



(10) **DE 10 2015 225 098 B4** 2021.08.05

(12) **Patentschrift**

(21) Aktenzeichen: **10 2015 225 098.9**
 (22) Anmeldetag: **14.12.2015**
 (43) Offenlegungstag: **14.06.2017**
 (45) Veröffentlichungstag
 der Patenterteilung: **05.08.2021**

(51) Int Cl.: **B64C 27/32 (2006.01)**

Innerhalb von neun Monaten nach Veröffentlichung der Patenterteilung kann nach § 59 Patentgesetz gegen das Patent Einspruch erhoben werden. Der Einspruch ist schriftlich zu erklären und zu begründen. Innerhalb der Einspruchsfrist ist eine Einspruchsgebühr in Höhe von 200 Euro zu entrichten (§ 6 Patentkostengesetz in Verbindung mit der Anlage zu § 2 Abs. 1 Patentkostengesetz).

(73) Patentinhaber:
**ZF FRIEDRICHSHAFEN AG, 88046
 Friedrichshafen, DE**

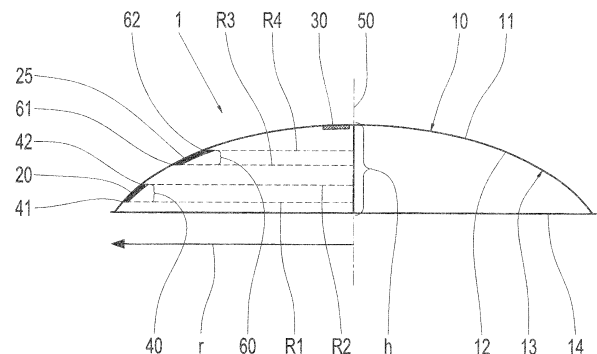
(56) Ermittelter Stand der Technik:

GB	2 090 214	A
US	7 510 377	B1
US	2015 / 0 232 174	A1
US	3 217 811	A
US	3 056 456	A
US	5 156 527	A
WO	2005/ 100 154	A1

(72) Erfinder:
**Hartmann, Steffen, 34127 Kassel, DE; Auspitzer,
 Thomas, Dr., 34131 Kassel, DE; Fürst, Daniel, Dr.,
 34119 Kassel, DE; Götte, Jürgen, 34246 Vellmar,
 DE; Wintjen, Carsten, 34393 Grebenstein, DE;
 Hausberg, Andre, 34131 Kassel, DE; Hoene,
 Eckart, 13465 Berlin, DE; Zeiter, Oleg, 10179
 Berlin, DE**

(54) Bezeichnung: **Rotorkopfabdeckung mit integrierter Elektronik für einen Hubschrauber**

(57) Hauptanspruch: Rotorkopfabdeckung 1 für einen Hubschrauber, wobei die Rotorkopfabdeckung 1 als ein Rotationskörper 10 mit einer kuppelförmigen Abdeckung 11 ausgebildet ist und die Rotorkopfabdeckung 1 leistungselektronische Komponenten 20 und steuerungselektronische Komponenten 25 aufweist und wobei die leistungselektronischen Komponenten 20 und die steuerungselektronischen Komponenten 25 an einer Oberfläche 12 einer Innenseite 13 der kuppelförmigen Abdeckung 11 angeordnet sind.



Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft eine Rotorkopfabdeckung für einen Hubschrauber.

[0002] In einem Rotorkopf werden Rotorblätter eines Hubschraubers mechanisch zusammengefasst und mit einer Rotorwelle verbunden. Die Rotorwelle treibt den Rotorkopf und damit die Rotorblätter an. Aerodynamische Verluste an dem Rotorkopf machen einen signifikanten Anteil an einem Luftwiderstand eines gesamten Hubschraubers aus. Aerodynamisch unvorteilhaft ausgebildete Rotorköpfe können neben einer Verschlechterung von Flugleistung und Flugeigenschaften auch zu erhöhten Vibrationen führen, wobei insbesondere der Heckrotor durch Luftverwirbelungen negativ beeinflusst werden kann. Bei modernen Hubschraubern wird daher auf die aerodynamisch optimale Gestaltung des Hauptrotors sehr viel Wert gelegt.

[0003] Aus den US 3 056 456 A, US 3 217 811 A, US 5 156 527 A und US 7 510 377 B1 ist grundsätzlich bekannt, Rotorköpfe aerodynamisch widerstandsarm auszugestalten.

[0004] Aus der GB 2 090 214 A ist es bekannt, einen Rotorkopf ausschließlich elektronisch anzusteuern und auf mechanische Anlenkungen über die Flugzelle zu verzichten.

[0005] Die US 2015 / 0 232 174 A1 offenbart eine an einer Rotornabe eines Hubschraubers montierte aktive Vibrationssteuervorrichtung, die ein Gehäuse umfasst, das zur Befestigung an einer Drehnabe ausgebildet ist und sich damit drehen kann. Das Gehäuse umfasst einen Toleranzring, der seinerseits dazu ausgebildet ist, unterschiedliche Wärmeausdehnungskoeffizienten zwischen Komponenten unterschiedlicher Metalle auszugleichen. Die Vorrichtung weist auch mehrere Koaxialringmotoren auf sowie eine elektrische Einheit zum unabhängigen Steuern einer Drehposition, Phase bzw. Geschwindigkeit von Unwuchtmassen, so dass die sich resultierende Kräfte der Unwuchtmassen derart überlagern, dass sie unerwünschte Schwingungen im Wesentlichen aufheben.

[0006] Die WO 2005 / 100 154 A1 zeigt einen Rotor zur Montage auf einer Hubschrauberantriebswelle, wobei der Rotor eine Nabe zur Positionierung auf der Welle und mehrere an der Nabe montierte und sich von dieser erstreckende Rotorblätter umfasst. Ein Steigungswinkel mindestens eines der Rotorblätter ist relativ zu den anderen Rotorblättern steuerbar durch einen elektrischen Schrittmotormechanismus, welcher an der Nabe angeordnet ist.

[0007] Zudem ist bekannt, elektrisch angetriebene Rotorkomponenten, wie beispielsweise Klappen-

steuerungen, Blattwurzelaktuatoren oder aktive Systeme zur Vibrationsminimierung, zu verwenden, welche in der Regel zwischen elektrischer Energiequelle und Verbraucher angeordnete Einrichtungen zum Steuern, Schalten und Regeln der elektrischen Energie umfassen. Diese Einrichtungen umfassen Leistungsteile, d.h. leistungselektronische Komponenten, und Steuer- bzw. Regelungsteile, d.h. steuerungselektronische Komponenten, sowie eventuelle Zusatzeinrichtungen. Als Träger für die elektronischen Bauteile oder Komponenten werden beispielsweise Leiterplatten verwendet. Aufbau- und Verbindungstechnik (AVT) und Funktionsweise der Leiterplatten sind dem Fachmann bekannt, sodass auf weitere Ausführungen hierzu verzichtet werden kann.

[0008] Diese steuerelektronischen und leistungselektronischen Komponenten sind äußerst komplex. Aus verschiedenen Gründen, kann es notwendig oder gewünscht sein, diese Komponenten zumindest teilweise auf dem Rotorkopf des Hubschraubers innerhalb einer Rotorkopfabdeckung anzuordnen. Zu den Gründen zählen beispielweise eine störanfällige Signalübertragung vom Rotorkopf in die Zelle des Hubschraubers oder hohe Leistungsverluste bei langen Kabelstrecken zwischen Leistungselektronik, d.h. den leistungselektronischen Komponenten und elektrisch angetriebener Rotorkomponente.

[0009] Vom Helikoptertyp „Eurocopter EC145“ ist zumindest ein experimenteller Prototyp öffentlich bekannt geworden, bei dem ein Gehäuse für steuerelektronische und leistungselektronische Komponenten auf einem Rotorkopf eine zylinderförmige oder tonnenförmige Geometrie aufweist. Ein großer Nachteil dieser zylinderförmigen Abdeckungen liegt in einem hohen aerodynamischen Widerstand im Flugbetrieb. Zudem müssen die steuerelektronischen und leistungselektronischen Komponenten häufig mittels konstruktiv aufwendiger und teurer, gasförmige, flüssige oder feste Stoffe oder Stoffgemische, die zum Abtransport von Wärme geeignet sind, enthaltender Kühlsysteme gekühlt werden.

[0010] Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, eine Rotorkopfabdeckung mit einer verbesserten Integration elektronischer Komponenten, insbesondere steuerelektronischer und leistungselektronischer Komponenten, für einen Rotorkopf eines Hubschraubers bereitzustellen. Eine weitere Aufgabe, welche der Erfindung zugrunde liegt, ist es, eine Rotorkopf-abdeckung mit einer mechanisch einfachen, möglichst effizienten, äußerst zuverlässigen und kostengünstigen Kühlung bereitzustellen.

