(19) Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 10 2005 053 111 A1** 2007.05.10

(12) # Offenlegungsschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2005 053 111.3**
(22) Anmeldetag: **08.11.2005**
(43) Offenlegungstag: **10.05.2007**

(51) Int Cl.[8]: ***H02J 17/00*** (2006.01)
H01F 38/14 (2006.01)

(71) Anmelder:
Universität Bremen, 28359 Bremen, DE

(74) Vertreter:
Eisenführ, Speiser & Partner, 28195 Bremen

(72) Erfinder:
Parspour, Nejila, Dr.-Ing., 28213 Bremen, DE

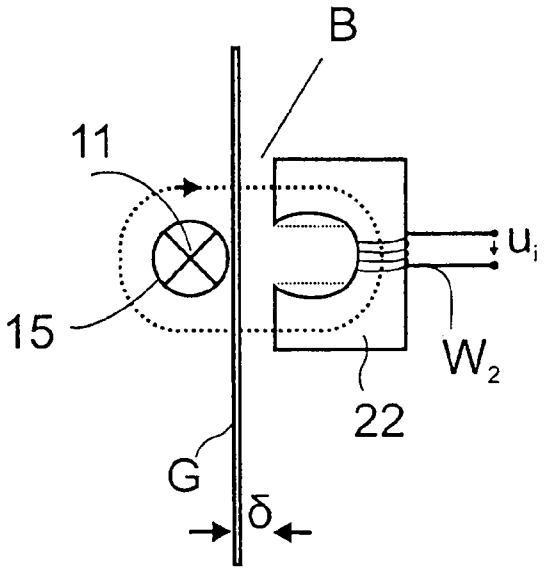
(56) Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht gezogene Druckschriften:
GB 23 99 230 A

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

Prüfungsantrag gemäß § 44 PatG ist gestellt.

(54) Bezeichnung: **Vorrichtung und Verfahren zur kontaktlosen Energieübertragung**

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft eine Vorrichtung und ein entsprechendes Verfahren zur kontaktlosen Übertragung von Energie von einem primärseitigen Energieversorger zu einem sekundärseitigen, in einer Bewegungsfläche bewegbaren oder beliebig positionierbaren Energieabnehmer. Um eine solche Energieübertragung sicherzustellen, wird erfindungsgemäß vorgeschlagen, dass der Energieversorger ein Gitter von einzeln oder gruppenweise mit einem Strom beaufschlagbaren Leitern umfasst, die in einer parallel in geringem Abstand zur Bewegungsfläche liegenden Gitterfläche angeordnet sind, wobei der Energieabnehmer wenigstens einen magnetisch leitenden Sekundärkern umfasst, der die Form eines zur Gitterfläche hin offenen Rings aufweist und der eine Sekundärwicklung trägt, in die von einem benachbarten stromdurchflossenen Leiter des Gitters eine Spannung induziert wird.



Beschreibung

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft eine Vorrichtung sowie ein entsprechendes Verfahren zur kontaktlosen Übertragung von Energie von einem primärseitigen Energieversorger zu einem sekundärseitigen, in einer Bewegungsfläche bewegbaren oder beliebig positionierbaren Energieabnehmer.

[0002] Der Trend zur Automatisierung industrieller Prozesse bewirkt, dass immer mehr elektromechanische Systeme Einsatz in industriellen Anlagen finden. Die Energieübertragung und der Signalaustausch zwischen stationären und bewegten Komponenten erfolgt in den meisten Systemen durch Kabel, die in speziellen Kabelführungen gelagert und ständig ruckartigen Bewegungen ausgesetzt sind. Bedingt durch die dauerhafte Belastung stellen diese Kabelverbindungen eine Fehlerquelle dar. Stillstand der Anlagen aufgrund von Kabelbrüchen gehört zu den häufigsten Ursachen bei einer Anlagenstörung. Andererseits gibt es mechanische Konzepte, die bisher nicht realisiert werden konnten, da die Führung der notwendigen Kabel und das erforderliche Bewegungsprofil sich nicht miteinander vereinbaren lassen.

[0003] In neuartigen Systemen wurden deshalb Kabel zur Energieübertragung durch kontaktlose Energieübertragungssysteme ersetzt, die auf induktiver Energieübertragung basieren. Diese Technologie hat grundsätzlich folgende Vorteile:

- Erhöhung der Zuverlässigkeit und der Lebensdauer: kein Verschleiß bewegter Kabel, Vermeiden von Kabelunsicherheit durch Erwärmung und Korrosion, geringer Montage- und Serviceaufwand.
- Perspektiven für neue Designmöglichkeiten: modularer Aufbau der Systeme, zusätzliche Freiheitsgrade, praktisch keine Geschwindigkeitsbegrenzung durch Wegfallen der Kontakte.
- Umweltfreundlich und robust: kein Abbrand oder Abrieb, geräuschfrei, unempfindlich gegen Feuchtigkeit, Verschmutzung und chemisch aggressive Atmosphäre.
- Kostenreduzierung: durch niedrigeren Bedarf an Instandhaltung und niedrigere Störanfälligkeit und indirekt durch die erhöhte Dynamik (Verkürzung der Taktzeiten).

[0004] Einsatz findet diese Technologie beispielsweise in Krananlagen, Robotern, einachsigen (linear bewegten oder rotierenden) System wie dem Transrapid, Werkzeugmaschinen oder auch Batterieladestationen, z.B. für Elektrofahrzeuge. Festzustellen ist, dass die bekannten Entwicklungen überwiegend für stationäre Systeme gebaut worden sind und dass kontaktlose Energieübertragung für Systeme in Bewegung nur mit einachsigen kontaktlosen Energieübertragern zu finden ist. Die bekannten einachsigen linearen Übertragungssysteme arbeiten dabei zumeist mit E-förmigen Übertragerkernen, die die Leitungen der Primärseite einschließen (siehe beispielsweise Vahle-Stromzuführungen: CSP Berührungslose Energieübertragung, Firmenkatalog Paul Vahle GmbH & Co. KG, Kamen, 2000). Deshalb ist jedoch bei derartigen Übertragungssystemen die Bewegungsfreiheit stark eingeschränkt, insbesondere auf die Bewegung entlang einer linearen Achse.

Aufgabenstellung

[0005] Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, eine Vorrichtung und ein entsprechendes Verfahren zur kontaktlosen Energieübertragung anzugeben, die die Übertragung von Energie auf einen in einer Bewegungsfläche frei bewegbaren oder beliebig positionierbaren Energieabnehmer ermöglichen, die also nicht für die Verwendung bei einem einachsigen bzw. linear bewegten oder rotierenden System beschränkt sind.

[0006] Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß gelöst durch eine Vorrichtung nach Anspruch 1, wobei der Energieversorger ein Gitter von einzeln oder gruppenweise mit einem Strom beaufschlagbaren Leitern umfasst, die in einer parallel in geringem Abstand zur Bewegungsfläche liegenden Gitterfläche angeordnet sind, und wobei der Energieabnehmer wenigstens einen magnetisch leitenden Sekundärkern umfasst, der die Form eines zur Gitterfläche hin offenen Rings aufweist und der eine Sekundärwicklung trägt, in die von einem benachbarten stromdurchflossenen Leiter des Gitters eine Spannung induziert wird.

[0007] Ein entsprechendes erfindungsgemäßes Verfahren ist in Anspruch 15 angegeben. Bevorzugte Ausgestaltungen der Erfindung sind in den Unteransprüchen angegeben.

[0008] Das physikalische Prinzip, dem die Erfindung zugrunde liegt, ist die induktive magnetische Kopplung. Nach diesem Prinzip arbeiten auch herkömmliche Transformatoren. Um die magnetische Kopplung in der Bewegung entlang einer Achse zu ermöglichen, wird die Primärseite des Transformators ausgewickelt, wodurch einachsige Systeme nach dem Stand der Technik versorgt werden. Um nun eine flächendeckende kontaktlose Energieversorgung zu ermöglichen, wird erfindungsgemäß eine Matrix von einachsigen Einheiten vorgeschlagen, wobei nicht, wie bei den bekannten Systemen, E-förmige Kerne benutzt werden, die die Primärleitungen einschließen, sondern es wird auf der Sekundärseite eine ringförmige Kernausführung vorgesehen, die einen Luftspalt zu der Primärseite aufweist. Die Primärleitungen sind erfindungsgemäß also gerade nicht von den Schenkeln eines E-förmigen Kerns oder von dem Ring der ringförmigen Kernausführung umschlossen, sondern liegen außerhalb dessen. Diese

Ausführung der magnetischen induktiven Kopplung ermöglicht die gewünschte freie Bewegung, also in zwei oder mehr Richtungen in der Bewegungsfläche bzw. die beliebige Positionierbarkeit des Energieabnehmers auf der Sekundärseite in der Bewegungsfläche. Die Bewegungsfläche ist dabei beispielsweise eine zweidimensionale Ebene, kann aber auch eine anders ausgestaltete Fläche sein, beispielsweise eine gekrümmte (z.B. in Form einer Kugeloberfläche) oder gewellte Fläche. Gleiches gilt für die Gitterfläche, die bevorzugt in gleicher Weise ausgestaltet ist wie die Bewegungsfläche.

