

(12) **Patentschrift**

(21) Anmeldenummer: A 50788/2016
(22) Anmeldetag: 06.09.2016
(45) Veröffentlicht am: 15.06.2018

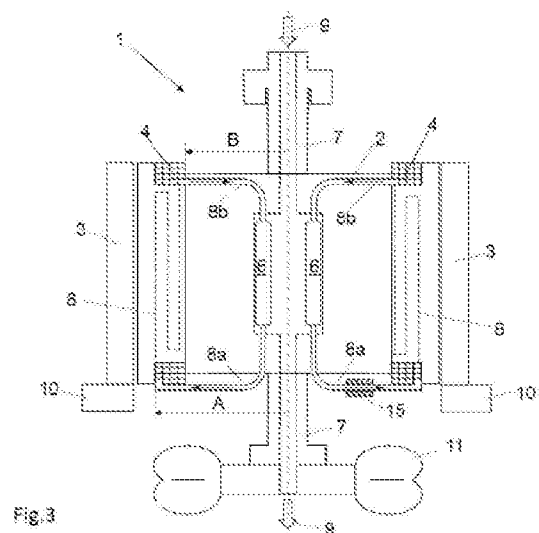
(51) Int. Cl.: **H02K 1/32** (2006.01)
H02K 3/24 (2006.01)
H02K 9/197 (2006.01)

(56) Entgegenhaltungen:
GB 1482411 A
DE 10259047 A1
EP 2916438 A1

(73) Patentinhaber:
ANDRITZ HYDRO GmbH
1120 Wien (AT)
(72) Erfinder:
Neumayer Fritz Dipl.Ing. Dr.
8010 Graz (AT)
Contreras Espada Jesus
6330 Cham (CH)
(74) Vertreter:
Tschinder Thomas Dr.
8045 Graz (AT)

(54) **VERFAHREN ZUM KÜHLEN DES ROTORS EINES ELEKTRISCHEN GENERATORS**

(57) Den Gegenstand dieser Erfindung bildet ein Flüssigkeitskühlverfahren für einen Wasserkraftgenerator (1), der über einen primären Kühlflüssigkeitskreislauf im Rotor (2) dessen Wicklung (4) kühlt, wobei diese Kühlflüssigkeit von der auftretenden Zentrifugalkraft im Kreislauf gehalten wird. Die Abfuhr der Wärmeenergie erfolgt über eine Sekundärkühlflüssigkeit (9) welches das System einmalig vertikal durchfließt. Erfindungsgemäß erfolgt dieser Wärmeaustausch über einen mitrotierenden Wärmetauscher (6) im Rotorzentrum. Gegenstand der Erfindung ist auch eine Vorrichtung zur Durchführung eines solchen Verfahrens.



Beschreibung

[0001] Den Gegenstand dieser Erfindung bildet ein Flüssigkeitskühlverfahren für einen Wasserkraftgenerator, der als elektrische Synchronmaschine mit einem Rotor und einem Stator ausgebildet ist, mit Polen am Rotor, die durch die Polwicklung gebildet werden.

[0002] Den Gegenstand dieser Erfindung bildet auch eine Vorrichtung, nämlich eine Anordnung zur Flüssigkeitskühlung der Wicklung im Rotor eines Wasserkraftgenerators, sowie zur Abfuhr der Wärme aus der elektrischen Maschine.

[0003] Durch die Teilnahme von Solar- und Windenergie am Stromnetz ändern sich die Anforderungen an Strom produzierende Netzteilnehmer. Durch die hohe Volatilität, die durch diese Technologien im elektrischen Netz entsteht, werden den konventionellen Produzenten, wie zum Beispiel Wasserkraftwerken mit großen Fallhöhen, eine hohe Anzahl an Start-Stopp Zyklen und Belastungsänderungen abverlangt.

