

SCHWEIZERISCHE EIDGENOSSENSCHAFT
EIDGENÖSSISCHES INSTITUT FÜR GEISTIGES EIGENTUM

(11) **CH** **709 617 B1**

(51) Int. Cl.: **G01R 33/02** (2006.01)

Erfindungspatent für die Schweiz und Liechtenstein

Schweizerisch-liechtensteinischer Patentschutzvertrag vom 22. Dezember 1978

(12) PATENTSCHRIFT

(21) Anmeldenummer: 00718/14

(22) Anmeldedatum: 13.05.2014

(43) Anmeldung veröffentlicht: 13.11.2015

(24) Patent erteilt: 29.12.2017

(45) Patentschrift veröffentlicht: 29.12.2017

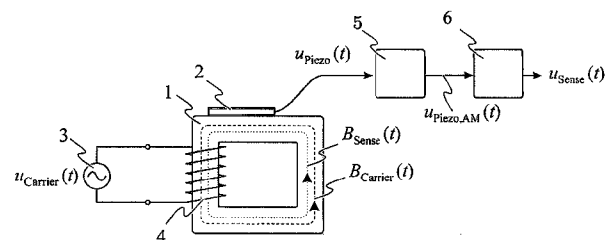
(73) Inhaber:
ETH Zürich ETH Transfer, HG E 47–49 Rämistrasse 101
8092 Zürich ETH-Zentrum (CH)

(72) Erfinder:
Gabriel Ortiz, 8046 Zürich (CH)
Dominik Bortis, 8052 Zürich (CH)

(74) Vertreter:
Frei Patentanwaltsbüro AG, Postfach 1771
8032 Zürich (CH)

(54) Einrichtung und Verfahren zur Messung von Flussdichte in Magnetkernen.

(57) Eine Einrichtung zur Messung der Flussdichte in einem Magnetkern (1) umfasst einen elektromechanischen Wandler (2), der an einem Magnetkern (1) angebracht werden kann, um ein elektrisches Signal ($u_{\text{Piezo}}[t]$) zu erzeugen, das einer mechanischen Dehnung des Magnetkerns (1) entspricht, und Signalverarbeitungselemente (5, 6), die dazu konfiguriert sind, ein Signal zu extrahieren, das eine Flussdichte in dem Magnetkern (1) angibt.



Beschreibung

[0001] Flussdichte in Magnetkernen ist das hauptsächlich zugrunde liegende Prinzip, mit dem eine isolierte Messung von Strömen von Gleichstrom bis zu höheren Frequenzbereichen möglich ist. Hier erzeugt der zu erfassende Strom ein magnetisches Feld, das entweder in dem Luftspalt eines Magnetkerns konzentriert sein kann, oder in anderen Fällen nicht konzentriert ist, und stattdessen direkt vom um den stromtragenden Leiter herum induzierten Magnetfeld gemessen werden kann. In anderen Fällen wird eine Flussdichtemessung dazu verwendet, den Magnetisierungszustand von Netztransformatoren zu überwachen, um sicherzustellen, dass sie innerhalb sicherer Flussdichtewerte betrieben werden.

[0002] Eines der typisch verwendeten Prinzipien zur Messung von magnetischer Flussdichte ist der magneto-resistive Effekt, wie zum Beispiel beschrieben in «G. Laimer, J. W. Kolar, «Design and Experimental Analysis of a DC to 1MHz Closed Loop Magneto-resistive Current Sensor», Proceedings of the 20th Annual IEEE Applied Power Electronics Conference and Exposition (APEC 2005), Austin (Texas), USA, Band 2, Seiten 1288–1292, 6. bis 10. März 2005». Dieses Prinzip basiert auf der Änderung der elektrischen Leitfähigkeit bestimmter Materialien, wenn sie Magnetfeldern ausgesetzt werden. Die recht hohe Empfindlichkeit dieser Materialien ermöglicht es, sie nahe am Strom zu platzieren, der das magnetische Feld erzeugt, das heisst ohne, dass das Magnetfeld durch Verwendung eines Magnetkerns konzentriert werden muss.

Ein weiteres allgemein verwendetes Flussmesskonzept sind die Fluxgatesensoren, «P. Ripka, «Review of Fluxgate Sensors, Sensors and Actuators A»: Physical, Band 33, Nr. 4, Seiten 129–141, 1992». Diese Sensoren basieren auf einer Überlagerung einer Wechselflussdichtekomponente höherer Frequenz mit der gemessenen Flussdichtekomponente in einem Magnetkern. Die Flussdichte höherer Frequenz wird gesteuert, um die gleichen Spitzenwerte unabhängig vom gemessenen Flussdichteniveau zu erreichen, was dadurch erreicht wird, dass die Wellenform des Hochfrequenzsignals angepasst wird. Diese Wellenform wird dann dazu verwendet, den gemessenen Flussdichtewert zu extrahieren. Je nach der Geometrie können mit diesem Prinzip auch hohe Empfindlichkeiten erreicht werden, und daher kann dieser Sensor sowohl in konzentrierten als auch nicht konzentrierten Magnetfeldern eingesetzt werden.

