



(19)  
Bundesrepublik Deutschland  
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 10 2004 013 721 A1** 2005.10.06

(12)

## Offenlegungsschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2004 013 721.8**

(22) Anmeldetag: **18.03.2004**

(43) Offenlegungstag: **06.10.2005**

(51) Int Cl.7: **H02K 9/19**

(71) Anmelder:

**Sensor-Technik Wiedemann GmbH, 87600  
Kaufbeuren, DE; SALWIT Agrarenergie GmbH,  
92709 Moosbach, DE; Baumüller Nürnberg GmbH,  
90482 Nürnberg, DE; AGCO GmbH & Co.OHG,  
87616 Marktobersdorf, DE**

(74) Vertreter:

**Patentanwälte Rau, Schneck & Hübner, 90402  
Nürnberg**

(72) Erfinder:

**Krompaß, Martin, 94036 Passau, DE**

(56) Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht zu  
ziehende Druckschriften:

**DE 30 38 444 C2**

**DE 100 44 938 A1**

**DE 41 38 268 A1**

**US 47 39 204 A**

**EP 03 29 790 A1**

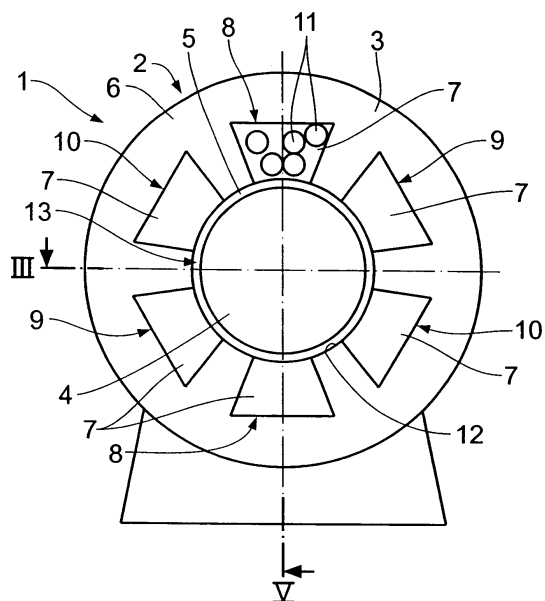
**JP 05-0 91 696 A**

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

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

(54) Bezeichnung: **Elektrodynamische Maschine mit einer zu kühlenden Komponente**

(57) Zusammenfassung: Die elektrodynamische Maschine (1) weist einen Stator (3) und einen Rotor (4) auf, von denen eine oder beide eine zu kühlende Komponente darstellen können. Diese beinhaltet einen von einem elektrischen Strom durchflossenen elektrischen Leiter (11). Es sind Kühlmittel (13) zur direkten Kühlung des elektrischen Leiters (11) vorgesehen, so dass ein flüssiges Kühlmedium den elektrischen Leiter (11) unmittelbar umströmt. Dadurch ergibt sich eine effiziente Kühlung. Insbesondere kommt das flüssige Kühlmedium nur mit dem zu kühlenden Stator (3) oder dem zu kühlenden Rotor (4) in Kontakt.



**Beschreibung**

**[0001]** Die Erfindung betrifft eine elektrodynamische Maschine mit einer zu kühlenden Komponente nach dem Oberbegriff des Anspruchs 1.

**[0002]** Bei einer elektrodynamischen Maschine, die beispielsweise als elektrischer Generator oder als elektromechanische Antriebsmaschine in Form eines Synchronmotors, eines Asynchronmotors oder eines Gleichstrommotors ausgebildet sein kann, entsteht während des Betriebs verlustbedingte Wärme, die entweder einen bestimmten Grad nicht übersteigen darf oder aus der Maschine abgeführt werden muss, um eine Beschädigung der Maschine aufgrund einer Überhitzung zu vermeiden. Hauptsächlich wird die Wärme durch Kupferverluste und durch Eisenverluste verursacht.

**[0003]** Die Eisenverluste entstehen durch Wirbelströme und durch Ummagnetisierung des Eisenpakets, das im Stator und im Rotor vorhanden ist. Durch eine spezielle Blechung des Eisenpakets und eine Verwendung von speziellem Dynamoblech können diese Verluste reduziert werden. Folglich sind für die Erwärmung der elektrodynamischen Maschine in erster Linie die Kupferverluste verantwortlich.

**[0004]** Sie entstehen aufgrund eines elektrischen Stromflusses durch Widerstandsbehaftete Wicklungen, die einen wesentlichen Bestandteil des Stators und gegebenenfalls auch des Rotors bilden. Üblicherweise sind die Wicklungen aus einem elektrischen Kupfer-Leiter, der mit einer Isolierung insbesondere in Form eines Isolationslacks versehen ist, hergestellt. Die Isolierung bestimmt maßgeblich, wie hoch die Temperatur im Inneren der elektrodynamischen Maschine ansteigen darf, ehe es zu einer Beschädigung der Isolierung und damit zu einer Funktionsstörung der Maschine kommt. Beispielsweise liegt diese maximal zulässige Temperatur bei etwa 150° C.

**[0005]** Bei einer elektrodynamischen Maschine, die für eine hohe Leistung, d. h. eine Leistung von mindestens 20 KW, ausgelegt ist, wird deshalb eine Kühlung eingesetzt, um die maximal zulässige Temperatur einzuhalten. Bekannt ist eine indirekte Kühlung, bei der das Gehäuse der Maschine mit Wasser umströmt wird. Ungünstigerweise besteht zwischen dem Kühlmedium Wasser und der Hauptwärmequelle, also den elektrischen Kupfer-Wicklungen, aufgrund der dazwischen liegenden Komponenten ein erheblicher thermischer Übergangswiderstand, wodurch die Effizienz der Kühlung sinkt.

**[0006]** Bekannt ist außerdem auch eine direkte Kühlung der Kupfer-Wicklungen mit Luft. Das Kühlmedium Luft umströmt hierbei die elektrischen Kupfer-Wicklungen und auch die Blechpakete des Sta-

tors und des Rotors unmittelbar. Dennoch ist auch die Effizienz dieser Kühlungsart begrenzt, da Luft ein relativ leistungsschwaches Kühlmedium ist.

**[0007]** Der Erfindung liegt deshalb die Aufgabe zugrunde, eine elektrodynamische Maschine der gattungsgemäßen Art so auszugestalten, dass die Kühlung eine höhere Effizienz aufweist.