[0004] Problematisch ist die Auslegung von sehr großen, schnelllaufenden Wasserkraftgeneratoren. Da aus verschiedenen Gründen Grenzen für die maximale Rotormasse gegeben sind, hängt die maximal erreichbare Leistung von der Effizienz der Kühlung ab. Daher werden derartige Rotoren meist mit einer Flüssigkeitskühlung/Wasserkühlung ausgestattet.

[0005] Wassergekühlte Wasserkraftgeneratoren sind aufgrund der sehr geringen Ventilationsverluste besser für den Leerlaufbetrieb und zur Blindleistungserzeugung geeignet, wo die Ventilationsverluste einen großen Anteil der Antriebsleistung ausmachen.

[0006] Die Anzahl der mechanischen Belastungszyklen wie auch Abnutzung von Lagern und Bremsen, kann reduziert werden, wenn die Maschinensätze dauerhaft rotieren. Eine herkömmliche Wasserkühlung der Rotorwicklung ist jedoch im Vergleich zu einer einfachen Luftkühlung aufwendiger und teurer.

[0007] Üblicherweise wird bei bekannten Flüssigkeitskühlungen das Kühlmedium in einen Kreislauf zwischen Maschineninnerem (Rotor bzw. Wärmequelle) und Maschinenäußerem (Kühler bzw. Wärmesenke) geführt, was vor allem bei der Verbindung der Flüssigkeit Zu- und Abströme an die Rotorhohlwelle in aufwendigen Konstruktionen mündet. Zu- und Abfuhr der Kühlflüssigkeit erfolgen dabei über das obere Ende der Rotorhohlwelle, wobei Pumpen für die Umwälzung der Kühlflüssigkeit benötigt werden. Diese komplexen Konstruktionen führen wiederum zu einem hohen Wartungsaufwand im laufenden Betrieb des Kraftwerks.

[0008] Eine solche Rotorwicklungswasserkühlung nach dem Stand der Technik befindet sich beispielsweise im Pumpspeicherwerk Häusling in Tirol, Österreich, seit mehreren Jahrzehnten im Einsatz. Ein solcher Wasserversorgungskopf nach dem Stand der Technik ist in Fig. 1 beziehungsweise Fig. 2 dargestellt.

[0009] Die GB 1 482 411 A beschreibt einen Generator, dessen Rotor durch ein flüssiges Kühlmedium gekühlt wird. Das Kühlmedium wird dem Rotor über eine Pumpe, die direkt auf der Rotorwelle angebracht ist, zugeführt.

[0010] Die DE 102 59 047 A1 beschreibt ein Verfahren zur Kühlung eines Elektromotors, dabei wird Kühlflüssigkeit mittels Zentrifugalkraft durch die Hohlwelle und den Rotor befördert. Die EP 2 916 438 A1 offenbart einen elektrischen Turbogenerator, bei dem der Rotor mit Hilfe eines hindurchströmenden Kühlmediums gekühlt wird. Das flüssige Kühlmedium, vorzugsweise Wasser, wird dem Rotor über die Rotorwelle mit Hilfe einer Pumpe zugeführt.

[0011] Des Weiteren sind aus dem Stand der Technik mit Kältemittel gekühlte Rotoren bekannt. Dabei wird ein Kältemittel- Verdampfungs-Kondensationskreislauf im Rotor vorgesehen, welcher kondensatorseitig dann die Abwärme an z.B. Wasser abgibt. Beispielhaft ist eine solche Ausführung in GB880262 beschrieben. GB989698 beschreibt einen ähnlichen Aufbau, wobei dabei ein Stator gekühlt wird und der Wärmetauscher/Kondensator für die Abgabe der Wärme hierbei außerhalb der elektrodynamischen Maschine angeordnet ist.