[0009] Bevorzugte Ausgestaltungen des Energieabnehmers sind in den Ansprüchen 2 bis 4 definiert. Demnach ist in einer bevorzugten Ausgestaltung vorgesehen, dass das Gitter eine Vielzahl von rechtwinklig zueinander angeordneten Leitern umfasst und dass der Energieabnehmer zwei um 90° verdreht zueinander angeordnete Sekundärkerne aufweist, die jeweils die Form eines zur Bewegungsfläche hin offenen Rings aufweisen und jeweils eine Sekundärwicklung tragen. Der Energieversorger enthält somit eine Matrix von m × n Leitern, und je nachdem, in welcher Richtung der dem Energieabnehmer am nächsten kommende Leiter verlegt ist, wird entweder in die Sekundärwicklung des einen oder des anderen Sekundärkerns des Energieabnehmers eine Spannung induziert, wenn durch diesen ein Strom fließt.

[0010] Alternativ ist in einer Ausgestaltung vorgesehen, dass der Energieabnehmer einen einzigen um eine senkrecht zur Bewegungsfläche angeordnete Rotationsachse verdrehbaren Sekundärkern aufweist. Dabei kann entweder vorgesehen sein, dass der Sekundärkern sich von selbst je nach Ausrichtung des am nächsten liegenden stromdurchflossenen Leiters des Gitters verdreht, insbesondere aufgrund des von dem stromdurchflossenen Leiter erzeugten Magnetfeldes. Es kann aber auch vorgesehen sein, dass der Sekundärkern mittels einer geeigneten Steuerung jeweils in die optimale Lage gebracht wird, so dass von dem benachbarten stromdurchflossenen Leiter des Gitters eine maximale Spannung in die Sekundärwicklung dieses Sekundärkerns induziert wird. Bei dieser Ausgestaltung ist es nicht zwingend, dass das Gitter eine Matrix von rechtwinklig zueinander angeordneten Leitern umfasst, sondern es ist grundsätzlich jede beliebige Ausgestaltung des Gitters denkbar, d.h., dass die Leiter in unterschiedlichen (mehr als zwei) Richtungen verlegt sein können. Denkbar sind beispielsweise wabenförmige, kreisförmige oder spinnennetzförmige Ausgestaltungen des Gitters.

[0011] Gleiches gilt bei einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung, bei der der Energieabnehmer eine Vielzahl von um eine senkrecht zur Bewegungsfläche angeordnete Rotationsachse verdreht zueinander angeordnete Sekundärkerne aufweist. So wird erreicht, dass unabhängig von der Ausrichtung des benachbarten stromdurchflossenen Leiters des Gitters und der relativen Lage des Energieabnehmers dazu immer gewährleistet ist, dass in die Sekundärwicklung wenigstens eines Sekundärkerns eine Spannung induziert wird. Grundsätzlich kann dabei sogar in mehrere Sekundärwicklungen jeweils eine Spannung induziert werden, so dass die einzelnen induzierten Spannung summiert werden zur weiteren Nutzung durch den Energieabnehmer.

[0012] In einer weiteren Ausgestaltung weist der Energieabnehmer mehrere Sekundärkerne auf, die beispielsweise direkt nebeneinander angeordnet sind (und quasi die Form eines E mit ringförmigen Halbwellen bilden). Ferner sind in einer weiteren Ausgestaltung mehrere beabstandet hintereinander angeordnete Sekundärkerne vorgesehen, die also demselben Leiter des Gitter gegenüber liegen und in die somit von demselben Leiter Energie auf die Sekundärkerne übertragen wird, wodurch der Wirkungsgrad gesteigert wird, da der in einem Leiter fließende Strom besser ausgenutzt wird.

[0013] Um feststellen zu können, an welcher Position sich der Energieabnehmer aktuell befindet und welcher der Leiter des Gitters bevorzugt mit einem Strom zu beaufschlagen ist, um die größtmögliche Spannung auf den Energieabnehmer zu übertragen, sind in einer Weiterbildung der Erfindung Mittel zur Positionsbestimmung des Energieabnehmers und Steuermittel zur Beaufschlagung wenigstens desjenigen Leiters des Gitters mit einem Strom, zu dem der Energieabnehmer am nächsten angeordnet ist, vorgesehen. Dies spart Energie, da nicht alle oder mehrere Leiter des Gitters mit einem Strom zu beaufschlagen sind.

[0014] Diese Mittel zur Positionsbestimmung können beispielsweise optische Positionsbestimmungsmittel sein, wozu an dem Energieabnehmer entsprechende Marker, z.B. LEDs, angebracht sind, deren räumliche Position von einem Kamerasystem aufgenommen wird, um die räumliche Position des Energieabnehmers zu bestimmen. Es gibt auch entsprechende elektromagnetische Mittel, um diese Positionsbestimmung zu gewährleisten. Denkbar sind beispielsweise IR-Sender oder die Nutzung einer Wärmebildkamera, die den Ort geringster Temperaturänderungen (solche ergeben sich am Ort des Energieabnehmers aufgrund der induktiven Energieübertragung) genau bestimmen können.

[0015] Ferner werden in einer anderen Ausgestaltung Mittel eingesetzt, die über die Veränderung der Induktivität der Leiter des Gitters feststellen, wo sich gerade der Energieabnehmer befindet, da dessen Sekundärkerne die Induktivität der Leiter des Gitters, die dem Energieabnehmer benachbart sind, verändern. Dazu sind auf der Primärseite entsprechende

Mittel vorgesehen, um derartige Veränderungen der Induktivität feststellen zu können. Grundsätzlich sind für diesen Zweck alle Mittel geeignet, die die Position des Energieabnehmers aus Feldänderungen des magnetischen Feldes bzw. aus magnetischen Widerstandsänderungen bestimmen können.

[0016] In vielen Anwendungen ist die Position des Energieabnehmers sowieso bekannt, da der Energieabnehmer bzw. die Position des Energieabnehmers gesteuert wird, um an vorbestimmten Positionen bestimmte Aufgabe zu erfüllen, wie dies beispielsweise bei Robotersystemen der Fall ist. Diese Position kann dann dem Energieversorger übermittelt werden, um den benachbarten Leiter des Gitters mit Strom zu beaufschlagen.

[0017] Zur Erhöhung des Wirkungsgrades und insbesondere zur Verringerung des magnetischen Widerstandes der induktiven Kopplung sind verschiedene vorteilhafte Weiterbildungen vorgesehen, wie sie in den Ansprüchen 6 bis 10 angegeben sind. So ist in einer Weiterbildung vorgesehen, dass die Leiter des Gitters jeweils von einem ringförmigen, zur Bezugsebene hin offenen, magnetisch leitenden Primärkern, insbesondere aus weichmagnetischem Material, umgeben sind. Beispielsweise könnten die Leiter in einem Behältnis angeordnet sein, das aus weichmagnischem Material gebildet ist und zur Gitterfläche hin Rillen oder Gräben aufweist, in denen die Leiter liegen, so dass die Leiter quasi ringförmig (zur Gitterfläche hin offen) von weichmagnetischem Material umschlossen sind.

[0018] In einer in dieser Hinsicht deutlich günstigeren Ausgestaltung ist demnach vorgesehen, dass die Leiter des Gitters in einem Behältnis angeordnet sind, in dem eine magnetisch leitende Flüssigkeit, insbesondere ein Ferrofluid, vorgesehen ist. Wenn im Betrieb ein Leiter von einem Strom durchflossen wird, erzeugt dieser Leiter ein magnetisches Feld um sich. Dieses magnetische Feld zieht die weichmagnetische Flüssigkeit in dem Behältnis an, wodurch sich ein Mantel aus dieser Flüssigkeit um den stromdurchflossenen Leiter bildet. Dieser Mantel dient der Verstärkung der magnetischen Induktion.

