



(19)
Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 697 25 942 T2** 2004.09.02

(12) **Übersetzung der europäischen Patentschrift**

(97) **EP 0 825 706 B1**

(21) Deutsches Aktenzeichen: **697 25 942.0**

(96) Europäisches Aktenzeichen: **97 306 332.4**

(96) Europäischer Anmeldetag: **20.08.1997**

(97) Erstveröffentlichung durch das EPA: **25.02.1998**

(97) Veröffentlichungstag

der Patenterteilung beim EPA: **05.11.2003**

(47) Veröffentlichungstag im Patentblatt: **02.09.2004**

(51) Int Cl.⁷: **H02K 55/04**

H01F 6/04, H01F 6/06

(30) Unionspriorität:

702879 23.08.1996 US

(73) Patentinhaber:

General Electric Co., Schenectady, N.Y., US

(74) Vertreter:

Voigt, R., Dipl.-Ing., Pat.-Anw., 65239 Hochheim

(84) Benannte Vertragsstaaten:

CH, DE, FR, GB, LI

(72) Erfinder:

**Herd, Kenneth Gordon, Schenectady, New York
12309, US; Laskaris, Evangelos Trifon,
Schenectady, New York 12309, US**

(54) Bezeichnung: **Anordnung zum Kühlen einer supraleitenden Wicklung**

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach der Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents kann jedermann beim Europäischen Patentamt gegen das erteilte europäische Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch ist schriftlich einzureichen und zu begründen. Er gilt erst als eingelegt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist (Art. 99 (1) Europäisches Patentübereinkommen).

Die Übersetzung ist gemäß Artikel II § 3 Abs. 1 IntPatÜG 1991 vom Patentinhaber eingereicht worden. Sie wurde vom Deutschen Patent- und Markenamt inhaltlich nicht geprüft.

Beschreibung

[0001] Die Erfindung bezieht sich allgemein auf Supraleitfähigkeit und insbesondere auf die Kühlung einer supraleitenden Spule in einer supraleitenden Einrichtung.

[0002] Supraleitende Einrichtungen enthalten, ohne darauf beschränkt zu sein, supraleitende Rotoren für elektrische Synchronmaschinen, wie beispielsweise Generatoren und Motoren, und supraleitende Magnete für MRI (Magnetresonanz-Bildgebung)-Maschinen, Maglev(Magnetschwebe)-Transportsysteme, magnetische Energiespeichervorrichtungen und Linearmotoren. Die supraleitende Spule oder die Spulen in einer supraleitenden Einrichtung sind aus einem supraleitenden Material, wie beispielsweise Niob-Zinn hergestellt, das eine Temperatur an oder unter einer kritischen Temperatur erfordert, um Supraleitfähigkeit zu erreichen und beizubehalten. Kühltechniken umfassen die Kühlung einer mit Epoxid getränkten Spule durch eine feste Leitungsbahn aus einem Kryo-Kühler oder durch Kühlröhren, die ein flüssiges und/oder gasförmiges Kryogen enthalten, und kühlen eine poröse Spule (oder sogar eine mit Epoxid getränkte Spule) durch Eintauchen in ein flüssiges und/oder gasförmiges Kryogen. Die supraleitende Spule ist von einem Vakuummantel umgeben, und zwischen der supraleitenden Spule und dem Vakuummantel ist wenigstens eine thermische Abschirmung hinzugefügt.

[0003] Bekannte Supraleiter-Rotorkonstruktionen umfassen solche, wie den Supraleiter-Rotor, der in US-A-5,532,663 beschrieben ist, die eine ovale bzw. rennstreckenförmige supraleitende Spule haben, die mit einer extrudierten Wärmestation in Kontakt ist, die einen Innenkanal aufweist, der gasförmiges Helium bei einer Temperatur von zehn Kelvin enthält. Die supraleitende Spule ist von einer im Abstand angeordneten thermischen Abschirmung umgeben, die durch Kontakt mit einer Kühlmittelröhre gekühlt wird, die gasförmiges Helium bei einer Temperatur von zwanzig Kelvin enthält. Die thermische Abschirmung ist im Abstand von einem Vakuummantel angeordnet und von diesem umgeben. Was benötigt wird, ist eine supraleitende Einrichtung mit einer verbesserten Kühlanordnung für ihre supraleitende Spule oder Spulen.

[0004] Es ist eine Aufgabe der Erfindung, eine supraleitende Einrichtung bereitzustellen, die durch ein Kühlmittelrohr gekühlt wird, das ein kryogenes Fluid enthält.

[0005] Die supraleitende Einrichtung gemäß Erfindung enthält einen Vakuummantel, der eine Innenwand aufweist, die eine im allgemeinen ringförmige Kammer umgibt, die eine supraleitfähige Spule enthält, ein im allgemeinen ringförmig angeordnetes Blech aus thermisch leitfähigem Material, ein im allgemeinen ringförmig angeordnetes Kühlmittelrohr und eine im allgemeinen ringförmig angeordnete Spulenüberwicklung. Die nach innen gerichtete Oberfläche von dem Blech ist mit der gesamten nach

aussen gerichteten Oberfläche von der supraleitfähigen Spule im allgemeinen in Kontakt. Das Kühlmittelrohr kontaktiert einen im allgemeinen in Umfangsrichtung verlaufenden Abschnitt von der nach aussen gerichteten Fläche des Bleches. Das Kühlmittelrohr und die nach innen gerichtete Fläche von der Spulenüberwicklung kontaktieren zusammen die im allgemeinen gesamte nach aussen gerichtete Fläche von dem Blech.