[0012] In diesen beiden Ausführungsformen wird ein Kältemittel verdampft und kondensiert. Als Vorteil dieser Verfahren ist die höhere Wärmekapazität von Kältemittel gegenüber Kühlmitteln zu nennen, die durch den Phasenübergang von flüssig- auf gasförmig erreicht wird. Auch ist es bei derartigen Verfahren theoretisch möglich, diese ohne zusätzliche Pumpe/Verdichter nach dem Thermosyphon-Prinzip zu betreiben bzw. die Zentrifugalkraft zu nutzen um das Kältemittel über Düsen zu versprühen (GB989698).

[0013] Aufgrund der physikalischen und chemischen Voraussetzungen in einem Wasserkraftgenerator und den Anforderungen an Umwelt- und Brandschutz, ist auch die Wahl des Kältemittels schwierig. Nachteilig bei diesen Verfahren ist auch die Störanfälligkeit der Kältemittelkreisläufe hinsichtlich elektrochemischer Beständigkeit der hohlen Wicklungsbahnen, die Sicherstellung der Gasdichtheit der Leitungen etc. Der damit verbundene Herstellungs- und Wartungsaufwand wäre enorm, weshalb sich derartige Systeme in der Praxis nicht etabliert haben.

[0014] Der Erfindung liegt daher die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren zur Kühlung des Rotors eines schnelllaufenden Wasserkraftgenerators bereitzustellen, das die Effizienz von Flüssigkeits- oder Kältemittelkühlungen mit der Einfachheit und Wartungsarmut von Luftkühlverfahren vereint. Die Erfindung stellt auch eine Vorrichtung zur Durchführung eines solchen Verfahrens bereit.

[0015] Gelöst wird diese Aufgabe durch ein Kühlverfahren für den Rotor eines Wasserkraftgenerators gemäß Patentanspruch 1. Erfindungsgemäß weist dieses Verfahren einen geschlossenen primären Flüssigkeitskreislauf auf, welcher thermische Energie aufnimmt und diese im Rotorzentrum über Wärmetauscher an die einmalig durch die Rotorholwelle hindurchfließende Sekundärkühlflüssigkeit abgibt.

[0016] Vorzugsweise ist dieser sekundäre Flüssigkeitsstrom ein druckloser Frischwasserstrom, welcher zum Beispiel aus einem auf Kraftwerksniveau bzw. aus einem nur leicht darüber liegenden Reservoir entnommen werden kann, oder auch einfach aus dem Wasserleitungsnetz.

[0017] Die Abfuhr der Sekundärkühlflüssigkeit aus dem Generator erfolgt vorzugsweise über die vertikal angeordnete Rotorhohlwelle an deren unterem Ende (Turbinenende), direkt in das abfließende Triebwasser, welches in diesem Kühlsystem zugleich die Wärmesenke bildet.

[0018] Durch diese „Durchfluss“ Anordnung des Sekundärkühlflüssigkeitsstroms wird der konstruktive Aufwand gegenüber derzeit in Verwendung stehenden Systemen, vor allem hinsichtlich der Fluid führenden Verbindung zwischen Rotorhohlwelle und der außerhalb der elektrodynamischen Maschine gelegenen Wärmesenke, signifikant reduziert.

[0019] Somit kann ein derartiger Wasserkraftgenerator trotz seiner hohen Leistung mit für Wasserkraftgeneratoren verhältnismäßig hohen Drehzahlen, beispielsweise im Bereich von 400 bis 1200 U/min, betrieben und mit Flüssigkeit gekühlt werden, ohne die konstruktiven Nachteile der Abdichtung der Rotorhohlwelle in Kauf nehmen zu müssen.