[0019] Es ist dabei nicht zwingend erforderlich, dass das gesamte Behältnis mit Flüssigkeit gefüllt ist, sondern es reicht aus, wie in einer Weiterbildung vorgesehen ist, dass sich wenigstens so viel Flüssigkeit in dem Behältnis befindet, dass sich bei Beaufschlagung nur eines einzigen Leiters mit einem Strom die Flüssigkeit um diesen Leiter sammelt. Die Flüssigkeit wandert also in diesem Behältnis quasi hin und her, je nachdem welcher Leiter mit Strom gerade beaufschlagt wird.

[0020] Ferner ist bevorzugt vorgesehen, dass die Leiter des Gitters an der Oberfläche des Behältnisses angeordnet sind, so dass sich Beaufschlagung eines Leiters mit einem Strom die Flüssigkeit um diesen Leiter in Form eines zur Bewegungsfläche hin offenen ringförmigen Mantels sammelt. Durch diese Ausgestaltung wird also verhindert, dass sich die Flüssigkeit in Form eines geschlossenen Rings um den mit Strom beaufschlagten Leiter sammelt.

[0021] Die verwendete magnetisch leitende Flüssigkeit soll eine möglichst große magnetische Leitfähigkeit haben, um einen möglichst großen Wirkungsgrad zu erzielen. Beispielsweise enthält eines solche Flüssigkeit eine Trägerflüssigkeit aus Kohlenwasserstoff mit einer Suspension an Magnetid-Partikeln (Fe_3O_4). Es können jedoch auch andere magnetisch leitende Flüssigkeiten erfindungsgemäß eingesetzt werden, die den beschriebenen Zweck erfüllen.

[0022] In einer weiteren bevorzugten Ausgestaltung ist vorgesehen, dass der Energieversorger wenigstens einen ringförmigen, zur Bezugsebene hin offenen, magnetisch leitenden Primärkern, insbesondere aus weichmagnetischem Material, umfasst, der parallel zur Gitterfläche frei beweglich und um eine senkrecht zur Gitterfläche liegende Rotationsachse verdrehbar ist und dass Mittel vorgesehen sind zur Bewegung des Primärkerns an die Position und Bringung in die Lage, dass es dem Energieabnehmer im Betrieb immer gegenüberliegt. Gegenüber der Ausgestaltung, dass alle Leiter des Gitters von einem Primärkern umgeben sind, spart diese Ausgestaltung viel Material ein und ist somit deutlich kostengünstiger aufgrund geringerer Eisenverluste. Gegenüber der Lösung mit der weichmagnetischen Flüssigkeit sind ebenfalls weniger Eisenverluste und ein höherer Wirkungsgrad zu erwarten.

[0023] Als weichmagnetisches Material können für kleine Leistungsbereich und/oder hohe Frequenzen beispielsweise Ferrite (z.B. Fe-Se-Legierungen) eingesetzt werden. Für höhere Leistungen und/oder kleinere Frequenzen können beispielsweise Kobalt-Eisen-Legierungen vorteilhaft eingesetzt werden.

[0024] Eine weitere deutliche Erhöhung des Wirkungsgrades kann durch Einsatz von Leitern aus supraleitendem Material und entsprechende Kühlmittel zur Kühlung der Leiter erreicht werden. Eine derartige Ausgestaltung ist jedoch aufwendig und kostenintensiv.

[0025] Der oder die Leiter des Gitters werden bevorzugt mit einem hochfrequenten Wechselstrom, für größere Leistungen (im Watt-Bereich bis zu einigen hundert Watt) bevorzugt in einem Frequenzbereich von 1 kHz bis etwa 100 kHz, für kleinere Leistungen in einem Frequenzbereich bis zu einigen hundert MHz, betrieben, wozu in einer weiteren Ausgestaltung geeignete Mittel vorgesehen sind. Grundsätzlich

sind jedoch auch andere Frequenzbereiche möglich, die unterhalb oder oberhalb des genannten Frequenzbereichs liegen.

[0026] Ferner sind in einer Weiterbildung Kompensationsmittel zur Reduzierung induktiver Blindleistung und zur Erhöhung des Wirkungsgrades vorgesehen, bevorzugt sowohl auf der Primär- als auch auf der Sekundärseite. Diese Kompensationsmittel sind beispielsweise einfache RLC-Schaltungen.

[0027] Zur Erhöhung des Wirkungsgrades kann des weiteren vorgesehen sein, dass die Primär- und/oder Sekundärkerne mit Polschuhen versehen sind, also zur Bewegungsfläche hin einen gegenüber dem restlichen Querschnitt einen verbreiterten Querschnitt aufweisen. Dadurch können insbesondere magnetische Streuflüsse verringert werden, wodurch der Wirkungsgrad der Energieübertragung steigt.

[0028] Die Erfindung kann in unterschiedlichsten Anwendungen Einsatz finden. Bevorzugte Anwendungen finden sich überall da, wo Teile in zwei Richtungen bewegt werden müssen, wozu bisher die Energie mit Kabeln an das bewegliche Teil übertragen wird. Derartige Anwendungen finden sich beispielsweise bei Robotern, Manipulatoren oder in der Medizintechnik bei Computertomographieanlagen. Weitere Anwendungen finden sich beispielsweise in Reinräumen oder sterilen Umgebungen (z.B. Operationssälen), z.B. als hygienische Platte zur Energieversorgung mobiler Instrumente und Geräte, in mobilen Werkzeugmaschinen oder bei X-Y-Tischen. Gegenüber bekannten Systemen bietet die Erfindung dabei einen größeren Bewegungsspielraum und zwei Freiheitsgrade. Ferner wird Kabelbruch verhindert, was eine häufige Fehlerquelle in derartigen Systemen ist.

Ausführungsbeispiel

[0029] Die Erfindung wird nachfolgend anhand der Zeichnungen näher erläutert. Es zeigen:

[0030] Fig. 1 ein Blockschaltbild einer erfindungsgemäßen Vorrichtung,

[0031] Fig. 2 eine schematische Darstellung des Energieversorgers,

[0032] Fig. 3A eine schematische Darstellung des Energieabnehmers,

[0033] Fig. 3B eine Seitenansicht eines Teils des Energieabnehmers,

[0034] Fig. 4 eine Illustration der magnetischen Kopplung zwischen Energieabnehmer und Energieversorger,

[0035] Fig. 5 eine weitere Ausgestaltung eines Energieversorgers gemäß der Erfindung,

[0036] Fig. 6 eine weitere Ausgestaltung eines Energieabnehmers mit einem Sekundärkern,

[0037] Fig. 7 eine weitere Ausgestaltung eines Energieabnehmers mit 8 Sekundärkernen, und

[0038] Fig. 8 noch eine weitere Ausgestaltung eines Energieversorgers gemäß der Erfindung.

[0039] Eine erfindungsgemäße Vorrichtung zur kontaktlosen Übertragung von Energie ist schematisch als Blockschaltbild in Fig. 1 gezeigt. In der linken Hälfte (auf der Primärseite) ist der Energieversorger **1** dargestellt, in der rechten Hälfte (auf der Sekundärseite) ist der Energieabnehmer **2** gezeigt. Diese Vorrichtung dient dazu, berührungslos Energie von dem Energieversorger, der die Energie selbst von einer (nicht gezeigten) Energiequelle, wie einem Stromversorgungsnetz, einem Generator oder einer sonstigen Energieversorgungseinheit (z.B. Batterie, Akkumulator oder dergleichen) erhält, an den Energieabnehmer **2** zu übertragen. Dort kann die Energie für unterschiedliche Zwecke verwendet werden, beispielsweise zur Versorgung eines mit dem Energieabnehmer gekoppelten Roboters oder Manipulators. Die ganze, nachfolgend noch näher erläuterte Ausgestaltung ist dabei derart, dass der Energieabnehmer in einer Bewegungsfläche, hier also beispielsweise der x-y-Ebene (also der Zeichenebene), frei beweglich bzw. beliebig positionierbar ist (genauer gesagt in einem Ausschnitt dieser Bewegungsfläche, zu dem der Energieversorger benachbart angeordnet ist), während der Energieversorger **1** grundsätzlich stationär (zumindest relativ gegenüber dem Energieabnehmer **2**) ausgestaltet ist.

