



(19)
Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 10 2008 021 587 B3 2009.12.10**

(12)

Patentschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2008 021 587.2**

(22) Anmeldetag: **30.04.2008**

(43) Offenlegungstag: –

(45) Veröffentlichungstag
 der Patenterteilung: **10.12.2009**

(51) Int Cl.⁸: **F16C 32/04 (2006.01)**

H02K 7/09 (2006.01)

H01F 6/00 (2006.01)

Innerhalb von drei 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:
Siemens Aktiengesellschaft, 80333 München, DE

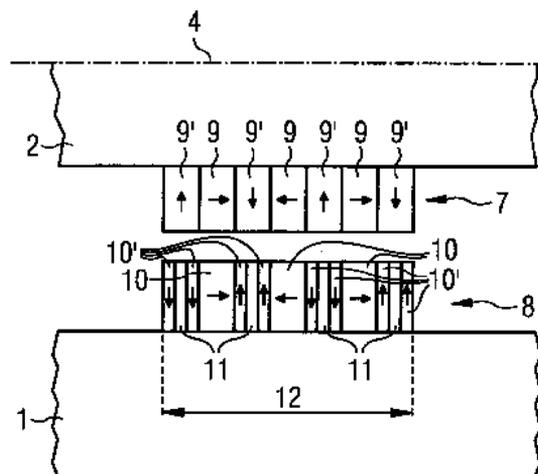
(72) Erfinder:
Bryslawskyj, Jason, Park Ridge, N.J., US; Lang, Matthias, Dr., 13158 Berlin, DE

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

DE	44 36 831	C2
DE	692 25 318	T2
JP	08-2 19 158	A
JP	08-2 96 647	A
JP	11-0 62 964	A
JP	01-2 42 819	A

(54) Bezeichnung: **Magnetlager mit Permanentmagneten in Halbach-Anordnung und supraleitenden Magneten und Maschine mit derartigen Magnetlagern**

(57) Zusammenfassung: Ein Magnetlager weist einen ersten und einen zweiten Lagerteil (7, 8) auf, die auf Grund von zwischen dem ersten und dem zweiten Lagerteil (7, 8) wirkenden Magnetkräften relativ zueinander berührungsfrei um eine Drehachse (4) drehbeweglich sind. Der erste und der zweite Lagerteil (7, 8) sind auf Grund der Magnetkräfte, bezogen auf die Drehachse (4), relativ zueinander sowohl axial als auch radial stabil gehalten. Der erste Lagerteil (7) besteht ausschließlich aus als Permanentmagnete ausgebildeten Primärmagneten (9, 9'). Die Primärmagnete (9, 9') sind in Form eines Halbacharrays angeordnet. Der zweite Lagerteil (8) weist für jeden Primärmagneten (9, 9') jeweils mindestens einen als Permanentmagnet ausgebildeten Sekundärmagneten (10, 10') auf. Der zweite Lagerteil (8) umfasst zusätzlich supraleitendes Material (11), das im gleichen Axialbereich (12) angeordnet ist wie die Sekundärmagnete (10, 10') und mit dem radial jeweils gegenüberliegenden Primärmagneten (9, 9') zusammenwirkt.



Beschreibung

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft ein Magnetlager,

- wobei das Magnetlager einen ersten und einen zweiten Lagerteil aufweist, die auf Grund von zwischen dem ersten und dem zweiten Lagerteil wirkenden Magnetkräften relativ zueinander berührungsfrei um eine Drehachse drehbeweglich sind,
- wobei der erste und der zweite Lagerteil auf Grund der Magnetkräfte, bezogen auf die Drehachse, relativ zueinander sowohl axial als auch radial stabil gehalten sind,
- wobei der erste Lagerteil ausschließlich aus als Permanentmagnete ausgebildeten Primärmagneten besteht,
- wobei die Primärmagnete in Form eines Halbacharrays angeordnet sind, so dass die Primärmagnete alternierend radial und axial magnetisiert sind und
- wobei der zweite Lagerteil für jeden Primärmagneten jeweils mindestens einen als Permanentmagnet ausgebildeten Sekundärmagneten aufweist.

[0002] Die vorliegende Erfindung betrifft weiterhin eine Maschine, insbesondere eine elektrische Maschine, wobei die Maschine mindestens zwei derartige Magnetlager aufweist und in den Magnetlagern eine Welle der Maschine relativ zu einem Grundkörper der Maschine drehbar gelagert ist.