[0011] Erfindungsgemäß wird dies durch eine Rotorkopf-abdeckung für einen Hubschrauber gelöst, wobei die Rotorkopf-abdeckung als ein Rotationskörper mit einer kuppelförmigen Abdeckung ausgebildet ist und die Rotorkopf-abdeckung leistungselektronische

nische Komponenten und steuerungselektronische Komponenten aufweist und wobei die leistungselektronischen Komponenten und die steuerungselektronischen Komponenten an einer Oberfläche einer Innenseite der kuppelförmigen Abdeckung angeordnet sind. Die Rotorkopfabdeckung ist ein aerodynamisch widerstandsarmer Verkleidungskörper, der beispielsweise als Hub Cap oder als Teil einer Fairing ausgeführt sein kann. Die Rotorkopfabdeckung stellt zudem ein Gehäuse dar, welches Schutz vor Umwelteinflüssen wie Feuchte, Staub etc. bietet.

[0012] Die Rotorkopfabdeckung bildet zudem ein axiales Ende einer Rotorwelle. Die Rotorkopfabdeckung ist rotationssymmetrisch ausgebildet, d.h. sie bildet einen Rotationskörper mit einer rotationssymmetrischen Abdeckung und einer rotationssymmetrischen Grundfläche. Der Rotationskörper kann beispielsweise ein Kugelabschnitt oder Kugelsegment sein. Der Kugelabschnitt ist ein Teil eines Kugelkörpers, der durch einen Schnitt mit einer Ebene gebildet wird. Der Kugelabschnitt hat die Form einer Kuppel mit einer Höhe h und besitzt als Grundfläche eine Kreisscheibe mit dem Radius r . Dem Fachmann ist klar, dass auch noch weitere Rotationskörper für die Rotorkopfabdeckung vorstellbar sind, die aerodynamisch von Vorteil sind.

[0013] Die leistungselektronischen Komponenten weisen Leistungshalbleiter auf, welche beispielsweise als MosFET oder IGBT ausgeführt sein können. Die Leistungshalbleiter sind häufig zu einer H-Brücke oder zu einer B6-Brücke verschaltet. Dem Fachmann sind die verschiedenen Schaltungsvarianten einer Leistungselektronik bekannt.

[0014] Es hat sich herausgestellt, dass durch die erfindungsgemäße Anordnung der leistungselektronischen und steuerungselektronischen Komponenten eine aerodynamisch effiziente mechanische Integration auf dem Rotorkopf ermöglicht wird und zugleich aktive Kühleinheiten für diese Komponenten entfallen können.

[0015] Im Gegensatz zum Stand der Technik, nach dem Kühlmedien aufwendig mittels eines Drehübertragers von einem stehenden System, also Zelle des Hubschraubers, in ein drehendes System, also Rotorkopf, übertragen werden müssen, wird die erforderliche Kühlleistung erfindungsgemäß dadurch bereitgestellt werden, dass die Rotorkopfabdeckung bei Drehung des Rotors von Luft umströmt wird. Einen zusätzlichen Kühleffekt weist die Umströmung von Luft während eines Fluges auf. Der Downwash des Rotors hat ebenfalls einen kühlenden Effekt. Mit Downwash bezeichnet man in der Luftfahrttechnik einen Abwind, der bei Hubschraubern durch die sich drehenden Rotorblätter erzeugt wird und besonders bei Start und Landung deutlich wahrnehmbar ist. Die drei Anströmungsarten können in der Summe oder

einzelnen im weiteren Verlauf dieser Anmeldung auch als Umgebungsluft bezeichnet werden.

[0016] Somit kann auf Kühlrippen oder dergleichen verzichtet werden. Dies ist einerseits von großem Vorteil, weil flüssigkeitsgekühlte Kühlsysteme für sicherheitsrelevante Anwendungen äußerst aufwändig gestaltet sind, da diese sehr hohen Zuverlässigkeitsanforderungen unterliegen. In der Regel unterliegen die Kühlsysteme nämlich den gleichen oder ähnlichen Anforderungen wie die zu kühlenden Komponenten. Ein weiterer Vorteil liegt in einem geringeren Luftwiderstand. Ein noch weiterer Vorteil in dem Entfallen der Kühlrippen liegt darin, dass Ansammlungen korrosiver und/oder entzündlicher Flüssigkeiten, Ansammlungen von Staub und/oder „Verstopfungen“ durch Fremdkörper verhindert werden, was sehr zuverlässig eine dauerhaft konstante Kühlleistung ermöglicht. Diese ist insbesondere bei sicherheitsrelevanten Systemen, beispielsweise elektrischer Primärsteuerung, von großer Bedeutung.

[0017] Bevorzugt ist es, dass die leistungselektronischen Komponenten und die steuerungselektronischen Komponenten auf Leiterplatten angeordnet sind. Insbesondere können die Leiterplatten als starre Leiterplatten, Starr-Flex-Leiterplatten oder als flexible Leiterplatten ausgebildet sein. Die Verbindung einzelner Leiterplatten erfolgt bevorzugt durch Platine-zu-Platine Verbinder oder über Kabel oder mittels Starr-Flex-Leiterplatten. Starr-Flex-Leiterplatten bestehen aus einer Kombination von starren und flexiblen Leiterplatten, welche unlösbar miteinander verbunden sind. Vorteilhafter Weise kann dadurch die dynamische und mechanische Belastbarkeit erhöht werden, da durch die Rotation des Rotors in Abhängigkeit von Rotordrehzahl und Gehäusedurchmesser Fliehkräfte von bis zu 200g auftreten können. Zudem ermöglicht die dadurch erhaltene drei-dimensionale Designfreiheit, eine einfachere Installation, Raumersparnis und die Erhaltung einer einheitlichen elektrischen Charakteristik.

[0018] Darüber hinaus ist es bevorzugt, wenn zumindest ein Bauteil der leistungselektronischen Komponenten und/oder zumindest ein Bauteil der steuerungselektronischen Komponenten an der Rotorkopf-abdeckung abgestützt oder verschraubt ist. Vorzugsweise können die Bauteile an der Rotorkopf-abdeckung abgestützt oder verschraubt werden, die eine höhere Masse aufweisen. Die Rotorkopf-abdeckung kann dazu entsprechende Ausfräsungen aufweisen, um die Bauteile an der Gehäusewand abzustützen oder sie mit ihr zu integrieren. Bauteile sind beispielsweise Kondensatoren und Drosseln. Leistungselektronische Komponenten können beispielsweise größere Kondensatoren als Puffer und größere Drosseln als Filter aufweisen. Durch die Abstützung an der Gehäusewand oder durch die Verschraubung mit der Gehäusewand kann die durch hohe Fliehkräfte und

hohe Vibrationen verursachte Belastung der Verbindung zwischen den Bauteilen und den Leiterplatten reduziert werden.

[0019] Weiterhin ist es bevorzugt, dass bezogen auf eine rotationssymmetrische Grundfläche der Rotorkopfdeckung die leistungselektronischen Komponenten radial weiter außen liegen, d.h. von der Rotationsachse einen größeren Abstand aufweisen, als die steuerungselektronischen Komponenten. Die bezogen auf die Grundfläche der Rotorkopfdeckung radial außen angeordneten Komponenten, erfahren durch die größere Umfangsgeschwindigkeit eine größere Kühlleistung als die radial innen angeordneten Komponenten.

[0020] Besonders bevorzugt ist es, dass die leistungselektronischen Komponenten in Umfangsrichtung an einer ersten Rotationskörperzone angeordnet sind, wobei die erste Rotationskörperzone ein erster gekrümmter Teil der Oberfläche der Innenseite mit einem ersten unteren Ende und einem ersten oberen Ende ist, wobei das erste untere Ende einen ersten radialen Abstand und das erste obere Ende einen zweiten radialen Abstand zu einer Rotationsachse aufweist, und dass die steuerungselektronischen Komponenten in Umfangsrichtung an einer zweiten Rotationskörperzone angeordnet sind, wobei die zweite Rotationskörperzone ein zweiter gekrümmter Teil der Oberfläche der Innenseite mit einem zweiten unteren Ende und einem zweiten oberen Ende ist, wobei das zweite untere Ende einen dritten radialen Abstand und das zweite obere Ende einen vierten radialen Abstand zu der Rotationsachse aufweist, wobei $R1 > R2 > R3 > R4$ ist.

[0021] Unter Rotationskörperschicht oder Rotationskörperscheibe ist ein Teil eines Kugelkörpers, beispielsweise einer Kugel oder eines Kugelabschnitts zu verstehen, der von zwei parallelen Ebenen ausgeschnitten wird. Der gekrümmte Flächenteil der Rotationskörperschicht oder Rotationskörperscheibe ist die Rotationskörperzone, beispielsweise eine Kugelzone.

[0022] Die Platinen der leistungselektronischen Komponenten weisen in der Regel eine größere Verlustleistung auf, als die Platinen der steuerungselektronischen Komponenten. Daher sind Platinen der leistungselektronischen Komponenten vorzugsweise dort angeordnet, wo die Umfangsgeschwindigkeit der Rotorkopfdeckung am höchsten ist, d.h. radial am weitest möglichen von der Rotationsachse entfernt.

[0023] Die Platinen der Steuerungselektronischen Komponenten erzeugen weniger Abwärme und können radial näher am Rotationszentrum liegen. Radial noch weiter in Richtung Rotationsachse orientiert, können weitere Komponenten angeordnet sein, wie beispielsweise EMV-Filter und dergleichen.