[0040] Der Energieversorger **1** umfasst, wie näher auch in Fig. 2 zu erkennen ist, zunächst eine Matrix bzw. ein Gitter **10** von m × n elektrischen Leitern **11**, die in einer parallel zur Bewegungsfläche M liegenden Gitterfläche G angeordnet sind. Die Leiter **11** sind jeweils einzeln oder gruppenweise mit Strom beaufschlagbar, beispielsweise über elektronisch gesteuerte Schalter $E_1 \ldots E_n$ und $F_1 \ldots F_m$ mit einer Spannungsquelle verbunden, die eine Spannung U_{in} zur Verfügung stellt. Diese Spannung U_{in} wird aus einer von einer externen Spannungs- oder Stromquelle zur Verfügung gestellten Spannung U erzeugt. Dazu ist ein Umrichter **12** vorgesehen, der eine geeignete Wechselspannung hoher Frequenz erzeugt, deren Frequenz der Resonanzfrequenz einer Kompensationsschaltung **13** entspricht. Die Kompensationsschaltung **13** wird bevorzugt zur Reduzierung der induktiven Blindleistung und zur Erhöhung des Wirkungsgrades eingesetzt. Diese Einheiten können Teil des Energieversorgers oder externe Einheiten sein.

[0041] Die Leiter **11** sind in der gezeigten Ausgestal-

tung isoliert voneinander in einem flachen Behältnis **14** aus nicht-magnetischem Material angeordnet, das beispielsweise eine zur Bewegungsfläche M hin ausgerichtete Oberfläche aus Teflon aufweist, da dieses nicht magnetisch leitend, aber robust ist. In diesem Behältnis **14** befindet sich auch eine Flüssigkeit **15** aus weichmagnetischem Werkstoff (z.B. flüssiges Ferrofluid), wobei die Menge der Flüssigkeit so bestimmt ist, dass sie mindestens dem Volumen eines dünnen Mantels um einen der Leiter **11** entspricht. Allerdings kann auch mehr Flüssigkeit in dem Behältnis **14** vorhanden sein. Zweck dieser weichmagnetischen Flüssigkeit ist, dass sich ein Mantel aus dieser Flüssigkeit um denjenigen Leiter **11** bildet, der gerade von einem Strom durchflossen wird. In diesem Fall bildet sich nämlich um diesen Leiter ein magnetisches Feld, das die weichmagnetische Flüssigkeit anzieht, der dann diesen Mantel bildet, der schließlich der Verstärkung der magnetischen Induktion dient. Dies wird nachfolgend noch näher erläutert.

[0042] Eine schematische Darstellung des Energieabnehmers ist in Fig. 3A gezeigt. Fig. 3B zeigt eine Seitenansicht von Teilen des Energieabnehmers. In der gezeigten Ausgestaltung enthält der Energieabnehmer **2** zwei Sekundärkerne **21**, **22**, die um 90° verdreht zueinander angeordnet sind und jeweils eine Sekundärwicklung W_1, W_2 tragen. Die Sekundärkerne **21**, **22** sind bevorzugt ringförmig ausgestaltet und aus einem weichmagnetischen Werkstoff aufgebaut. Die Sekundärwicklungen W_1, W_2 sind mittels elektronischen Schaltern H_1, H_2, G_1, G_2 mit einer Blindleistungskompensationsschaltung **23** verbunden, die gegebenenfalls auch entfallen kann, ebenso wie ein Umrichter **24** zum Umrichten der in die Sekundärwicklungen W_1 und W_2 induzierten Spannungen in die eine von dem Verbraucher **25** benötigte Spannung. Ferner ist in der gezeigten bevorzugten Ausgestaltung des Energieabnehmers ein Positionssensor **26** vorgesehen, beispielsweise optische oder elektromagnetische Lagesensoren, die die aktuelle Position des Energieabnehmers **2** (im Raum oder bezüglich des Energieversorgers **1**) ermitteln.

[0043] In der in Fig. 3B gezeigten Seitenansicht ist die Lage der Sekundärkerne **21**, **22** bezüglich der Gitterfläche G, die symbolisch die auch die dem Energieabnehmer **2** zugewandte Oberfläche des Behältnisses **14** des Energieversorgers **1** darstellt, erkennbar. Die Bewegungsfläche M liegt parallel dazu und stellt die Ebene dar, in der der Energieabnehmer **2** frei beweglich bzw. frei positionierbar ist.

[0044] Die Erfindung nutzt somit das bekannte Prinzip der magnetischen Induktion zur kontaktlosen Energieübertragung auf geschickte Weise derart aus, dass der Energieabnehmer **2** nicht nur entlang einer Geraden eine lineare Bewegung oder eine Drehbewegung um eine Rotationsachse ausführen kann, sondern in einer Ebene frei bewegbar bzw. positionierbar ist. In der Seitenansicht gemäß Fig. 4 ist dies anhand des Sekundärkerns **22** nochmals verdeutlicht. Wenn ein Leiter **11** des Gitters **10** mit einem Strom beaufschlagt wird, bildet sich ein ringförmiges Magnetfeld B um diesen Leiter **11**. Dies hat zur Folge, dass sich die in dem Behältnis **14** befindliche weichmagnetische Flüssigkeit **15** um diesen Leiter sammelt und ihn quasi wie einen Mantel umgibt. Dieser Mantel dient der Verstärkung des magnetischen Feldes und damit der magnetischen Induktion. Da die Sekundärkerne (hier der Sekundärkern **22**) ringförmig (als zur Gitterfläche G hin offene Ringe) und aus weichmagnetischem Material ausgestaltet sind, sie also der ringförmigen Form der magnetischen Feldlinien des erzeugten Magnetfeldes B entsprechen, leiten sie das magnetische Feld, so dass schließlich eine Spannung U_i in der Sekundärwicklung W_2 des dem stromdurchflossenen Leiter **11** benachbarten Sekundärkerns **22** induziert wird. Durch die ringförmige Form der Sekundärkerne wird zudem der Einsatz von notwendigem weichmagnetischem Werkstoff verringert und die Eisenverluste werden reduziert. Um einen möglichst großen Wirkungsgrad zu haben, sollte darüber hinaus der effektive Luftspalt δ zwischen der dem Energieabnehmer **2** zugewandten Oberfläche des Energieversorgers **1**, also der Gitterfläche G, und der der Gitterfläche G zugewandten Oberfläche des Energieabnehmers **2** möglichst gering sein.

[0045] Abhängig von der Position des Energieabnehmers **2**, die mittels der Positionssensoren **26** festgestellt werden kann, wird erfindungsgemäß immer derjenige Leiter **11** des Gitters **10** mit Strom beaufschlagt, der dem Energieabnehmer am nächsten liegt. Da es bei der gezeigten Ausgestaltung zwei um 90° verdreht zueinander angeordnete Sekundärkerne **21** und **22** gibt, und da die Leiter **11** des Gitters **10** auch rechtwinklig zueinander angeordnet liegen, gibt es somit immer einen Leiter **11**, der einem der beiden Sekundärkerne **21**, **22** gegenüber liegt und bei Beaufschlagung mit einem Strom ein Magnetfeld erzeugt, das von dem jeweils gegenüber liegenden Sekundärkern geleitet werden kann, so dass in die Sekundärwicklung dieses Sekundärkerns eine Spannung induziert wird. Das Feld dieses Leiters bildet also mit dem dazugehörigen Sekundärkern eine magnetische Kopplung, über die Energie auf die Sekundärseite zur Benutzung durch den dort angebrachten Verbraucher (einen Motor, eine Arbeitsmaschine oder dergleichen, die herkömmlicherweise Energie über Kabelschlepp oder Schleifringe erhalten) übertragen wird. Wenn also der Energieabnehmer bewegt wird, wird mittels der Positionssensoren **26** immer die aktuelle Position festgestellt, um dann den oder die nächstliegenden Leiter **11** mit Strom zu beaufschlagen. Die Positionssensoren **26** melden also auf geeignete Weise, beispielsweise über Funk, jeweils die aktuelle Position des Energieabnehmers **2** an die Primärseite, dort insbesondere an eine Steuerung für

die Beaufschlagung der Leiter des Gitters mit einem Strom, die somit die Schalter E, F steuert.

[0046] Eine weitere Ausgestaltung des Gitters **10** des Energieversorgers **1** ist in Fig. 5 gezeigt. Dabei ist der Übersichtlichkeit halber nur ein einziger Leiter dargestellt. Dieser Leiter **11** ist in dieser Ausgestaltung von einem ringförmigen, zur Bewegungsfläche hin offenen, magnetisch leitenden Primärkern **16** umgeben, der insbesondere aus weichmagnetischem Material aufgebaut. Dieser Primärkern **16** übernimmt damit die Funktion des in der in Fig. 2 gezeigten Ausgestaltung vorgesehenen Ferrofluids **15**, dient also der Verstärkung des bei Beaufschlagung mit einem Strom I sich um den Leiter **11** bildenden Magnetfelds B. Bevorzugt sind alle Leiter **11** des Gitters mit einem solchen Primärkern umgeben.