[0020] Der vorzugsweise aus Stahlringen gebildete Rotorkörper weist Zuleitungskanäle für die Primärkühlflüssigkeit auf, die in radialer Richtung von einem im Zentrum der Rotorhohlwelle axial angeordneten Rohrwärmetauscher zu Kühlkanälen in der Rotorwicklung führen. Des Weiteren führen radiale Rückleitungskanäle die erwärmte Primärkühlflüssigkeit zurück zur Rotormitte, womit die Primärkühlflüssigkeit einen geschlossenen Kreislauf beschreibt. Überraschenderweise zeigten Simulationen und Tests, dass ein solcher Kreislauf bei derartig schnelllaufenden Wasserkraftgeneratoren durch die bei der Erwärmung auftretende Dichteänderung der Primärkühlflüssigkeit und das Zentrifugalkraftfeld des Rotors in Gang gesetzt und aufrechterhalten werden kann. Es wird somit keine externe Pumpe für das Umwälzen der Primärkühlflüssigkeit benötigt. Dies kann auch begünstigt werden, wenn das hydraulische System in mehreren parallelen Zweigen ausgeführt wird. Weitere Optimierungen dieser Zirkulation erreicht man beispielsweise durch thermische Isolierung der Zuleitungskanäle für die Primärkühlflüssigkeit bis zu deren Eintritt in die Kühlkanäle der Rotorwicklung.

[0021] Über den im Inneren der Rotorholwelle angeordneten Wärmetauscher gibt die Primär-

kühlflüssigkeit schließlich die aufgenommene Wärmeenergie an die Sekundärkühlflüssigkeit, vorzugsweise Wasser, ab, welche die Rotorhohlwelle von oben nach unten in Richtung Turbinenende durchfließt und über das abfließende Triebwasser abgeführt wird.

[0022] Die Sekundärkühlflüssigkeit nimmt also auf ihrem einmaligen Weg durch den Rotor die Verlustwärme auf und führt sie aus dem System ab.

[0023] Dadurch kommt es zu einer guten Kühlung der Rotorwicklung.

[0024] Die Erfindung betrifft auch die Vorrichtung eines Wasserkraftgenerators nach einem der Ansprüche 7 bis 9, wobei der Wasserkraftgenerator zwei Kühlmittelströme aufweist, wobei die Primärkühlflüssigkeit einen in sich geschlossenen Kreislauf bildet, während die Sekundärkühlflüssigkeit „einmalig“ durch die als Hohlwelle ausgeführte Rotorhohlwelle fließt.

[0025] Im Folgenden werden der Stand der Technik und ein Ausführungsbeispiel der Erfindung anhand von Zeichnungen beschrieben. Gleiche Bezugszeichen in den einzelnen Figuren bezeichnen jeweils gleiche Anlagenteile.

[0026] Es zeigen:

[0027] Fig. 1 zeigt einen schematischen Längsschnitt durch einen wassergekühlten Wasserkraftgenerator 1a bekannt aus dem Stand der Technik, dabei erkennbar ist der Wasserzuführungskopf 5 mit Zu- und Abfluss am oberen Ende der Rotorhohlwelle.

[0028] Fig. 2 zeigt einen Wasserversorgungskopf 5 nach dem Stand der Technik als Detail aus Fig. 1. Kühlwasserzulauf 13 und Kühlwasserrücklauf 14, sowie die Konstruktion der Drehdurchführung 12 sind gemäß dem Stand der Technik dargestellt.

[0029] Fig. 3 zeigt einen schematischen Schnitt durch einen erfindungsgemäßen Wasserkraftgenerator 1, wobei auf die Darstellung der Lagerung und anderer nicht erfindungsrelevanter Details verzichtet wurde. Man erkennt gut den Primärflüssigkeitskreislauf in den Kühlkanälen 8 für die Primärkühlflüssigkeit und den Weg der Sekundärkühlflüssigkeit 9 von oben nach unten durch das System.

[0030] Der senkrecht stehende Rotor 2 befindet sich innerhalb des Stators 3, welcher auf einem Fundament 10 ruht.

[0031] Über die axiale Öffnung in der Rotorhohlwelle 7 kann die „drucklose“ Sekundärkühlflüssigkeit 9 ins Rotorinnere geführt werden.

