

(19)



(11)

EP 2 261 763 A1

(12)

EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG

(43) Veröffentlichungstag:

15.12.2010 Patentblatt 2010/50

(51) Int Cl.:

G05F 7/00 (2006.01)(21) Anmeldenummer: **10006132.4**(22) Anmeldetag: **14.06.2010**

(84) Benannte Vertragsstaaten:

**AL AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB
GR HR HU IE IS IT LI LT LU LV MC MK MT NL NO
PL PT RO SE SI SK SM TR**
Benannte Erstreckungsstaaten:
BA ME RS

(30) Priorität: **13.06.2009 DE 102009024826**

(71) Anmelder: **Integrated Dynamics Engineering
GmbH**
65479 Raunheim (DE)

(72) Erfinder:

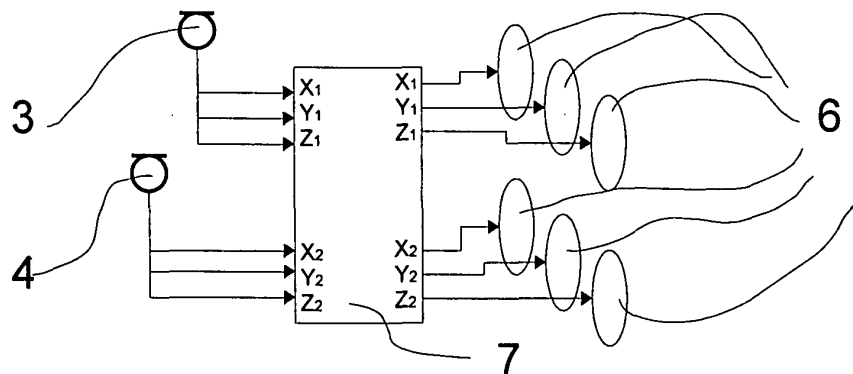
- **Kropp, Peter, Dr.**
55130 Mainz (DE)
- **Krishnamurthy, Subramanian**
Randolph, MA 02368 (US)

(74) Vertreter: **Blumbach - Zinngrebe**
Patentanwälte
Alexandrastrasse 5
65187 Wiesbaden (DE)

(54) Kompensation elektromagnetischer Störfelder

(57) Zur Kompensation sowohl homogener als auch inhomogener Magnetfelder sieht die Erfindung ein System vor zur Kompensation von elektromagnetischen Störfeldern, insbesondere inhomogenen Störfeldern, umfassend: Zwei dreiaxige Magnetfeldsensoren (3, 4) zur Abgabe von realen Sensorssignalen ($S_1, S_2, S_3, S_4, S_5, S_6$); sechs Kompensationsspulen (6), die als Käfig um ein zu schützendes Objekt (2) angeordnet sind und einzeln ansteuerbar sind; eine Reglereinheit (7) mit sechs Eingängen und sechs Ausgängen sowie mit einem digitalen Prozessor, der die Sensorsignale ($S_1, S_2, S_3, S_4, S_5, S_6$) eingangsseitig aufnimmt und zu Ansteuersignalen ($O_1, O_2, O_3, O_4, O_5, O_6$) für die Kompensations-

spulen (6) verarbeitet, wobei die realen Sensorsignale ($S_1, S_2, S_3, S_4, S_5, S_6$) zu virtuellen Sensorsignalen ($V_1, V_2, V_3, V_4, V_5, V_6$) durch eine erste Matrixmultiplikation ($V = M \cdot S$) umgerechnet werden, um die Störfelder am Ort des Objekts (2) abzubilden, wonach die virtuellen Sensorsignale ($V_1, V_2, V_3, V_4, V_5, V_6$) durch einen die Reglerstruktur beschreibenden Operator (O) zu veränderten Signalen ($\hat{V}_1, \hat{V}_2, \hat{V}_3, \hat{V}_4, \hat{V}_5, \hat{V}_6$) gemacht werden, wobei die veränderten Signale ($\hat{V}_1, \hat{V}_2, \hat{V}_3, \hat{V}_4, \hat{V}_5, \hat{V}_6$) zu realen Ansteuersignalen ($O_1, O_2, O_3, O_4, O_5, O_6$) durch eine zweite Matrixmultiplikation ($O = L \cdot \hat{V}$) umgerechnet werden, die den sechs Kompensationsspulen (6) einzeln zugeführt werden.

**Fig. 2**

BeschreibungGebiet der Erfindung

[0001] Die Erfindung bezieht sich allgemein auf ein System zur Kompensation von elektromagnetischen Störfeldern. Insbesondere betrifft die Erfindung ein System zur Magnetfeldkompensation mit zwei Sensoren und einem digitalen Prozessor.

Hintergrund der Erfindung

[0002] Zur Kompensation elektromagnetischer Störfelder, insbesondere magnetischer Störfelder werden in den allermeisten Fällen Feedbackcontrol Regelungssysteme eingesetzt. Hierbei messen ein oder mehrere Sensoren für alle drei kartesischen Raumachsen die Amplitude des Störfeldes. Die Messsignale der Sensoren werden einem Regelungskreis zugeführt, der aus den Messsignalen der Sensoren Steuer- oder Aktuator signale für Magnetfelder erzeugende Vorrichtungen berechnet.

[0003] Das zu kompensierende Magnetfeld kann das Erdmagnetfeld sein oder von anderen in der Umgebung befindlichen Strom führenden Einrichtungen erzeugt werden.

[0004] Magnetfeldkompensationssysteme werden beispielsweise im Zusammenhang mit bildgebenden Systemen angewendet, die elektromagnetische Felder verwenden, beispielsweise bei Rasterelektronenmikroskopen (REM).