[0047] Während in den bisher gezeigten Ausgestaltungen des Gitters die Leiter rechtwinklig zueinander liegen, ist in anderen Ausgestaltungen vorgesehen, dass die Leiter in mehr als zwei Richtungen verlaufen, da sich grundsätzlich der Energieabnehmer **2** nicht zwangsläufig nur entlang gerader Linien, die parallel zu den Leitern verlaufen, bewegen kann (was natürlich in manchen Ausgestaltungen auch vorgesehen sein kann), sondern sich grundsätzlich auch entlang anderer Richtungen in der Bewegungsfläche M bewegen oder um eine senkrecht zur Bewegungsfläche liegende Rotationsachse drehen kann. Verlaufen dann die Leiter **11** in verschiedenen Richtungen innerhalb der Gitterfläche G, gibt es häufiger einen Leiter, der genau so verläuft, dass das um ihn bei Strombeaufschlagung herum erzeugte Magnetfeld sich bestmöglich in den gegenüberliegenden Sekundärkern des Energieabnehmers fortsetzt und so die größtmögliche Spannung induziert. Dazu ist es natürlich erforderlich, dass nicht nur die Position des Energieabnehmers, sondern auch dessen genaue Lage (also der Drehwinkel um die z-Achse) festgestellt wird, um den geeignetsten Leiter mit Strom zu beaufschlagen.

[0048] Alternativ oder ergänzend ist in einer weiteren in Fig. 6 gezeigten Ausgestaltung des Energieabnehmers vorgesehen, dass nicht zwei um 90° verdreht zueinander angeordnete Sekundärkerne vorgesehen sind, sondern dass nur ein einziger Sekundärkern **30** vorgesehen ist, der um eine senkrecht zur Bewegungsfläche angeordnete Rotationsachse R rotieren kann. Dabei kann entweder vorgesehen sein, dass der Sekundärkern **30** aufgrund des von dem strombeaufschlagten Leiter erzeugten Magnetfelds von selbst rotiert und eine solche Lage einnimmt, dass von dem Sekundärkern **30** das erzeugte Magnetfeld optimal geleitet wird. Alternativ kann auch vorgesehen sein, dass motorische Mittel **31** vorgesehen sind, die den Sekundärkern **30** so drehen, dass er die optimale Lage einnimmt. Dazu sind dann geeignete Mittel (nicht gezeigt) vorgesehen, die die Lage des Sekundärkerns **30** relativ zu dem benachbarten Leiter ermitteln, so dass er dann in die geeignete Lage verdreht werden kann.

[0049] Ferner ist in einer weiteren, in Fig. 7 in einer Draufsicht gezeigten Ausgestaltung vorgesehen, dass der Energieabnehmer eine Vielzahl von um eine senkrecht zur Bewegungsfläche angeordnete Rotationsachse R verdreht zueinander liegende Sekundärkerne **40** bis **47** aufweist, also beispielsweise acht um jeweils 45° zueinander verdreht liegende Sekundärkerne. Es wird bei dieser Ausgestaltung immer einen oder mehrere Sekundärkerne **40** bis **47** geben, der oder die optimal zu dem einen bzw. den mehreren mit Strom beaufschlagten Leitern liegen und in den oder die somit eine Spannung induziert wird. Gegebenenfalls wird sogar in die Sekundärwicklungen W mehrerer Sekundärkerne **40** bis **47** eine Spannung induziert, die dann aufsummiert und insgesamt benutzt werden kann.

[0050] Um den Wirkungsgrad der Energieübertragung noch weiter zu erhöhen, ist in einer weiteren Ausgestaltung, wie sie in Fig. 8 gezeigt ist, vorgesehen, dass die Leiter **11** des Energieversorgers **1** aus supraleitendem Material bestehen. Um den Supraleitereffekt sicherzustellen, ist ferner eine Kühleinheit **17** auf der Rückseite des Gitters **10** vorgesehen, beispielsweise ein Stickstoff-Kühlapparat.

[0051] Die Erfindung nutzt somit das bekannte Prinzip der induktiven magnetischen Kopplung, um Energie von einer Primärseite auf eine bewegte Sekundärseite zu übertragen. Die Erfindung nutzt dabei in einer ersten Ausgestaltung eine Matrix von einachsigen Einheiten. Unterschiede zu den bekannten Systemen bestehen dabei sowohl in der Form des Sekundärkerns und der Ausführung der magnetischen Kopplung, da nicht die E-förmigen, die Primärleitungen einschließenden Sekundärkerne benutzt werden, sondern bevorzugt eine ringförmige Kernausführung, die einen Luftspalt zwischen der Primär- und der Sekundärseite aufweist. Die Sekundärkerne schließen die Leiter der Primärseite also gerade nicht. ein. Die erfindungsgemäße Ausführung der Kopplung ermöglicht somit eine freie Bewegung des Energieabnehmers auf der Sekundärseite in einer Ebene und nicht nur entlang einer Geraden oder um eine einzige Rotationsachse. Mit einer ringförmigen Ausgestaltung ist dabei nicht nur eine kreisförmige runde Ausgestaltung gemeint, sondern auch jegliche andere, ggf. auch eckige Ausgestaltung in Ringform.

[0052] Eine weitere Innovation ist die Verringerung des magnetischen Widerstandes der induktiven Kopplung durch den Einsatz von weichmagnetischem Material, insbesondere in Form von Ferrofluid. Durch die Bildung eines Gitternetzwerkes auf der Energieversorgerseite wird die berührungslose Versorgung der Verbraucher auf der Sekundärseite über

eine beliebig große Fläche ermöglicht, was mit den bekannten Systemen nicht erreichbar ist. Erfindungsgemäß sind somit keine Kabel und Schleifringe zur Übertragung der Energie auf die Sekundärseite mehr erforderlich. Der Bewegungsspielraum des Energieabnehmers ist deutlich größer gegenüber herkömmlichen Systemen, und eine berührungslose Energieübertragung ist auch in der Bewegung selbst möglich. Da keine Kabel mehr erforderlich sind, wird Platz gespart, und die Bewegungsfreiheit des Energieabnehmers wird auch nicht mehr durch Kabel gestört. Zudem können höhere Lebensdauern der Maschinen erreicht werden, da diese robuster sind, was zudem die Instandhaltungskosten verringert. Des weiteren wird auch die Zuverlässigkeit erhöht, da häufig auftretende Störungen durch Kabelbruch entfallen.

[0053] Die Bewegungsfläche und die Gitterfläche müssen nicht zwingend flache Ebenen sein, sondern können beispielsweise auch gewölbte Flächen (z.B. sich gegenüber liegende Kugeloberflächen, beispielsweise 2 durch einen Luftspalt getrennte Halbkugeloberflächen). Denkbar ist ferner, das Konzept der Erfindung so zu erweitern, dass eine Bewegung des Energieabnehmers in einer dritten Dimension möglich wird. Diese kann beispielsweise erreicht werden, indem mindestens ein Leiter so angeordnet wird, dass er senkrecht zu der Gitterfläche angeordnet ist und dass sich der Energieabnehmer auch entlang dieses mindestens einen Leiters bewegen kann.

[0054] Anwendungen sind in verschiedenen Gebieten denkbar. Von den bereits genannten Anwendungen in der Roboter- und Anlagentechnik sowie bei der Maschinensteuerung sind auch Anwendungen in der Luft- und Raumfahrt denkbar, da keine Gefahr mehr durch Funkenbildung bei Kabelbruch besteht und somit eine besonders hohe Zuverlässigkeit erreicht wird. Auch in der Medizintechnik können sich Anwendungen ergeben, z.B. in einem Operationssaal. Dort müssen bestimmte medizinische Geräte, die mit Akkumulatoren betrieben werden, immer wieder in die Steckdose gesteckt werden, um aufgeladen zu werden. Die Erfindung kann somit als Ladestation dienen, bei der das medizinische Gerät mit dem Akkumulator (der Energieabnehmer im Sinne der vorliegenden Anmeldung) einfach auf eine Fläche gelegt wird (der Energieversorger), wobei es dann völlig egal ist, an welcher Stelle genau auf der „Ladefläche" das medizinische Gerät abgelegt wird.

[0055] Insbesondere entfällt dabei auch der große Aufwand der Reinigung und Sterilisierung der im Operationssaal befindlichen Steckdosen, da die ebene Fläche des Energieversorgers sehr leicht gereinigt und sterilisiert werden kann. Die Erfindung kann somit allgemein als Ladestation eingesetzt werden.