[0032] Diese Wasserzuführung kann sehr einfach gehalten werden, da keine nennenswerten Drücke und kein rückfließender Flüssigkeitsstrom abzudichten sind. Die Sekundärkühlflüssigkeit 9, vorzugsweise Wasser, umspült in weiterer Folge den im Zentrum der Rotorhohlwelle 7 in Richtung der Rotationsachse angeordneten Rohrwärmetauscher 6 des Primärkühlmittelkreislaufs.

[0033] Schlussendlich tritt der Sekundärkühlflüssigkeitsstrom 9 am turbinenseitigen Ende der Rotorhohlwelle 7 aus und verlässt das System. Die Turbine 11 kann dabei beispielsweise wie in Figur 3 angedeutet eine Pelton Turbine sein, welche oft bei Kraftwerken mit großen Fallhöhen zum Einsatz kommen.

[0034] In der Figur 3 ist weiter angedeutet, dass die Zuleitungskanäle 8a für die Primärkühlflüssigkeit zur Rotorwicklung in einem Teilbereich ihrer Länge oder zur Gänze eine thermische Isolation 15 aufweisen können. Eine thermische Isolation an dieser Stelle verhindert unerwünschte, vorzeitige Erwärmung der Primärkühlflüssigkeit auf dem Weg zur Rotorwicklung 4. Durch die gezielte Einbringung der Wärme in die Primärkühlflüssigkeit erst in der im Wesentlichen vertikalen Rotorwicklung 4 wird zusätzlich die Zirkulationsrichtung der Primärkühlflüssigkeit vorgegeben, da die Dichteverringerung der erwärmten Primärkühlflüssigkeit an dieser Stelle die Pumpwirkung der Rotation des Systems unterstützt.

