



Europäisches Patentamt
European Patent Office
Office européen des brevets



(11) **EP 0 724 273 A2**

(12) **EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG**

(43) Veröffentlichungstag:
31.07.1996 Patentblatt 1996/31

(51) Int. Cl.⁶: **H01F 6/04**

(21) Anmeldenummer: **96100489.2**

(22) Anmeldetag: **15.01.1996**

(84) Benannte Vertragsstaaten:
DE FR GB

(71) Anmelder: **SIEMENS AKTIENGESELLSCHAFT**
80333 München (DE)

(30) Priorität: **27.01.1995 DE 19502549**

(72) Erfinder: **Marsing, Helmut**
D-91077 Neunkirchen (DE)

(54) **Magneteinrichtung mit forciert zu kühlender supraleitender Wicklung**

(57) Die Magneteinrichtung (2) enthält ein in einem Außengehäuse angeordnetes Spulengehäuse (16), in dem eine Wicklung (3) aus supraleitenden Leitern (10) angeordnet ist, die forciert zu kühlen sind. Erfindungsgemäß soll das Spulengehäuse (16) vakuumdicht ausgeführt und von einem Vakuumraum (22) umgeben sein und soll ein Austritt (14j) des Kühlmittels (K') nach der forcierten Führung durch die Wicklung (3) in einen zwischen der Wicklung (3) und dem Spulengehäuse (16) vorhandenen Kühlmittelbadraum (15) vorgesehen sein, aus dem dann das Kühlmittel (K') vakuumdicht abzuführen ist. Vorteilhaft werden die elektrischen Anschlußleiter (20a, 20b) der Wicklung (3) von den Kühlmittelzu- und Abführungsleitungen (18a, 18b) getrennt geführt.

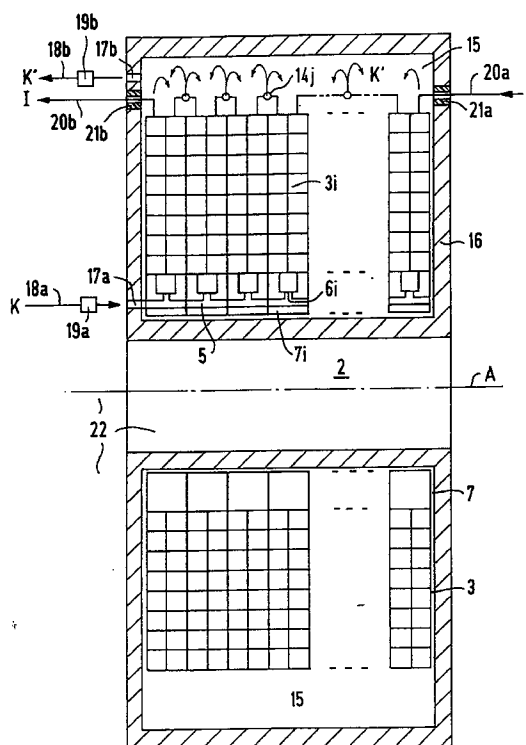


FIG 1

EP 0 724 273 A2

Beschreibung

Die Erfindung bezieht sich auf eine Magneteinrichtung mit einem in einem Außengehäuse angeordneten Spulengehäuse, mit einer in dem Spulengehäuse angeordneten Wicklung aus supraleitenden Leitern sowie mit mindestens einem Vakuumraum zur thermischen Isolation der Wicklung. Dabei weist die Wicklung mindestens einen Kühlkanal auf, durch welchen forciert ein das supraleitende Material der Leiter unterhalb deren Sprungtemperatur T_c haltendes Kühlmittel zu führen ist. Eine entsprechende Magneteinrichtung ist z.B. der EP-B-0 209 134 zu entnehmen.

Die zu kühlenden Wicklungen von Magneteinrichtungen z.B. für Anlagen zur Energiespeicherung, zur Führung von Strahlen geladener Teilchen oder zur Kernspintomographie (NMR) können insbesondere mit supraleitenden Leitern erstellt werden. Als Supraleitermaterialien werden hierfür im allgemeinen noch die sogenannten klassischen Legierungen oder Verbindungen wie z.B. NbTi bzw. Nb₃Sn vorgesehen. Seit Ende 1986 werden für derartige Wicklungen auch die neuen Hoch- T_c -Supraleitermaterialien wie z.B. auf Basis der Stoffsysteme Y-Ba-Cu-O oder Bi-Sr-Ca-Cu-O eingeplant. Während für die klassischen Supraleitermaterialien eine Helium-Kühltechnik erforderlich ist, kommt für die neuen Hoch- T_c -Supraleitermaterialien auch eine Stickstoff-Kühltechnik in Frage.

