchronmaschine ausgebildet, was höchste Leistungsdichten und einen hohen Wirkungsgrad ermöglicht. Durch die Ausbildung des an das nicht dargestellte, zu prüfende Aggregat koppelbaren Rotors 1 als Hohlwelle mit geringem Trägheitsmoment kann die Elektromaschine mit hoher Leistung und hochdynamisch steuerbar beispielsweise für Hochleistungs-Prüfstände zur Prüfung von Getrieben, Antriebssträngen oder dgl. eingesetzt werden. Nachdem das geringe Trägheitsmoment des Rotors 1 eine ziemlich drastische Verkleinerung insbesonders des Rotordurchmessers erfordert, baut die gesamte Elektromaschine sehr klein, was Probleme im Hinblick auf die abzuführende Verlustwärme bedeutet. Um die bei Gesamtleistungen von großenordnungsmäßig etwa 1.000 PS Spitztleistung anfallende Verlustwärme von großenordnungsmäßig etwa 70 kW im Dauerbetrieb sicher abführen zu können, ist abgesehen von hier nicht dargestellten üblichen Flüssigkeitskühlungen beispielsweise des Stators 2 und des Gehäuses 3 bzw. der Lagerschilde 4 zur Kühlung des Rotors 1 selbst von der dem nicht dargestellten (im Bereich des Endes 5 des Rotors 1 anzukoppelnden) zu prüfenden Aggregat abgewandten Seite, der Einschubseite 15, her eine rohrförmige, nicht mitdrehende Lanze 6 in den Rotor 1 eingeschoben, deren äußeres Ende 7 einen Anschluss 8 für die Zufuhr von gasförmigem Kühlmedium aufweist. Das gegenüberliegende Ende der Lanze 6 ist bevorzugt verschlossen, kann aber auch Austrittsöffnungen aufweisen. Im Inneren des Rotors 1 sind Austrittsöffnungen 9 an der Lanze 6 vorgesehen, die auf deren Außenumfang spiralartig über die Länge verteilt angeordnet sind, und das über den Anschluss 8 zuströmende Kühlmedium gezielt mit hoher Strömungsgeschwindigkeit gegen die Innenwandung des Rotors 1 ausblasen. Damit wird der dort bei den hohen Drehzahlen des Rotors 1 von 20.000 U/min und mehr zu Folge der Fliehkraft anhaftende, weitgehend laminare Kühlmediumfilm aufgerissen und eine effektive Kühlung der Innenwand des Rotors 1 erzielt. Das aus der Lanze 6 ausgetretene Kühlmedium strömt mit hoher Geschwindigkeit durch den Ringspalt 10 zwischen Lanze 6 und Rotor 1 beidseits in Richtung zu den äußeren Enden des Rotors 1 und tritt bevorzugt an beidseits im Bereich der Wickelköpfe 11 des Stators 2 ausmündenden Ventilationsöffnungen 12 in den Gehäuseinnenraum 13 aus. Am Gehäuse 3 sind im Bereich um die Wickelköpfe 11 des Stators 2 verteilt Austrittsöffnungen 14 für das gasförmige Kühlmedium angeordnet, über welche dieses entweder frei in die Atmosphäre ausgeblasen oder aber auf nicht dargestellte Weise auch rückgekühlt und rückgeführt wird.

In der dargestellten Ausführung gelangt ein Teil des in den Ringspalt 10 ausgeblasenen Kühlmediums auch entlang der Lanze 6 nach rechts wieder aus dem rechten Ende, der Einschubseite 15, des Rotors 1 nach außen und wird über ein Sammelgehäuse 16, welches die Lanze 6 trägt, abgeführt. An der gegenüberliegenden Seite 5 des Rotors 1 kann dieser entweder verschlossen sein oder eine entsprechend reduzierte Durchtrittsöffnung für das Kühlmedium aufweisen, womit die Bereiche der Lager 17 auf beiden Seiten des Rotors 1 mitgekühlt werden könnten.