**[0008]** Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß durch die Merkmale im kennzeichnenden Teil des Anspruchs 1 gelöst. Die jeweiligen Vorteile der direkten und der indirekten Kühlung werden bei der erfindungsgemäßen Lösung genutzt. So ist das eingesetzte flüssige Kühlmedium verglichen mit Luft deutlich leistungsstärker, d. h. es kann eine höhere Wärmemenge abtransportieren. Aufgrund der außerdem vorgesehenen im Wesentlichen unmittelbaren Umströmung der Hauptwärmequelle, also des stromdurchflossenen Leiters ist die Kühlung besonders effizient. Im Wesentlichen unmittelbare Umströmung bedeutet, dass abgesehen von einer elektrischen Isolierung keine weiteren Zwischenkomponenten vorhanden sind, die den thermischen Übergangswiderstand in unerwünschter Weise vergrößern würden. Es ist möglich, dass der elektrische Leiter aufgrund der Leitungsführung in der betreffenden Wicklung gegebenenfalls nicht über seine gesamte Länge unmittelbar mit dem flüssigen Kühlmedium in Kontakt steht. Dennoch liegt insgesamt eine sehr effiziente Kühlung vor.

**[0009]** Außer dem elektrischen Leiter werden insbesondere auch andere Bestandteile der zu kühlenden Komponente, wie zum Beispiel ein Blechpaket, in das der elektrische Leiter zumindest bereichsweise eingebettet ist, von dem flüssigen Kühlmedium umströmt und damit ebenfalls gekühlt. Somit dient die Kühlung also auch zur Abführung von Verlustwärme, die aufgrund von Eisenverlusten entsteht.

**[0010]** Aufgrund der hocheffizienten Kühlung kann die elektrodynamische Maschine mit einer höheren Leistungsdichte, d. h. bezogen auf die Baugröße oder das Gewicht, ausgeführt werden. Insbesondere kann bei gleichbleibender hoher Leistung, also von beispielsweise mindestens 20 KW, die Baugröße verringert werden, ohne dass dadurch die zulässige Maximaltemperatur im Inneren der elektrodynamischen Maschine überschritten wird. Dies ist insbesondere dann von Vorteil, wenn die elektrodynamische Maschine mobil eingesetzt wird, wobei die Baugröße und das Gewicht eine besondere Rolle spielen. Ein Beispiel für eine solche mobile Anwendung ist der Einsatz in einem (Kraft-)Fahrzeug.

**[0011]** Bei der zu kühlenden Komponente kann es sich je nach Ausgestaltung der elektrodynamischen Maschine entweder um den feststehenden Stator oder um den um eine Mittenachse rotierenden Rotor

handeln. Grundsätzlich ist es jedoch auch möglich, dass sowohl der Stator als auch der Rotor gekühlt werden.

**[0012]** Vorteilhafte Ausgestaltungen der Erfindung ergeben sich aus den von Anspruch 1 abhängigen Unteransprüchen.

**[0013]** Die Ausgestaltung nach Anspruch 2 verhindert insbesondere Verwirbelungen im flüssigen Kühlmedium, die dann entstehen könnten, wenn das Kühlmedium sowohl mit dem feststehenden Stator als auch mit dem rotierenden Rotor in Kontakt kommt. So würde beispielsweise ein eigentlich nur zur Kühlung des Stators vorgesehenes Kühlmedium ohne das Verschlusselement zumindest teilweise vom Rotor in eine Rotationsströmung gezwungen werden. Dieser mitrotierende Anteil des Kühlmediums stünde dann nicht mehr uneingeschränkt für die eigentliche Kühlaufgabe zur Verfügung. Außerdem kann es zu Verwirbelungen und damit zu einer Wärmeentwicklung innerhalb des Kühlmediums selbst kommen. Das Kühlmedium vermag dann nur noch einen geringeren Grad an Wärmemenge abzutransportieren.

**[0014]** Ein gemäß Anspruch 3 ausgebildeter Strömungskanal erfordert praktisch keine Umkonstruktion der elektrodynamischen Maschine. Die ohnehin zur Verlegung des elektrischen Leiters erforderliche Nut wird gleichzeitig auch als Strömungskanal verwendet.

**[0015]** Aufgrund der Fixierung gemäß Anspruch 4 wird verhindert, dass die Funktionsweise der elektrodynamischen Maschine durch das Verschlusselement beeinträchtigt wird. Der zwischen dem Stator und dem Rotor vorhandene Spalt, in dem das Verschlusselement insbesondere angeordnet ist, hat nur eine sehr geringe Abmessung in der Größenordnung von einigen hundert Mikrometern. Eine gute Fixierung des Verschlusselements sichert zum einen definierte und insbesondere homogene magnetische Flussverhältnisse im Spaltbereich und verhindert außerdem eine Verkeilung des Verschlusselements zwischen dem Stator und dem sich mit einer hohen Drehgeschwindigkeit bewegenden Rotor. Weiterhin gewährleistet eine Fixierung des Verschlusselements die Abdichtungsfunktion auch dann, wenn das Kühlmedium unter Druck in den Strömungskanal eingepreist wird.

**[0016]** Die Ausgestaltungen nach Anspruch 6 und 7 vermeiden eine kapazitive Überkopplung zwischen Stator und Rotor. Damit werden gleichzeitig unerwünschte Lagerströme, die ansonsten zu einer Mikroverschweißung innerhalb der Lagerung des Rotors führen könnten, unterbunden. Die ebenfalls diesem Zweck dienende elektrisch leitfähige Dichtung gemäß Anspruch 8 erfüllt eine Doppelfunktion. Sie

bewirkt außerdem auch eine Abdichtung, so dass das Kühlmedium nicht austreten kann. Durch die Unterdrückung der Lagerströme kann die Lebensdauer der Rotorlager erhöht werden.

**[0017]** Verglichen mit der ansonsten üblichen radialen Aufnahme der Lagerdeckel im Gehäuse weist die Ausgestaltung nach Anspruch 9 eine höhere Genauigkeit bei der Positionierung der Rotorlager und damit insbesondere auch des Rotors selbst auf. Dies ist insbesondere dann von Vorteil, wenn die ohnehin geringe Breite des Spalts zwischen dem Stator und dem Rotor durch das Einbringen des Verschlusselements zusätzlich verringert wird.