Zwei Kühltechniken zur Kühlung supraleitender Magnetwicklungen sind gebräuchlich, nämlich eine sogenannte Badkühlung oder eine sogenannte, auch als forcierte Kühlung bezeichnete Strömungskühlung (vgl. z.B. "Elektrotechnik und Informationstechnik", Bd. 109, Heft 6, 1992, Seiten 322 bis 329). Die Strömungskühlung, die bevorzugt für große Magnetwicklungen vorgesehen wird, zeichnet sich gegenüber einer Badkühlung durch eine Reihe von Vorteilen aus. Dies sind insbesondere

- ein mechanisch robusterer Wicklungsaufbau,
 - eine spannungsfestere Wicklungsisolation,
 - eine lageunabhängige Wicklungsgeometrie,
 - eine flexiblere Anpassung der Kühlleistung,
 - ein verhältnismäßig geringes Volumen des Kühlmittels und
 - die Nutzung von überkritischem einphasigen Helium im Falle einer He-Kühlung.
- Jedoch sind mit dieser Kühltechnik auch eine Reihe von Problemen verbunden, nämlich
- ein hoher Fertigungs- und Qualitätssicherungsaufwand für eine Vakuumdichtheit der gesamten Leiterlänge,
 - ein ebensolcher Aufwand auch für die benötigten elektrischen Leiterverbindungen,
 - eine große Anzahl von Potentialtrennvorrichtungen in den Kühlmittelversorgungsleitungen zu einzelnen Teilwicklungen und

- keine zusätzliche Nutzungsmöglichkeit der großen Wärmekapazität von flüssigem Helium (LHe) bei 4,2 K bei einer He-Badkühlung.

Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es, eine Magneteinrichtung der eingangs genannten Art mit einer Strömungskühlung anzugeben, bei der die vorerwähnten Probleme zumindest teilweise vermindert sind.

Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß dadurch gelöst,

- daß das Spulengehäuse vakuumdicht ausgeführt und zur thermischen Isolation von einem Vakuumraum umgeben ist,
- daß ein Austritt des Kühlmittels nach der forcierten Führung durch die Wicklung in einen zwischen der Wicklung und dem Spulengehäuse vorhandenen Kühlmittelbadraum vorgesehen ist und
- daß eine vakuumdichte Abführung des Kühlmittels aus diesem Kühlmittelbadraum vorgesehen ist.

Die Erfindung liegt dabei die Überlegung zugrunde, die benötigte Vakuumdichtheit weitestgehend auf das Spulengehäuse zu übertragen. Damit verbunden ist der Vorteil, daß die in dem Spulengehäuse untergebrachte Magnetwicklung nur eine Kühlmittelströmungsführung und -verteilung mit einer um mehrere Größenordnung geringeren Dichtheitsanforderung benötigt. Außerdem ist vorteilhaft nur eine einzige Leitung zur Rückführung des Kühlmittels aus dem Spulengehäuse erforderlich. Weiterhin ist eine oft erwünschte große Wärmekapazität von He bei 4,2 K zusätzlich verfügbar.

Vorteilhafte Ausgestaltungen der erfindungsgemäßen Magneteinrichtung gehen aus den abhängigen Ansprüchen hervor.

Die Erfindung wird nachfolgend noch weiter erläutert, wobei auf die Zeichnung Bezug genommen wird. Dabei sind in deren

Figur 1 eine erfindungsgemäß gekühlte Magneteinrichtung im Querschnitt,

Figur 2 ein einzelnes Kühlmittleinspeisungselement dieser Magneteinrichtung in Schrägansicht

und

Figur 3 ein Teilausschnitt durch eine Teilwicklung der Magneteinrichtung im Querschnitt

jeweils schematisch veranschaulicht. In den Figuren sind sich entsprechende Teile mit denselben Bezugszeichen versehen.