[0024] So ergibt sich eine bevorzugte Anordnung von EMV-Filter, steuerungselektronischen Komponenten und leistungselektronischen Komponenten in Abhängigkeit ihres radialen Abstandes zur Rotationsachse von einem radial inneren Bereich über einen radial mittleren Bereich bis hin zu einem radial äußeren Bereich, wobei der oder die EMV-Filter in dem radial inneren, die steuerungselektronischen Komponenten in dem radial mittleren und die leistungselektronischen Komponenten in dem radial äußeren Bereich angeordnet sind.

[0025] Es hat sich herausgestellt, dass durch diese bevorzugte Anordnung die Kühlleistung mittels Umgebungsluft weiter erhöht werden kann.

[0026] Die Anordnung der steuerungselektronischen Komponenten- und leistungselektronischen Komponenten in Umfangsrichtung an der Innenseite der kuppelförmigen Abdeckung erleichtert die Kühlung der einzelnen Komponenten, da eine der Innenseite gegenüberliegende Außenseite der kuppelförmigen Abdeckung direkt von der Umgebungsluft angeströmt wird und die Wärme somit direkt von der Innenseite an die Außenseite der Kuppel weitergeleitet werden kann, wo sie direkt an die Luft abgegeben wird.

[0027] Um eine möglichst gute Wärmespreizung zu erzielen und/oder um sogenannte Hot-Spots zu vermeiden, ist es weiterhin bevorzugt, dass die Leistungshalbleiter derart in Umfangsrichtung an der Oberfläche der Innenseite der kuppelförmigen Abdeckung angeordnet sind, dass zwei Teile der Leistungshalbleiter einen Abstand **R5** zu einer Rotationsachse aufweisen und ein Teil der Leistungshalbleiter einen Abstand **R6** zu einer Rotationsachse aufweist, d.h. dass sie im Verhältnis 2:1 angeordnet sind, wobei R5 größer R6 ist. Dadurch wird mehr Verlustleistung in Bezug nach radial außen angeordnet, wodurch eine optimale Kühlung gewährleistet wird.

[0028] Für die optimale Raum- und Flächennutzung ist es zusätzlich bevorzugt, dass Leiterplatten zur Anordnung der Bauteile der leistungselektronischen Komponenten trapezförmig ausgebildet sind. Als besonders vorteilhaft hat sich gezeigt, wenn die die Leistungshalbleiter im oben erläuterten Verhältnis von 2:1 angeordnet sind und trapezförmig ausgebildet sind.

[0029] In einer weiteren bevorzugten Ausführung sind die steuerungselektronischen Komponenten in Umfangsrichtung an der zweiten Rotationskörperzone derart angeordnet, dass jeweilige Oberflächen der steuerungselektronischen Komponenten eine Fläche in Form eines oder mehrerer Kreissegmente bildet. So kann der stark begrenzte Raum optimal genutzt werden.

[0030] Um den Wärmeaustausch effizienter zu gestalten, ist es weiterhin bevorzugt, dass die Rotorkopfabdeckung zumindest teilweise aus Aluminium oder wärmeleitfähigem Verbundwerkstoff oder anderen gut wärmeleitenden Materialien gefertigt ist, d.h., dass die kuppelförmige Abdeckung zumindest im Bereich der leistungselektronischen Komponenten aus einem thermisch gut leitfähigen Material, insbesondere Aluminium oder wärmeleitfähige Verbundwerkstoffe, hergestellt ist. Mit „im Bereich der leistungselektronischen Komponenten“ ist eine kuppelförmige Zone, insbesondere eine Kugelzone gemeint, die in Umfangsrichtung eine Oberfläche an der Außenseite der kuppelförmigen Abdeckung aufweist, die derjenigen Oberfläche an der Innenseite der kuppelförmigen Abdeckung gegenüberliegt, an der die Leistungselektronischen Komponenten angeordnet sind.

[0031] Um einen optimalen, d.h. maximalen Kühleffekt zu erzielen, ist es weiterhin bevorzugt, dass die Rotorkopfabdeckung vollständig aus Aluminium oder wärmeleitfähigem Verbundwerkstoff gefertigt ist und einen elektrisch leitfähigen Umwelt- bzw. Korrosionsschutz aufweist. Eine elektrisch leitfähige Rotorkopf-abdeckung schirmt zudem in vorteilhafter Weise sowohl nach innen als auch nach außen gegen elektromagnetische Strahlung. Der elektrisch leitfähige Umwelt- bzw. Korrosionsschutz gewährleistet, dass Störungen auch über Stoßkanten einzelner Bauteile einer aus Aluminium oder Verbundwerkstoff gefertigten Rotorkopf-abdeckung abfließen können. Um eine optimale elektromagnetische Schirmung und einen optimalen Schutz gegen Umwelteinflüsse, wie beispielsweise Feuchtigkeit, zu gewährleisten, ist es weiterhin bevorzugt dass leitfähige Dichtungen zwischen einzelnen Bauteilen der Rotorkopf-abdeckung verwendet werden.

[0032] Weiterhin ist es bevorzugt, dass die Rotorkopf-abdeckung in Umfangsrichtung zumindest N elektrisch, thermisch und mechanisch voneinander getrennte Bereiche aufweist, wobei ein jeweiliger Bereich zumindest die leistungselektronischen und steuerungselektronischen Komponenten bzw. aufweist, wobei N eine natürliche Zahl größer oder gleich zwei ist.

[0033] Darüber hinaus ist es bevorzugt, wenn benachbarte Bereiche mittels Barrieren thermisch voneinander getrennt sind und dass benachbarte thermische Barrieren einen Winkel φ gleich $360/M$ aufspannen, wobei M gleich der Anzahl der thermischen Barrieren entspricht und wobei M gleich N ist.

[0034] Sicherheitsrelevante Systeme in Luftfahrzeugen sind in der Regel redundant aufgebaut. Mit zunehmender Kritikalität wachsen die Anforderungen an eine Isolation der redundanten Anteile untereinander. Als besonders vorteilhaft hat sich ein Triplex-System herausgestellt, bei dem die Rotorkopf-ab-

ckung in drei voneinander getrennte Bereiche unterteilt wird. Unter Bereich ist in diesem Zusammenhang ein Volumen zu verstehen, das jeweils einen Teil der redundant aufgebauten Leistungs- und Steuerungselektronik umfasst und auch einen Teil der EMV-Filtereinheit umfassen kann. Diese zwei bzw. drei Komponenten sind in sogenannten „Lanes“ zusammengefasst. Die mechanische Trennung in drei Volumina gewährleistet beispielsweise, dass Bauteile, die sich durch Vibrationen aus ihrer Befestigung gelöst haben, keine Beschädigung anderer Lanes verursachen. Die thermische Isolation gewährleistet, dass eine Überhitzung in einer Lane keine Schäden in einer anderen Lane verursachen kann. Zur thermischen Entkopplung der Lanes können die einzelnen Volumina mittels Barrieren mit hohen thermischen Widerständen voneinander getrennt sein. Bevorzugt ist es, dass die thermische Trennung mittels Kompositmaterialien oder Glas oder Luft/Vakuum erfolgt.

[0035] Ist zur Erfüllung der geforderten Zuverlässigkeit eine Quadruplex-Architektur erforderlich, lässt sich die beschriebene Morphologie analog auch auf ein Quadruplex-System mit vier getrennten Volumina erweitern.

[0036] Darüber hinaus ist es bevorzugt, wenn die thermische Trennung mittels Kompositmaterialien oder Glas oder Luft/Vakuum erfolgt.

[0037] Weitere Vorteile ergeben sich aus der nachfolgenden Figurenbeschreibung. Die Figuren, die Figurenbeschreibung und die Ansprüche enthalten zahlreiche Merkmale in Kombination. Der Fachmann wird die Merkmale zweckmäßigerweise auch einzeln betrachten und zu sinnvollen weiteren Kombinationen zusammenfassen.

[0038] Es zeigen:

Fig. 1: eine erste Rotorkopf-abdeckung nach dem Stand der Technik;

Fig. 2a: eine zweite Rotorkopf-abdeckung nach dem Stand der Technik;

Fig. 2b: eine dritte Rotorkopf-abdeckung nach dem Stand der Technik;

Fig. 3: einen Querschnitt einer erfindungsgemäßen Rotorkopf-abdeckung in einer ersten Ausführungsform;

Fig. 4: drei Anströmungsarten in schematischen Ansichten;

Fig. 5: beispielhafte Energieversorgung eines Hubschraubers mit Rotorkopf-abdeckung nach **Fig. 3** in einer schematischen Ansicht;

Fig. 6: eine erfindungsgemäße Rotorkopf-abdeckung in einer weiteren bevorzugten Ausführungsform in einer Draufsicht;

Fig. 7: die Rotorkopfabdeckung der **Fig. 6** in einer perspektivischen Ansicht;

Fig. 8: die Rotorkopfabdeckung der **Fig. 6** in einer weiteren Ansicht;

Fig. 9: eine schematische Temperaturverteilung der Rotorkopfabdeckung der **Fig. 6** in einer Draufsicht; und

Fig. 10: die Rotorkopfabdeckung der **Fig. 6** in einer weiteren perspektivischen Ansicht.