Patentansprüche

1. Vorrichtung zur kontaktlosen Übertragung von Energie von einem primärseitigen Energieversorger zu einem sekundärseitigen, in einer Bewegungsfläche bewegbaren oder beliebig positionierbaren Energieabnehmer, wobei der Energieversorger ein Gitter von einzeln oder gruppenweise mit einem Strom beaufschlagbaren Leitern umfasst, die in einer parallel in geringem Abstand zur Bewegungsfläche liegenden Gitterfläche angeordnet sind, und wobei der Energieabnehmer wenigstens einen magnetisch leitenden Sekundärkern umfasst, der die Form eines zur Gitterfläche hin offenen Rings aufweist und der eine Sekundärwicklung trägt, in die von einem benachbarten stromdurchflossenen Leiter des Gitters eine Spannung induziert wird.

2. Vorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass das Gitter eine Vielzahl von rechtwinklig zueinander angeordneten Leitern umfasst und dass der Energieabnehmer zwei um 90° verdreht zueinander angeordnete Sekundärkerne aufweist, die jeweils die Form eines zur Bewegungsfläche hin offenen Rings aufweisen und jeweils eine Sekundärwicklung tragen.

3. Vorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass der Energieabnehmer einen einzigen um eine senkrecht zur Bewegungsfläche angeordnete Rotationsachse verdrehbaren Sekundärkern aufweist.

4. Vorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass der Energieabnehmer eine Vielzahl von um eine senkrecht zur Bewegungsfläche angeordnete Rotationsachse verdreht zueinander angeordnete Sekundärkerne aufweist.

5. Vorrichtung nach einem der vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass Mittel zur Positionsbestimmung des Energieabnehmers und Steuermittel zur Beaufschlagung wenigstens desjenigen Leiters des Gitters mit einem Strom, zu dem der Energieabnehmer am nächsten angeordnet ist, vorgesehen sind.

6. Vorrichtung nach einem der vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Leiter des Gitters jeweils von einem ringförmigen, zur Bewegungsfläche hin offenen, magnetisch leitenden Primärkern, insbesondere aus weichmagnetischem Material, umgeben sind.

7. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 5, gekennzeichnet, dass die Leiter des Gitters in einem Behältnis angeordnet sind, in dem eine magnetisch leitende Flüssigkeit, insbesondere ein Ferrofluid, vorgesehen ist.

8. Vorrichtung nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, dass sich wenigstens so viel Flüssigkeit in dem Behältnis befindet, dass sich bei Beaufschlagung eines Leiters mit einem Strom die Flüssigkeit um diesen Leiter sammelt.

9. Vorrichtung nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, dass die Leiter des Gitters an der Oberfläche des Behältnisses angeordnet sind, so dass sich bei Beaufschlagung eines Leiters mit einem Strom die Flüssigkeit um diesen Leiter in Form eines zur Bewegungsfläche hin offenen ringförmigen Mantels sammelt.

10. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 7 bis 9, dadurch gekennzeichnet, dass die magnetisch leitende Flüssigkeit eine Trägerflüssigkeit aus Kohlenwasserstoff mit einer Suspension an Magnetid-Partikeln enthält.

11. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, dass der Energieversorger wenigstens einen ringförmigen, zur Bezugsebene hin offenen, magnetisch leitenden Primärkern, insbesondere aus weichmagnetischem Material, umfasst, der parallel zur Gitterfläche frei beweglich und um eine senkrecht zur Gitterfläche liegende Rotationsachse verdrehbar ist und dass Mittel vorgesehen sind zur Bewegung des Primärkerns an die Position und Bringung in die Lage, dass er dem Energieabnehmer im Betrieb immer gegenüberliegt.

12. Vorrichtung nach einem der vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Leiter aus supraleitendem Material bestehen und dass Kühlmittel vorgesehen sind zur Kühlung der Leiter.

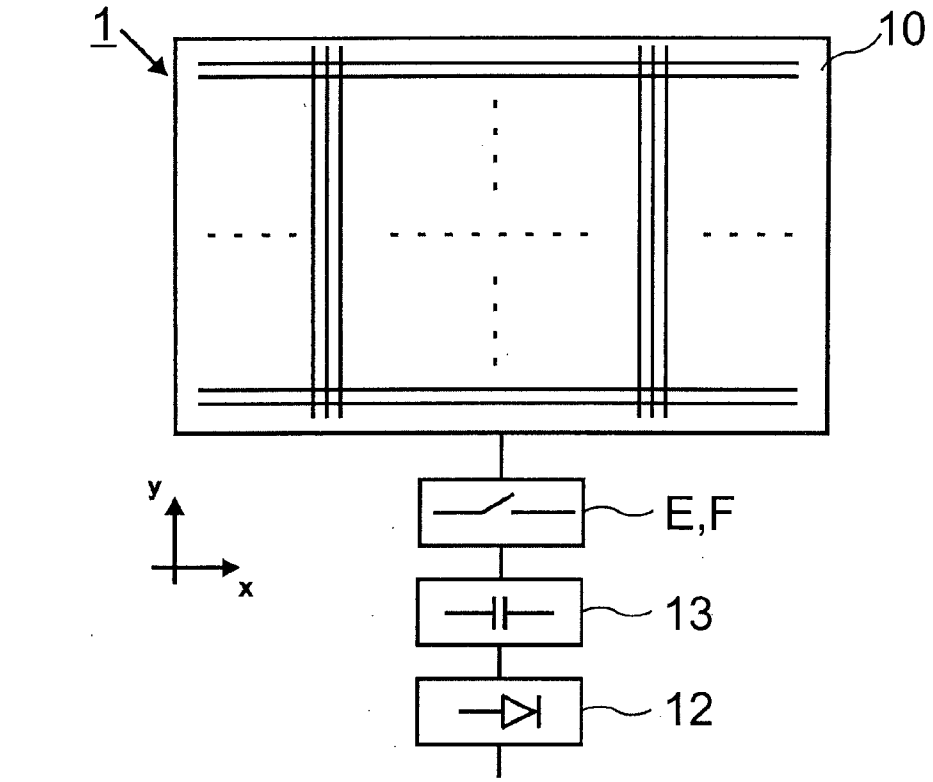
13. Vorrichtung nach einem der vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass Mittel zur Beaufschlagung des Leiters mit einem Wechselstrom, insbesondere einem hochfrequenten Wechselstrom in einem Frequenzbereich von 1 kHz bis 1 GHz, vorgesehen sind.

14. Vorrichtung nach einem der vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass Kompensationsmittel, insbesondere im Energieversorger und im Energieabnehmer, vorgesehen sind zur Reduzierung induktiver Blindleistung und Erhöhung des Wirkungsgrades.

15. Verfahren zur kontaktlosen Übertragung von Energie von einem primärseitigen Energieversorger zu einem sekundärseitigen, in einer Bewegungsfläche bewegbaren oder beliebig positionierbaren Energieabnehmer, wobei der Energieversorger ein Gitter von einzeln oder gruppenweise mit einem Strom beaufschlagbaren Leitern umfasst, die in einer parallel in geringem Abstand zur Bewegungsfläche liegenden Gitterfläche angeordnet sind, wobei der Energieabnehmer wenigstens einen magnetisch leitenden Sekundärkern umfasst, der die Form eines zur Gitterfläche hin offenen Rings aufweist und der eine Sekundärwicklung trägt, in die von einem benachbarten stromdurchflossenen Leiter des Gitters eine Spannung induziert wird, und wobei wenigstens ein Leiter des Gitters mit Strom beaufschlagt wird.