Supraleitende Magnetwicklungen mit forciert (Strömungs)-Kühlung sind prinzipiell bekannt (vgl. z.B. die genannte EP-B). Bei in den Figuren nicht näher ausgeführten Einzelheiten handelt es sich um gängige Teile.

Gemäß dem in Figur 1 dargestellten Ausführungsbeispiel sei eine supraleitende Wicklung 3 einer Magneteinrichtung 2 beispielsweise für einen supraleitenden magnetischen Energiespeicher angenommen. Die Wicklung 3 setzt sich dabei aus mehreren kreis-

5 scheibenförmigen, eine gemeinsame Spulenchse A umschließenden Teilwicklungen 3i (mit $1 \leq i \leq n$) zusammen. In der Figur sind nur einige dieser Teilwicklungen angedeutet. Die Teilwicklungen sind z.B. in Form von sogenannten Doppel-Pancakes mit Supraleitern

10 aufgebaut, die beispielsweise eines der bekannten klassischen Supraleitermaterialien enthalten und somit mit LHe zu kühlen sind. Zur Zuführung des entsprechenden Kühlmittels K zu den einzelnen Teilwicklungen 3i ist ein gemeinsamer Kühlmittelverteilungs- kanal 5 vorgesehen, von dem kanalartige Verbindungen 6i zu

15 jeweils mindestens einem Kühlkanal durch die jeweilige Teilwicklung 3i abgehen. Die Kühlkanäle durch die Teilwicklungen können dabei in oder an den Supraleitern selbst angeordnet oder durch Zwischenräume zwischen den Leitern ausgebildet sein. Jede Teilwicklung

20 3i ist auf einem Teilstück eines Wickelkerns 7 aufgewickelt, der vorzugsweise aus einem Kunststoff wie z.B. GFK oder CFK besteht.

Ein entsprechendes Teilstück dieses Wickelkerns 7 ist aus Figur 2 näher ersichtlich und mit 7i bezeichnet. Es ist vorteilhaft als kapselartiges Kühlmittleinspeisungselement gestaltet. Dieses Element 7i wird an einem inneren Leiterüberstieg positioniert, der bei einer Ausbildung der Teilwicklung 3i als Doppelscheibe einer

30 Pancake-Wicklung 3i beim Übergang von der einen auf die andere Scheibe vorhanden ist. Ferner wird das Element 7i mit einer Durchtrittsöffnung 5i versehen, die den entsprechenden Teil des Kühlmittelverteilungs- kanals 5 bildet. Bei der Montage der Wicklung 3 durch Aneinanderreihung der einzelnen modulartigen Teilwicklungen 3i mit ihren zugehörigen Wickelkernteilstücken 7i erhält man dann über die zueinander positionierten Durch-

35 trittsöffnungen 5i den Kühlmittelverteilungs- kanal 5, aus dem über das jeweilige kapselartige Kühlmittleinspeisungselement die Wicklung in parallelen Teilströmen forciert gekühlt werden kann. Bei der Montage der Wicklung werden die Durchtrittsöffnungen 5i zueinander abgedichtet. Damit kann vorteilhaft das Kühlmittel K die Wicklung von innen nach außen mit einem ver-

40 gleichsweise geringeren Strömungswiderstand in den vorhandenen Kühlstrecken gegenüber einem Leckage- strom durchströmen.

Wie ferner aus Figur 2 zu entnehmen ist, kann ein Supraleiter 10 vorgesehen sein, der zwei Kühlkanäle 11a und 11b aufweist, die mittels des Kühlmittleinspeisungselementes 7i mit dem Kühlmittelverteilungs- kanal 5 über die aus der Figur nicht ersichtlichen kanalartigen Verbindungen (6i) verbunden sind. Die Strömungs- richtungen des Kühlmittels K sind durch gepfeilte Linien angedeutet. Der Leiter 10 enthält einen zwischen den Kühlkanälen 11a und 11b verlaufenden supraleitenden

45 Leiterkern 12 und ist gegenüber in der Teilwicklung benachbarten Leiterteilen mittels einer Leiterbandage

13 beabstandet, eventuell auch isoliert. Diese Bandage soll in erster Linie aufblähende Magnetkräfte aufnehmen, so daß sie bei besonders großen Kräften aus Metall bestehen kann. Gegebenenfalls wird sie auch aus einem isolierenden Material wie z.B. glasfaserver-

5 stärktem Kunststoff hergestellt.