[0039] **Fig. 1, Fig. 2a** und **Fig. 2b** zeigen zylinderförmige Rotorkopfabdeckungen **1a** nach dem Stand der Technik. Der Stand der Technik nach **Fig. 1** weist dabei eine tonnenförmige Geometrie auf, d.h. die Höhe ist erheblich größer als der Durchmesser. **Fig. 2a, Fig. 2b** zeigen einen Stand der Technik mit einer leicht verbesserten Rotorkopfabdeckung für eine planare (2a) und koplanare (2b) Anordnung der Aktuatoren **9** hinsichtlich ihrer Lage zu den Rotorblättern **2**. Zwar ermöglichen diese zylinderförmigen Formen eine gleichmäßige Kühlung sämtlicher Halbleiter -jedoch verursachen sie u.a. erheblich höhere Luftwiderstände, sind wartungsintensiv und komplex.

[0040] Im Gegensatz zum Stand der Technik zeigt **Fig. 3** eine erfindungsgemäße Rotorkopfabdeckung **1** in einer ersten Ausführungsform. Die Rotorkopf-abdeckung **10** aus Aluminium oder wärmeleitfähigem Verbundwerkstoff umfasst einen Rotationskörper **10**, der als Kugelkappe **11** ausgebildet ist und um eine Rotationsachse **50** rotieren kann. Die Kugelkappe **11** weist eine Höhe **h** und einen Radius **r** auf, der eine als Kreisscheibe ausgebildete rotationssymmetrische Grundfläche **14** definiert.

[0041] Leistungselektronische Komponenten **20** mit als MosFET ausgebildeten Leistungshalbleitern **21**, steuerungs-elektronischen Komponenten **25** und EMV-Filter **30** sind an einer Oberfläche **12** einer Innenseite **13** der Kugelkappe **11** angeordnet. Dabei sind die Komponenten **20, 25** und **30** derart angeordnet, dass sie entsprechend der Größe ihrer Verlustleistung von radial außen nach radial innen angeordnet sind. Radial außen bzw. innen bezieht sich auf den Radius **r**.

[0042] So sind die leistungselektronischen Komponenten **20**, die eine höhere Verlustleistung aufweisen als die steuerungs-elektronischen Komponenten **25** und die EMV-Filter **30**, in einer ersten Rotationszone **40** angeordnet. Die Rotationszone **40** verläuft entlang des Umfangs der Kugelkappe **11** und wird in Längsrichtung der Rotationsachse **50** durch ein erstes unteres Ende **41** und durch ein erstes oberes Ende **42** begrenzt. Das untere Ende **41** weist einen Radius **R1** und das obere Ende **42** einen Radius **R2** zur Rotationsachse **50** auf. Die leistungselektronischen Komponenten **20** sind mittels Starr-Flex-Leiterplatten **22** angeordnet. Diese weisen einen ähnlichen oder glei-

chen Wölbungsgrad wie die Kugelkappe **11** im Bereich der ersten Rotationszone **40** auf.

[0043] Die steuerungs-elektronischen Komponenten **25**, die eine geringere Verlustleistung als die leistungselektronischen Komponenten **20** aufweisen und somit weniger Abwärme verursachen, sind in einer zweiten Rotationszone **60** angeordnet und somit radial näher an der Rotationsachse **50** als die leistungselektronischen Komponenten **20**. Die Rotationszone **60** verläuft entlang des Umfangs der Kugelkappe **11** und wird in Längsrichtung der Rotationsachse **50** durch ein zweites unteres Ende **61** und durch ein zweites oberes Ende **62** begrenzt. Das untere Ende **61** weist einen Radius **31** und das obere Ende **62** einen Radius **R4** zur Rotationsachse **50** auf. Die leistungselektronischen Komponenten **25** sind ebenfalls mittels Starr-Flex-Leiterplatten angeordnet. Hierbei ist $R1 > R2 > R3 > R4$.

[0044] Nahe an der Rotationsachse **50** ist der EMV-Filter **30** angeordnet.

[0045] Bei der in **Fig. 3** dargestellten thermischen Auslegung sind selbst für hohe Kühlleistungen keinerlei Kühlrippen notwendig, da die Komponenten mit höherer Verlustleistung entsprechend radial weiter außen integriert werden. Ebenso wird die Kühlleistung durch die Strömungsverhältnisse positiv beeinflusst. Die die Kugelkappe **11** umgebende Luftströmung ergibt sich im Wesentlichen aus der durch die Vorwärtsbewegung **3** des Hubschraubers indizierte Luftströmung **4** (**Fig. 4**, linkes Bild), aus der mittels der Rotation des Hauptrotors in Drehrichtung **5** indizierten Umfangsgeschwindigkeit **6** und damit der Kugelkappe **11** selbst (**Fig. 4**, mittleres Bild), und durch den sogenannten Downwash indizierte Luftströmung **7** (**Fig. 4**, rechtes Bild).

[0046] **Fig. 5** zeigt eine beispielhafte Energieversorgung für einen Hubschrauber **80** mit der erfindungsgemäßen als Kugelkappe **11** ausgebildeten Rotorkopf-abdeckung **1**. Der Hubschrauber **80** verfügt über einen oder mehrere Primär-antriebe **81**. Der Primär-antrieb **81** ist über einen mechanischen Antriebsstrang **82** mit einem oder mehreren Generatoren **83** verbunden. Der Generator **83** wandelt die mechanische Energie des Primär-antriebs **81** in elektrische Energie um. Die elektrische Energie wird über eine entsprechende Verkabelung **84** zu einem Drehüber-träger **85**, beispielsweise einem Schleifring oder Rollring, geleitet. Über den Drehüber-träger **85** wird die elektrische Energie von der Zelle des Hubschraubers **80** in das drehende System übertragen. Die Kabel **84** werden auf der Ausgangsseite des Drehüber-trägers **84** im Inneren des Rotormasts **86** bis zu einem als Stecker-Buchse-Verbindung ausgebildeten Anschluss oder Steckerterminal **87** (**Fig. 8**), zum Anschließen an die Leistungs- und Steuerungs-elektronik **20, 25** im Inneren der Kugelkappe **11** geführt.

[0047] Fig. 6 zeigt einen schematischen Aufbau einer weiteren bevorzugten Ausführungsform und einzelner Komponenten in einer Draufsicht. Kugelkappe 11 ist mittels Barrieren 71 in drei voneinander getrennte Bereiche oder Volumina 70 unterteilt. Jedes Volumen 70 umfasst einen Teil der redundant aufgebauten Leistungs- und Steuerungselektronik 20, 25 - eine sogenannte „Lane“ 73 (Fig. 7). Die mechanische Trennung in drei Volumina 70 gewährleistet beispielsweise, dass Bauteile, die sich durch Vibrationen aus ihrer Befestigung gelöst haben, keine Beschädigung anderer Lanes 73 hervorrufen können. Die in Fig. 6 gezeigte Anordnung mit mechanischer und thermischer Trennung in drei Bereiche 70 wird auch als Triplex-System bezeichnet.

[0048] Mittels der Barriere 71 sind die drei Volumina 70 und damit auch die Lanes 73 zudem thermisch voneinander getrennt. Hierfür weist die Barriere 71 zusätzlich Luft-Vakuum-Kammern auf. Zur thermischen Entkopplung können auch Kompositmaterialien, Glas oder dergleichen verwendet werden.

[0049] Die Leistungshalbleiter 21 werden von Leiterplatten 22 getragen und sind in der Rotationszone 40 angebracht. Zu erkennen ist, dass ein Volumen 70 eine bestimmte Anzahl Leistungshalbleiter aufweist, und dass 2/3 der Leistungshalbleiter einen Radius R5 und 1/3 der Leistungshalbleiter einen Radius R6 zur Rotationsachse 50 aufweisen, mit R5 größer als R6. Dies entspricht einem Verhältnis von zwei zu eins. Dadurch kann eine noch bessere Kühlleistung erreicht und Hot-Spots vermieden werden. Natürlich sind auch andere Verhältnisse denkbar, solange eine Mehrzahl der Leistungshalbleiter einen größeren Radius zur Rotationsachse 50 aufweist. Es ist möglich, dass der Radius R1, der das untere Ende 41 der Rotationszone 40 definiert, mit dem Radius R5 zusammenfällt. Zudem ist es möglich, dass Radius R2, der das obere Ende 42 der Rotationszone 40 definiert, mit dem Radius R6 zusammenfällt.

[0050] Fig. 7 zeigt die Kugelkappe 11 in einer weiteren Ansicht.

[0051] Fig. 8 zeigt die Kugelkappe 11 in einem Seitenschnitt. Zu erkennen ist, dass die MosFET 21 zwischen der Oberfläche 12 der Innenseite 13 der Kugelkappe 11 und den Star-Flex-Leiterplatten 22 angeordnet sind. Mittels der durch eine Bohrung erkennbaren Stecker-Buchse-Verbindungen 87 können die leistungs- und steuerungselektronischen Komponenten 20, 25 an die Energiequelle angeschlossen werden.