[0006] In einem bevorzugten Ausführungsbeispiel nimmt das Vakuum den gesamten Kammerabschnitt zwischen der nach innen gerichteten Fläche von der supraleitfähigen Spule und der Innenwand ein. In einem Ausführungsbeispiel sind die zwei Stromleiter der supraleitfähigen Spule in thermischer Verbindung innerhalb der Kammer des Vakuummantels mit der äusseren Fläche von dem Auslassende des Kühlmittelrohres.

[0007] Mit der Erfindung sind mehrere Nutzen und Vorteile erzielbar. Das Kühlmittelrohr kann auf einfache Weise ringförmig angeordnet werden (beispielsweise durch Biegen), während dies bei der zuvor genannten bekannten Wärmestation mit einem Kühlmittelkanal nicht der Fall ist. Indem das bevorzugte Vakuum den Kammerabschnitt zwischen der nach innen gerichteten Fläche von der supraleitfähigen Spule und der Innenwand vollständig einnimmt, wird die teure übliche thermische Abschirmung eliminiert, insbesondere für Hochtemperatur-Supraleiter. Indem die zwei Stromleiter in thermischer Verbindung mit der äusseren Fläche von dem Auslassende des Kühlmittelrohres angeordnet werden, wird ermöglicht, dass 10–15% mehr elektrischer Strom in die supraleitende Spule fließt – ohne Löschen (d. h. Verlust der Supraleitfähigkeit) aufgrund von Leiterüberhitzung.

[0008] Die beigefügten Zeichnungen stellen ein bevorzugtes Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung dar, wobei:

[0009] **Fig. 1** eine schematische Seitenansicht von einem ersten bevorzugten Ausführungsbeispiel der supraleitenden Einrichtung gemäß der Erfindung ist, wobei die supraleitende Einrichtung ein supraleitender Rotor ist;

[0010] **Fig. 2** ein schematischer Seitenschnitt entlang Linien 2-2 in **Fig. 1** ist und ein bevorzugtes Ausführungsbeispiel zur Kühlung der supraleitfähigen Spule zeigt; und

[0011] **Fig. 3** ein schematischer Seitenschnitt entlang den Linien 3-3 in **Fig. 1** ist und ein bevorzugtes Ausführungsbeispiel auch zum Kühlen der zwei Stromleiter in der supraleitfähigen Spule zeigt.

[0012] Es wird nun auf die Zeichnungen Bezug genommen, wobei gleiche Bezugszahlen gleiche Elemente darstellen. **Fig. 1–3** zeigen ein erstes Ausführungsbeispiel von der supraleitfähigen Einrichtung gemäß der Erfindung, wobei die supraleitende Einrichtung ein supraleitender Rotor **10** mit einer Drehachse **12** ist. Es sei darauf hingewiesen, dass die supraleitende Einrichtung gemäß der Erfindung nicht auf einen Rotor beschränkt ist, sondern jede supralei-

tende Einrichtung, wie beispielsweise, ohne darauf beschränkt zu sein, supraleitende Magnete für MRI (Magnetresonanz-Bildgebung)-Maschinen, Maglev (Magnetschwebe)-Transportsysteme, magnetische Energiespeichervorrichtungen und Linearmotoren enthalten kann. Vorzugsweise ist der supraleitende Rotor **10** für eine elektrische Synchronmaschine, wie beispielsweise einen Generator oder Motor, vorgesehen. Es sei darauf hingewiesen, dass übliche Generatoren und Motoren nachgerüstet werden können, damit ihre nicht-supraleitenden Rotoren durch den supraleitenden Rotor **10** gemäß der Erfindung ersetzt werden.

[0013] Die supraleitende Einrichtung (d. h. der supraleitende Rotor **10**), wie sie in den **Fig. 1–3** gezeigt ist, enthält einen Vakuummantel **14** mit einer Innenwand **16**, die eine im allgemeinen ringförmige Kammer **18** umgibt. Die Kammer **18** hat eine im allgemeinen longitudinal verlaufende Achse **20** und enthält ein Vakuum mit einem Druck, der im allgemeinen 0,133 Pa (ein-Tausendstel Torr) nicht überschreitet. Die Auslegung des Vakuummantels **14** ist dem Fachmann überlassen. Der in den **Fig. 2** und **3** gezeigte Vakuummantel **14** hat eine monolithische Vakuummantelkonstruktion. Andere Vakuummantelkonstruktionen umfassen, ohne Einschränkung, einen Vakuummantel (in den Figuren nicht gezeigt), der einen Eisenkern, der den geraden Abschnitt von der der Längsachse **20** nächst gelegenen Innenwand **16** einschließt, ein Polstück aus Aluminium, das an dem Eisenkern befestigt ist und die übrigen Abschnitte von der Innenwand **16** einschließt, und eine umgebende elektromagnetische Abschirmung aus Aluminium hat, wobei der Eisenkern, das Aluminium-Polstück und die elektromagnetische Aluminium-Abschirmung jeweils mehrere Teile aufweisen können.

[0014] Der supraleitende Rotor **10** enthält auch eine supraleitfähige Spule **22**, die in der Kammer **18** im allgemeinen koaxial ausgerichtet mit der Längsachse **20** und im allgemeinen im Abstand von der Innenwand **16** angeordnet ist. Die supraleitfähige Spule **22** hat eine nach aussen gerichtete Umfangsfläche **24** und eine nach innen gerichtete Umfangsfläche **26**. In einem Ausführungsbeispiel ist die supraleitfähige Spule **22** eine ovale bzw. rennstreckenförmige supraleitfähige Spule, und die Drehachse **12** von dem supraleitenden Rotor **10** ist im allgemeinen senkrecht zu der Längsachse **20** der Kammer **18** ausgerichtet. Es sei darauf hingewiesen, daß „oval bzw. rennstreckenförmig“ gerade Abschnitte aufweist, die durch abgerundete Ecken verbunden sind. Der in **Fig. 2** gezeigte supraleitende Rotor **10** ist ein zweipoliger Rotor. Die supraleitende Einrichtung gemäß der Erfindung in der Form von dem supraleitenden Rotor **10** gemäß **Fig. 2** ist auch auf andere Rotortypen anwendbar, wie beispielsweise vielpolige Rotoren (in den Figuren nicht gezeigt), die mehrere in Umfangsrichtung in Abstand angeordnete ovale bzw. rennstreckenförmige supraleitfähige Spulen haben, deren Längsachsen im allgemeinen senkrecht zu der Dreh-