Nachdem das Kühlmittel K die einzelnen Teilwicklungen 3i forciert in radialer Richtung von innen nach außen durchströmt hat, tritt es gemäß der Darstellung

10 der Figur 1 aus der Wicklung 3 als Kühlmittel K' an Kanalöffnungen 14j in einen Kühlmittelbadraum 15 aus. Die Austrittsöffnungen 14j befinden sich zweckmäßig an den radial außen liegenden elektrischen Anschlüssen der Wicklung 3 und den elektrischen Kontaktstellen zwischen ihren benachbarten Teilwicklungen 3i. Der

15 das Kühlmittel K' aufnehmende Badraum 15 ist durch die zwischen den Außenseiten der Wicklung 3 und der Innenwand eines hochvakuumdichten, die Wicklung aufnehmenden Spulengehäuses 16 vorhandenen Zwischenräumen gebildet. Das diesen Badraum 15 ausfüllende Kühlmittel K' überflutet somit zumindest

20 grobenteils die Wicklung 3 von außen. Damit wird vorteilhaft eine zusätzliche Kühlleistung, insbesondere für strömungstechnisch ungleichmäßig versorgte Wicklungsteile, von den Außenseiten der Wicklung her erbracht.

Wie ferner aus Figur 1 hervorgeht, sind zur Einspeisung des Kühlmittels K in den Kühlmittelverteilungs- kanal 5 eine hochvakuumdichte Durchführung 17a durch die Wand des Spulengehäuses 16 und zur Abfuhrung

30 des Kühlmittels K' vorteilhaft nur eine einzige weitere hochvakuumdichte Durchführung 17b erforderlich. Zur Potentialtrennung sind in der entsprechenden Kühlmittelzuführungsleitung 18a und Kühlmittelabfuhrungs- leitung 18b jeweils ein Potentialtrenner 19a bzw. 19b vorzusehen. Der elektrische Anschluß der Wicklung 3 zur Führung eines Stromes I erfolgt davon getrennt über entsprechende Anschlußleitungen 20a und 20b, die iso-

35 liert und hochvakuumdicht an Durchführungen 21a bzw. 21b durch die Wand des Spulengehäuses 16 zu führen sind.

Das Spulengehäuse ist zur thermischen Isolation in einem Hochvakuumraum 22 angeordnet. Dieser Vakuumraum befindet sich innerhalb eines in der Figur nicht dargestellten Außengehäuses, das im allgemeinen auf Raumtemperatur liegt. Zwischen diesem Außenge-

45 häuse und dem Spulengehäuse können noch weitere thermischen Isolationsmittel wie z.B. gekühlte Strahlungsschilde, gekühlte Zwischenräume oder weitere Vakuumräume vorgesehen sein.

Figur 3 zeigt einen Ausschnitt durch eine als Doppel-Pancake gestaltete Teilwicklung 3i im Bereich ihres Wickelkernteilstücks bzw. Kühlmittleinspeisungselementes 7i. In dieser Figur sind die von dem Kühlmittelverteilungs- kanal 5 an dem Kühlmittleinspeisungs-

50 element 7 in einen einzigen Supraleiter 10 einer ersten, inneren Wicklungslage zu dessen beiden Kühlkanälen 11a und 11b führenden Verbindungs- kanäle 6a und 6b ersichtlich. Dieser Leiter 10 bildet z.B. den inneren Lei-

terüberstieg der Doppelscheibe einer Pancake-Wicklung. Ab der zweiten Wicklungslage ist die Teilwicklung 3i durch die zwei nebeneinanderliegenden Supraleiter der Doppelscheibe aufgebaut. Zwischen benachbarten Teilwicklungen ist eine für das Kühlmittel K' des Kühlmittelbadraumes 15 transparente scheibenförmige Isolation 23 vorgesehen. Gegenüber diesem Kühlmittel K' ist das Kühlmittel K in dem Kühlmittelverteilungskanal 5 abgedichtet.