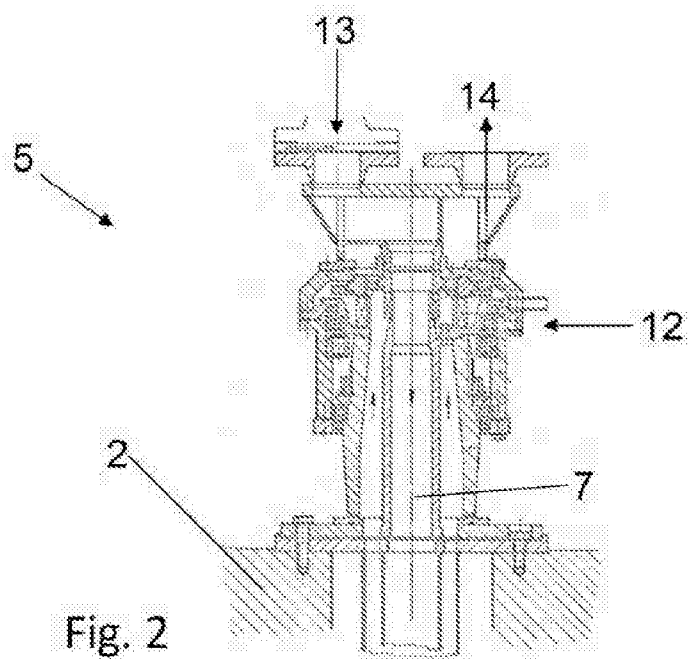
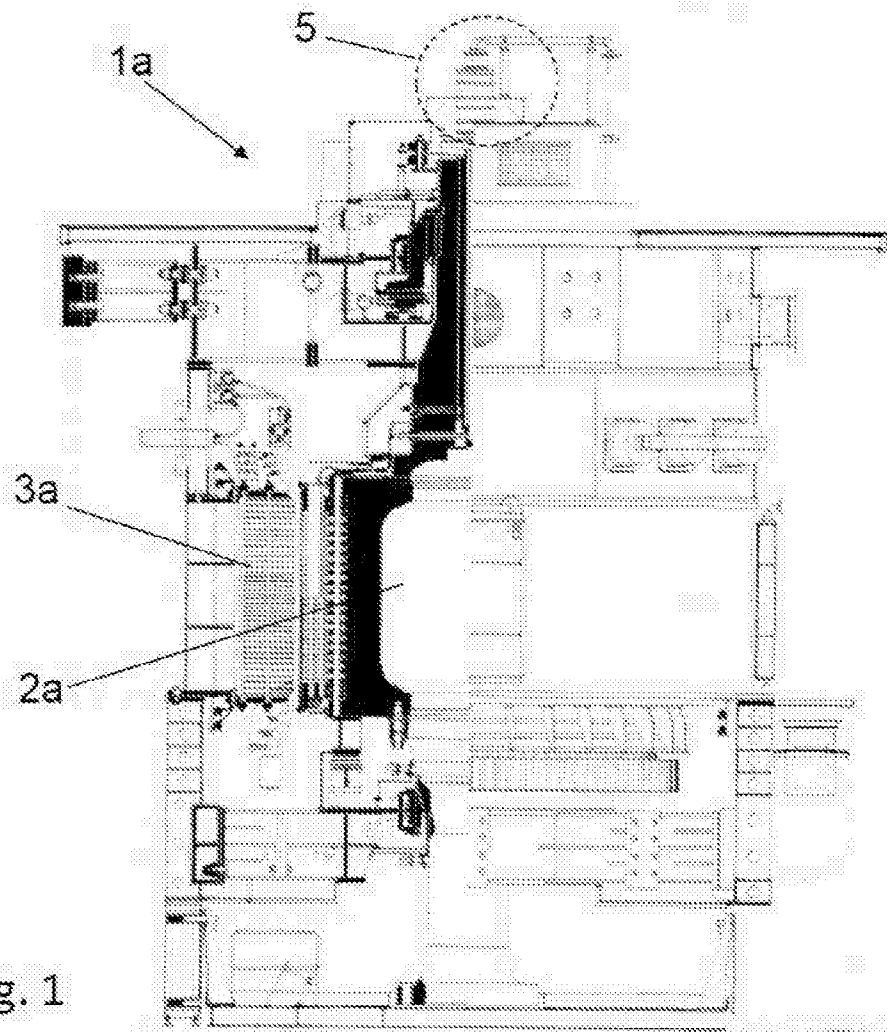
[0035] Figur 4 zeigt einen radialen Schnitt durch einen Teil einer Rotorwicklung 4, welche die

Kühlkanäle 8 für die Primärkühlflüssigkeit zeigt, sowie auch die radialen Abstände A und B der Zuleitungskanäle 8a und Rückleitungskanäle 8b. Vorzugsweise wird die Primärkühlflüssigkeit nämlich wie dargestellt radial weiter vom Rotorzentrum entfernt der Rotorwicklung 4 zugeführt und radial näher dem Rotorzentrum wieder abgeführt. Dadurch wird die Dichteverringering der Primärkühlflüssigkeit durch vermehrte Erwärmung derselben im oberen Teil der Rotorwicklung weiter positiv beeinflusst.