[0003] Magnetlager sind allgemein bekannt. Beispielsweise ist ein Magnetlager der eingangs genannten Art aus der US 4,072,370 A bekannt.

[0004] Aus der DE 44 36 831 C2 ist ein Magnetlager bekannt,

- wobei das Magnetlager einen ersten und einen zweiten Lagerteil aufweist, die auf Grund von zwischen dem ersten und dem zweiten Lagerteil wirkenden Magnetkräften relativ zueinander berührungsfrei um eine Drehachse drehbeweglich sind,
- wobei der erste und der zweite Lagerteil auf Grund der Magnetkräfte, bezogen auf die Drehachse, relativ zueinander sowohl axial als auch radial stabil gehalten sind,
- wobei der erste Lagerteil ausschließlich aus als Permanentmagnete ausgebildeten Primärmagneten besteht,
- wobei die Primärmagnete in Form eines Halbacharrays angeordnet sind.

[0005] Bei diesem Magnetlager umfasst der zweite Lagerteil supraleitendes Material, das im gleichen Axialbereich angeordnet ist wie die Primärmagnete und mit den Primärmagneten zusammenwirkt.

[0006] Aus der DE 692 25 318 T2 ist ein Magnetlager bekannt,

- wobei das Magnetlager einen ersten und einen zweiten Lagerteil aufweist, die auf Grund von zwischen dem ersten und dem zweiten Lagerteil wirkenden Magnetkräften relativ zueinander berührungsfrei um eine Drehachse drehbeweglich sind,
- wobei der erste und der zweite Lagerteil auf Grund der Magnetkräfte, bezogen auf die Drehachse, relativ zueinander sowohl axial als auch radial stabil gehalten sind,
- wobei der erste Lagerteil ausschließlich aus als Permanentmagnete ausgebildeten Primärmagneten besteht.

[0007] Bei diesem Magnetlager umfasst der zweite Lagerteil sowohl mit den Primärmagneten zusammenwirkende Sekundärmagnete als auch supraleitendes Material, das mit den Primärmagneten zusammenwirkt.

[0008] Aus der JP 8 219 158 A, der JP 8 296 647 A, der JP 11 062 964 A und der JP 1 242 819 A sind Magnetlager bekannt, die einen zweiten Lagerteil aufweisen, in dem sowohl supraleitendes Material als auch weiteres magnetisches Material zur Lagerwirkung beitragen.

[0009] Lager von Maschinen können alternativ berührend oder berührungsfrei ausgebildet sein. Berührungsfreie Lager können hierbei insbesondere durch aktive oder passive Magnetlager gebildet werden. Die Anforderungen an Magnetlager sind

- positive Steifigkeit zur Stabilisierung eines Rotors (im Sinne eines beliebigen um eine Achse drehbaren Elements) im Arbeitspunkt,
- erforderliche Tragkraft zur Aufnahme einer statischen Last (insbesondere der Gewichtskraft des Rotors) und
- Dämpfungseigenschaften zur Beruhigung von Schwingungen.

[0010] Eine Variante passiver Magnetlager sind hierbei supraleitende Magnetlager. Der Vorteil supraleitender Magnetlager liegt in der komplett passiven Stabilisierung des Rotors und der damit einhergehenden Ausfallsicherheit. Nachteilig ist die relativ geringe spezifische Tragkraft, die mit derartigen Lagern erreichbar ist. Passive Magnetlager mit supraleitendem Material sind daher im Stand der Technik nur für relativ geringe Maschinengewichte einsetzbar.

[0011] Eine weitere Variante passiver Magnetlager sind permanentmagnetische Lager. Permanentmagnetische Lager können jedoch prinzipbedingt nicht in allen Richtungen eine positive Steifigkeit aufweisen. Mindestens ein Freiheitsgrad ist immer instabil. Andererseits lassen sich mit permanentmagnetischen Lagern Kräfte erzeugen, die erheblich größer als die Kräfte supraleitender Magnetlager sind. Die Kräfte kommen in die Größenordnung von Tragkräften, die mit aktiven Magnetlagern erreichbar sind.

[0012] Die Aufgabe der vorliegenden Erfindung besteht darin, ein Magnetlager zu schaffen, das ausschließlich aus passiven Komponenten besteht und dennoch eine hohe Tragkraft aufweist, so dass das Lager auch für hohe Belastungen ausgelegt ist.