Die Lanze 6 weist hier einen Außendurchmesser auf, der geringfügig kleiner als der Innen-durchmesser des Rotors 1 im Bereich der Lager 17 ist, womit die Lanze 6 ohne weiteres von der Seite des Sammelgehäuses 16 her in den Rotor 1 eingeschoben und bedarfsweise auch in ihrer axialen Position verstellt werden kann. Davon abgesehen könnte die Lanze 6 aber auch einen zum mindesten bereichsweise näher an den Außenumfang des Rotors 1 reichenden Außenumfang aufweisen, müsste aber dann vor dem Zusammenbau des inneren, weiteren Rotorteiles mit den äußeren, engeren Lagerteilen eingesetzt werden.

Die Ventilationsöffnungen 12 des Rotors 1 sind hier mit sich von innen nach außen erweitern-

dem Querschnitt dargestellt - davon abgesehen könnten diese Öffnungen aber auch einfach gerade oder beispielsweise auch nach Art einer Kreiselpumpe gebogen ausgeführt werden, um die Ausströmung des Kühlmediums in Richtung der Wickelköpfe 11 zu beeinflussen bzw. zu verbessern. Ähnliches gilt auch für die Austrittsöffnungen 9 an der Lanze 6, die bedarfswise 5 zur Beeinflussung der Ausströmung des Kühlmediums speziell gestaltet werden können.

Wie aus Fig. 2 und 3 ersichtlich ist, können die dem Rotor 1 unmittelbar gegenüberliegenden Polschuhe 18 der Statorwicklungen 19 mit durchgehenden Kühlkanälen 20, vorzugsweise 10 ausgebildet in separat eingesetzten Kühlrohren, versehen sein, die beidseits nach außen über elektrisch nichtleitende Anschlüssestücke 21 verbunden sind und mit einer elektrisch nichtleitenden Kühlflüssigkeit durchströmbar sind. Auf diese Weise wird der thermisch hochbelastete Bereich der Polschuhe direkt gekühlt, ohne die magnetischen Eigenschaften der Anordnung zu beeinflussen.

15 Ansprüche:

1. Elektrische Antriebs- und Belastungsmaschine für Hochleistungs-Prüfstände, ausgebildet insbesonders als aktiv mit Kühlmedium gekühlte, permanentmagneterregte Synchronmaschine, mit einem an das zu prüfende Aggregat koppelbaren Rotor (1) mit geringem Trägheitsmoment, *dadurch gekennzeichnet*, dass zur Kühlung des in an sich bekannter Weise hohl ausgebildeten Rotors (1) von der dem anzukoppelnden Aggregat abgewandten Seite, der Einschubseite (15), her eine rohrförmige, nicht mitdrehende Lanze (6) in den Rotor (1) ragt, deren äußeres Ende (7) einen Anschluss (8) für die Zufuhr von gasförmigem Kühlmedium und die im Inneren des Rotors (1) zumindest eine Austrittsöffnung (9) aufweist, dass der Rotor (1) beidseitig im Bereich der Wickelköpfe (11) des Stators (2) ausmündende Ventilationsöffnungen (12) aufweist und dass am Gehäuse (3) der Maschine im Bereich um die Wickelköpfe (11) des Stators (2) verteilte Austrittsöffnungen (14) für das Kühlmedium angeordnet sind.
2. Maschine nach Anspruch 1, *dadurch gekennzeichnet*, dass an der Einschubseite (15) der Lanze (6) ein Ringspalt (10) zum Rotor (1) offen bleibt, über den Kühlmedium aus dem Rotor (1) austreten kann.
3. Maschine nach Anspruch 1 oder 2, *dadurch gekennzeichnet*, dass die Lanze (6) einen gegenüber dem Innendurchmesser des Rotors (1) nur geringfügig kleineren Außendurchmesser und mehrere, in Längsrichtung der Lanze (6) verteilte Austrittsöffnungen (9) aufweist.
4. Maschine nach Anspruch 3, *dadurch gekennzeichnet*, dass die Austrittsöffnungen (9) der Lanze (6) auf deren Außenumfang spiralartig über die Länge verteilt angeordnet sind.
5. Maschine nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 4, *dadurch gekennzeichnet*, dass die Ventilationsöffnungen (12) des Rotors (1) mit sich von innen nach außen erweiterndem Querschnitt ausgebildet sind.
6. Maschine nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 5, *dadurch gekennzeichnet*, dass die Austrittsöffnung(en) (9) der Lanze (6) entlang der Längsachse des Rotors (1) verstellbar sind, vorzugsweise indem die Lanze (6) in der Längsachse des Rotors (1) verschieblich ist.
7. Maschine nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 6, *dadurch gekennzeichnet*, dass der Stator (2) und/oder die Statorwicklungen (19) und/oder das Gehäuse (3) und/oder die Lagerschilde (4) in an sich bekannter Weise zusätzlich mit Kühlkanälen versehen sind, welche vorzugsweise von flüssigem Kühlmittel im geschlossenen Kreislauf durchströmbar