[0005] Bei den genannten Vorrichtungen zur Erzeugung von Magnetfeldern kann es sich im einfachsten Fall um einen stromdurchflossenen Leiter handeln. Im Allgemeinen wird aber von Störfeldern ausgegangen, die Fernfeldcharakter haben, d.h. solchen Feldern, deren Feldamplitude sich im Bereich von 5m nicht wesentlich ändert. Diese Annahme trifft beispielsweise bei Störungen von Schienenfahrzeugen zu. Sofern die Störfelder im interessierenden Bereich homogen sind, sollten die Kompensationsfelder ebenfalls homogen sein.

[0006] Für die Erzeugung homogener Kompensationsfelder werden bevorzugt sog. Helmholtzspulenpaare eingesetzt. Hierbei handelt es sich um jeweils zwei Spulen, die gleichsinnig geschaltet sind und deren Abstand gleich der halben Kantenlänge (= Spulendurchmesser) einer Spule ist (sog. Helmholtzbedingung).

[0007] Ferner werden Paare von Helmholtzspulen eingesetzt, deren Abstand gleich einer Kantenlänge ist. Wird für jede der drei Raumachsen jeweils ein Paar von Helmholtzspulen verwendet, so bilden die Spulenpaare einen würfelförmigen Käfig um den Ort herum, an dem ein oder mehrere Störfelder kompensiert werden sollen. Bei einer derartigen Spulenanordnung treten aufgrund der Verletzung der Helmholtzbedingung zwar Feldinhomogenitäten im Inneren des Käfigs auf, diese sind aber für die meisten Anwendungsfälle akzeptabel.

[0008] In der US 2005/0195551 A1 wird ein Gerät zur Magnetfeldkompensation angegeben. Dabei werden drei Spulenpaare zu einem Käfig angeordnet. Das zu kompensierende Magnetfeld wird gemessen. Zur Regelung wird ein analoger Regler verwendet.

[0009] Es sind auch Systeme erhältlich, bei denen pro Raumachse lediglich eine Spule zur Erzeugung des Kompensationsfeldes verwendet wird, wodurch der Kompensationsbereich, d.h. der Bereich, in dem eine gute Kompensation erreicht wird, aber deutlich verkleinert wird.

[0010] Zur Messung des Magnetfeldes am interessierenden Ort wird im Allgemeinen ein einziger Magnetfeldsensor eingesetzt. Ausnahmsweise gibt es einen zweiten Sensor, der jedoch zu Diagnosezwecken eingesetzt wird. Mit einem einzelnen Magnetfeldsensor lässt sich jedoch nicht feststellen, ob das zu kompensierende Magnetfeld homogen oder inhomogen am Ort des zu schützenden Objekts ist.

[0011] Ein weiteres Problem bei der Kompensation elektromagnetischer Störfelder besteht darin, dass nicht unmittelbar an dem Ort gemessen werden kann, an dem das Störfeld zu kompensieren ist, da sich an diesem Ort im Allgemeinen das vor Störfeldern zu schützende Objekt befindet.

[0012] Ein weiteres Problem tritt auf, wenn zwei Magnetfeldkompensationssysteme unmittelbar benachbart sind. Dann kann es zu unerwünschten Rückkopplungseffekten zwischen den beiden Systemen kommen.

[0013] Ein weiteres Problem besteht mit den Regelungssystemen. Diese Regelsysteme können in der Regel nur auf eine Anwendung hin optimiert werden. Eine Anpassung an ganz unterschiedliche Regelungsaufgaben, beispielsweise weil sich die Regelungskonfiguration geändert hat, ist in der Regel nicht oder nur beschränkt möglich und/oder sehr schwierig zu realisieren. Auch nichtlineare Regelungssysteme können im Allgemeinen nur mit hohem Aufwand umgesetzt werden. Diese weisen aber unter Umständen eine deutliche bessere Störfeldkompensation auf als lineare Regelungssysteme. Folglich würde für wechselnde Regelungsaufgaben der gesamte Regelkreis oder die Regelschleife neu berechnet, ausgelegt und/oder ausgetauscht werden. Dies kann in den meisten Fällen auch nicht vom Anwender direkt erfolgen.

Zusammenfassung der Erfindung

[0014] Der Erfindung liegt daher die Aufgabe zugrunde, ein System zur Kompensation elektromagnetischer Störfelder bereit zustellen, bei dem homogene wie inhomogene Magnetfelder kompensiert werden können.

Es ist eine weitere Aufgabe der Erfindung, eine Simulation der Messung von elektromagnetischen Störfeldern am Ort des zu schützenden Objekts vorzunehmen.

[0015] Es ist eine noch weitere Aufgabe der Erfindung, im Falle des Einsatzes von zwei Magnetfeldkompensationssystemen in unmittelbarer Nachbarschaft eventuell auftretende Rückkopplungseffekte auszugleichen.

[0016] Die wesentlichen Merkmale der Erfindung sind in den Ansprüchen aufgeführt.

[0017] Im einzelnen ist ein System zur Kompensation elektromagnetischer Störfelder vorgesehen, welches zwei reale dreiachsige Magnetfeldsensoren, drei Paare von Kompensationsspulen und eine Reglereinheit aufweist, um ein Objekt vor den Einflüssen eines Störfeldes zu schützen. Die Reglereinheit ist dabei vorzugsweise als digitaler Prozessor ausgeführt, beispielsweise als ein DSP (engl. DSP; Digitaler Signal Prozessor) oder ein FPGA (engl. FPGA; field programmable gate array).

[0018] Mittels einer frei definierbaren Art von Mittelung können die insgesamt sechs Ausgangssignale der beiden realen Sensoren zu drei Ausgangssignalen eines virtuellen Sensors zusammengefasst werden. Durch eine geeignete Wahl des Mittelungsverfahrens kann erreicht werden, dass die Ausgangssignale des virtuellen Sensors die Amplitude des Störfeldes am Ort des zu schützenden Objekts repräsentieren.