Patentansprüche

1. Verfahren zum Kühlen des Rotors eines elektrischen Generators (1) mit einem Rotor (2) und einen den Rotor (2) umgebenden Stator (3), wobei der Rotor (2) Rotorwicklungen (4) aufweist, die mit Kühlkanälen (8) für die Hindurchleitung einer Primärkühlflüssigkeit ausgestattet sind, **dadurch gekennzeichnet**, dass im Rotor (2) ein geschlossener Kühlkreislauf für die Primärkühlflüssigkeit vorhanden ist, wobei die Primärkühlflüssigkeit über im Wesentlichen radial verlaufende Zuleitungskanäle (8a) den Kühlkanälen (8) in den Rotorwicklungen (4) zugeführt und über weitere, im Wesentlichen radial verlaufende Rückleitungskanäle (8b) abgeführt wird, wobei die Primärkühlflüssigkeit durch die im Betrieb auftretenden Zentrifugalkräfte durch die Kühlkanäle (8) hindurchbefördert wird und wobei die Rotorhohlwelle (7) von einer Sekundärkühlflüssigkeit durchströmt wird, an die die Primärkühlflüssigkeit die von den Rotorwicklungen (4) aufgenommene Wärme mit Hilfe eines mitrotierenden Wärmetauschers (6) abgibt, wobei die Sekundärkühlflüssigkeit (9) die Rotorhohlwelle (7) drucklos durchquert.
2. Verfahren gemäß dem vorhergehenden Anspruch, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Sekundärkühlflüssigkeit (9) durch die Rotorhohlwelle (7) über das abfließende Triebwasser der Turbine (11) die Einheit aus Generators (1) und Turbine (11) verlässt.
3. Verfahren gemäß einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Zuleitungskanäle (8a) der Primärkühlflüssigkeit zur Rotorwicklung (4) an einem radial weiter vom Rotorzentrum entfernten Punkt erfolgt als die Rückleitungskanäle (8b) Richtung Wärmetauscher (6) .
4. Verfahren gemäß einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass als Primärkühlflüssigkeit eine elektrisch nichtleitende Flüssigkeit verwendet wird.
5. Vorrichtung zur Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens gemäß einem der Ansprüche 1 bis 4, umfassend einen Rotor (2) eines elektrischen Generators (1) mit einem Primärflüssigkeitskühlkreislauf mit einem im Wesentlichen axial angeordnetem Wärmetauscher (6) im Rotor (2), mit im Wesentlichen axial verlaufender Rotorwicklung (4), **dadurch gekennzeichnet**, dass der Primärflüssigkeitskreislauf ein hydraulisches System von mehreren parallelen Zweigen bilden.
6. Vorrichtung gemäß Anspruch 5, **dadurch gekennzeichnet**, dass der mitrotierende Wärmetauscher (6) näher am Zentrum des Rotors (2) angeordnet ist als die zu kühlende Rotorwicklung (4).
7. Vorrichtung gemäß einem der Ansprüche 5 oder 6, **dadurch gekennzeichnet**, dass mehrere parallele Kühlkanäle (8) zur Kühlung der Rotorwicklung (4) vorhanden sind.
8. Vorrichtung gemäß Anspruch 5, **dadurch gekennzeichnet**, dass der mitrotierende Wärmetauscher (6) als Rohrwärmetauscher ausgeführt ist.
9. Vorrichtung gemäß Anspruch 5, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Zuleitungskanäle (8a) für die Primärkühlflüssigkeit auf einem Teil ihrer Länge oder zur Gänze eine thermische Isolation aufweisen.