achse des Rotors angeordnet sind. Es sei darauf hingewiesen, dass die Nebenachse von jeder supraleitfähigen Spule von einem vielpoligen Rotor im allgemeinen parallel zu der Umfangsrichtung der Bewegung der Spule um die Drehachse herum angeordnet ist, während die Nebenachse von der supraleitenden Spule **22** des in **Fig. 2** gezeigten zweipoligen Rotors **10** (oder eines ähnlich aufgebauten vielpoligen Rotors) im allgemeinen senkrecht zu der Umfangsrichtung der Bewegung der Spule **22** um die Drehachse **12** herum angeordnet ist. Vorzugsweise ist die supraleitfähige Spule **22** eine BSCCO (Wismuth-Strontium-Kalzium-Kupfer-Oxid) supraleitfähige Spule.

[0015] Der supraleitende Rotor **10** enthält zusätzlich ein im allgemeinen ringförmig angeordnetes Blech **28** aus thermisch leitfähigem Material mit einem Koeffizienten der thermischen Leitfähigkeit, der wenigstens gleich demjenigen von Kupfer bei einer Temperatur von im allgemeinen 50 Kelvin ist. Das Blech **28** ist der in Kammer **18** angeordnet, ist im allgemeinen koaxial mit der Längsachse **20** ausgerichtet und ist im Abstand von der Innenwand **16** angeordnet. Das Blech **28** kann ein einschichtiges oder ein vielschichtiges Blech sein und hat eine Dicke (entlang einer Richtung senkrecht zur der Drehachse **12** und der Längsachse **20**), die kleiner als im allgemeinen einem Zehntel der Dicke (entlang einer Richtung senkrecht zu der Drehachse **12** (und der Längsachse **20**) der supraleitfähigen Spule **22** ist. Der Mantel **28** hat eine nach aussen gerichtete Umfangsfläche **30** und eine nach innen gerichtete Umfangsfläche **32**, wobei die nach innen gerichtete Fläche **32** von dem Mantel **28** im allgemeinen die gesamte nach aussen gerichtete Fläche **24** von der supraleitfähigen Spule **22** kontaktiert. Das Blech **28** ist vorzugsweise ein OFHC (sauerstofffreies Hartkupfer-) Kupferblech.

[0016] Der supraleitende Rotor **10** enthält darüber hinaus ein im allgemeinen ringförmig angeordnetes Kühlmittelrohr **34**, das ein kryogenes Fluid **36** mit einer kryogenen Temperatur enthält (d. h. eine Flüssigkeit und/oder ein Gas mit einer genügend niedrigen Temperatur, damit sich die supraleitfähige Spule **22** supraleitend verhält). Das Kühlmittelrohr **34** ist in der Kammer **18** angeordnet, ist im allgemeinen koaxial mit der Längsachse **20** ausgerichtet und ist im allgemeinen im Abstand von der Innenwand **16** angeordnet. Das Kühlmittelrohr **34** kontaktiert einen im allgemeinen in Umfangsrichtung verlaufenden Abschnitt von der nach aussen gerichteten Fläche **30** des Bleches **28**. Vorzugsweise ist das Kühlmittelrohr **34** ein Kühlmittelrohr aus rostfreiem Stahl, das an dem Mantel **28** angelötet bzw. angeschweißt ist. In einem Ausführungsbeispiel weist das kryogene Fluid gasförmiges Helium bei einer Temperatur zwischen im allgemeinen 15 Kelvin und im allgemeinen 50 Kelvin auf.

[0017] Der supraleitende Rotor **10** enthält ferner eine im allgemeinen ringförmig angeordnete Spulenüberwicklung **38** aus thermisch isolierendem Material mit einem Koeffizienten der thermischen Leitfähigkeit, der nicht größer als derjenige von Glasfaser bei