[0019] Die Mittelung erfolgt durch das Regelungssystem, welches die sechs Ausgangssignale der zwei realen Magnetfeldsensoren über sechs Eingänge erhält.

[0020] Die Ausgangssignale der beiden Magnetfeldsensoren können für jeden Sensor durch einen dreidimensionalen Vektor dargestellt werden. Diese beiden Vektoren können zu einem sechsdimensionalen Vektor, d.h. einer 6x1 Matrix, zusammengefasst werden. Die Mittelung über die Ausgangssignale der beiden realen Sensoren, d.h. die Berechnung der Ausgangssignale des virtuellen Sensors, können durch eine Matrixmultiplikation beschrieben werden:

$$V = M \cdot S$$

V: 6x1 Matrix der Ausgangssignale des virtuellen Sensors

M: 6x6 Matrix, die die Mittelung über die Ausgangssignale der realen Sensoren beschreibt

S: 6x1 Matrix der Ausgangssignale des virtuellen Sensors

Die nunmehr vorliegenden Ausgangssignale (= virtuelle Eingangssignale des Regelsystems) des virtuellen Sensors werden als Input für unabhängige, parallel arbeitende Regelschleifen verwendet. Diese Regelschleifen können breitbandig, frequenzbereichsselektiv oder auch frequenzselektiv sein. Die Regelschleifen weisen Regelalgorithmen auf, die aus den virtuellen Eingangssignalen V veränderte Signale $\hat{V}$ machen. Hierbei ist $\hat{V}$ eine 6x1 Matrix, die die insgesamt sechs veränderten Eingangssignale des Regelsystems darstellen. Der Regelalgorithmus wird durch einen Operator O beschrieben. Hinsichtlich des verwendeten Regelalgorithmus bestehen keinerlei Einschränkungen. Demgemäß muss der Operator O keine Matrix sein, so dass auch nichtlineare Algorithmen Verwendung finden können. Der Übergang zu den modifizierten Signalen $\hat{V}$ wird also beschrieben durch

$$\hat{V} = O(V)$$

[0021] Um für die sechs Spulen Steuersignale zu gewinnen, wird die Matrix $\hat{V}$ mit einer 6x6 Matrix L multipliziert, d.h.

$$O = L \cdot \hat{V}$$

[0022] Hierbei bedeutet:

L: 6x6 Matrix für die Berechnung der Steuersignale O aus den modifizierten Signalen $\hat{V}$.

[0023] Der vom Reglersystem angewandte Algorithmus lässt sich also insgesamt wie folgt beschreiben:

$$O = L \cdot O (M \cdot S)$$

[0024] Je inhomogener das Kompensationsfeld bei homogener Störung und je homogener das Kompensationsfeld bei inhomogener Störung ist, desto kleiner ist der Bereich um den Feedbacksensor, der einen guten Kompensationseffekt aufweist.

[0025] Wenn das Störfeld inhomogen ist, ist es nicht zweckmäßig ein homogenes Kompensationsfeld zu erzeugen. In diesem Fall ist es also zweckmäßig, statt eines Paares von Helmholtzspulen eine einzelne Aktuatorspule zu verwenden.

[0026] In diesem Fall wird nur ein einzelnes Kompensationssystem verwendet, d.h. für die Bearbeitung virtueller Sensorpositionen und für die Erzeugung von Gradientenfeldern werden lediglich drei virtuelle Signale verwendet, so dass M eine 3x6 Matrix und L eine 6x3 Matrix sein kann. Alternativ können die "nicht benötigten" Elemente der 6x6 Matrizen auch gleich Null sein.

[0027] Im Falle einer Helmholtzspulenordnung wird nur eine Spule des Paares aktiv angesteuert, und zwar in Abhängigkeit vom Gradienten des Störfeldes unterhalb des Kompensationsbereiches, oder oberhalb des Kompensationsbereiches. Somit ist im Falle einer Änderung der Struktur des Störfeldes neben einer neuen Parametrisierung der Regelkreise eine Umbaumaßnahme zur Positionsänderung der einzelnen Spule nicht notwendig. Werden zwei Kompensationssysteme direkt nebeneinander betrieben, so führt dies zu gegenseitigen Störungen. Die Rückkopplung zwischen den beiden Systemen kann durch eine 6x6 Rückkopplungs- oder Crosscoupling-Matrix C beschrieben werden. C repräsentiert die Rückkopplung eines Steuersignals O_i mit einem virtuellen Signal V_i .

[0028] Zur Vermeidung von Störungen wird das Feedbacksystem keine optimalen Ergebnisse liefern können. In der Regel ist eine über- oder Unterkompensation nur für digitale Regelungssysteme möglich und auch dort nur für nicht-breitbandig arbeitende Systeme. Für alle anderen Systeme müsste die Position des Sensors angepasst werden. Eine solche Positionsänderung kann es erforderlich machen, dass die Sensoren für die drei Raumachsen an unterschiedlichen Positionen im Raum positioniert werden müssen. Da aber ein einziges Kompensationssystem für alle Arten von Anwendungen angestrebt wird, stellt Über- bzw. Unterkompensation kein geeignetes Verfahren dar.

[0029] Hierbei wird die Matrix S der Ausgangssignale der realen Sensoren um einen Rückkopplungsanteil zu einer 6x1 Matrix $\hat{S}$ erweitert. Insgesamt gilt also:

$$O = L \cdot O (M \cdot (S - C \cdot O))$$

Kurze Beschreibung der Zeichnungen

[0030] Es zeigen:

Fig. 1: Eine schematische Darstellung des Systems zur Kompensation eines inhomogenen Störfeldes,

Fig. 2: eine schematische Darstellung des Systems zur Kompensation elektromagnetischer Störfelder mit seinem Regelungssystem,

Fig. 3: ein Blockdiagramm der Berechnung der Steuersignale des Systems zur Kompensation elektromagnetischer Störfelder.