Es folgen 6 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen



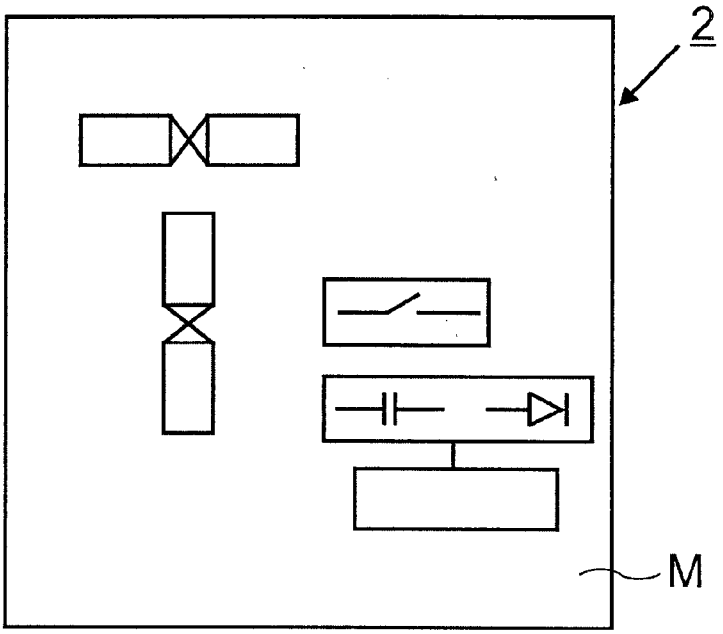


Fig.1

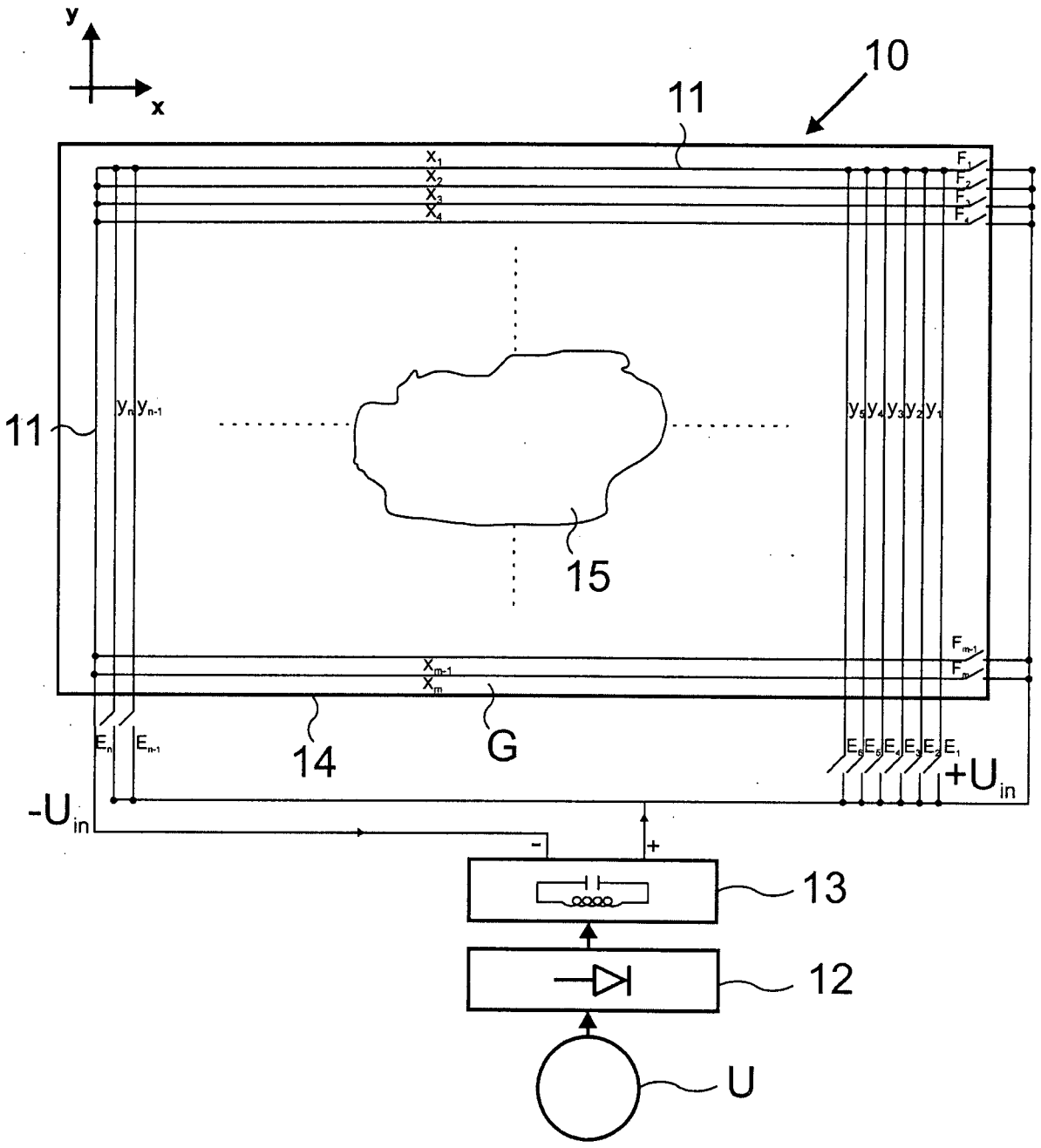


Fig.2

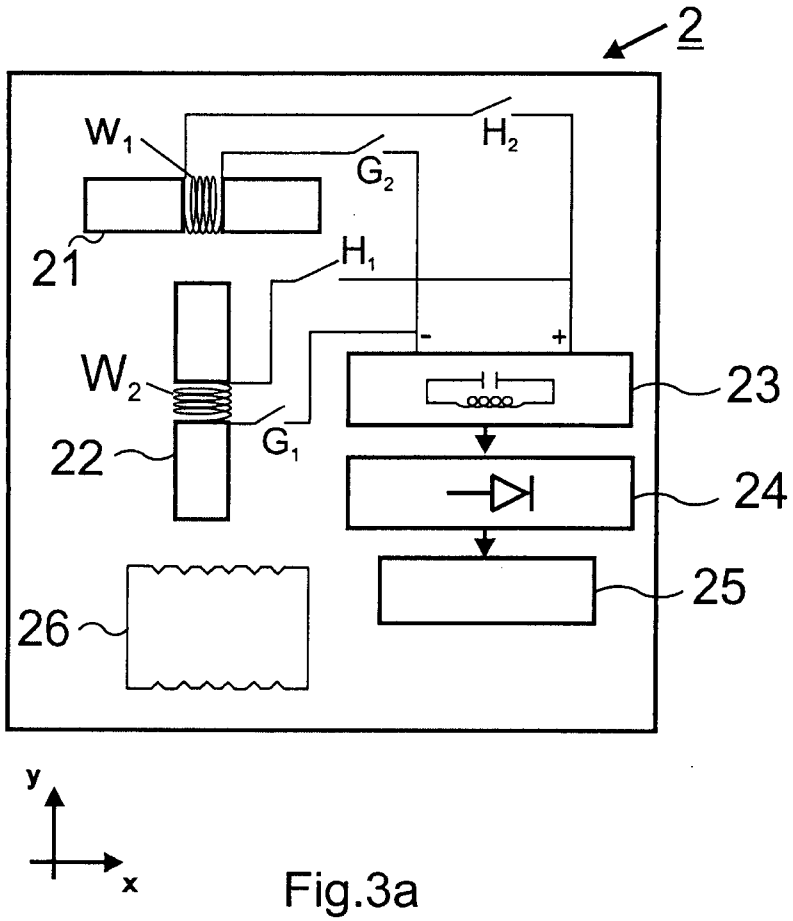


Fig.3a

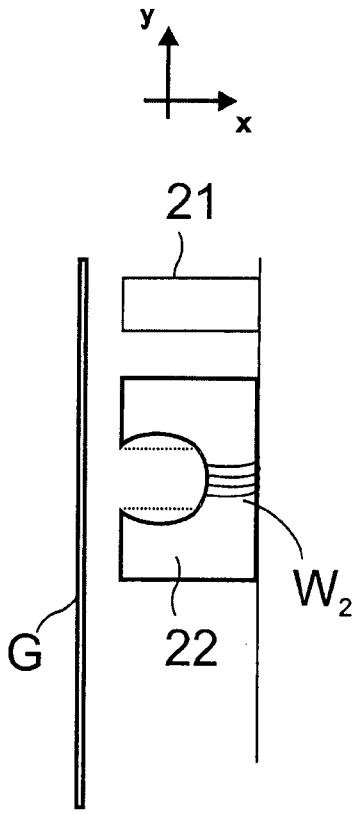