einer Temperatur von allgemeinen 50 Kelvin ist. Die Spulenüberwicklung **38** ist in der Kammer **18** angeordnet, ist im allgemeinen koaxial mit der Längsachse **20** ausgerichtet und ist im allgemeinen im Abstand von der Innenwand **16** angeordnet. Die Spulenüberwicklung **38** hat eine nach aussen gerichtete Umfangsfläche **40** und eine nach innen gerichtete Umfangsfläche **42**. Die Spulenüberwicklung **38** umgibt im allgemeinen in Umfangsrichtung die nach aussen gerichtete Fläche **30** von dem Blech **28**. Das Kühlmittelrohr **34** und die nach innen gerichtete Fläche **42** von der Spulenüberwicklung **38** kontaktieren gemeinsam im allgemeinen die gesamte nach aussen gerichtete Fläche **30** von dem Mantel **28**. Die Spulenüberwicklung **38** hilft, den Mantel **28** festzuhalten, damit er nicht während der Rotation des supraleitenden Rotors **10** von der nach aussen gerichteten Fläche **24** der supraleitfähigen Spule **22** abhebt. Vorzugsweise ist die Spulenüberwicklung **38** eine mit Epoxid getränkte vielschichtige Glasfasergewebe-Spulenüberwicklung (mit einer einzelnen Schichtdicke von 0,076 bis 0,127 mm (0,003 bis 0,005 Zoll)), die die frei liegenden Abschnitte von dem Kühlmittelrohr **34** vollständig überdeckt. Es sei darauf hin gewiesen, dass das Kupferblech **28** mit einem üblichen Oxidhemmer behandelt sein kann, um die Verbindung mit der Spulenüberwicklung **38** zu verbessern. In einer bevorzugten Konstruktion ist das Kupferblech **28** mit einer Anzahl von Durchgangslöchern (in den Figuren nicht gezeigt) von dem Bereich weg versehen, der für das Kühlmittelrohr **34** aus rostfreiem Stahl vorgesehen ist, und ist in eine allgemeine ringförmige Anordnung gebogen; das Kühlmittelrohr **34** aus rostfreiem Stahl ist in eine im allgemeinen ringförmige Anordnung gebogen und ist an dem Kupferblech **28** angelötet bzw. angeschweisst; das Kupferblech **28** ist über der supraleitfähigen Spule **22** angeordnet; das Glasfasergewebe ist um die nach aussen gerichtete Fläche **30** von dem Kupferblech **28** gewickelt (und auch um das Kühlmittelrohr **34** aus rostfreiem Stahl), um eine im allgemeinen ringförmig angeordnete Spulenüberwicklung **38** zu bilden; das Epoxid ist direkt auf die zugänglichen Bereiche von der supraleitfähigen Spule **22** und das gewickelte Glasfasergewebe aufgebracht, wobei ein gewisser Teil von dem Epoxid von dem Glasfasergewebe die supraleitfähige Spule **22** über die Durchgangslöcher in dem Mantel **28** erreicht. Somit ist ersichtlich, dass vorzugsweise die supraleitfähige Spule **22**, der Mantel **28**, das Kühlmittelrohr **34** und die Spulenüberwicklung **38** gemeinsam als eine einzelne Rotor-Untereinrichtung **44** mit Epoxid getränkt sind.

[0018] Die Kammer **18** hat einen Kammerabschnitt **46**, der sich zwischen und zu der nach innen gerichteten Fläche **26** der supraleitfähigen Spule **22** und zur Innenwand **16** erstreckt, und das Vakuum nimmt den gesamten Kammerabschnitt **46** ein. Somit gibt es keine thermische Abschirmung zwischen der supraleitfähigen Spule **22** und dem Vakuummantel **14**, insbesondere für Hochtemperatur-Supraleiter, wie bei-

spielsweise BSCCO. Es sei darauf hingewiesen, dass eine thermische Abschirmung möglicherweise für einen Halbleiter mit niedrigerer Temperatur, wie beispielsweise Nb₃Sn (Niob-Zinn), erforderlich sein kann.

[0019] Wie in **Fig. 3** gezeigt ist, hat die supraleitfähige Spule **22** zwei Stromleiter **48** und **50**, das Kühlmittelrohr **34** hat ein Einlassende **52** und ein Auslassende **54** und das Auslassende **54** hat eine Aussenfläche **56**. In einem Ausführungsbeispiel sind die zwei Stromleiter **48** und **50** der supraleitfähigen Spule **22** in thermischer Verbindung, innerhalb der Kammer **18** des Vakuummantels **14**, mit der Aussenfläche **56** von dem Auslassende **54** des Kühlmittelrohrs **34**. Da die Stromleiter **48** und **50** üblicherweise ohne elektrische Isolation sind, ist ein Block **57** aus dielektrischem, aber thermisch leitfähigem, Material (wie beispielsweise Berylliumoxid) in Stosskontakt zwischen dem Auslassende **54** von dem Kühlmittelrohr **34** und den zwei Stromleitern **48** und **50** angeordnet.

[0020] Die Rotor-Untereinrichtung **44** (d. h. die durch Epoxid verbundene supraleitfähige Spule **22**, das Blech **28**, das Kühlmittelrohr **34** und die Spulenüberwicklung **38**) ist in der Kammer **18** im Abstand von der Innenwand **16** durch eine Positioniereinrichtung angeordnet. Vorzugsweise ist diese Positioniereinrichtung eine Honigwabenvorrichtung **58** mit einem Koeffizienten der thermischen Leitfähigkeit, der im allgemeinen nicht größer als derjenige von Glasfaser bei einer Temperatur von im allgemeinen 50 Kelvin ist. Es ist bevorzugt, dass die Honigwabenvorrichtung **58** mehrere im allgemeinen identische Zellen mit einer gemeinsamen offenen Richtung **60** hat, die senkrecht zu sowohl der Drechachse **12** als auch der Längsachse **20** ist. In einem Ausführungsbeispiel ist die Honigwabenvorrichtung **58** eine faserverstärkte Epoxid(FRE)-Verbundwabenstruktur, deren Abstand zwischen gegenüberliegenden Seiten von einer Zelle in dem Bereich zwischen im allgemeinen 1 Millimeter und im allgemeinen 1 Zentimeter liegt. In einem konstruktiven Ausführungsbeispiel erstreckt sich die Honigwabenvorrichtung **58** zwischen und bis zur nach aussen gerichteten Fläche **40** der Spulenüberwicklung **38** und der Innenwand **16** von dem Vakuummantel **14**. Vorzugsweise weist die Honigwabenvorrichtung **58** im Abstand angeordnete Honigwabenblöcke auf.