Fig. 4: eine schematische Darstellung des Einsatzes eines Magnetfeldkompensationssystems und

Fig. 5: eine schematische Darstellung des Einsatzes zweier Magnetfeldkompensationssysteme unmittelbar nebeneinander.

Detaillierte Beschreibung der Erfindung

[0031] Im Folgenden wird die Erfindung unter Bezugnahme auf die beigelegten Figuren anhand beispielhafter Aus-

führungsformen näher beschrieben, wobei gleiche Bezugszeichen sich auf gleiche Bauteile beziehen.

[0032] Fig. 1 zeigt schematisch das System zur Kompensation elektromagnetischer Störfelder. Ein vor den Auswirkungen eines Störfeldes 1 zu schützendes Objekt 2 wird vom Störfeld 1 durchdrungen. Das Störfeld 1 ist hier als Gradientenfeld angenommen.

[0033] Die Amplitude des Störfeldes 1 wird von zwei realen Magnetfeldsensoren 3 und 4 gemessen. Der erste reale Sensor 3 liefert ein Ausgangssignal $\vec{S}_1 = [x_1(t), y_1(t), z_1(t)]$ und der zweite reale Sensor 4 liefert ein Ausgangssignal $\vec{S}_2 = [x_2(t), y_2(t), z_2(t)]$. Diese beiden Ausgangssignale werden der in Fig. 2 gezeigten Reglereinheit 7 in digitalisierter Form zugeführt.

[0034] Für die insgesamt 6 Signale, entsprechend 2x3 Raumachsen, weist die Reglereinheit 7 sechs Eingänge auf. Ferner hat die Reglereinheit 7 sechs Ausgänge zur Abgabe von Steuersignalen für sechs Spulen 6.

[0035] Die beiden Vektoren $\vec{S}_1$ und $\vec{S}_2$ werden zu einem Sechser-Vektor bzw. einer 6x1 Matrix $S = (S_1, S_2, S_3, S_4, S_5, S_6)$ zusammengefasst. S wird von der Reglereinheit 7 gemäß dem in Fig. 3 schematisch gezeigten Algorithmus bearbeitet. In einem ersten Schritt werden die insgesamt sechs der Reglereinheit 7 zugeführten Signale in Signale $V = (V_1, V_2, V_3, V_4, V_5, V_6)$ eines virtuellen Sensors 5 (Fig. 1) umgerechnet. Dies geschieht, indem S mit einer 6x6 Matrix M multipliziert wird. Es gilt also

$$V = M \cdot S$$

[0036] Die virtuellen Signale V entsprechen der Amplitude des Störfeldes am Ort des zu schützenden Objekts 2. M beschreibt also die Geometrie der gesamten Anordnung und wie die Signale der beiden realen Sensoren 3 und 4 zum virtuellen Signal V zusammengesetzt werden.

[0037] Die derart erzeugten virtuellen Signale V werden unabhängigen, parallel arbeitenden Regelschleifen zugeführt und weiter bearbeitet. Diese Regelschleifen als Teil der Reglereinheit 7 können breitbandig, frequenzbereichsselektiv oder frequenzselektiv sein. Die Regelschleifen verändern die virtuellen Signale V zu modifizierten Signalen $\hat{V}$. Der Übergang von V zu $\hat{V}$ wird durch einen Operator O beschrieben. Somit gilt:

$$\hat{V} = O(V)$$

[0038] Da hinsichtlich der verwendeten Regelalgorithmen keinerlei Einschränkungen bestehen, wird die Modifikation der Signale V allgemein durch den Operator O dargestellt, der nicht notwendigerweise eine Matrix ist, so dass auch nichtlineare Algorithmen Anwendung finden können.

[0039] Zwecks Gewinnung von Steuersignalen für die Spulen 6 werden die modifizierten Signale $\hat{V}$ in reale Steuersignale O umgerechnet. O ist wieder eine 6x1 Matrix, enthält also 6 einzelne Signale, die zur Steuerung der sechs Spulen 6 verwendet werden. Der Übergang von den modifizierten Signalen $\hat{V}$ zu den Steuersignalen O wird demnach beschrieben durch

$$O = L \cdot \hat{V}$$

bzw. insgesamt:

$$O = L \cdot O(M \cdot S)$$

[0040] Hierbei ist L eine 6x6 Matrix. Die konkreten Elemente ihrer Werte hängen ab von der Art des zu kompensierenden Störfelds und der Geometrie der das Kompensationsfeld erzeugenden Spulen 6. Soll beispielsweise ein in x-Richtung wirkendes Gradientenfeld kompensiert werden, erhalten die beiden in x-Richtung wirkenden Spulen unterschiedlich starke Steuersignale, so dass die beiden Spulen unterschiedlich starke Magnetfelder erzeugen, so dass das Kompen-

sationsfeld ebenfalls ein Gradientenfeld ist, dessen Richtung der Feldstärkeänderung umgekehrt zu der des Störfeldes ist.

[0041] Der bislang beschriebene Algorithmus wird verwendet, so lange nur ein einziges Kompensationssystem verwendet wird. Für diesen Fall werden nur drei virtuelle Signale benötigt. Hierbei werden virtuelle Sensorpositionen berechnet und Gradientenfelder erzeugt. Für diese Zwecke ist es ausreichend, wenn M eine 3x6 Matrix und L eine 6x3 Matrix ist. Alternativ können die "nicht benötigten" Elemente der 6x6 Matrizen auch gleich Null sein.