[0013] Die Aufgabe wird durch ein Magnetlager mit den Merkmalen des Anspruchs 1 gelöst. Eine vorteilhafte Ausgestaltung des erfindungsgemäßen Magnetlagers ist Gegenstand des abhängigen Anspruchs 2.

[0014] Das erfindungsgemäße Magnetlager ist dadurch gekennzeichnet,

- dass der zweite Lagerteil für jeden axial magnetisierten Primärmagneten jeweils ein Paar axial magnetisierter Sekundärmagnete aufweist und zwischen den Sekundärmagneten jedes Paares axial magnetisierter Sekundärmagnete jeweils ein Teil des supraleitenden Materials angeordnet ist und/oder
- dass der zweite Lagerteil für jeden radial magnetisierten Primärmagneten jeweils ein Paar radial magnetisierter Sekundärmagnete aufweist und zwischen den Sekundärmagneten jedes Paares radial magnetisierter Sekundärmagnete jeweils ein Teil des supraleitenden Materials angeordnet ist.

[0015] Im Regelfall umgibt der zweite Lagerteil den ersten Lagerteil, bezogen auf die Drehachse, radial außen.

[0016] Die Aufgabe wird weiterhin durch eine Maschine gelöst, welche mindestens zwei derartige Magnetlager aufweist, wobei in den Magnetlagern eine Welle der Maschine relativ zu einem Grundkörper der Maschine drehbar gelagert ist. Die Maschine kann insbesondere als elektrische Maschine ausgebildet sein. Die Drehachse der Magnetlager kann insbesondere horizontal verlaufen.

[0017] Weitere Vorteile und Einzelheiten ergeben sich aus der nachfolgenden Beschreibung von Ausführungsbeispielen. Es zeigen in Prinzipdarstellung:

[0018] Fig. 1 schematisch eine Maschine und

[0019] Fig. 2 bis Fig. 4 mögliche Ausgestaltungen eines Magnetlagers.

[0020] Gemäß Fig. 1 weist eine Maschine einen Grundkörper 1 und eine Welle 2 auf. Die Welle 2 ist über Lager 3 relativ zum Grundkörper 1 drehbar gelagert, so dass die Welle 2 um eine Wellenachse 4 drehbar ist. Die Wellenachse 4 verläuft hierbei gemäß Fig. 1 horizontal. Sie könnte alternativ anders verlaufen, insbesondere vertikal. Die Wellenachse 4 ist mit der Drehachse der Magnetlager 3 identisch.

[0021] Soweit nachfolgend die Begriffe „axial“, „radial“ und „tangential“ verwendet werden, sind sie stets auf die Wellen- bzw. Drehachse 4 bezogen. Der Begriff „axial“ bedeutet hierbei eine Richtung parallel zur Wellenachse 4. Der Begriff „radial“ bedeutet eine Richtung, welche die Wellenachse 4 orthogonal schneidet. Der Begriff „tangential“ bedeutet eine Richtung in konstantem radialem Abstand um die Wellenachse 4 herum.

[0022] Die Maschine weist gemäß Fig. 1 einen elektrischen Stator 5 und einen elektrischen Rotor 6 auf. Die Maschine ist also als elektrische Maschine ausgebildet. Die Maschine könnte jedoch auch als andere Maschine ausgebildet sein, beispielsweise als Turbine oder als Getriebe.

[0023] Die Magnetlager 3 weisen – siehe die Fig. 2 bis Fig. 4 – einen ersten Lagerteil 7 und einen zweiten Lagerteil 8 auf. Der zweite Lagerteil 8 umgibt hierbei, bezogen auf die Drehachse 4, den ersten Lagerteil 7 radial außen. Diese Ausgestaltung ist üblich, aber nicht zwingend.

[0024] Gemäß den Fig. 2 bis Fig. 4 besteht der erste Lagerteil 7 ausschließlich aus Primärmagneten 9, 9', die als Permanentmagnete ausgebildet sind. Die Primärmagnete 9, 9' sind hierbei in Form eines Halbach-Arrays angeordnet. Bei einem Halbach-Array sind die Primärmagnete 9, 9' alternierend radial und axial magnetisiert, wobei (mit Ausnahme der beiden äußersten Primärmagnete 9, 9') an jeden Primärmagneten 9, 9' zwei relativ zueinander gegensinnig magnetisierte Primärmagnete 9, 9' angrenzen.