[0021] Es sei darauf hingewiesen, dass der Vakuummantel **14** eine äussere Fläche **62** in Kontakt mit Umgebungsluft **64** bei Umgebungstemperatur hat. Diese Umgebungstemperatur wird während des Betriebs des supraleitenden Rotors **10** ansteigen, wie es für den Fachmann ohne weiteres klar ist. Die Honigwabenvorrichtung **58** bildet Mittel, um die supraleitende Spule **22**, bei Umgebungstemperatur, nach innen in Richtung auf die Längsachse **20** mit einer ersten Druckkraft zu drücken und, bei kryogener Temperatur, die supraleitfähige Spule **22** nach innen auf Richtung der Längsachse **20** mit einer zweiten Druckkraft zu drücken, die kleiner als die erste Druckkraft

ist. Eine andere Positioniereinrichtung und/oder Druckeinrichtung enthält Federn, Befestigungsbolzen und ähnliches, wie es für den Fachmann bekannt ist. Ein bevorzugtes Verfahren (in den Figuren nicht gezeigt) zum Zusammendrücken der supraleitfähigen Spule **22** unter Verwendung der Honigwabenvorrichtung **58** beinhaltet die Verwendung einer Klemmhalterung während der Rotormontage. Die Klemmhalterung (die auf einfache Weise erhalten oder durch den Fachmann gemacht werden kann) verwendet Bolzen, um einen Stab auf die supraleitfähige Spule **22** nach unten zu drücken, der sie zusammenpresst. Dann wird die nichtzusammengedrückte Honigwabenvorrichtung **58** in der Kammer **18** angeordnet. Als nächstes werden die Bolzen durch Löcher in dem Vakuummantel **14** heraus genommen, wobei diese Löcher später überdeckt werden (wie beispielsweise mit einer umgebenden elektromagnetischen Abschirmung aus Aluminium). Die Entfernung der Bolzen bewirkt, dass sich die supraleitfähige Spule **22** leicht ausdehnt, wodurch die Spulenüberwicklung **38** gegen die Honigwabenvorrichtung **58** geschoben wird, so daß die Honigwabenvorrichtung **58** die supraleitfähige Spule **22** unter Druck hält. Der Druck ist kleiner bei kälteren (z. B. kryogenen) Temperaturen wegen unterschiedlicher Koeffizienten der thermischen Kontraktion für die zuvor angegebenen bevorzugten Materialien, die die verschiedenen Komponenten des supraleitenden Rotors **10** bilden, wie es für den Fachmann ohne weiteres klar ist. Es sei darauf hingewiesen, dass die nicht-zusammengedrückte Honigwabenvorrichtung **58** mit einem üblichen kryogenen Zweikomponenten – Epoxid beschichtet sein kann, bevor sie in der Kammer **18** angeordnet wird, wenn erwartete Scherkräfte eine derartige Epoxid-Bindung zwischen der Honigwabenvorrichtung **58** und der Innenwand **16** von dem Vakuummantel **14** und/oder zwischen der Honigwabenvorrichtung **58** und der nach aussen gerichteten Fläche **40** der Spulenüberwicklung **38** erfordern würden.

[0022] Im Betrieb wird die Wärme, die entlang der Positioniervorrichtung (z. B. Honigwabenvorrichtung **58**) von der warmen Aussenfläche **62** des Vakuummantels **14** geleitet wird, an dem Kupferblech **28** (die als ein Wärmetauscher wirkt) abgefangen, bevor die Wärme die supraleitfähige Spule **22** erreicht, und die Wärme wird entlang dem Kupferblech **28** zum Kühlmittelrohr **34** geleitet. Wärme, die direkt zur supraleitfähigen Spule **22** abgestrahlt wird oder durch Widerstandsverluste innerhalb der supraleitfähigen Spule **22** erzeugt wird, wird zum Kupferblech **28** geleitet, wo sie auf wirksame Weise zum Kühlmittelrohr **34** geleitet wird. Da die supraleitfähige Spule **28** in den Querrichtungen (d. h. in anderen Richtungen als entlang dem Leiter) eine kleine thermische Leitfähigkeit hat, dient das Kupferblech **28** als eine Bahn mit kleinem Widerstand für zu leitende Wärme von der Aussenfläche der supraleitfähigen Spule **22** zum Kühlmittelrohr **34**, wodurch die Temperaturgradienten innerhalb der supraleitfähigen Spule **22** minimiert werden. Die Ver-

wendung von Kupfer für den Mantel **28** gestattet, dass er gebogen werden kann, um sich an die Aussenfläche **24** von der supraleitfähigen Spule **22** anzupassen. Die Verwendung von rostfreiem Stahl für das Kühlmittelrohr **34** gestattet, dass es gebogen und zusammengeschweisst werden kann, um mit dem im allgemeinen ringförmig angeordneten Blech **28** übereinzustimmen. Die Verwendung von Glasfasergewebe in der Spulenüberwicklung **38** gestattet, dass sie sich auf einfache Weise an die freiliegenden Flächen von dem Kupfermantel **28** und dem aus rostfreiem Stahl bestehenden Kühlmittelrohr **34** während des „trockenen“ Wickelns anpasst, und die Verwendung von Epoxid zum Tränken des gewickelten Glasfasergewebes bildet eine robuste mechanische Spulenüberwicklung **38**. Indem die supraleitfähige Spule **22** mit der Honigwabenvorrichtung **58** unter Druck gehalten wird, wird die im Abstand angeordnete Positionierung der supraleitfähigen Spule **22** in der Kammer **18** beibehalten. Das thermische Verbinden der zwei Stromleiter **48** und **50** mit dem Auslassende **54** von dem Kühlmittelrohr **34** gestattet die Verwendung eines höheren Stromanstiegs ohne übermäßige Erwärmung.