[0052] Fig. 9 zeigt eine schematische Temperaturverteilung eines thermisch isolierten Triplex-Systems gem. der bevorzugten Ausführung nach Fig. 6. Die Verlustleistung aufweisenden, also Wärme erzeugenden Lanes 73 (hell dargestellt), die sowohl

Leistungselektronischen Komponenten 20 als auch Steuerungselektronischen Komponenten 25 umfassen, sind thermisch mittels der Luft/Vakuum-Barrieren 71 (dunkel dargestellt) voneinander getrennt. In einem Triplex-Systems sind die Bereiche 70 bevorzugt gleich groß dimensioniert, sodass benachbarte Barrieren 71 einen Winkel Φ gleich 120° aufspannen.

[0053] Fig. 10 zeigt die Rotorkopfabdeckung der Fig. 3 bei einem Hubschrauber mit integrierten Steuerungssystemen, die mit Einzelblattsteuerungskomponenten 8 im Rotorkopf sowohl Primärsteuerals auch IBC-Funktionen realisieren. Dies ermöglicht den Entwurf von taumelscheibenlosen „Fly-by-Wire“-Hubschraubersteuerungen. Ferner können dadurch Vibrationen, Steuerlasten, Lärm und Rotorleistungsbedarf eines Hubschraubers deutlich reduziert werden.

Bezugszeichenliste

- | | |
|----|--|
| 1 | Rotorkopfabdeckung |
| 1a | Rotorkopfabdeckung nach Stand der Technik |
| 2 | Rotorblatt |
| 3 | Flugrichtung des Hubschraubers |
| 4 | Strömung durch Vorwärtsbewegung |
| 5 | Drehrichtung Rotor |
| 6 | Umfangsgeschwindigkeit |
| 7 | Downwash |
| 8 | Einzelblattsteuerungskomponenten, Individual Blade Control (IBC) |
| 9 | Aktuator |
| 10 | Rotationskörper |
| 11 | kuppelförmige Abdeckung, Kugelkappe |
| 12 | Oberfläche Innenseite der kugelförmige Abdeckung, |
| 13 | Innenseite der kugelförmige Abdeckung, Kugelkappeninnenseite |
| 14 | rotationssymmetrische Grundfläche, Kreisscheibe |
| 20 | Leistungselektronik, leistungselektronischen Komponenten |
| 21 | Leistungshalbleiter, MosFET |
| 22 | Starr-Flex-Leiterplatte, Leiterplatte, Platine, PCB |
| 25 | Steuerungselektronikkomponenten, steuerungselektronische Komponenten |
| 30 | Filtereinheit, EMV-Filter |

- 40 Erste Rotationskörperzone, erste Kugelzone
- 41 erstes Unteres Ende der ersten Kugelzone
- 42 erstes Oberes Ende der ersten Kugelzone
- 50 Rotationsachse der Rotorkopfabdeckung
- 60 Zweite Rotationskörperzone, zweite Kugelzone
- 61 zweites Unteres Ende der zweiten Rotationskörperzone,
- 62 zweites Oberes Ende der zweiten Rotationskörperzone,
- 70 Bereich
- 71 mechanische Barriere, thermische Barriere
- 73 Lane
- 80 Hubschrauber
- 81 Primärtrieb(e)
- 82 mechanischer Antriebsstrang
- 83 Generator(en)
- 84 Verkabelung
- 85 Drehübertrager, Schleifring, Rollring,
- 86 Rotormast
- 87 Anschluss, Steckerterminal, Stecker-Buchse-Verbindung
- N natürliche Zahl größer gleich zwei
- h Höhe der kugelförmigen Abdeckung
- r Radius r der rotationssymmetrischen Grundfläche
- R1 erster Radius
- R2 zweiter Radius
- R3 dritter Radius
- R4 vierter Radius
- R5 fünfter Radius
- R6 sechster Radius
- Φ aufgespannter Winkel benachbarter Bereiche 70

Patentansprüche

1. Rotorkopfabdeckung 1 für einen Hubschrauber, wobei die Rotorkopfabdeckung 1 als ein Rotationskörper 10 mit einer kuppelförmigen Abdeckung 11 ausgebildet ist und die Rotorkopfabdeckung 1 leistungselektronische Komponenten 20 und steuerungselektronische Komponenten 25 aufweist und wobei die leistungselektronischen Komponenten 20 und die steuerungselektronischen Komponenten 25

an einer Oberfläche 12 einer Innenseite 13 der kuppelförmigen Abdeckung 11 angeordnet sind.

2. Rotorkopfabdeckung 1 nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass zumindest die leistungselektronischen Komponenten 20 auf Leiterplatten angeordnet sind.

3. Rotorkopfabdeckung 1 nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet**, dass zumindest ein Bauteil der leistungselektronischen Komponenten 20 und/oder zumindest ein Bauteil der steuerungselektronischen Komponenten 25 an der Rotorkopfabdeckung 1 abgestützt ist.

4. Rotorkopfabdeckung 1 nach zumindest einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet** dass bezogen auf eine rotationssymmetrische Grundfläche der Rotorkopfabdeckung 1 die leistungselektronischen Komponenten 20 radial weiter außen liegen, d.h. von der Rotationsachse einen größeren Abstand aufweisen, als die steuerungselektronischen Komponenten 25.

5. Rotorkopfabdeckung 1 nach zumindest einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**,
- dass die leistungselektronischen Komponenten 20 in Umfangsrichtung an einer ersten Rotationskörperzone 40 angeordnet sind, wobei die erste Rotationskörperzone 40 ein erster gekrümmter Teil der Oberfläche 12 der Innenseite 13 mit einem ersten unteren Ende 41 und einem ersten oberen Ende 42 ist, wobei das erste untere Ende 41 einen ersten radialen Abstand R1 und das erste obere Ende 42 einen zweiten radialen Abstand R2 zu einer Rotationsachse 50 aufweist, und
- dass die steuerungselektronischen Komponenten 25 in Umfangsrichtung an einer zweiten Rotationskörperzone 60 angeordnet sind, wobei die zweite Rotationskörperzone 60 ein zweiter gekrümmter Teil der Oberfläche 12 der Innenseite 13 mit einem zweiten unteren Ende 61 und einem zweiten oberen Ende 62 ist, wobei das zweite untere Ende 61 einen dritten radialen Abstand R3 und das zweite obere Ende 62 einen vierten radialen Abstand R4 zu der Rotationsachse 50 aufweist, wobei $R1 > R2 > R3 > R4$ ist.

6. Rotorkopfabdeckung 1 nach zumindest einem der vorhergehenden Ansprüche **Dadurch gekennzeichnet**, dass die leistungselektronischen Komponenten 20 Leistungshalbleiter sind, wobei diese derart in Umfangsrichtung an der Oberfläche 12 der Innenseite 13 angeordnet sind, dass zwei Teile der Leistungshalbleiter einen Abstand R5 zu einer Rotationsachse 50 aufweisen und ein Teil der Leistungshalbleiter einen Abstand R6 zu einer Rotationsachse 50 aufweist, wobei $R5 > R6$ ist.

7. Rotorkopfabdeckung 1 nach zumindest einem der vorhergehenden Ansprüche 2 bis 5, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Leiterplatten zur Anordnung der Bauteile der leistungselektronischen Komponenten trapezförmig ausgebildet sind.

8. Rotorkopfabdeckung 1 nach zumindest einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass jeweilige Oberflächen der steuerungselektronischen Komponenten eine Fläche in Form eines oder mehrerer Kreissegmente bildet.

9. Rotorkopfabdeckung 1 nach zumindest einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Rotorkopfabdeckung 1 zumindest teilweise aus Aluminium oder wärmeleitfähigem Verbundwerkstoff gefertigt ist.

10. Rotorkopfabdeckung 1 nach zumindest einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Rotorkopfabdeckung aus Aluminium oder wärmeleitfähigem Verbundwerkstoff gefertigt ist und einen elektrisch leitfähigen Umwelt- bzw. Korrosionsschutz aufweist.

11. Rotorkopfabdeckung 1 nach zumindest einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass zwischen einzelnen Bauteilen der Rotorkopfabdeckung 1 leitfähige Dichtungen vorgesehen sind.