[0003] Eines der am meisten verwendeten Flussmesskonzepte ist der Hall-Effekt, «S. Ziegler, R. C. Woodward, H. H.-C. Lu, und L. J. Borle, «Current Sensing Techniques: A Review», «Sensors Journal», IEEE, Band 9, Nr. 4, Seiten 354–376, Apr. 2009». Hier ist das Magnetfeld durch einen Magnetkern konzentriert, wobei das Hallelement direkt in den magnetischen Pfad gesetzt wird. Das Hallelement gibt eine Spannung aus, die proportional zum Magnetfeld ist, wobei in der Regel niedrigere Empfindlichkeiten erreicht werden; somit ist die Konzentration des Magnetfelds durch einen Magnetkern unabdingbar.

[0004] Falls die magnetische Flussdichte innerhalb des Kerns gemessen werden soll, muss bei den drei zuvor erwähnten Flussdichtemesskonzepten ein Luftspalt in den magnetischen Pfad eingebracht und der Sensor in diesen Luftspalt gesetzt werden, was den Herstellungsaufwand erhöht und, falls die Messung der Flussdichte innerhalb eines Transformators durchgeführt wird, bedingt, dass die Anordnung des Flussdichtesensors während der Designstufe des Transformators berücksichtigt wird.

[0005] Ein Ziel der Erfindung ist es, ein nicht invasives Flussdichtemesskonzept für Magnetkerne bereitzustellen, das keine Anforderungen bezüglich einer definierten Form des Kerns oder das Einbringen eines Luftspalts in den magnetischen Pfad bedingt. Mit anderen Worten ist es das Ziel, dass die Form des Kerns und das jeweilige Flussmesskonzept unabhängig ausgewählt werden können.

[0006] Ein weiteres Ziel der Erfindung ist es, einen Magnetflussdichtesensor bereitzustellen, der eine galvanisch isolierte Messung bietet. Ein weiteres Ziel ist es, zu erreichen, dass Gleichstrom- und Wechselstromsignale gemessen werden können. Ein weiteres Ziel liegt darin, dass die Messung sich nur minimal auf das Design der Magnetkomponenten, deren magnetische Flussdichte erfasst werden soll, auswirkt.

[0007] Mindestens eine der Aufgaben wird durch eine Einrichtung und ein Verfahren zum Messen der Flussdichte in einem Magnetkern gemäss den Ansprüchen erreicht.

[0008] Die Einrichtung zur Messung der Flussdichte in einem Magnetkern umfasst einen elektromechanischen Wandler, der an einem Magnetkern angebracht werden kann, um ein elektrisches Signal zu erzeugen, das einer mechanischen Dehnung des Magnetkerns entspricht, und Signalverarbeitungselemente, die dazu konfiguriert sind, ein Signal, das eine Flussdichte im Magnetkern angibt, zu extrahieren.

[0009] Das Verfahren zur Messung der Flussdichte in einem Magnetkern umfasst die Schritte des Erzeugens eines elektrischen Signals, das einer mechanischen Dehnung des Magnetkerns entspricht, mittels eines elektromechanischen Wandlers, der an einem Magnetkern befestigt ist, und des Extrahierens eines Signals, das die Flussdichte angibt, mittels Signalverarbeitungselementen.

[0010] Die mechanischen Dehnungen werden durch Leitung der magnetischen Flussdichte innerhalb des Magnetkerns verursacht, wobei zwischen der Gesamtlängenänderung und dem aktuellen Wert des magnetischen Flusses innerhalb des Kerns eine quadratische Beziehung besteht.

[0011] Das Phänomen der Längenänderung, d.h. Schwingungen, von magnetischen Materialien mit Bezug auf magnetische Flussdichte ist als Magnetostraktion bekannt.

[0012] Mit anderen Worten kann die Erfassungseinrichtung ein Signal ausgeben, das mit dem aktuellen Wert der magnetischen Flussdichte innerhalb des Magnetkerns in Beziehung steht, indem die Schwingungen an der Oberfläche der magnetischen Komponente erfasst werden.

[0013] Bei einer Ausführungsform sind die Signalverarbeitungselemente dazu konfiguriert, einen Betrag einer Flussdichte-DC-Komponente als proportional zu einer Differenz zwischen benachbarten Spitzenwerten des elektrischen Signals zu bestimmen.

[0014] Diese Ausführungsform basiert auf der Beobachtung, dass ein mit reiner Wechselstromanregung angeregter Magnetkern mechanische Schwingungen aufweisen wird und somit hörbare Geräusche mit einer Frequenz, die zweimal so gross wie die Magnetflussbetriebsfrequenz ist, erzeugt. Falls in der Flussdichte jedoch eine DC-Komponente vorliegt, beinhalten diese Schwingungen ebenfalls eine Komponente auf genau der Magnetflussbetriebsfrequenz. Diese Komponente kann durch Ausfiltern der anderen Komponenten oder durch Beobachtung der Spitzenwerte, wie beschrieben, detektiert werden.