Gemäß dem anhand der Figuren dargestellten Ausführungsbeispiel wurde davon ausgegangen, daß das Kühlmittel K dem Supraleiter 10 der Wicklung 3 über einen besonderen Kühlmittelverteilungskanal 5 und die voran angeordnete Kühlmittelzuführungsleitung 18a getrennt von dem mindestens einen elektrischen Anschlußleiter 20a oder 20b zugeführt wird. Gegebenenfalls kann jedoch die Kühlmittelzuführung auch über einen als Hohlleiter gestalteten elektrischen Anschlußleiter erfolgen. Dabei ist es möglich, auf einen besonderen Kühlmittelverteilungskanal zu verzichten.

Darüber hinaus sind auch Ausführungsformen von Magneteinrichtungen möglich, bei denen in den Leitungen zur Zu- und Abführung des Kühlmittels K bzw. K' die elektrischen Anschlußleitungen der Wicklung 3 verlegt sind.

Ferner läßt sich auch vorsehen, daß das Kühlmittel K erst größere Teile der Wicklung 3 oder die gesamte Wicklung forciert durchströmt, bis es in den Kühlmittelbadraum 15 gelangt. Eine derartige Kühlmittelführung bietet sich insbesondere bei nicht in diskrete Teilwicklungen unterteilte Wicklungen an. Auch in diesem Falle ist ein besonderer Kühlmittelverteilungskanal nicht erforderlich.

Selbstverständlich ist für die Magneteinrichtung nach der Erfindung auch eine Verwendung von Supraleitern mit Hoch- T_c -Supraleitermaterial, für das gegebenenfalls eine LN_2 - oder LHe-Kühltechnik vorgesehen wird, möglich.

Patentansprüche

1. Magneteinrichtung

- mit einem in einem Außengehäuse angeordneten Spulengehäuse,
- mit einer in dem Spulengehäuse angeordneten Wicklung aus supraleitenden Leitern, wobei die Wicklung mindestens einen Kühlkanal aufweist, durch welchen forciert ein das supraleitende Material der Leiter unterhalb deren Sprungtemperatur T_c haltendes Kühlmittel zu führen ist,

und

- mit mindestens einem Vakuumraum zur thermischen Isolation der Wicklung,

dadurch gekennzeichnet,

- daß das Spulengehäuse (16) vakuumdicht ausgeführt und zur thermischen Isolation von dem Vakuumraum (22) umgeben ist,
- daß ein Austritt (14j) des Kühlmittels (K') nach der forcierten Führung durch die Wicklung (3) in einen zwischen der Wicklung (3) und dem Spulengehäuse (16) vorhandenen Kühlmittelbadraum (15) vorgesehen ist

und

- daß eine vakuumdichte Abführung des Kühlmittels (K') aus diesem Kühlmittelbadraum (15) vorgesehen ist.

2. Einrichtung nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Wicklung (3) in mehrere Teilwicklungen (3i) unterteilt ist.
3. Einrichtung nach Anspruch 2, **dadurch gekennzeichnet**, daß jede Teilwicklung (3i) als Doppel-Pancake-Wicklung aufgebaut ist.
4. Einrichtung nach Anspruch 2 oder 3, **dadurch gekennzeichnet**, daß der Austritt (14j) des Kühlmittels (K') in den Kühlmittelbadraum (15) nach der forcierten Führung des Kühlmittels (K) durch jeweils mindestens eine Teilwicklung (3i) vorgesehen ist.
5. Einrichtung nach einem der Ansprüche 2 bis 4, **dadurch gekennzeichnet**, daß zur Zuführung des Kühlmittels (K) zu den einzelnen Teilwicklungen (3i) ein gemeinsamer Verteilungskanal (5) mit Verbindungen (6a, 6b; 6i) zu dem jeweils mindestens einen Kühlkanal (11a, 11b) jeder Teilwicklung (3i) vorgesehen ist.
6. Einrichtung nach Anspruch 5, **dadurch gekennzeichnet**, daß jeder Teilwicklung (3i) ein Kühlmittelspeisungselement (7i) zugeordnet ist, das den entsprechenden Teil des Verteilungskanals (5) und die Verbindung (6a, 6b; 6i) zu dem jeweils mindestens einen Kühlkanal (11a, 11b) der Teilwicklung (3i) bildet.
7. Einrichtung nach Anspruch 6, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Kühlmittelspeisungselemente (7i) unter Ausbildung des Verteilungskanals (5) aneinanderfügbar sind.
8. Einrichtung nach Anspruch 6 oder 7, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Kühlmittelspeisungselemente (7i) Wickelkerne der jeweiligen Teilwicklung (3i) sind.
9. Einrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 8, **dadurch gekennzeichnet**, daß durch die Wand des Spulengehäuses (16) elektrische Anschlußlei-

tungen (20a, 20b) der Wicklung (3) und davon getrennt Leitungen (18a, 18b) zur Zu- und Abführung des Kühlmittels (K bzw. K') vakuumdicht hindurchgeführt sind.