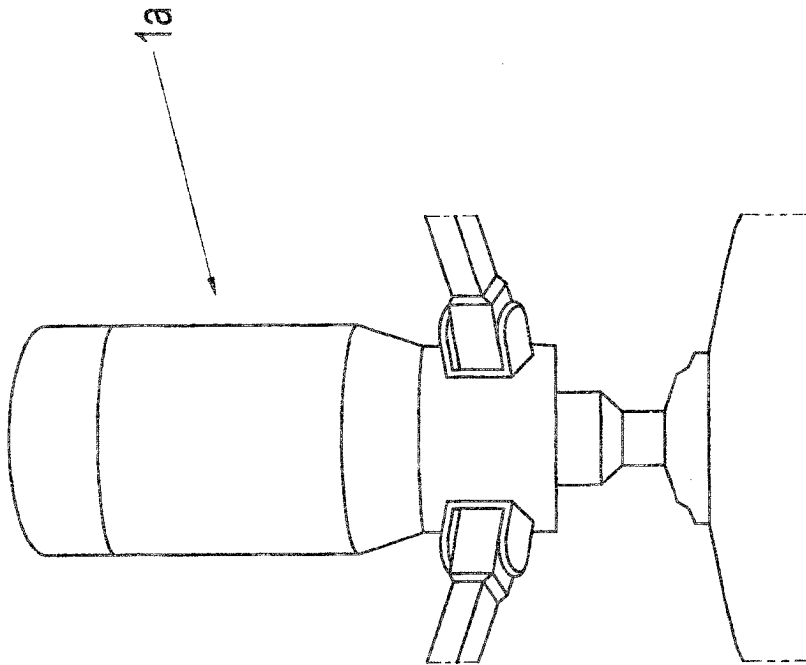
12. Rotorkopfabdeckung 1 nach zumindest einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Rotorkopfabdeckung 1 in Umfangsrichtung zumindest N elektrisch, thermisch und mechanisch voneinander getrennte Bereiche 70 aufweist, wobei ein jeweiliger Bereich 70 zumindest die leistungselektronischen und steuerungselektronischen Komponenten 20 bzw. 25 aufweist, wobei N eine natürliche Zahl größer oder gleich zwei ist.

13. Rotorkopfabdeckung 1 nach Anspruch 12, **dadurch gekennzeichnet**, dass benachbarte Bereiche 70 mittels Barrieren 71 thermisch voneinander getrennt sind und dass benachbarte thermische Barrieren 71 einen Winkel φ gleich $360/M$ aufspannen, wobei M gleich der Anzahl der thermischen Barrieren entspricht und wobei M gleich N ist.

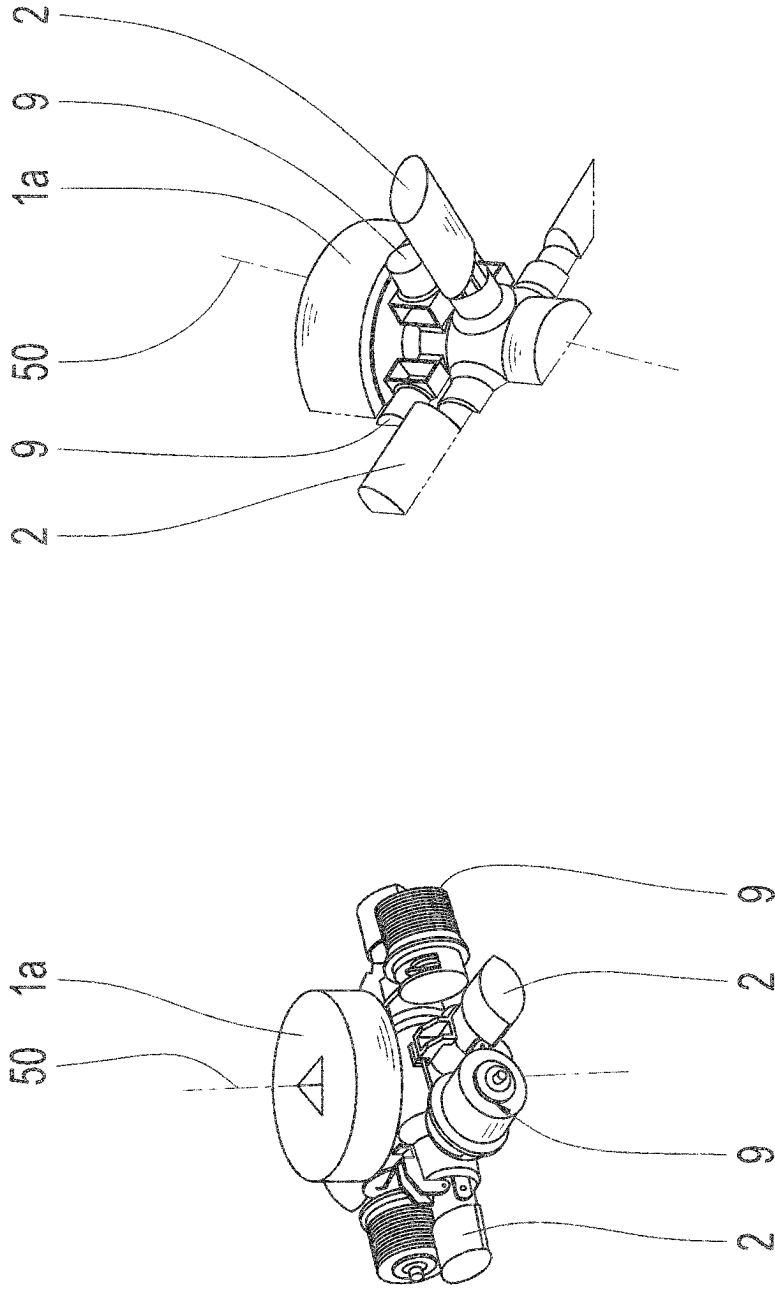
14. Rotorkopfabdeckung 1 nach Anspruch 12 oder 13, **dadurch gekennzeichnet**, dass die thermische Trennung mittels Kompositmaterialien oder Glas oder Luft/Vakuum erfolgt.