Patentansprüche

1. Supraleitende Einrichtung (**10**) enthaltend:

- a) einen Vakuummantel (**14**) mit einer Innenwand (**16**), die eine im allgemeinen ringförmige Kammer (**18**) umgibt, wobei die Kammer eine im allgemeinen longitudinale Achse (**20**) hat und wobei die Kammer ein Vakuum mit einem Druck enthält, der nicht höher als im allgemeinen 0,133 Pa ist,
- b) eine supraleitfähige Spule (**22**), die in der Kammer angeordnet ist, mit der Längsachse im allgemeinen longitudinal ausgerichtet ist, von der Innenwand im allgemeinen im Abstand angeordnet ist, eine nach aussen gerichtete Umfangsfläche (**24**) und eine nach innen gerichtete Umfangsfläche (**26**) aufweist,
- c) ein im allgemeinen ringförmig angeordnetes Blech (**28**) aus thermisch leitfähigem Material mit einem Koeffizienten der thermischen Leitfähigkeit, der wenigstens gleich demjenigen von Kupfer bei einer Temperatur von im allgemeinen 50° Kelvin ist, das in der Kammer angeordnet ist, im allgemeinen coaxial mit der Längsachse ausgerichtet ist, eine nach aussen gerichtete Umfangsfläche (**30**) und eine nach innen gerichtete Umfangsfläche (**32**) aufweist, wobei die nach innen gerichtete Fläche des Bleches im allgemeinen mit der gesamten nach aussen gerichteten Fläche der supraleitfähigen Spule in Kontakt ist,
- d) ein im allgemeinen ringförmig angeordnetes Kühlmittelrohr (**34**), das ein kryogenes Fluid (**36**) mit einer kryogenen Temperatur enthält, in der Kammer angeordnet ist, mit der Längsachse im allgemeinen ausgerichtet ist und im allgemeinen im Abstand von der Innenwand angeordnet ist, wobei das Kühlmittelrohr mit einem im allgemeinen in Umfangsrichtung verlaufenden Abschnitt von der nach aussen gerichteten

Fläche des Bleches in Kontakt ist, und
e) eine im allgemeinen ringförmig angeordnete Spulenüberwicklung **(38)** aus thermisch isolierendem Material mit einem Koeffizienten der thermischen Leitfähigkeit, der nicht grösser als derjenige von Glasfaser bei einer Temperatur von im allgemeinen 50°Kelvin ist, die in der Kammer angeordnet ist, mit der Längsachse im allgemeinen longitudinal ausgerichtet ist, von der Innenwand im allgemeinen im Abstand angeordnet ist, eine nach aussen gerichtete Umfangsfläche **(40)** und eine nach innen gerichtete Umfangsfläche **(42)** aufweist, wobei die Spulenüberwicklung die nach aussen gerichtete Fläche des Bleches im allgemeinen in Umfangsrichtung umgibt, wobei das Kühlmittelrohr und die nach innen gerichtete Fläche der Spulenüberwicklung zusammen mit der gesamten nach aussen gerichteten Fläche des Bleches in Kontakt sind und wobei die supraleitfähige Spule, das Blech und die Spulenüberwicklung vollständig aussenseitig von dem Kühlmittelrohr angeordnet sind.

2. Supraleitende Einrichtung nach Anspruch 1, wobei die supraleitfähige Spule zwei Stromleiter **(48, 50)** hat, das Kühlmittelrohr ein Einlassende **(52)** und ein Auslassende **(54)** hat, wobei das Auslassende eine Aussenfläche **(56)** hat und wobei die zwei Stromleiter der supraleitfähigen Spule in der Kammer des Vakuummantels mit der Aussenfläche des Auslassendes des Kühlmittelrohres in thermischer Verbindung sind.

3. Supraleitende Einrichtung nach Anspruch 1, wobei die Kammer einen Kammerabschnitt **(46)** hat, der sich zwischen und zur nach innen gerichteten Fläche der supraleitfähigen Spule und der Innenwand erstreckt, und wobei das Vakuum den gesamten Kammerabschnitt einnimmt.

4. Supraleitende Einrichtung nach Anspruch 1, wobei der Vakuummantel eine Aussenfläche **(62)** hat, die mit Umgebungsluft bei Umgebungstemperatur in Kontakt ist.

5. Supraleitende Einrichtung nach Anspruch 4, wobei auch eine Vorrichtung **(58)** zum Pressen, bei der Umgebungstemperatur, der supraleitfähigen Spule nach innen in Richtung auf die Längsachse mit einer ersten Druckkraft vorgesehen ist.

6. Supraleitende Einrichtung nach Anspruch 5, wobei die Pressvorrichtung, bei der kryogenen Temperatur, die supraleitfähige Spule nach innen in Richtung auf die Längsachse mit einer zweiten Druckkraft drückt, die kleiner als die erste Druckkraft ist.

7. Supraleitende Einrichtung nach Anspruch 6, wobei die supraleitfähige Spule rennstreckenförmig bzw. oval ist und wobei die supraleitende Vorrichtung

ein supraleitender Rotor mit einer Drehachse **(12)** ist, die im allgemeinen senkrecht zu der Längsachse der Kammer ausgerichtet ist.

8. Supraleitende Einrichtung nach Anspruch 7, wobei das kryogene Fluid gasförmiges Helium enthält.

9. Supraleitende Einrichtung nach Anspruch 8, wobei die supraleitfähige Spule eine BSCCO (Wismuth-Strontium-Kalzium-Kupfer-Oxid) supraleitfähige Spule ist, wobei das Blech ein OFHC (sauerstofffreies Hartkupfer) Kupferblech ist, wobei das Kühlmittelrohr ein Kühlmittelrohr aus rostfreiem Stahl ist und wobei die Spulenüberwicklung eine Epoxid-getränkte Glasfasergewebe-Spulenüberwicklung ist.

10. Supraleitende Einrichtung nach Anspruch 9, wobei die Kammer einen Kammerabschnitt **(46)** hat, der sich zwischen und zur nach innen gerichteten Fläche der supraleitfähigen Spule und der Innenwand erstreckt, und wobei das Vakuum den gesamten Kammerabschnitt einnimmt.