**[0018]** Die Variante nach Anspruch 10 bietet eine Erhöhung der elektrischen Sicherheit, da auch im Falle einer fehlerhaften Isolierung des elektrischen Leiters keine Spannung, die im Inneren der elektrodynamischen Maschine an einer Wicklung ansteht, über das Kühlmedium in den Außenbereich der elektrodynamischen Maschine gelangen kann.

**[0019]** Weitere Aspekte, Vorteile und Einzelheiten der Erfindung ergeben sich aus der nachfolgenden Beschreibung mehrerer Ausführungsbeispiele anhand der Zeichnung. Zur Verdeutlichung ist die Zeichnung nicht maßstäblich ausgeführt und gewisse Aspekte sind nur schematisiert dargestellt. Im Einzelnen zeigt:

**[0020]** [Fig. 1](#) ein erstes Ausführungsbeispiel einer elektrodynamischen Maschine mit gekühlter Antriebseinheit,

**[0021]** [Fig. 2](#) ein zweites Ausführungsbeispiel einer elektrodynamischen Maschine mit gekühlter Antriebseinheit,

**[0022]** [Fig. 3](#) ein drittes Ausführungsbeispiel einer elektrodynamischen Maschine mit gekühlter Antriebseinheit und integrierter Anschlusseinheit,

**[0023]** [Fig. 4](#) ein Blockschaltbild einer elektrischen Beschaltung einer elektrodynamischen Maschine,

**[0024]** [Fig. 5](#) ein viertes Ausführungsbeispiel einer elektrodynamischen Maschine mit gekühlter Antriebseinheit,

**[0025]** [Fig. 6](#) eine vergrößerte Darstellung eines Ausschnitts von [Fig. 5](#) und

**[0026]** [Fig. 7](#) ein fünftes Ausführungsbeispiel einer elektrodynamischen Maschine mit gekühlter Antriebseinheit und mit außen angeordnetem Rotor.

**[0027]** Einander entsprechende Teile sind in den [Fig. 1](#) bis [Fig. 7](#) mit denselben Bezugszeichen versehen.

[0028] In [Fig. 1](#) ist ein erstes Ausführungsbeispiel einer elektrodynamischen Maschine **1** in Form eines Synchronmotors für einen Leistungsbereich von mindestens 20 KW dargestellt. Grundsätzlich könnte die elektrodynamische Maschine **1** jedoch ebenfalls als Asynchronmotor oder auch als Gleichstrommotor ausgebildet sein. Möglich ist ebenfalls eine Ausgestaltung als elektrischer Generator. Die in [Fig. 1](#) gezeigte eigentliche Antriebseinheit **2** beinhaltet einen feststehenden Stator **3** und einen um eine Drehachse drehbar gelagerten Rotor **4**. Zwischen dem Rotor **4** und dem Stator **3** ist in radialer Richtung ein Spalt **5** ausgebildet. Der Stator **3** besteht aus einem magnetischen, eisenhaltigen Statorblechpaket **6**, in dem angrenzend an den Spalt **5** und in gleichmäßigen Abständen über den Umfang verteilt insgesamt sechs Nuten **7** vorgesehen sind. Jeweils zwei einander gegenüberliegende Nuten **7** dienen zur Aufnahme einer von insgesamt drei Phasenwicklungen **8**, **9** und **10**. Stellvertretend für die anderen Phasenwicklungen sind in der obersten Nut **7** elektrische Leiter **11** angedeutet, aus denen die Phasenwicklung **8** besteht. Die elektrischen Leiter **11** sind als mit einer Isolierung aus einem Isolationslack versehene Kupfer-Leitungen ausgebildet. Anstelle der in [Fig. 1](#) gezeigten dreiphasigen Ausführungsform kann die elektrodynamische Maschine **1** auch eine beliebige andere Zahl an Phasenwicklungen aufweisen. So sind auch vier, fünf oder sechs Phasenwicklungen möglich.

[0029] Zur Abführung der in den elektrischen Leitern **11** aufgrund eines elektrischen Stromflusses entstehenden Verlustwärme sind die elektrischen Leiter **11** unmittelbar von einem flüssigen Kühlmedium umströmt. Dadurch wird erreicht, dass die Temperatur im Inneren der elektrodynamischen Maschine **1** nicht über eine zulässige Maximaltemperatur, die insbesondere durch die Isolation der elektrischen Leiter **11** bestimmt ist, überschritten wird. Diese Temperatur liegt bei etwa 150°C. An einer Statorinnenwand **12** der zylinderförmigen Stator-Bohrung, innerhalb der der Rotor **4** angeordnet ist, ist im Bereich des Spalts **5** ein Verschlusselement **13** vorgesehen. Die Stator-Bohrung ist mit diesem Verschlusselement **13** komplett ausgekleidet. Es verhindert, dass das Kühlmedium auch mit dem Rotor **4** in Berührung kommt.

[0030] Bei dem in [Fig. 2](#) gezeigten zweiten Ausführungsbeispiel einer elektrodynamischen Maschine **14** hat der Stator **3** deutlich mehr und auch anders geformte Nuten **7** als beim ersten Ausführungsbeispiel gemäß [Fig. 1](#). An der grundsätzlichen Wirkungsweise ändert sich dadurch nichts. Der Rotor **4** ist in [Fig. 2](#) nicht gezeigt. Das Verschlusselement **13** von [Fig. 1](#) ist im Ausführungsbeispiel nach [Fig. 2](#) als Folienwickel **15** aus einer elektrisch leitfähigen Kupfer- oder Edelstahlfolie ausgebildet. Mittels einer Überlappung an den Randbereichen der Folie und einer Verklebung in den überlappenden Bereichen erhält man einen dichten Folienwickel **15**. Je nach Dicke

der verwendeten Folie kann der Folienwickel **15** als Einfach- oder auch als Mehrfachwickel ausgeführt sein. Der Folienwickel **15** ist zwischen den jeweiligen Öffnungen der Nuten **7** an die Statorinnenwand **12** geklebt. Dazu wird der vorab hergestellte Folienwickel **15** in die Statorbohrung eingebracht und mit einer Aufweitvorrichtung gegen die Statorinnenwand **12** gepresst, bis der auf den Kontaktflächen eingebrachte Kleber ausgehärtet ist. Danach gibt sich eine dichte und feste Fixierung des Folienwickels **15** am Stator **3**.