[0042] Mit der Regeleinheit 7 können auch zwei direkt nebeneinander positionierte Kompensationssysteme betrieben werden. Dies kann sinnvoll sein, wenn zwei zu schützende Objekte direkt nebeneinander stehen und nicht mit einem großen Kompensationssystem geschützt werden sollen oder können. Dies hat zur Folge, dass die zu schützenden Bereiche aufgrund der zwei eingesetzten Kompensationssysteme ein deutlich kleineres Volumen haben. Daher werden auch keine Gradientenfelder zur Kompensation benötigt. Bei einer solchen Installation ist die Erzeugung von Gradientenfelder zur Kompensation allerdings auch nicht möglich, da die sechs Ausgangssignale der Regeleinheit 7 auf sechs Spulenpaare gegeben werden, die in der jeweiligen Raumrichtung dann jeweils nur ein homogenes Magnetfeld erzeugen können. Die Spulenpaare können in Reihe, parallel oder je nach Impedanz angeschlossen werden. Diese Spulenpaare werden dann jeweils um das zu schützende Objekt 2 platziert und die jeweils dazugehörigen Systeme werden jeweils innerhalb des von den je drei Spulenpaaren gebildeten Käfigs angeordnet. Diese Konfiguration wird in Fig. 4 gezeigt. Drei Paare von Helmholtzspulen H1, H2, H3 sind um an das zu schützende Objekt 2 angeordnet. Die beiden realen Sensoren 3, 4 befinden sich innerhalb des einen Käfigs H.

[0043] Es können auch zwei Kompensationssysteme direkt nebeneinander angeordnet werden. Dieser Fall ist in Fig. 5 gezeigt. Hierbei bilden jeweils drei Paare von Helmholtzspulen H1a, H2a, H3a bzw. H1b, H2b, H3b je einen Käfig Ha bzw. Hb. In jedem der beiden Käfige Ha, Hb befindet sich einer der beiden realen Sensoren 3, 4.

[0044] Sofern zwei Kompensationssysteme in unmittelbarer Nachbarschaft eingesetzt werden, können zwischen den beiden Systemen Rückkopplungseffekte auftreten. Diesem Umstand wird dadurch Rechnung getragen, dass eine 6x6 Rückkopplungsmatrix C vorgesehen ist, welche die Anteile derjenigen Signale herausrechnet, die aus einem Ausgangssignal O_i auf ein virtuelles Signal V_i übersprechen. C beschreibt die also die Art der Rückkopplung zwischen den beiden direkt nebeneinander installierten Kompensationssystemen.

[0045] Erfindungsgemäß wird die 6x1 Matrix der realen Sensorsignale S um den Rückkopplungsanteil erweitert. Wird die 6x1 Matrix dieser erweiterten Signale mit $\hat{S}$ bezeichnet, so gilt

$$\hat{S} = S - C \cdot O$$

[0046] Aus den so gewonnen, um den Rückkopplungsanteil erweiterten Signalen $\hat{S}$ wird in der bereits beschriebenen Weise die 6x1 Matrix mit den virtuellen Sensorsignalen berechnet. Es gilt also:

$$V = M \cdot \hat{S}$$

was schließlich zu Steuersignalen O gemäß folgender Beziehung führt:

$$O = L \cdot O (M \cdot (S - C \cdot O))$$

[0047] Im Folgenden sei als eine Standardinstallation des Systems angenommen, d.h. es ist nur ein System installiert. Somit treten keine Rückkopplungseffekte auf, was bedeutet, dass die Matrix C gleich der Nullmatrix ist. Ferner sei angenommen, dass sich das virtuelle Sensorsignal in x-Richtung zusammensetzen soll aus dem arithmetischen Mittel der beiden realen Sensorsignale in x-Richtung, da der Gradient des Störfeldes in x-Richtung verläuft. Das virtuelle Sensorsignal in y-Richtung soll gleich dem Signal y-Richtung des zweiten realen Sensors sein, da z.B. das Signal in y-Richtung des ersten realen Sensors von einem lokalen Störer verursachte unerwünschte Komponenten enthält. Das virtuelle Sensorsignal in z-Richtung soll aus Mittelungs-/Rauschunterdrückungsgründen gleich dem arithmetischen Mittel der beiden realen Sensorsignale in z-Richtung sein. Unter diesen Annahmen hat die Matrix M die folgende Gestalt:

$$M = \begin{pmatrix} 0,5 & 0 & 0 & 0,5 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0,5 & 0 & 0 & 0,5 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

[0048] Sind die Kompensationsspulen als Paare ausgeführt und soll in y- und in z-Richtung ein homogenes Kompensationsfeld abgestrahlt werden, das in x-Richtung einen Gradienten hat, so hat die Matrix L die folgende Gestalt:

$$L = \begin{pmatrix} 0,5 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

[0049] Im folgenden Beispiel wird eine Doppelinstallation betrachtet. D.h. zwei Systeme zur Kompensation elektromagnetischer Störfelder werden direkt nebeneinander betrieben.

[0050] Da in diesem Fall die Ausgangssignale für beide Kompensationskäfige innerhalb der Reglereinheit 7 bekannt sind, können nunmehr auch Rückkopplungsanteile berücksichtigt und in der Reglerstruktur berücksichtigt werden. Dies geschieht, wie bereits beschrieben, durch Verwendung einer Rückkopplungs- oder Crosscoupling-Matrix C. Diese Matrix C bzw. deren Elemente lassen experimentell recht einfach bestimmen, indem ein Signal auf einen Ausgang des ersten Kompensationssystems gegeben und beim zweiten System gemessen wird, welche Komponenten von den Sensoren des zweiten Systems aufgenommen werden und in welchem Bruchteil der Amplitude verglichen mit dem Sensor des ersten Systems. Diese Signalanteile bilden dann die Elemente der Rückkopplungsmatrix C. Hierbei muss dieses Messverfahren für alle Spulen durchgeführt werden.