[0025] Bei der Ausgestaltung gemäß Fig. 2 weist der zweite Lagerteil 8 für jeden Primärmagneten 9, 9' jeweils ein Paar von Sekundärmagneten 10, 10' auf. Zwischen den Sekundärmagneten 10, 10' jedes Paares von Sekundärmagneten 10, 10' ist jeweils supraleitendes Material 11 angeordnet. Das supraleitende Material 11 besteht hierbei vorzugsweise aus hochtemperatursupraleitendem Material, also aus einem Material, dessen Sprungtemperatur oberhalb von 77 Kelvin liegt.

[0026] Bei der Ausgestaltung gemäß Fig. 3 weist der zweite Lagerteil 8 für jeden axial magnetisierten Primärmagneten 9 jeweils einen einzelnen axial magnetisierten Sekundärmagneten 10 auf. Für jeden radial magnetisierten Primärmagneten 9' weist der zweite Lagerteil 8 jeweils ein Paar radial magnetisierter Sekundärmagnete 10' auf. Das supraleitende Material 11 ist bei der Ausgestaltung gemäß Fig. 2 zwischen den Sekundärmagneten 10' jedes Paares radial magnetisierter Sekundärmagnete 10' angeordnet.

[0027] Bei der Ausgestaltung gemäß Fig. 4 weist der zweite Lagerteil 8 für jeden radial magnetisierten Primärmagneten 9' jeweils einen einzelnen radial

magnetisierten Sekundärmagneten 10' auf. Für jeden axial magnetisierten Primärmagneten 9 weist der zweite Lagerteil 8 jeweils ein Paar axial magnetisierter Sekundärmagnete 10 auf. Zwischen den Sekundärmagneten 10 jedes Paares axial magnetisierter Sekundärmagnete 10 ist jeweils supraleitendes Material 11 angeordnet.

[0028] Bei jeder der Ausgestaltungen der **Fig. 2** bis **Fig. 4** weist der zweite Lagerteil 8 somit für jeden Primärmagneten 9, 9' jeweils mindestens einen Sekundärmagneten 10, 10' auf, der als Permanentmagnet ausgebildet ist. Weiterhin umfasst der zweite Lagerteil 8 bei jeder der Ausgestaltungen der **Fig. 2** bis **Fig. 4** supraleitendes Material 11, das im gleichen Axialbereich 12 angeordnet ist wie die Sekundärmagnete 10, 10'. Der Begriff „Axialbereich“ bedeutet hierbei nicht die Axialerstreckung eines einzelnen der Sekundärmagnete 10, 10', sondern den gesamten Axialbereich zwischen den beiden axial äußersten Sekundärmagneten 10, 10'.

[0029] Zwischen dem ersten Lagerteil 7 und dem zweiten Lagerteil 8 wirken in an sich bekannter Art und Weise Magnetkräfte. Auf Grund der Magnetkräfte sind das erste und das zweite Lagerteil 7, 8 berührungsfrei um die Drehachse 4 drehbeweglich. Weiterhin können die Primär- und die Sekundärmagnete 9, 9', 10, 10' sowie das supraleitende Material 11 derart aufeinander abgestimmt sein, dass der erste und der zweite Lagerteil 7, 8 relativ zueinander sowohl axial als auch radial stabil gehalten sind. Das supraleitende Material 11 wirkt hierbei mit dem radial jeweils gegenüberliegenden Primärmagneten 9, 9' zusammen. Die auf Grund der Permanentmagnete 9, 9', 10, 10' wirkenden Magnetkräfte bringen einen Großteil der Tragkraft der Magnetlager 3 auf. Die Stabilität kann in einer Richtung (axial oder radial) bereits auf Grund der permanentmagnetischen Kräfte gegeben sein. In der anderen Richtung (radial oder axial) wird die Stabilität durch das Zusammenwirken der Primärmagnete 9, 9' mit dem supraleitenden Material 11 bewirkt.

[0030] Das erfindungsgemäße Magnetlager 3 ist in allen Freiheitsgraden stabil, obwohl es rein passiv ausgebildet ist. Dennoch ist das erfindungsgemäße Magnetlager 3 kompakt realisierbar und weist eine hohe Tragkraft auf.