Es folgen 3 Blatt Zeichnungen

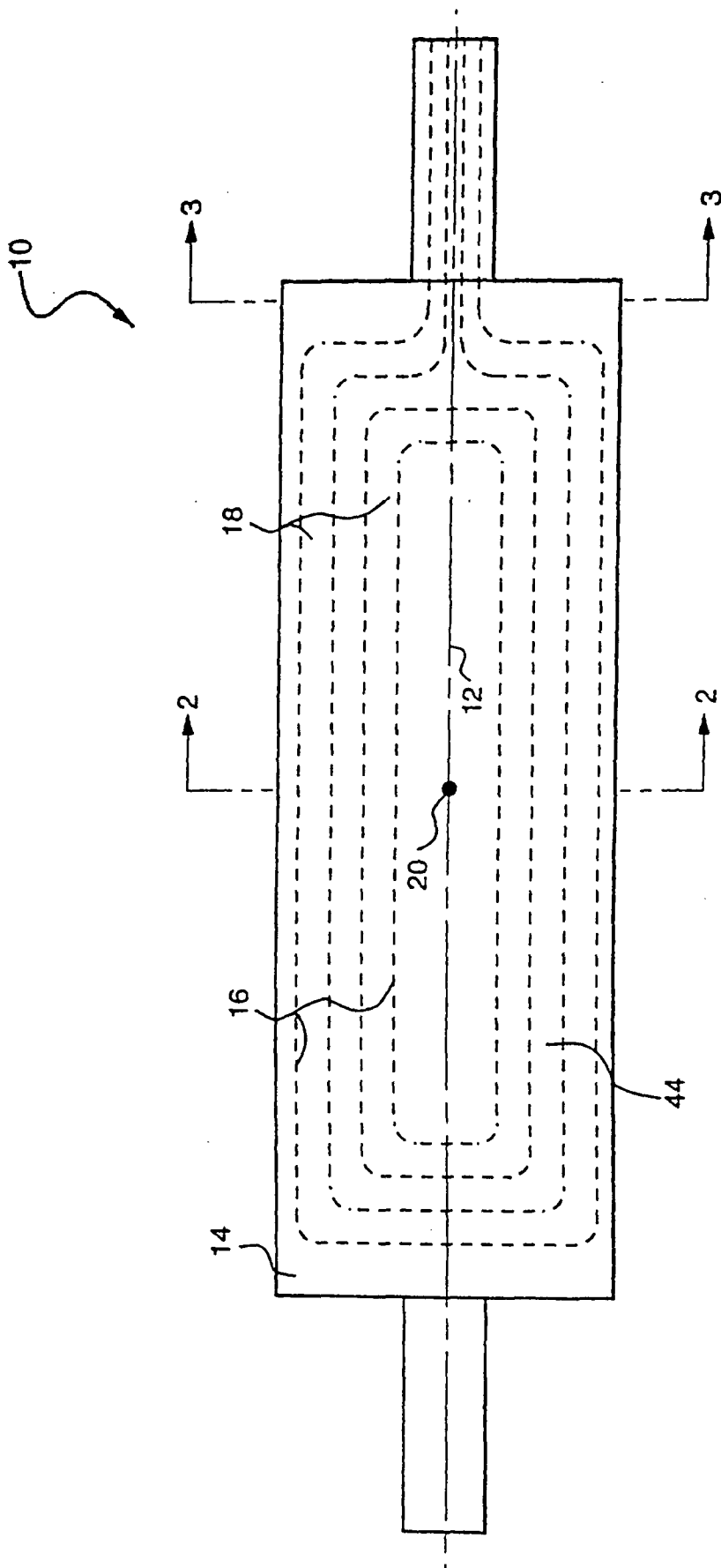


FIG. 1