[0031] Zwischen den elektrischen Leitern **11** und dem Folienwickel **15** ist im Bereich der Öffnungen der Nuten **7** ein bevorzugter Strömungskanal **16** für das flüssige Kühlmedium gebildet. Hier umströmt das flüssige Kühlmedium die isolierten elektrischen Leiter **11** unmittelbar und führt die dort entstehende Verlustwärme sehr effizient ab. Als Kühlmedium wird beispielsweise ein elektrisches Isolieröl, insbesondere ein wegen seiner niedrigen Viskosität besonders gut geeignetes, sogenanntes Kälteschalter-Isolieröl, eingesetzt.

[0032] [Fig. 3](#) zeigt ein drittes Ausführungsbeispiel einer elektrodynamischen Maschine **17** in einer Längsschnittdarstellung, die in [Fig. 1](#) durch eine mit III bezeichnete Schnittlinie angedeutet ist. Der Schnitt verläuft durch den Stator **3** in einem Bereich, in dem keine Nuten **7** mit darin angeordneten elektrischen Leitern **11** vorhanden sind. Im Ausführungsbeispiel von [Fig. 3](#) ist das Verschlusselement **13** nicht als Folienwickel **15**, sondern als zylinderförmiges elektrisch leitfähiges Blechrohr **18** ausgebildet, das an seinen Enden jeweils eine Aufbördelung **19** aufweist. Es besteht aus einem Edelstahl und hat eine sehr geringe Wandstärke in der Größenordnung von etwa 20 µm bis 1000 µm. Es kann aber gegebenenfalls auch eine noch höhere Wandstärke vorgesehen sein, beispielsweise um einen hohen Druck im Kühlkreislauf zu ermöglichen. Im Beispiel liegt die Wandstärke bei etwa 500 µm. Demgegenüber hat der Spalt **5** – ohne das Blechrohr **18** – eine radiale Ausdehnung von etwa 1500 µm. Geringere Abmessungen sind aber grundsätzlich ebenfalls möglich, sodass unter Berücksichtigung des Blechrohrs **18** noch eine lichte Weite von etwa 500 µm verbleibt.

[0033] Eine Fixierung des Blechrohrs **18** an der Statorinnenwand **12** ergibt sich durch eine Klemmung des Blechrohrs **18**. Nach dem Einbringen des Blechrohrs **18** in die Bohrung des Stators **3** wird die gesamte Anordnung aus Blechrohr **18** und Stator **3** so weit im elastischen Bereich aufgeweitet, dass die Rückfederung des Stators **3** etwas höher ist als die des Blechrohrs **18**. Nach Entfernen der Aufweitvorrichtung ist dann das Blechrohr **18** durch die Rückfederungskraft des Stators **3** geklemmt. Gegebenenfalls kann das Blechrohr **18** zusätzlich auch mittels eines Klebers an der Statorinnenwand **12** fixiert sein.

**[0034]** In Erweiterung der Darstellungen in den [Fig. 1](#) und [Fig. 2](#) sind in [Fig. 3](#) zusätzlich auch ein zylinderförmiges Gehäuse **20** zur Aufnahme des Stators **3** und des Rotors **4** ebenso wie zwei seitliche Lagerdeckel **21** und **22** gezeigt. Der linke Lagerdeckel **21** enthält eine Öffnung für eine mit dem Rotor **4** verbundene Antriebswelle **23**.

**[0035]** Um das Kühlmedium ausschließlich im Bereich des Stators **3** zu halten, ist der Stator **3** über das Gehäuse **20**, die beiden Lagerdeckel **21** und **22** sowie das Blechrohr **18** abgedichtet. Ebenfalls zu diesem Zweck ist zwischen den Lagerdeckeln **21** und **22** und dem Blechrohr **18** jeweils eine Elastomerdichtung **24** in Gestalt eines O-Rings vorgesehen. Die Aufbördelungen **19** verhindern eine Beschädigung der Elastomerdichtungen **24** bei der Montage.

**[0036]** In [Fig. 3](#) ist schematisch ein Strömungsverlauf **25** des Kühlmediums innerhalb des zu kühlenden Stators **3** angedeutet. Mittels einer Einlassöffnung **26** gelangt das Kühlmedium in das Innere des Gehäuses **20**. Dort umströmt es zunächst einen ersten Teil der Statoraußenwand **27** in Umfangsrichtung, bis es im an den rechten Lagerdeckel **22** angrenzenden Bereich zur Statorinnenwand **12** geleitet wird. In den in [Fig. 3](#) nicht sichtbaren Strömungskanälen **16** in den Nuten **7** strömt das Kühlmedium dann in axialer Richtung zu einem an den linken Lagerdeckel **21** angrenzenden Bereich, in dem es zu einem zweiten Teil der Statoraußenwand **27** zurückgeleitet wird. Nachdem das Kühlmedium auch diesen zweiten Teil der Statoraußenwand **27** in Umfangsrichtung umströmt hat, verlässt es das Gehäuse **20** mittels einer Auslassöffnung **28**.

**[0037]** Das Kühlmedium umströmt also sowohl das Statorblechpaket **6** als auch die elektrischen Leiter **11**. Es nimmt folglich die durch Eisenverluste im Statorblechpaket **6** und auch die durch Kupferverluste in den elektrischen Leitern **11** verursachte Abwärme auf, um sie in den Außenbereich der elektrodynamischen Maschine **17** abzuführen. Dadurch wird eine sehr effiziente Kühlung erreicht, so dass die Baugröße und gegebenenfalls auch das Gewicht der elektrodynamischen Maschine **17** verringert werden kann. Damit eignet sich die elektrodynamische Maschine **17** besonders gut für einen mobilen Einsatzzweck.

**[0038]** Vorteilhaft für einen derartigen mobilen Einsatzzweck ist auch, dass eine Anschlusseinheit **29** zur elektrischen Beschaltung der drei Phasenwicklungen **8**, **9** und **10** an einer Außenwand des rechten Lagerdeckels **22** angeordnet ist. Üblicherweise ist eine solche Anschlusseinheit **29** räumlich von der elektrodynamischen Maschine **17** getrennt platziert, was sich für einen mobilen Einsatzzweck als unvorteilhaft herausgestellt hat. Die in [Fig. 3](#) gezeigte Kombination aus eigentlicher Antriebseinheit **30** und der Anschlusseinheit **29** bietet demgegenüber erheb-

liche Vorteile.