Hierzu 2 Blatt Zeichnungen



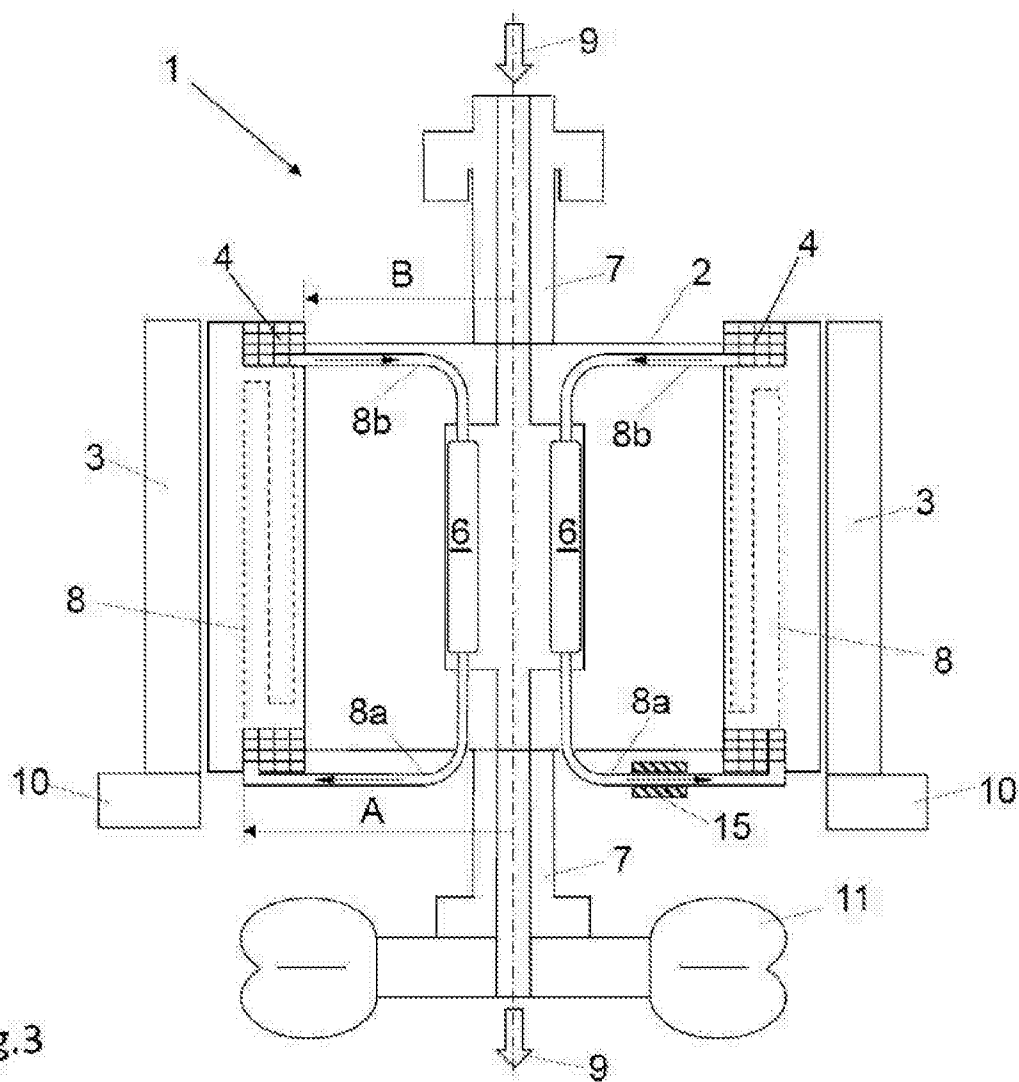


Fig. 3

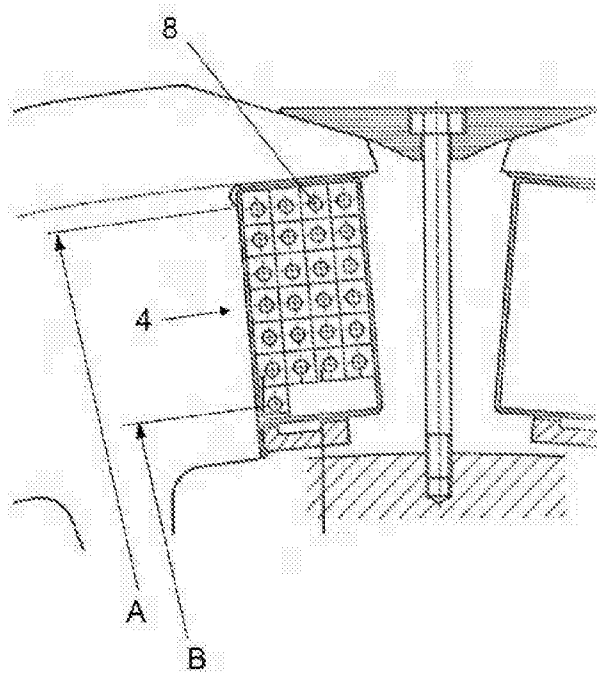


Fig. 4