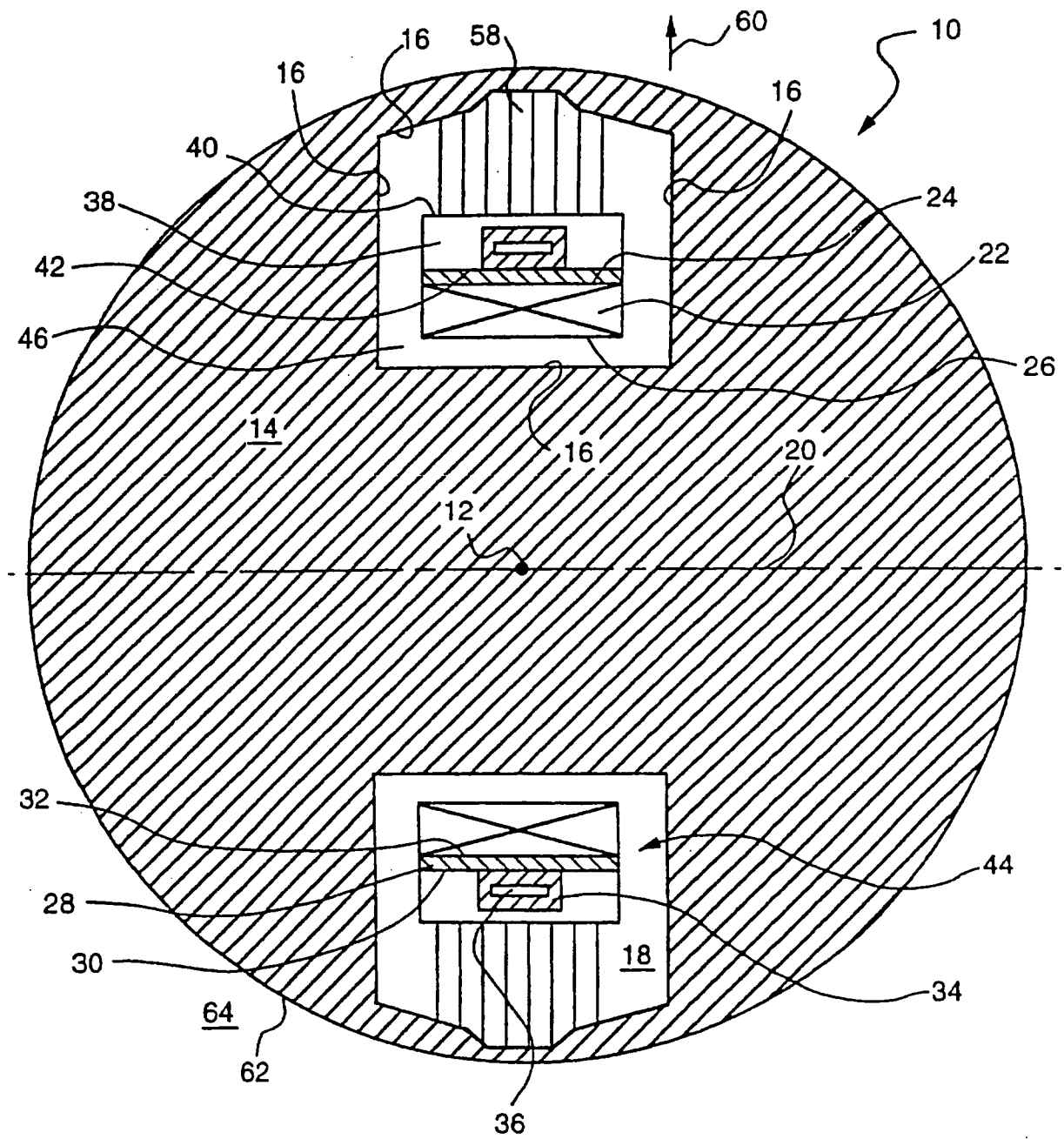


FIG. 2

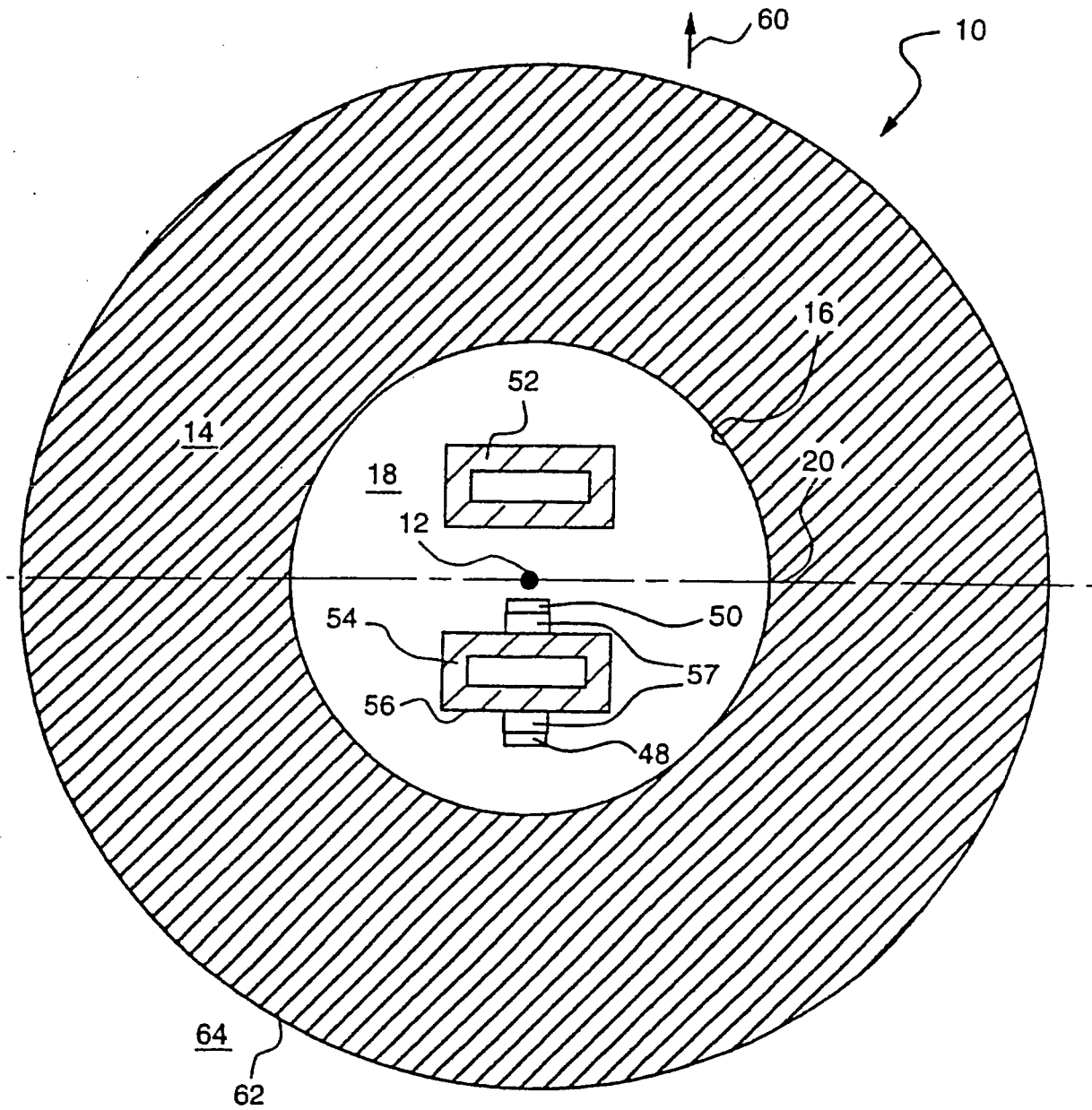


FIG. 3