**[0039]** Günstig wirkt sich in diesem Zusammenhang aus, dass die Anschlusseinheit **29** auch von der im Inneren des Gehäuses **20** vorgesehenen Kühlung des Stators **3** mit profitiert. Das an einer Innenseite des Lagerdeckels **22** vorbeigeleitete Kühlmedium bewirkt nämlich auch eine Kühlung der an der Außenseite des Lagerdeckels **22** angeordneten Komponenten der Anschlusseinheit **29**. Dieser Effekt ist besonders groß, wenn die zu kühlenden Komponenten der Anschlusseinheit **29** in unmittelbarem thermischen Kontakt mit dem Lagerdeckel **22** stehen. Wie in [Fig. 3](#) anhand des gestrichelten Strömungsverlaufs angedeutet, kann das Kühlmedium bei einem gegebenenfalls vorhandenen zusätzlichen Kühlbedarf nach Verlassen des Gehäuses **20** auch durch die Anschlusseinheit **29** geleitet werden. Dann erfolgt die Kühlung sowohl der Antriebseinheit **30** als auch der Anschlusseinheit **29** mittels eines einzigen Kühlkreislaufs. Grundsätzlich sind aber auch getrennte Kühlkreisläufe für die Anschlusseinheit **29** und die Antriebseinheit **30** möglich.

**[0040]** In [Fig. 4](#) ist die übliche elektrische Beschaltung einer als dreiphasiger Synchronmotor mit variabler Drehzahl ausgebildeten Antriebseinheit **30** dargestellt. Ausgehend von einem gängigen dreiphasigen Netzanschluss **31** mit einer Primärfrequenz von 50 oder 60 Hz und einer Primärspannung von 400 V wird mittels eines Umrichters **32** der Antriebseinheit **30** an ihren elektrischen Motoranschlüssen **33** eine dreiphasige Anschlussleistung mit beliebiger Sekundärfrequenz und ebenfalls beliebiger Sekundärspannung zur Verfügung gestellt. Die Sekundärfrequenz und die Sekundärspannung können im Umrichter **32** entsprechend der aktuell gewünschten Drehzahl eingestellt werden.

**[0041]** Der Umrichter **32** beinhaltet einen Gleichrichter **34**, der aus der dreiphasigen Netz-Wechselspannung eine Gleichspannung erzeugt, einen Zwischenkreiskondensator **35** und einen Wechselrichter **36**, der aus der Gleichspannung die gewünschte dreiphasige Motoranschluss-Wechselspannung erzeugt. Die in [Fig. 3](#) gezeigte Anschlusseinheit **29** umfasst nur den Zwischenkreiskondensator **35** sowie den Wechselrichter **36**. Grundsätzlich ist jedoch auch eine zusätzliche Integration des Gleichrichters **34** möglich. Sie erübrigt sich jedoch bei mobilen Anwendungsfällen, bei denen ein Gleichspannungs-Bordnetz existiert, an das der Zwischenkreiskondensator **35** unmittelbar angeschlossen werden kann. Dies gilt insbesondere auch für einen Einsatz in einem Kraftfahrzeug.

**[0042]** In [Fig. 5](#) ist ein viertes Ausführungsbeispiel einer elektrodynamischen Maschine **37** mit einer anderen Abdichtung zwischen dem Blechrohr **18** und den Lagerdeckeln **21** und **22** gezeigt. Im Unterschied

zu [Fig. 3](#) zeigt [Fig. 5](#) einen – in [Fig. 1](#) mit V bezeichneten – Längsschnitt durch einen Bereich des Stators **3**, der mit Nuten **7** versehen ist. Die in den Nuten **7** verlaufenden elektrischen Leiter sind nur schematisiert in ihrer Gesamtheit als einheitlicher Bereich dargestellt. Die elektrischen Leiter **11**, die im Bereich der Nuten **7** praktisch ausschließlich axial verlaufen, werden in außerhalb des Statorblechpakets **6** liegenden Wicklungsköpfen **38** und **39** zu der Phasenwicklung **8** verschaltet. Zwecks einer einfacheren Darstellung ist in [Fig. 5](#) der Rotor **4** weggelassen.

**[0043]** Die Abdichtung zwischen dem Blechrohr **18** und den Lagerdeckeln **21** und **22** erfolgt bei dem vierten Ausführungsbeispiel erst nach der Montage der Lagerdeckel **21** und **22**. Hierzu wird mittels eines Dichtungskanals **40** flüssiges Silikon unter Druck in eine an den Lagerdeckeln **21** und **22** jeweils umlaufende Dichtungsnut **41** eingepresst. Nach dem Abbinden des Silikons ergibt sich eine Silikondichtung **42** zwischen dem Blechrohr **18** und den Lagerdeckeln **21** und **22**. Bei diesem Ausführungsbeispiel ist eine Aufbördelung **19** an den Rändern des Blechrohrs **18** nicht erforderlich.

**[0044]** [Fig. 6](#) zeigt eine Vergrößerung des Bereichs, in dem sich die Silikondichtung **42** befindet. Ersichtlich wird in dieser Darstellung auch der zwischen den elektrischen Leitern **11** und dem Blechrohr **18** verlaufende Strömungskanal **16** für das Kühlmedium.

**[0045]** Durch das Einbringen des Blechrohrs in den Spalt **5** wird dessen lichte Weite reduziert. Dem wird mittels einer in radialer Richtung erhöhten Positionierungsgenauigkeit des Rotors **4** begegnet. Der Rotor **4** ist mittels Lagern **43** und **44** in Vorsprüngen **45** bzw. **46** der Lagerdeckel **21** bzw. **22** gelagert, wobei die Vorsprünge **45** und **46** in radialer Richtung am Statorblechpaket **6** und im Bereich der Wicklungsköpfe **38** bzw. **39** gegebenenfalls auch an den elektrischen Leitern **11** anliegen. Die radiale Aufnahme der Vorsprünge **45** und **46** erfolgt also nicht wie bei herkömmlichen Lösungen am Gehäuse **20**, sondern unmittelbar am Stator **3**, wodurch eine höhere Positionierungsgenauigkeit des Rotors **4** gegenüber dem Stator **3** erreicht wird.