Es folgen 10 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen



Stand der Technik Fig. 1



Stand der Technik Fig. 2b

Stand der Technik Fig. 2a

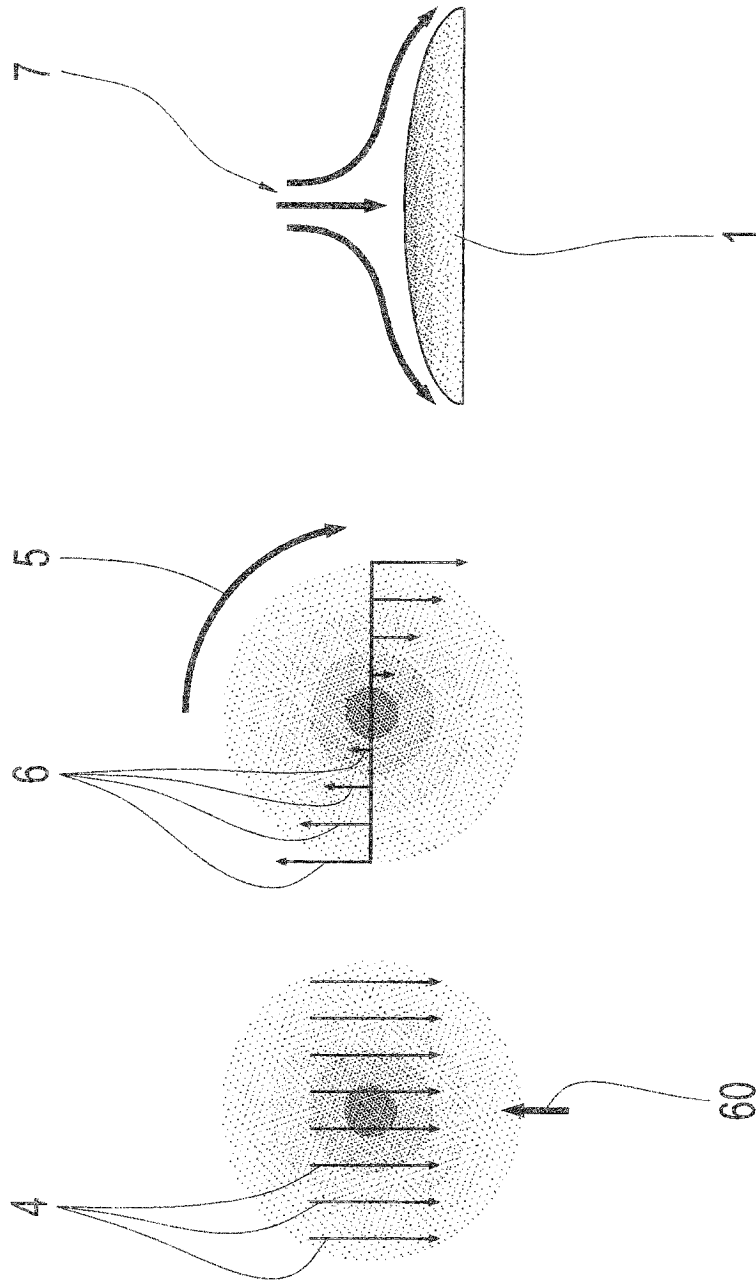


Fig. 4

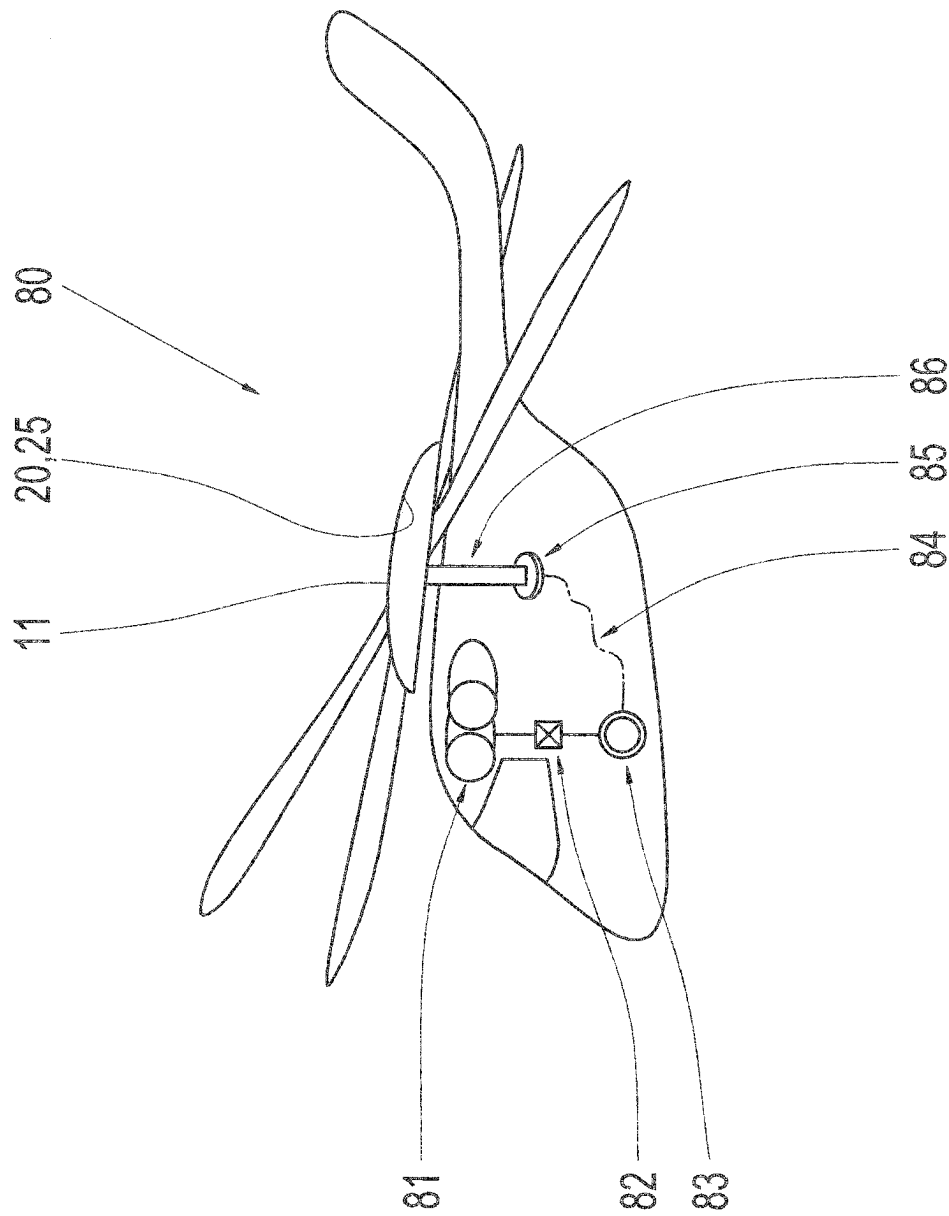


Fig. 5