Fig.3b

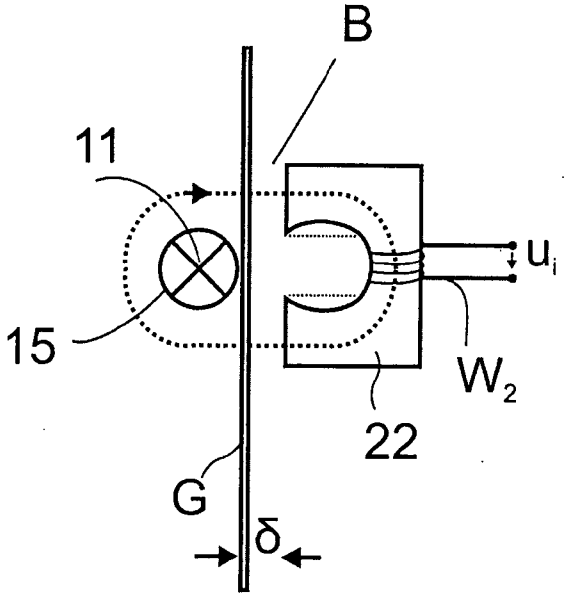


Fig.4

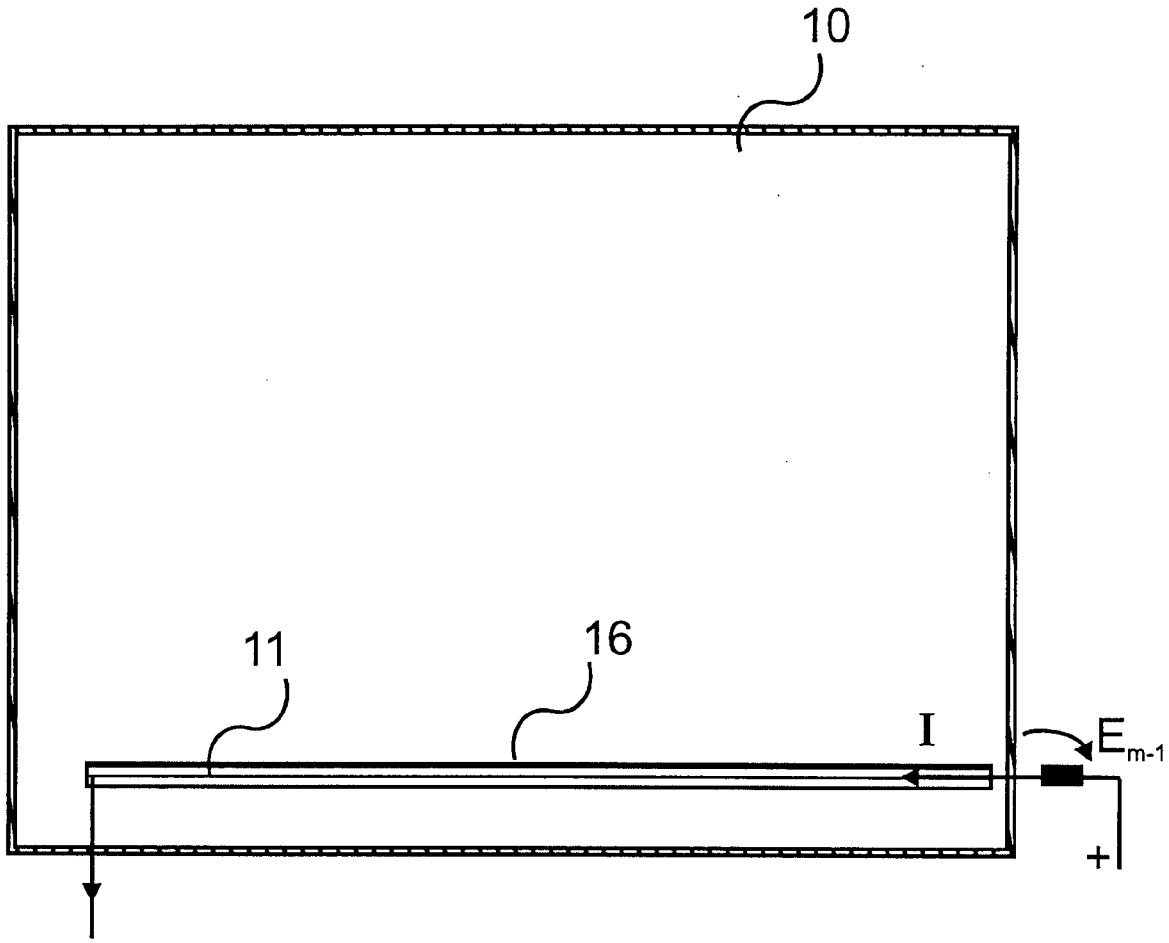


Fig.5

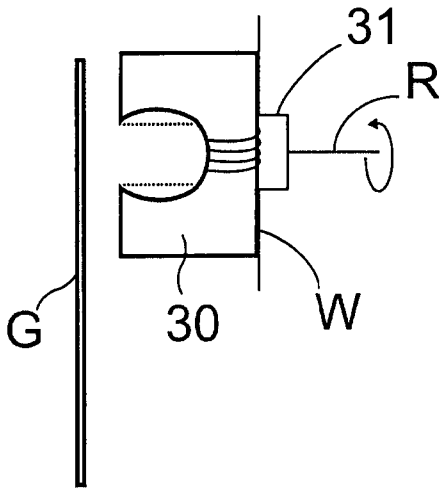


Fig.6

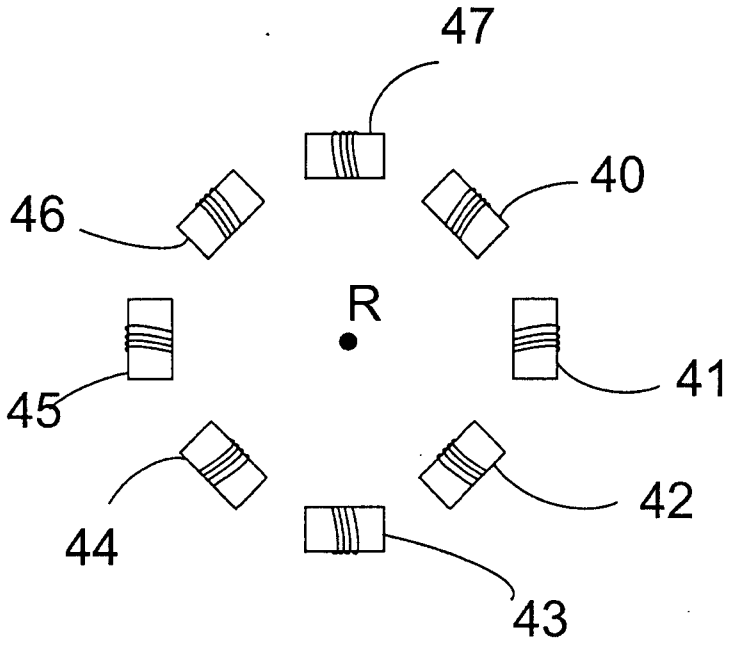


Fig.7

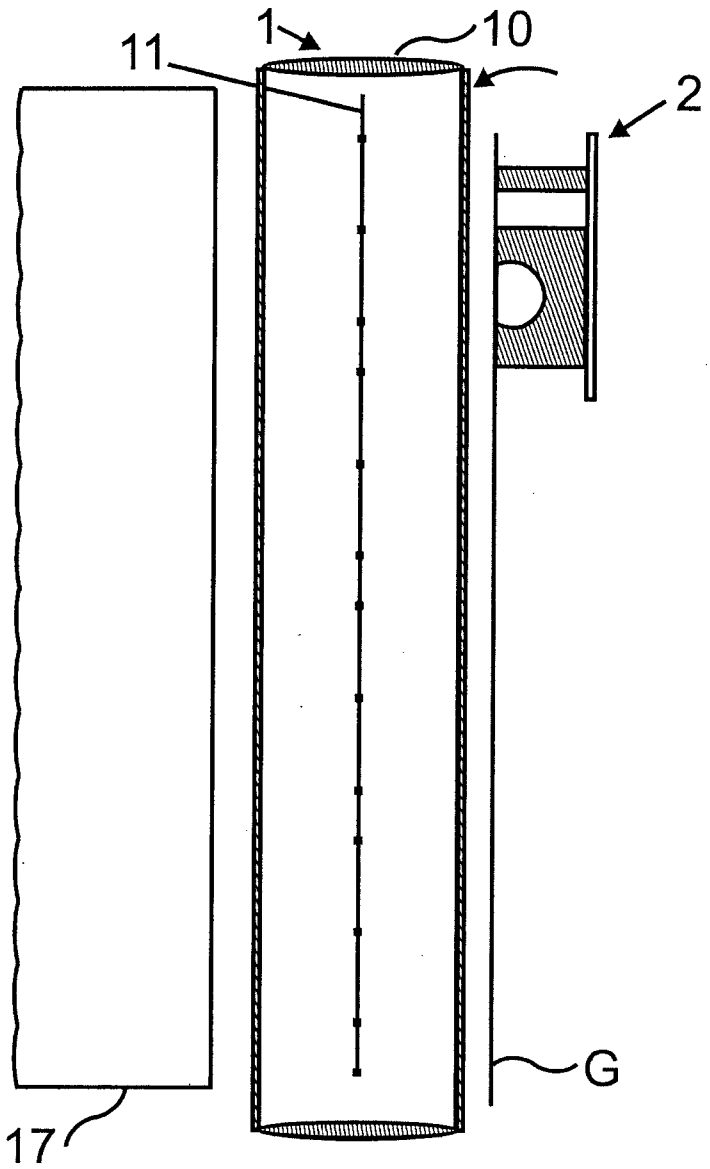


Fig. 8