[0051] Strahlt beispielsweise der Ausgang O_5 noch mit 40% auf den Sensoreingang S_2 , so muss das Matricelement $C_{25} = 0,4$ sein.

Patentansprüche

1. System zur Kompensation von elektromagnetischen Störfeldern, insbesondere inhomogenen Störfeldern, umfassend:

zwei dreiaxige Magnetfeldsensoren (3, 4) zur Abgabe von realen Sensorssignalen ($S_1, S_2, S_3, S_4, S_5, S_6$); sechs Kompensationsspulen (6), die als Käfig um ein zu schützendes Objekt (2) angeordnet sind und einzeln ansteuerbar sind;

eine Reglereinheit (7) mit sechs Eingängen und sechs Ausgängen sowie mit einem digitalen Prozessor, der die Sensorsignale ($S_1, S_2, S_3, S_4, S_5, S_6$) eingangsseitig aufnimmt und zu Ansteuersignalen ($O_1, O_2, O_3, O_4, O_5, O_6$) für die Kompensationsspulen (6) verarbeitet, wobei die realen Sensorsignale ($S_1, S_2, S_3, S_4, S_5, S_6$) zu virtuellen Sensorsignalen ($V_1, V_2, V_3, V_4, V_5, V_6$) durch eine erste Matrixmultiplikation ($V = M \cdot S$) umgerechnet werden, um die Störfelder am Ort des Objekts (2) abzubilden, wonach die virtuellen Sensorsignale ($V_1, V_2, V_3, V_4, V_5, V_6$) durch einen die Reglerstruktur beschreibenden Operator (0) zu veränderten Signalen ($\hat{V}_1, \hat{V}_2, \hat{V}_3, \hat{V}_4, \hat{V}_5, \hat{V}_6$) gemacht werden,

wobei die veränderten Signale ($\hat{V}_1, \hat{V}_2, \hat{V}_3, \hat{V}_4, \hat{V}_5, \hat{V}_6$) zu realen Ansteuersignalen ($O_1, O_2, O_3, O_4, O_5, O_6$) durch

eine zweite Matrixmultiplikation ($0 = L \cdot \hat{V}$) umgerechnet werden, die den sechs Kompensationsspulen (6) einzeln zugeführt werden.

2. System nach Anspruch 1, bei dem zwei Käfige (Ha, Hb) um zwei zu schützende Objekte (2a, 2b) vorgesehen sind, die sich gegenseitig beeinflussen, wobei die sechs Ausgänge der Reglereinheit (7) jeweils mit Spulenpaaren verbunden sind, wobei jeweils ein Magnetfeldsensor (3, 4) einem der Objekte (2a, 2b) zugeordnet ist, und wobei die Ansteuersignale ($O_1, O_2, O_3, O_4, O_5, O_6$) mit einer Rückkopplungsmatrix (C) multipliziert werden, um wie die Sensorsignale nach Anspruch 1 weiterverarbeitet zu werden.