Patentansprüche

1. Magnetlager,

– wobei das Magnetlager einen ersten und einen zweiten Lagerteil (7, 8) aufweist, die auf Grund von zwischen dem ersten und dem zweiten Lagerteil (7, 8) wirkenden Magnetkräften relativ zueinander berührungsfrei um eine Drehachse (4) drehbeweglich sind,
– wobei der erste und der zweite Lagerteil (7, 8) auf Grund der Magnetkräfte, bezogen auf die Drehach-

se, relativ zueinander sowohl axial als auch radial stabil gehalten sind,

– wobei der erste Lagerteil (7) ausschließlich aus als Permanentmagnete ausgebildeten Primärmagneten (9, 9') besteht,

– wobei die Primärmagnete (9, 9') in Form eines Halbacharrays angeordnet sind, so dass die Primärmagnete (9) alternierend radial und axial magnetisiert sind

– wobei der zweite Lagerteil (8) für axial magnetisierte Primärmagnete (9) jeweils ein Paar axial magnetisierter Sekundärmagnete (10) aufweist und zwischen den Sekundärmagneten (10) jedes Paares axial magnetisierter Sekundärmagnete (10) jeweils ein Teil des supraleitenden Materials (11) angeordnet ist und/oder

– wobei der zweite Lagerteil (8) für jeden radial magnetisierten Primärmagneten (9') jeweils ein Paar radial magnetisierter Sekundärmagnete (10') aufweist und zwischen den Sekundärmagneten (10') jedes Paares radial magnetisierter Sekundärmagnete (10') jeweils ein Teil des supraleitenden Materials (11) angeordnet ist.

2. Magnetlager nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass, bezogen auf die Drehachse (4), der zweite Lagerteil (8) den ersten Lagerteil (7) radial außen umgibt.

3. Maschine, die mindestens zwei Magnetlager (3) aufweist, wobei in den Magnetlagern (3) eine Welle (2) der Maschine relativ zu einem Grundkörper (1) der Maschine drehbar gelagert ist,

– wobei die Magnetlager jeweils einen ersten und einen zweiten Lagerteil (7, 8) aufweisen, die auf Grund von zwischen dem jeweiligen ersten und zweiten Lagerteil (7, 8) wirkenden Magnetkräften relativ zueinander berührungsfrei um eine Drehachse (4) drehbeweglich sind,

– wobei jeweils der erste und der zweite Lagerteil (7, 8) auf Grund der Magnetkräfte, bezogen auf die Drehachse, relativ zueinander sowohl axial als auch radial stabil gehalten sind,

– wobei der erste Lagerteil (7) jeweils ausschließlich aus als Permanentmagnete ausgebildeten Primärmagneten (9, 9') besteht,

– wobei die Primärmagnete (9, 9') jeweils in Form eines Halbacharrays angeordnet sind, so dass die Primärmagnete (9) alternierend radial und axial magnetisiert sind

– wobei der zweite Lagerteil (8) für axial magnetisierte Primärmagnete (9) jeweils ein Paar axial magnetisierter Sekundärmagnete (10) aufweist und zwischen den Sekundärmagneten (10) jedes Paares axial magnetisierter Sekundärmagnete (10) jeweils ein Teil des supraleitenden Materials (11) angeordnet ist und/oder

– wobei der zweite Lagerteil (8) für jeden radial magnetisierten Primärmagneten (9') jeweils ein Paar radial magnetisierter Sekundärmagnete (10') aufweist

und zwischen den Sekundärmagneten (10') jedes Paares radial magnetisierter Sekundärmagnete (10') jeweils ein Teil des supraleitenden Materials (11) angeordnet ist.

4. Maschine nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, dass, bezogen auf die Drehachse (4), der zweite Lagerteil (8) der Magnetlager den ersten Lagerteil (7) radial außen umgibt.

5. Maschine nach einem der Ansprüche 3 oder 4, dadurch gekennzeichnet, dass die Maschine eine elektrische Maschine ist.

6. Maschine nach einem der Ansprüche 3 bis 5, dadurch gekennzeichnet, dass die Drehachse (4) der Magnetlager (3) horizontal verläuft.