sind.

8. Maschine nach Anspruch 7, *dadurch gekennzeichnet*, dass die dem Rotor (1) unmittelbar gegenüberliegenden Polschuhe (18) der Statorwicklungen (19) mit durchgehenden Kühlkanälen (20), vorzugsweise ausgebildet in Kühlrohren, versehen sind, die beidseits nach außen über elektrisch nichtleitende Anschlussstücke (21) verbunden und mit einer elektrisch nichtleitenden Kühlflüssigkeit, vorzugsweise destilliertem Wasser mit zugesetzten Inhibitoren, durchströmbar sind.

10

Hiezu 1 Blatt Zeichnungen

15

20

25

30

35

40

45

50

55

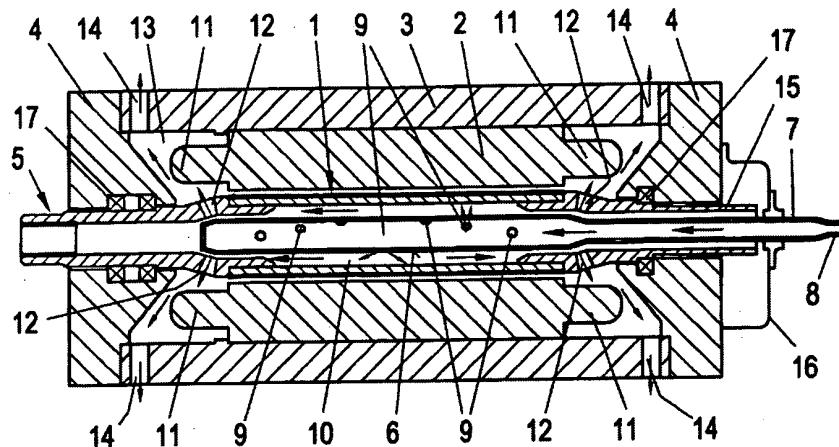


Fig. 1

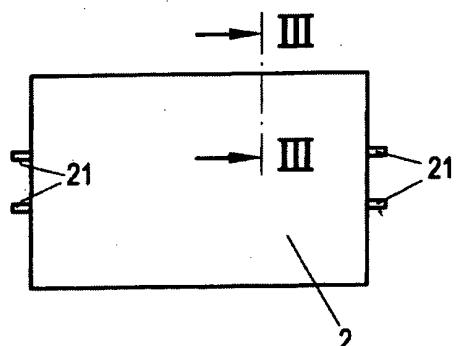


Fig. 2

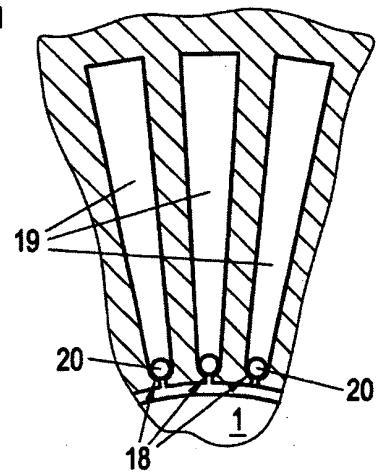


Fig. 3