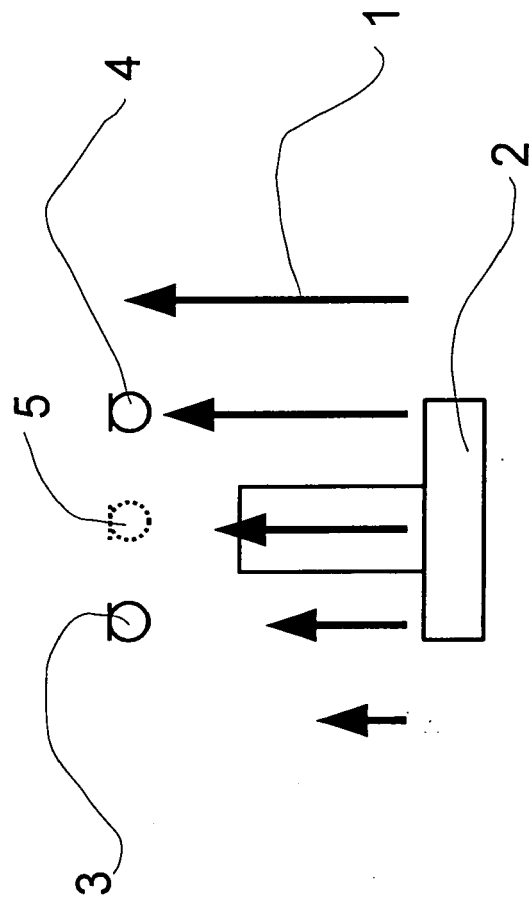


Fig. 1

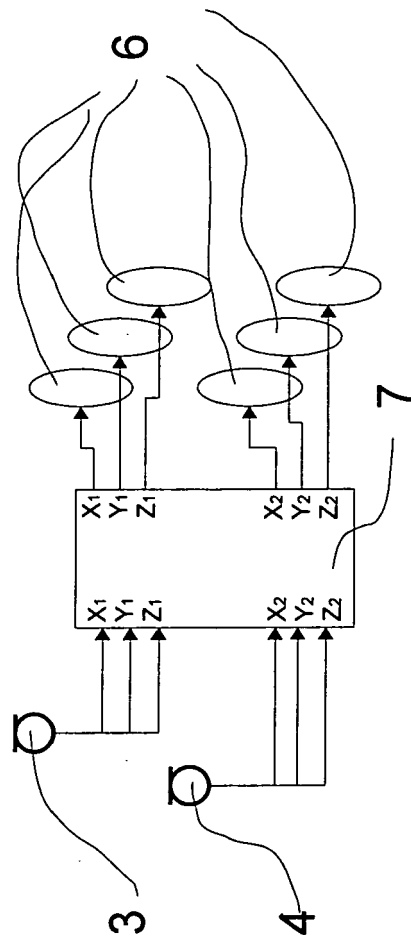


Fig. 2

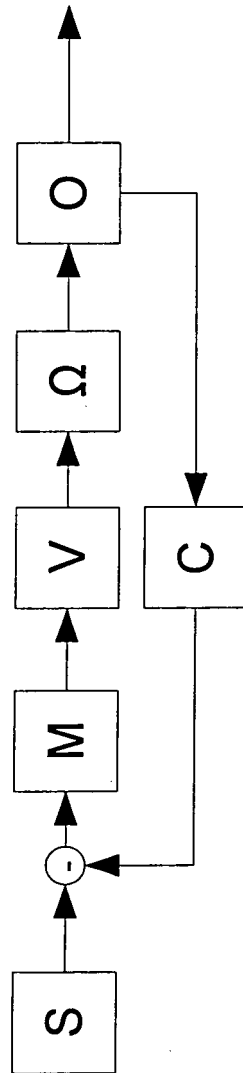


Fig. 3

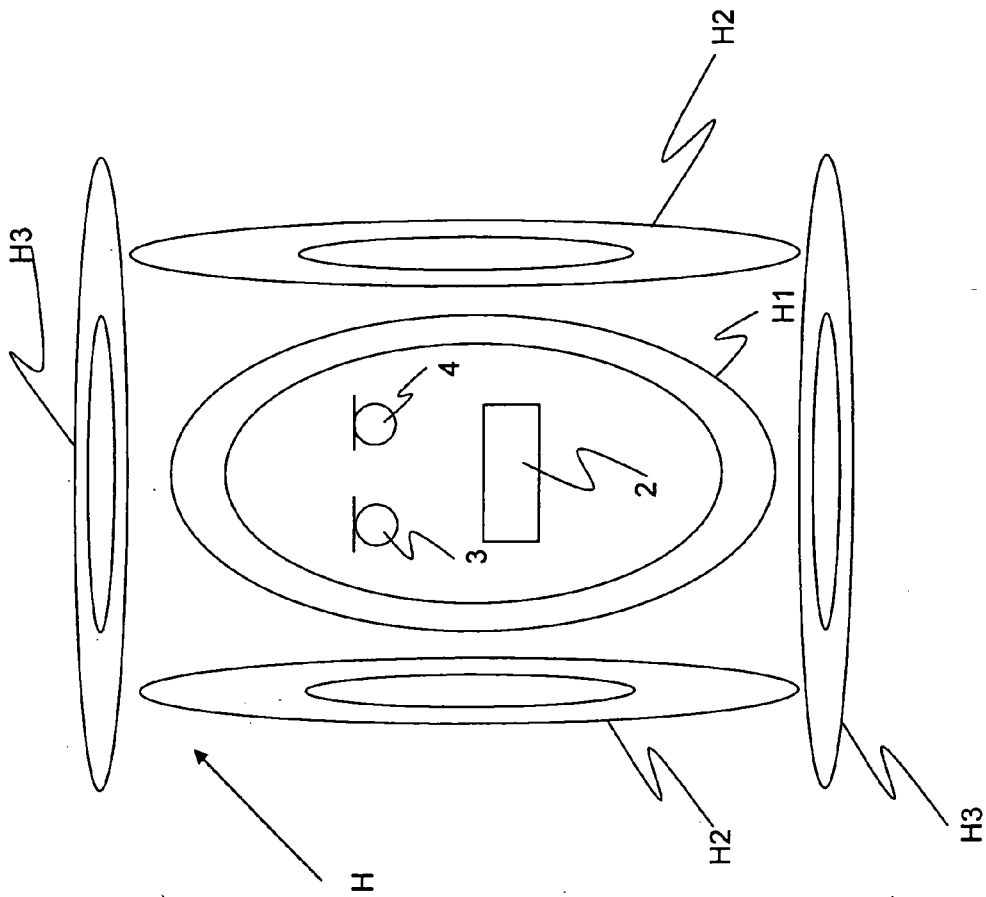


Fig. 4

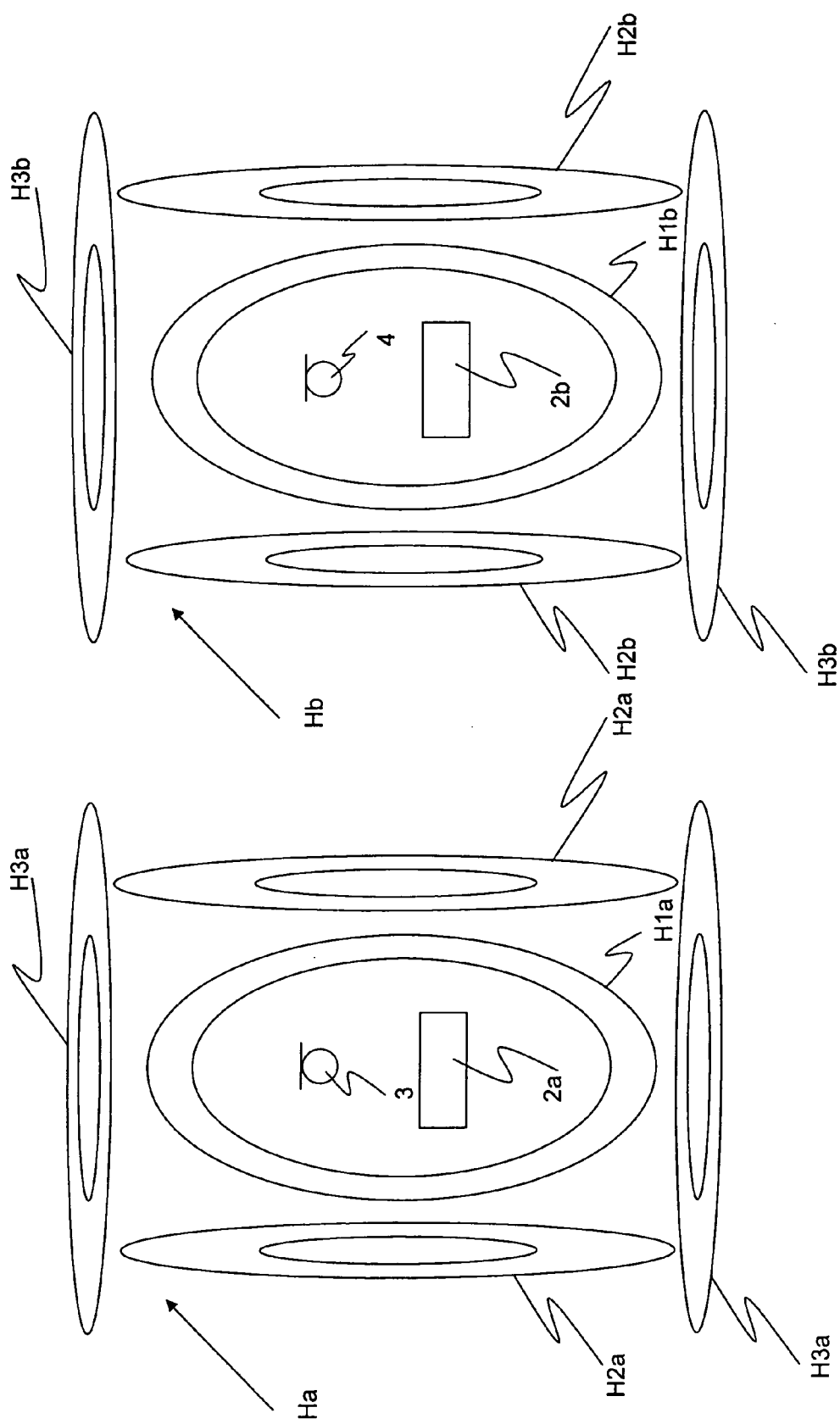


Fig. 5



EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

Nummer der Anmeldung
EP 10 00 6132

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (IPC)
X,D	GB 2 411 741 A (IMS NANOFABRICATION GMBH [AT] IMS NANOFABRICATION GMBH [AT]; IMS NANOF) 7. September 2005 (2005-09-07)	1	INV. G05F7/00
A	* das ganze Dokument * -----	2	
A	DE 197 02 831 A1 (SIEMENS AG [DE]) 12. März 1998 (1998-03-12) * das ganze Dokument *	1,2	
A	WO 2005/078467 A1 (ELEKTA NEUROMAG OY [FI]; KAJOLA MATTI [FI]; PARKKONEN LAURI [FI]; SIMO) 25. August 2005 (2005-08-25) * das ganze Dokument *	1,2	
A	EP 0 379 374 A2 (FUJITSU LTD [JP]) 25. Juli 1990 (1990-07-25) * das ganze Dokument *	1,2	
			RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (IPC)
			G05F
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			
Recherchenort Den Haag		Abschlußdatum der Recherche 13. Oktober 2010	
		Prüfer Arias Pérez, Jagoba	
KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE			
X : von besonderer Bedeutung allein betrachtet Y : von besonderer Bedeutung in Verbindung mit einer anderen Veröffentlichung derselben Kategorie A : technologischer Hintergrund O : mündliche Offenbarung P : Zwischenliteratur		T : der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze E : älteres Patentedokument, das jedoch erst am oder nach dem Anmeldedatum veröffentlicht worden ist D : in der Anmeldung angeführtes Dokument L : aus anderen Gründen angeführtes Dokument & : Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument	