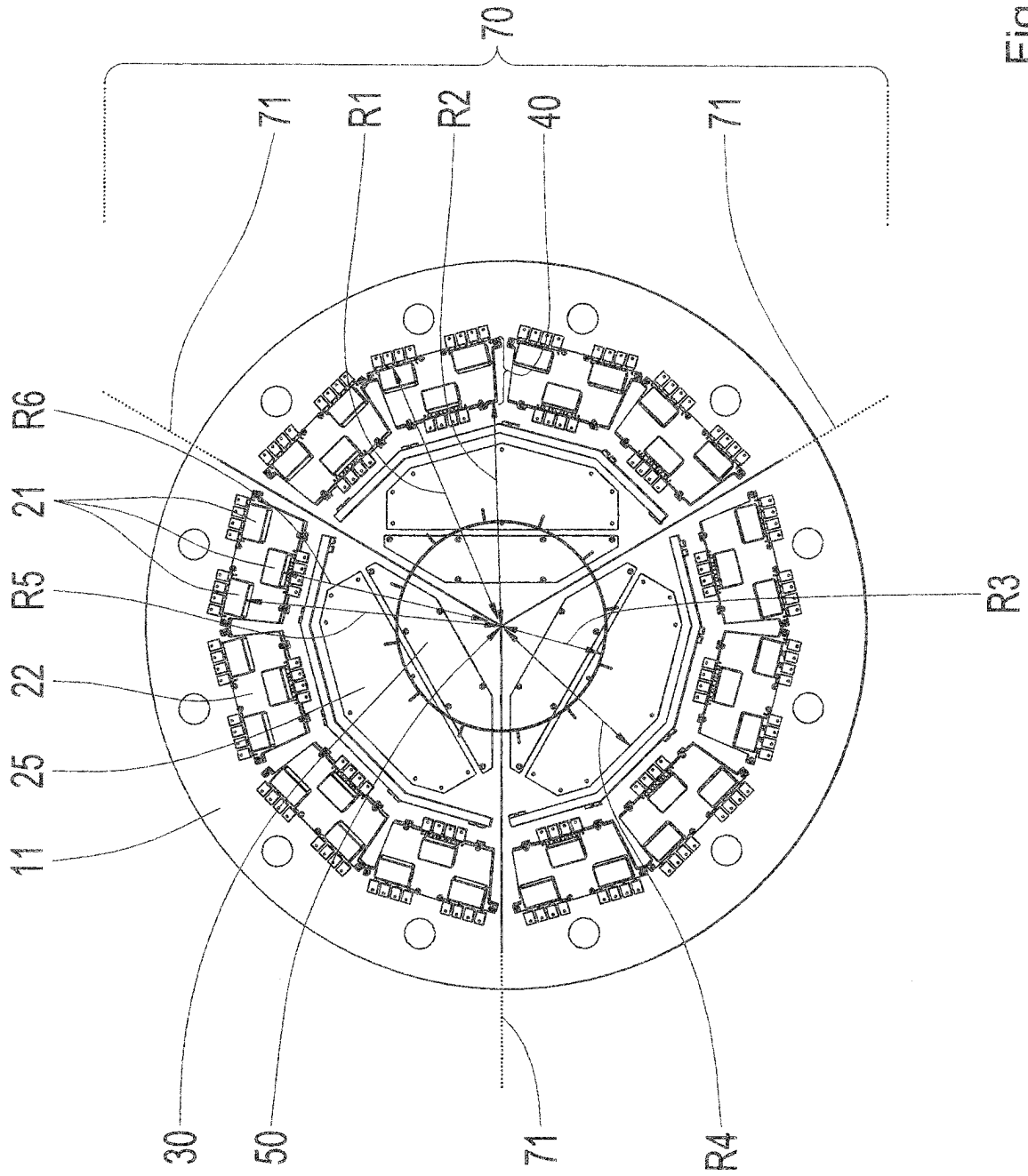


Fig. 6

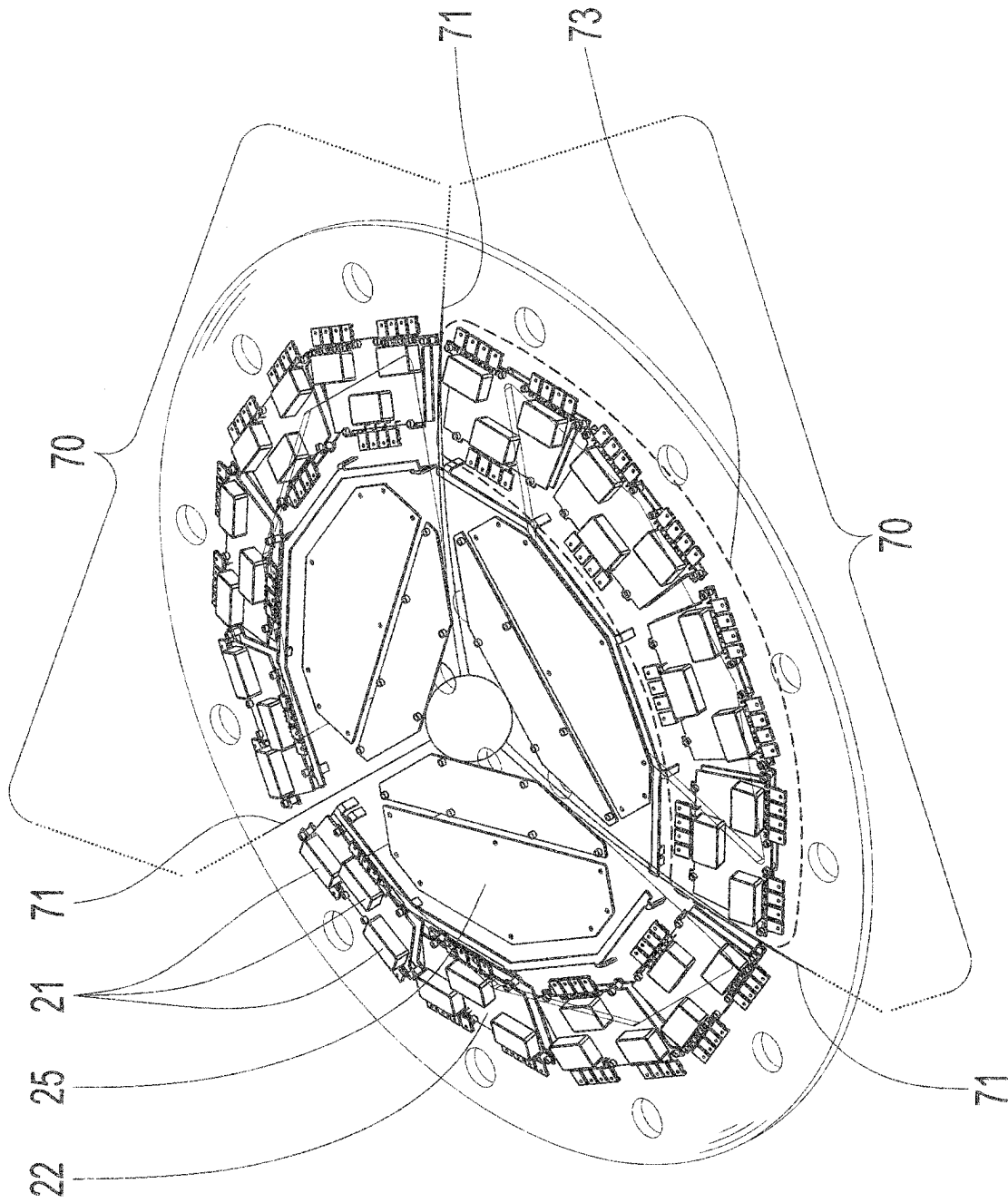


Fig. 7

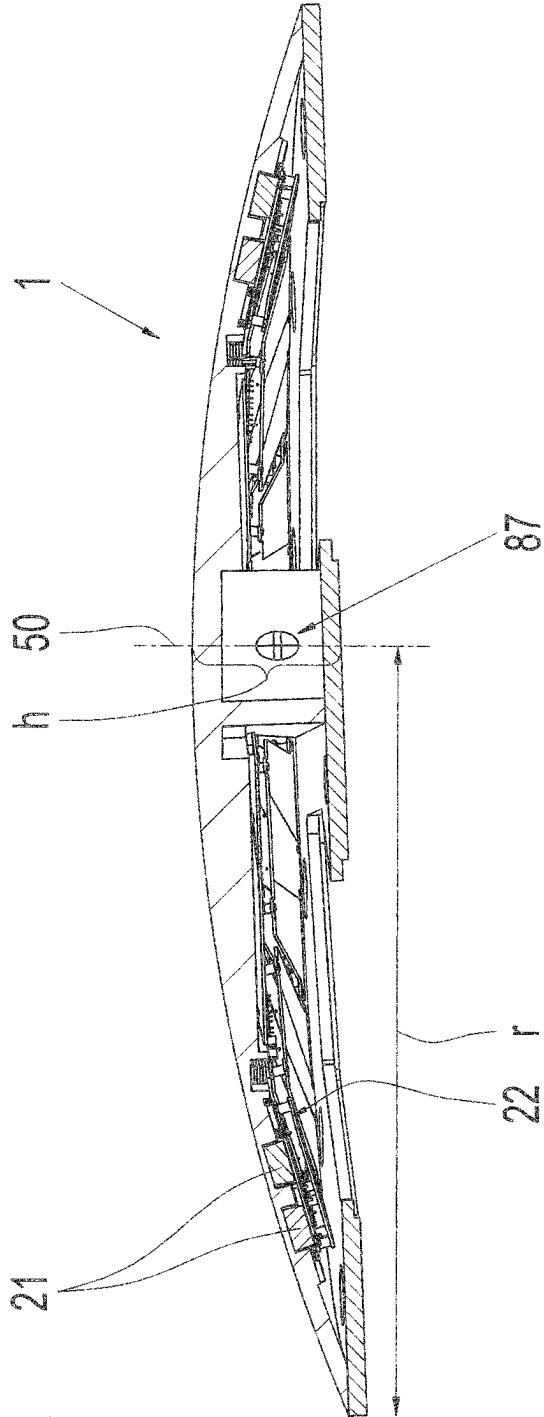


Fig. 8

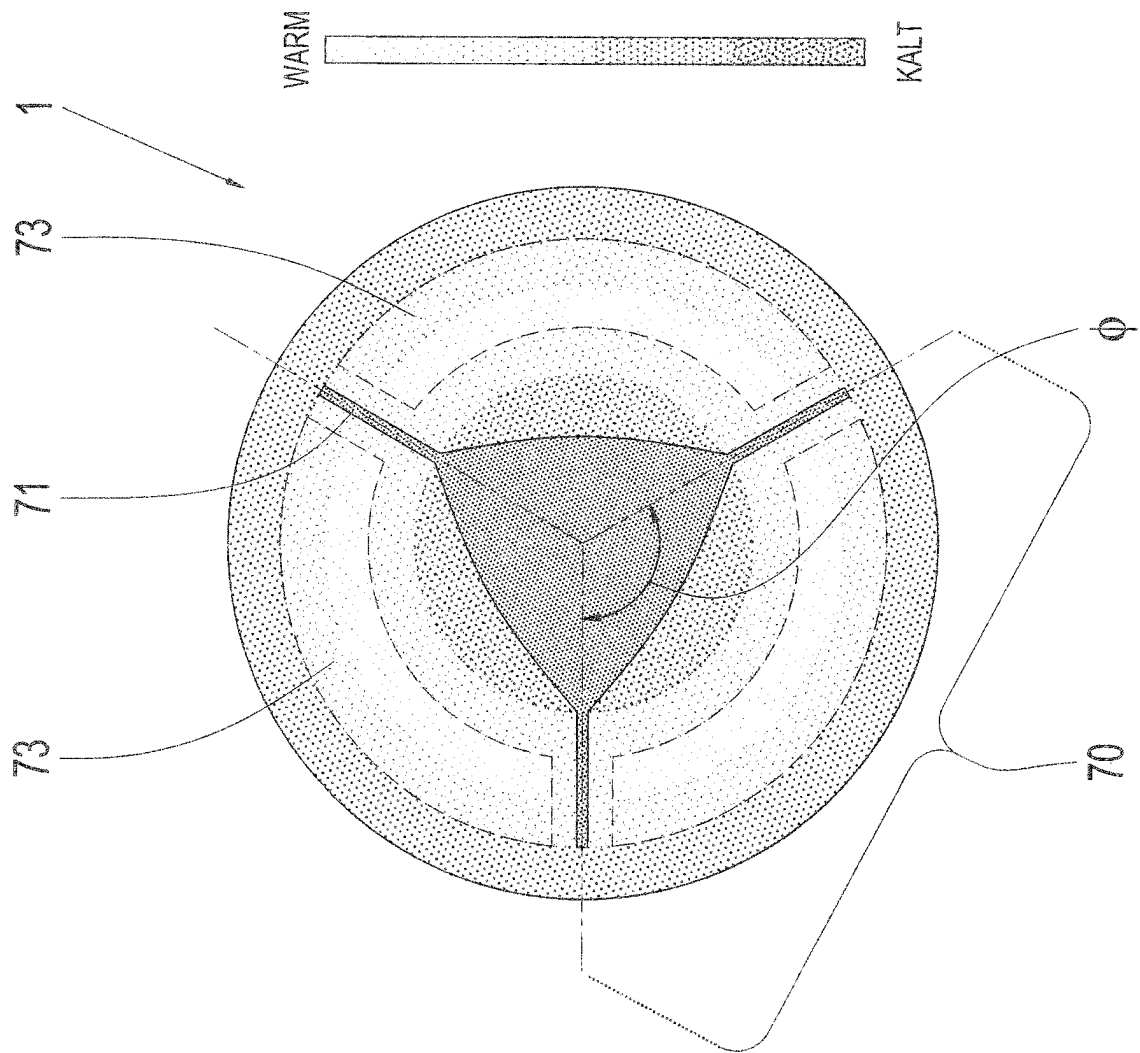


Fig. 9

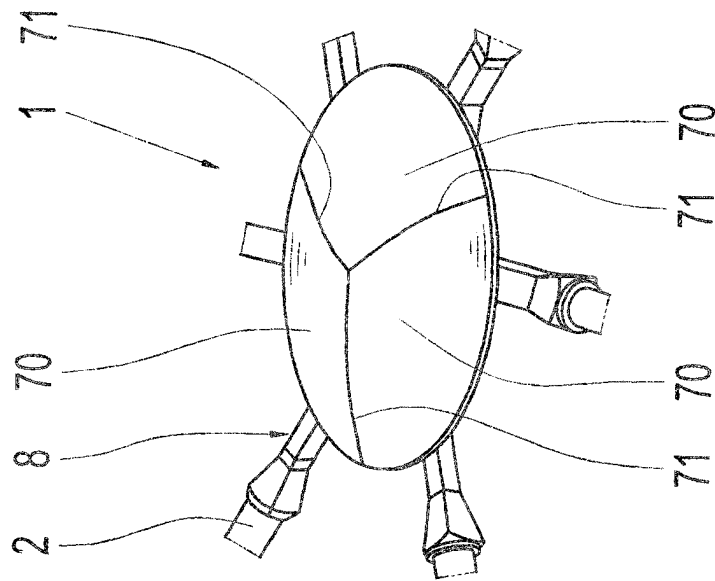


Fig. 10