**[0046]** Außer der abdichtenden Funktion bietet das Blechrohr **18** einen weiteren Vorteil. Aufgrund seiner elektrischen Leitfähigkeit verhindert es ein kapazitives Überkoppeln zwischen dem Stator **3** und dem Rotor **4**, wodurch unerwünschte elektrische Stromflüsse in den Lagern **43** und **44** unterbunden werden. Die Lagerströme könnten andernfalls zu Mikroverschweißungen und damit zu einer reduzierten Lebensdauer der Lager **43** und **44** führen. Zur Vermeidung dieser ungünstigen Folge ist außerdem auch eine elektrisch leitfähige Verbindung zwischen dem Blechrohr **18** und den Lagerdeckeln **21** und **22** vorgesehen. Die Silikondichtung **42** besteht aus elektrisch

leitfähigem Silikon.

**[0047]** Der bereits im Zusammenhang mit dem Ausführungsbeispiel von [Fig. 3](#) beschriebene Strömungsverlauf **25** des Kühlmediums im Inneren des Gehäuses **20** ist auch in [Fig. 5](#) wiedergegeben. Mittels spiralförmiger Kühlwendeln **47** und **48** wird der an der Statoraußenwand **27** in Umfangsrichtung verlaufender Fluss des Kühlmediums bewirkt. Das mittels einer preiswerten Gusstechnik hergestellte Gehäuse **20** enthält hierzu an seiner Innenseite spiralförmig verlaufenden Ausnehmungen, die durch das Einbringen des Statorblechpakets **6** geschlossen werden und dann einen Strömungskanal für das Kühlmedium bilden. Verglichen mit einem Verbundguss mit eingegossenen Rohrwendeln ergibt sich dadurch ein erheblich vereinfachtes Herstellungsverfahren für das Gehäuse **20**. Außerdem kommt das Kühlmedium auf diese Weise direkt mit dem Statorblechpaket **6** in thermischen Kontakt, ohne dass ein zusätzlicher thermischer Übergangswiderstand vorhanden ist.

**[0048]** Die vorstehend beschriebenen Prinzipien zur vorteilhaften Kühlung gelten nicht nur für eine Anordnung mit innenliegendem Rotor **4** und außenliegendem Stator **3**. Grundsätzlich sind sie auch bei einem weiteren in [Fig. 7](#) gezeigten Ausführungsbeispiel einer elektrodynamischen Maschine **49**, die einen innenliegenden feststehenden Stator **50** und einen außenliegenden rotierenden Rotor **51** beinhaltet, anwendbar. Eine derartige elektrodynamische Maschine **49** wird auch als Außenläufermotor bezeichnet. Die Kühlung des Stators **50** erfolgt analog zu den vorstehend beschriebenen Ausführungsbeispielen.

## Patentansprüche

1. Elektrodynamische Maschine mit einer als Stator (**3**; **50**) oder als Rotor (**4**; **51**) ausgebildeten zu kühlenden Komponente, die mindestens einen von einem elektrischen Strom durchflossenen elektrischen Leiter (**11**) beinhaltet, **dadurch gekennzeichnet**, dass derart ausgestaltete Kühlmittel (**13**, **16**; **15**; **18**) zur direkten Kühlung des elektrischen Leiters (**11**) vorgesehen sind, dass ein flüssiges Kühlmedium den elektrischen Leiter (**11**) zumindest bereichsweise im Wesentlichen unmittelbar umströmt.

2. Elektrodynamische Maschine nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass in radialer Richtung zwischen dem Stator (**3**; **50**) und dem Rotor (**4**; **51**) ein Spalt (**5**) vorgesehen ist und ein in der zu kühlenden Komponente (**3**; **50**) verlaufender und von dem Kühlmedium durchflossener Strömungskanal (**16**) an den Spalt (**5**) angrenzt, wobei der Strömungskanal (**16**) mittels eines Verschlusselements (**13**; **15**; **18**) gegenüber dem Spalt (**5**) abdichtet ist.

3. Elektrodynamische Maschine nach Anspruch

2, dadurch gekennzeichnet, dass der Strömungskanal (**16**) durch eine zum Spalt (**5**) hin offene Nut (**7**), in der der elektrische Leiter (**11**) verlegt ist, gebildet ist.

4. Elektrodynamische Maschine nach Anspruch 2 oder 3, dadurch gekennzeichnet, dass das Verschlusselement (**13; 15; 18**), insbesondere mittels einer Klebung oder einer Klemmung, an der zu kühlenden Komponente (**3; 50**) fixiert ist.

5. Elektrodynamische Maschine nach einem der Ansprüche 2 bis 6, dadurch gekennzeichnet, dass das Verschlusselement (**13**) als Folienwickel (**15**) oder Blechrohr (**18**), das insbesondere an seinen Enden aufgebördelt ist, gebildet ist.

6. Elektrodynamische Maschine nach einem der Ansprüche 2 bis 5, dadurch gekennzeichnet, dass das Verschlusselement (**13; 15; 18**) elektrisch leitfähig ausgebildet ist.

7. Elektrodynamische Maschine nach einem der Ansprüche 2 bis 6, dadurch gekennzeichnet, dass das Verschlusselement (**13; 15; 18**) elektrisch leitend mit mindestens einem Lagerdeckel (**21, 22**) verbunden ist.