5

10. Einrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 8, **dadurch gekennzeichnet**, daß elektrische Anschlußleitungen der Wicklung innerhalb von Leitungen zur Zu- und Abführung des Kühlmittels angeordnet sind.

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

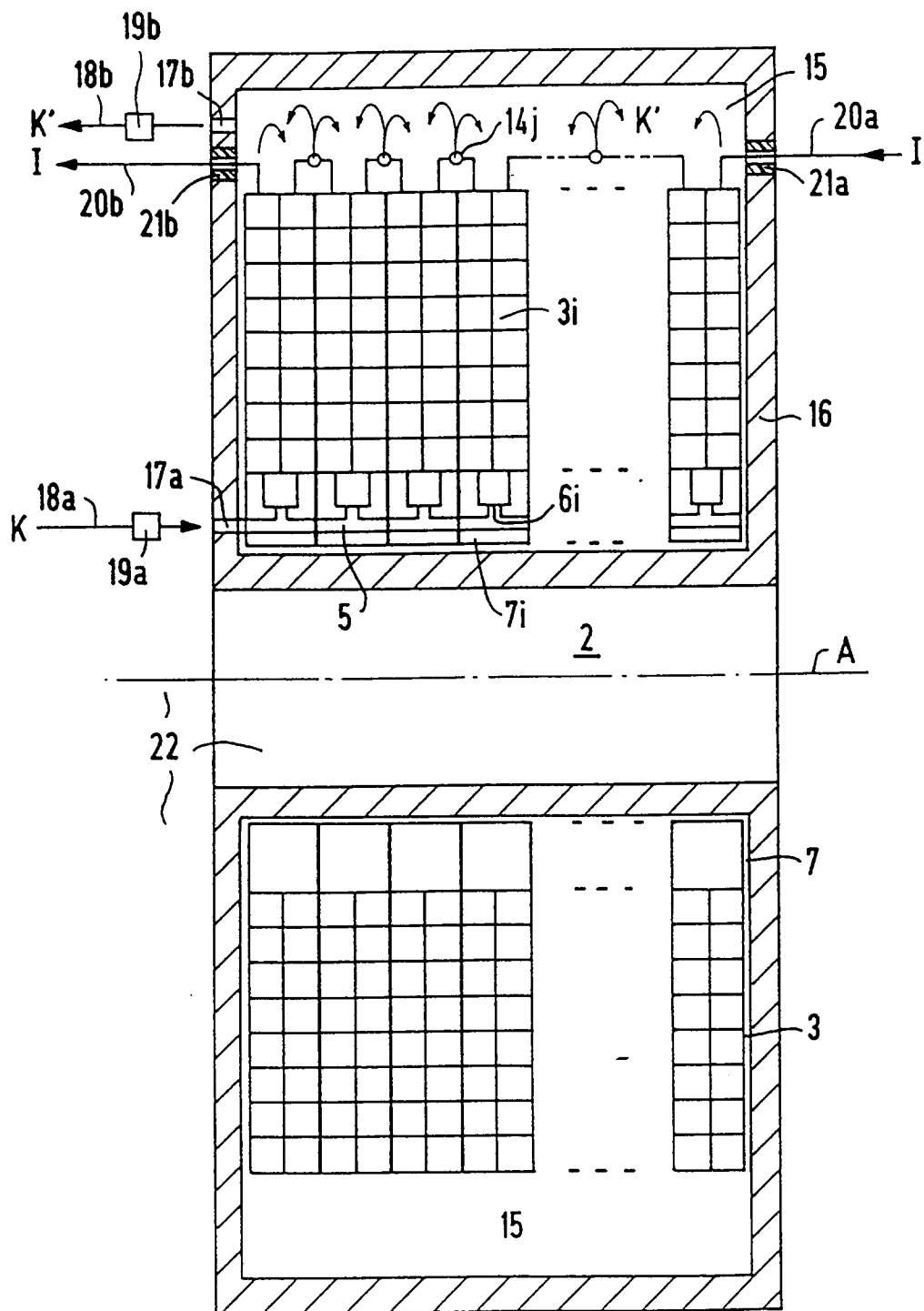


FIG 1

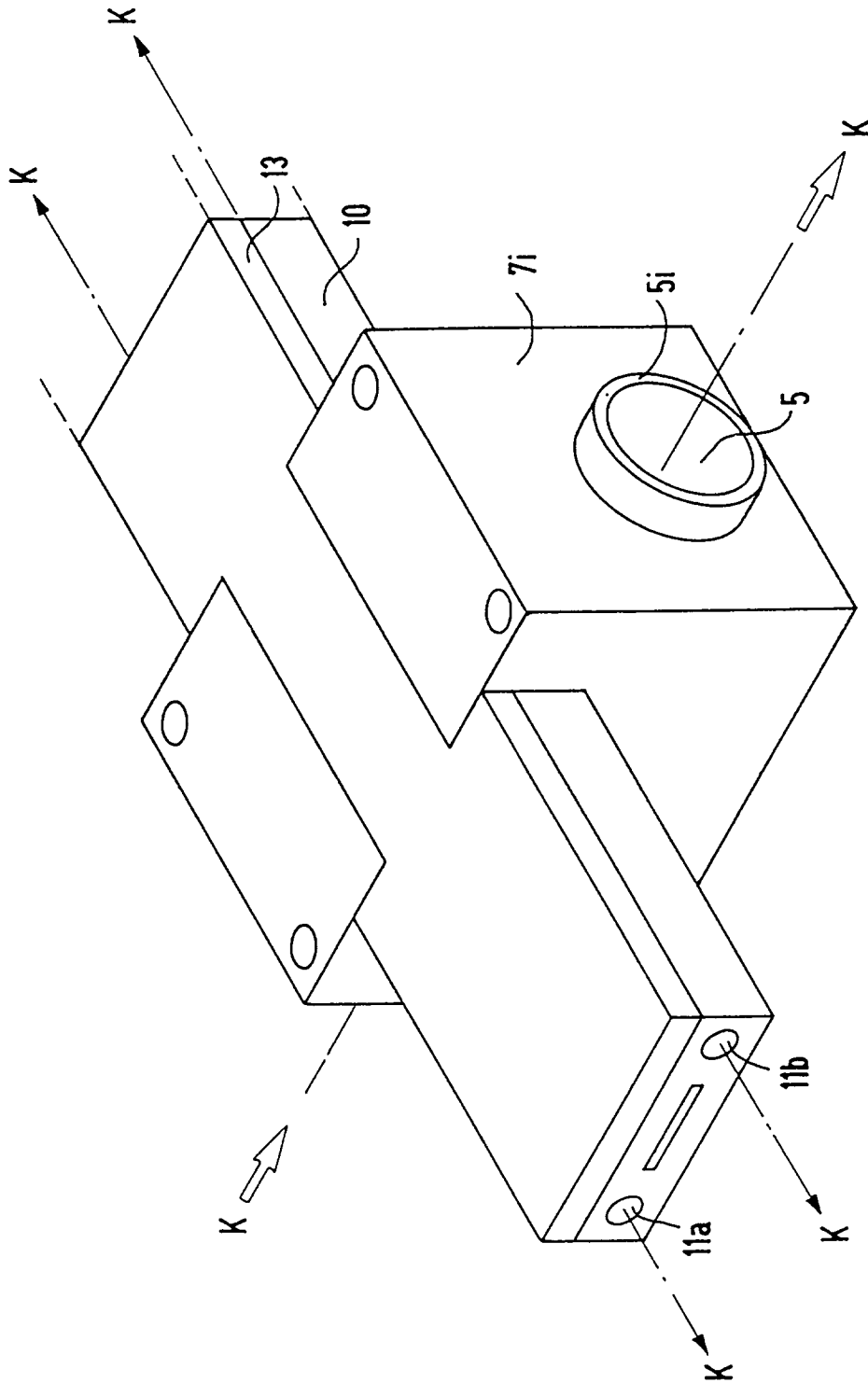


FIG 2