Es folgen 2 Blatt Zeichnungen

FIG 1

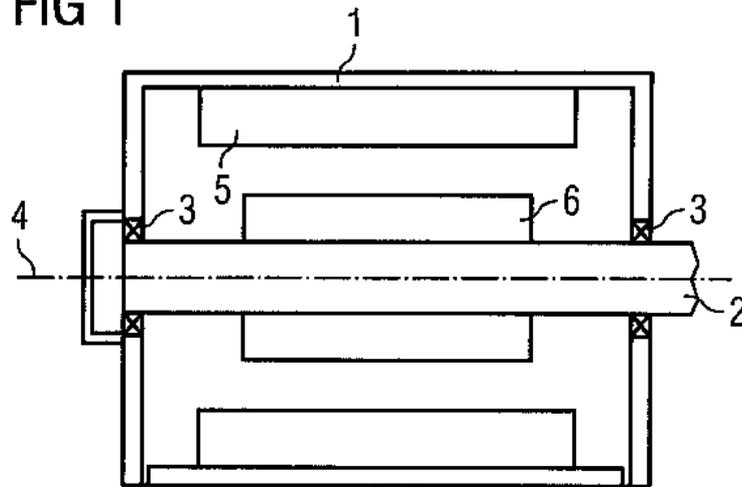


FIG 2

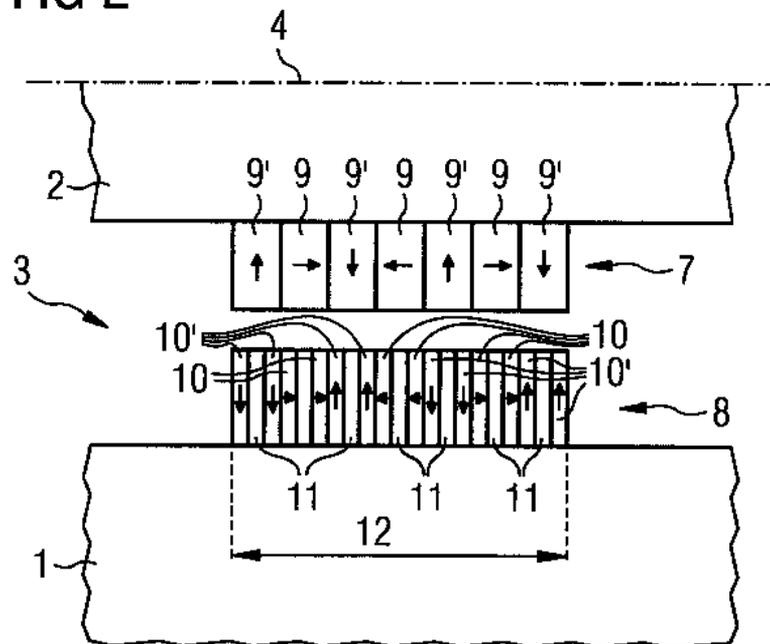


FIG 3

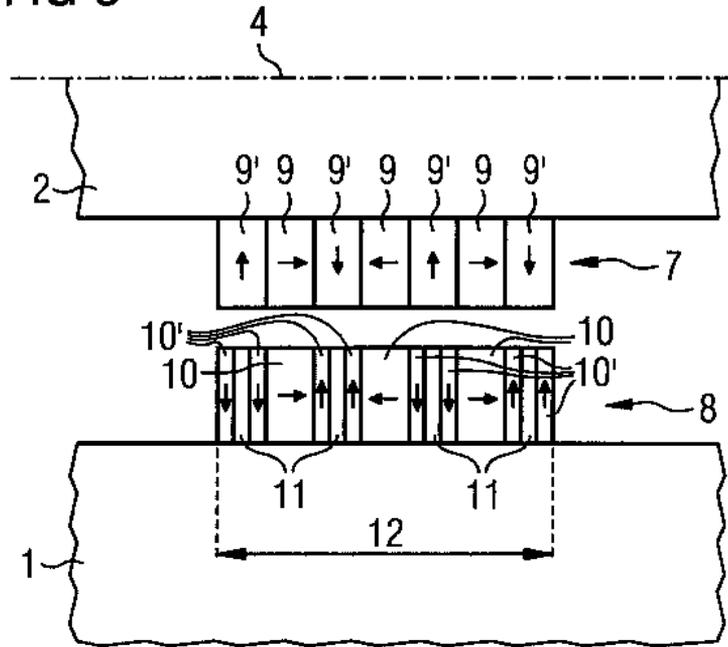


FIG 4