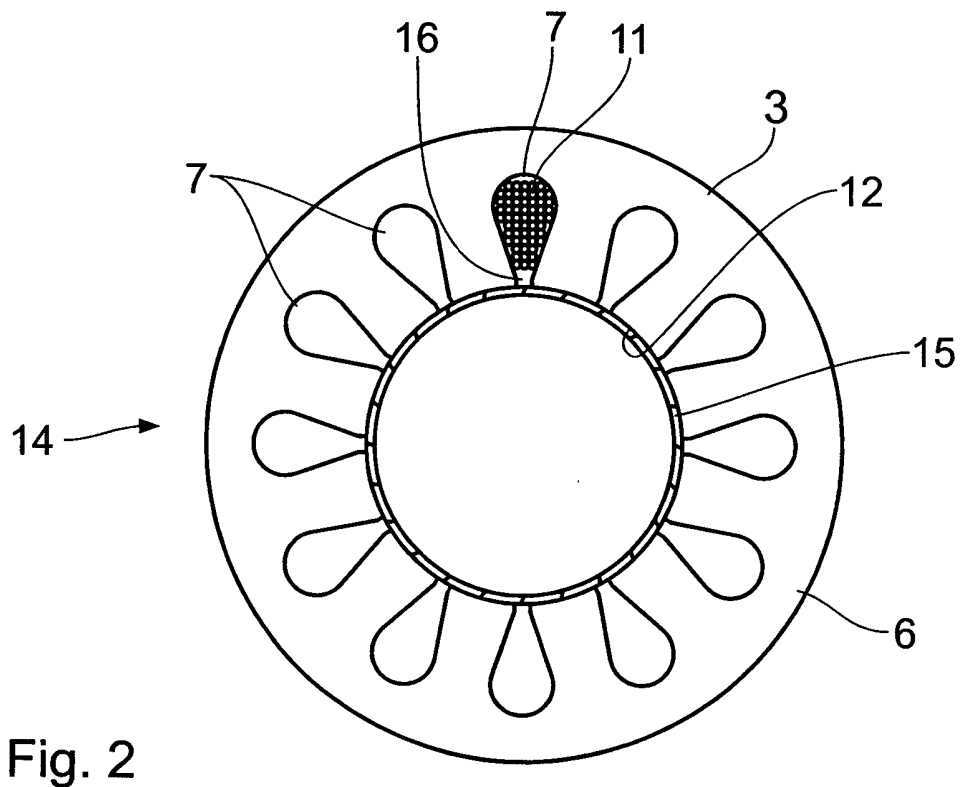
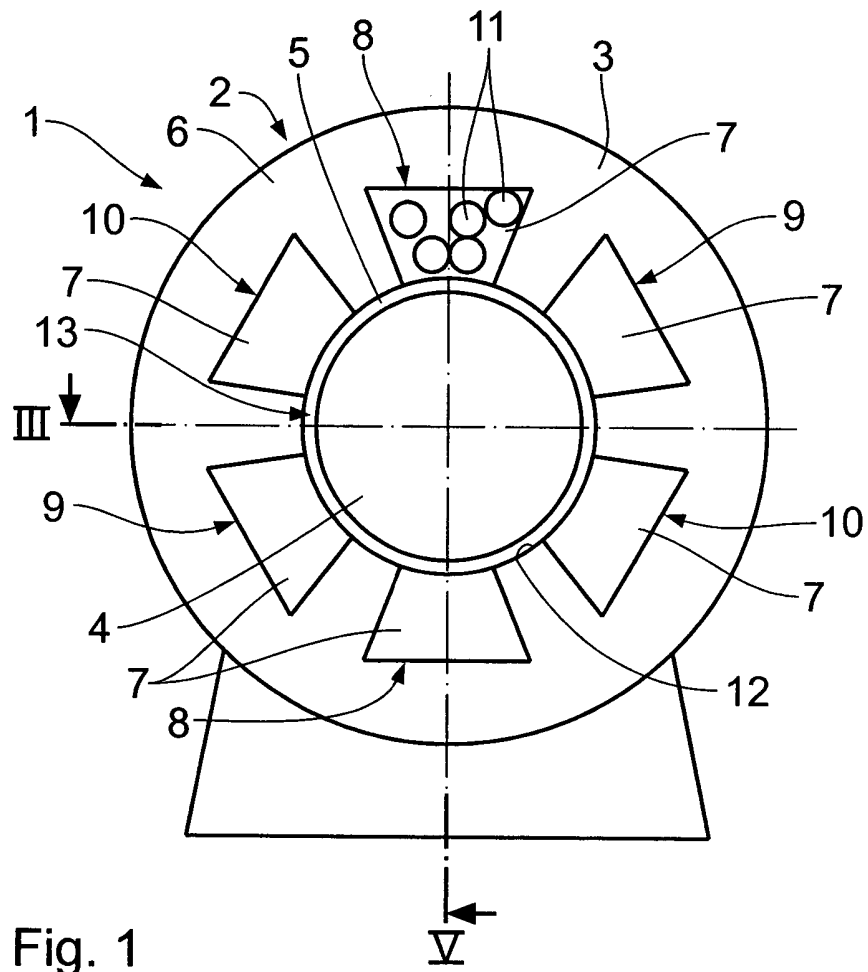
8. Elektrodynamische Maschine nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, dass der elektrisch leitende Kontakt mittels einer elektrisch leitfähigen Dichtung (**42**) zwischen dem Verschlusselement (**13; 15; 18**) und dem Lagerdeckel (**21, 22**) gebildet ist.

9. Elektrodynamische Maschine nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der Rotor (**4**) mittels zweier Lagerdeckel (**21, 22**) gelagert ist und die radiale Aufnahme der Lagerdeckel (**21, 22**) im Stator (**3**) erfolgt.

10. Elektrodynamische Maschine nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass ein elektrisch isolierendes Kühlmedium vorgesehen ist.