1
EPO FORM 1503 03.82 (P04C03)

**ANHANG ZUM EUROPÄISCHEN RECHERCHENBERICHT
ÜBER DIE EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG NR.**

EP 10 00 6132

In diesem Anhang sind die Mitglieder der Patentfamilien der im obengenannten europäischen Recherchenbericht angeführten Patentedokumente angegeben.
Die Angaben über die Familienmitglieder entsprechen dem Stand der Datei des Europäischen Patentamts am
Diese Angaben dienen nur zur Unterrichtung und erfolgen ohne Gewähr.

13-10-2010

Im Recherchenbericht angeführtes Patentedokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
GB 2411741 A	07-09-2005	JP 2005252254 A	15-09-2005
		US 2005195551 A1	08-09-2005

DE 19702831 A1	12-03-1998	KEINE	

WO 2005078467 A1	25-08-2005	CA 2556335 A1	25-08-2005
		EP 1718985 A1	08-11-2006
		FI 20040233 A	14-08-2005
		JP 2007522465 T	09-08-2007
		US 2009184709 A1	23-07-2009

EP 0379374 A2	25-07-1990	CA 2008009 A1	20-07-1990
		DE 69010700 D1	25-08-1994
		DE 69010700 T2	27-10-1994
		US 5113136 A	12-05-1992

EPO FORM P0461

Für nähere Einzelheiten zu diesem Anhang : siehe Amtsblatt des Europäischen Patentamts, Nr.12/82

IN DER BESCHREIBUNG AUFGEFÜHRTE DOKUMENTE

Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde ausschließlich zur Information des Lesers aufgenommen und ist nicht Bestandteil des europäischen Patentdokumentes. Sie wurde mit größter Sorgfalt zusammengestellt; das EPA übernimmt jedoch keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.

In der Beschreibung aufgeführte Patentdokumente

- US 20050195551 A1 [0008]