Es folgen 4 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen



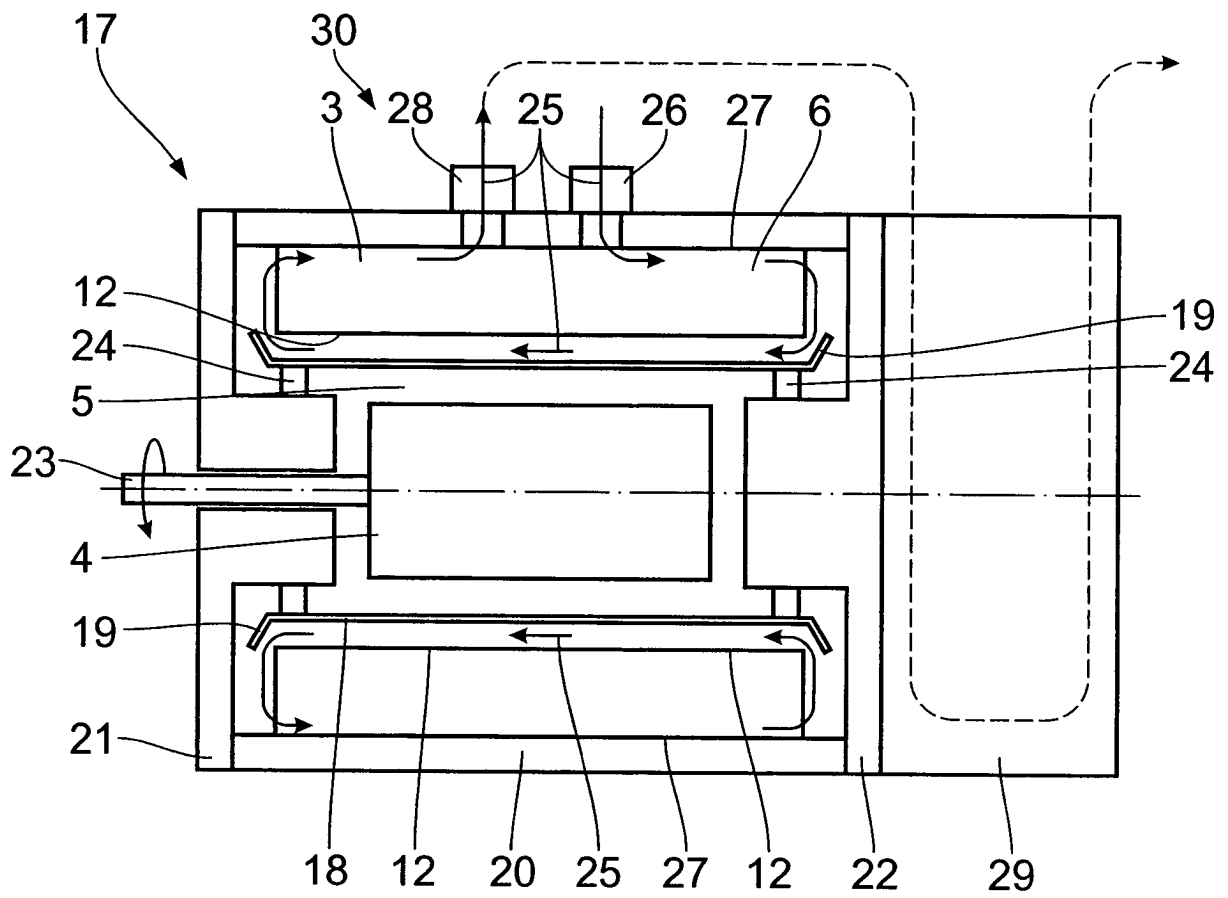


Fig. 3

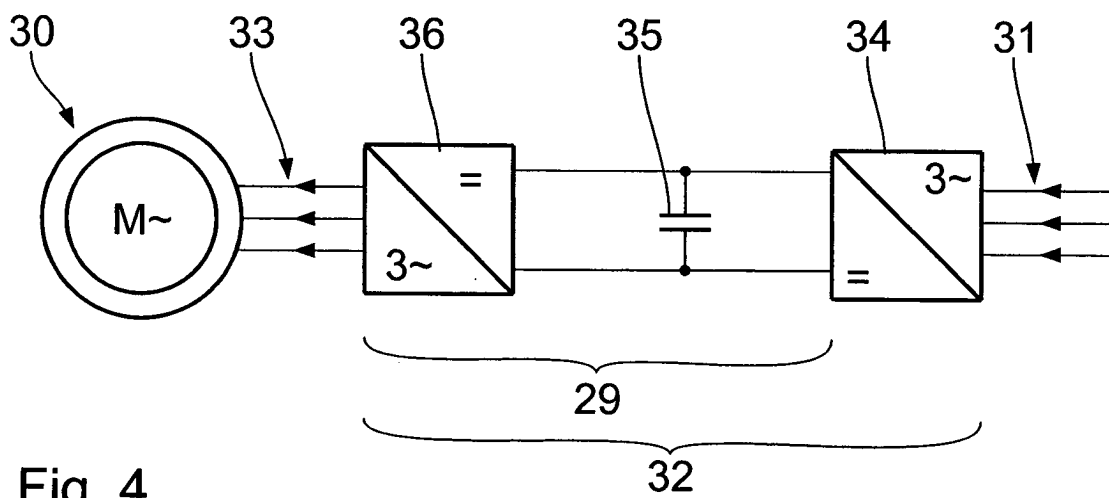


Fig. 4





Fig. 6

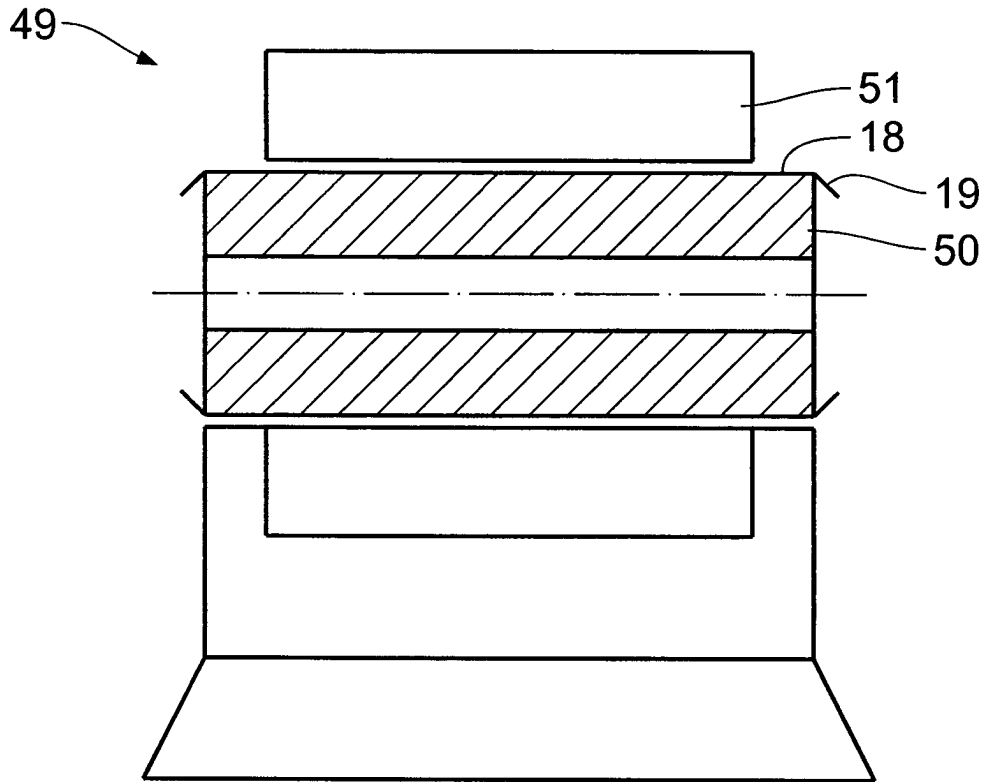


Fig. 7