[0015] Bei einer Ausführungsform sind die Signalverarbeitungselemente dazu konfiguriert, ein Vorzeichen einer Flussdichte-DC-Komponente gemäss einer Phasenverschiebung zwischen dem elektrischen Signal und einem Anregungssignal, das den magnetischen Fluss verursacht, zu bestimmen.

[0016] Bei einer Ausführungsform ist die Erfassungseinrichtung ein Dehnungsmessstreifen, dessen Widerstandswert sich verändert, wenn der Magnetkern seine mechanischen Abmessungen verändert. Diese Veränderung des Widerstands kann durch eine separate Schaltung in Form zum Beispiel einer Wheatstone-Brücke erfasst werden, um die Intensität des elektrischen Signals zu erhöhen. Trotzdem stellen diese Schaltungen in der Regel eine niedrigere Ausgangssignalarstärke dar und sind gegenüber elektromagnetischer Störung empfindlich, was ihre verlässliche Implementierung erheblich kompliziert.

[0017] Bei einer Ausführungsform umfasst die Einrichtung eine Hilfswicklung, die dem Magnetkern hinzugefügt wird, und Mittel zum Anlegen eines Anregungssignals mit einer gewissen Anregungsfrequenz an die Hilfswicklung, wobei die Signalverarbeitungselemente dazu konfiguriert sind, aus dem elektrischen Signal ein amplitudenmoduliertes Signal als Frequenzkomponenten, die um die Anregungsfrequenz oder ein ganzzahliges Mehrfaches der Anregungsfrequenz zentriert sind, zu extrahieren und durch Amplitudendemodulation des amplitudenmodulierten Signals ein Signal zu erzeugen, das proportional zur Flussdichte ist.

[0018] Der durch diese Hilfswicklung erzeugte magnetische Fluss wird überlagert vom gewünschten zu erfassenden magnetischen Fluss. Aufgrund der quadratischen Beziehung zwischen der Flussdichte und den mechanischen Schwingungen wird das erfasste Flusssignal, das heisst, das Signal, das dem Fluss, den man messen möchte, entspricht, durch das Trägersignal moduliert, das in die Hilfswicklung eingeführt wird. Somit sind in dem Frequenzspektrum der mechanischen Schwingungen die erfassten Flussdichtefrequenzkomponenten um das Trägersignal zentriert, das heisst, das erfasste Flussdichtespektrum wird zu höheren Frequenzwerten verlagert. Zusätzlich werden andere Spektralkomponenten aufgrund der oben erwähnten Überlagerung von Trägersignal und erfasstem Flussdichtesignal erzeugt. Diese Signale sind jedoch nicht relevant und können mittels standardmässiger Filtertechniken verworfen werden.

[0019] Bei einer Ausführungsform ist die Erfassungseinrichtung vom piezoelektrischen Typ. Diese elektromechanischen Wandler sind gekennzeichnet durch eine Hochpasscharakteristik und vergleichsweise hohe Empfindlichkeiten. Darüber hinaus weisen diese Wandler aufgrund des Fehlens von magnetischen Komponenten und der Möglichkeit der Realisierung mit einer niedrigen parasitären Induktivität hohe elektromagnetische Störfestigkeit auf.

[0020] Bei einer Ausführungsform werden sowohl die Hilfswicklung, die ein Trägersignal einführt, als auch die piezoelektrische Erfassungseinrichtung auf den Magnetkern gesetzt, dessen Flussdichte es zu erfassen gilt. Die Kombination aus dem eingeführten Trägersignal und dem piezoelektrischen Wandler gestattet es der Erfassungseinrichtung, ein Spannungssignal auszugeben, das proportional zum Trägersignal ist, das von der Amplitude der magnetischen Flussdichte zu erfassenden moduliert ist.

[0021] Bei einer Ausführungsform wird die Ausgabe der Erfassungseinrichtung gefiltert, um die oben erwähnten nicht relevanten Spektralkomponenten zu eliminieren. Das Signal nach dem Filtern kann durch bestehende amplitudenmodulierte Demodulationstechniken demoduliert werden. Auf diese Weise kann der aktuelle Wert der magnetischen Flussdichte im Magnetkern rekonstruiert werden, wodurch es später zur Überwachung oder in einem Regelungssystem verwendet werden kann.

[0022] Weitere Ausführungsformen sind aus den abhängigen Patentansprüchen ersichtlich.

[0023] Der Gegenstand der Erfindung wird im folgenden Text mit Bezug auf beispielhafte Ausführungsformen, die in den angehängten Zeichnungen dargestellt sind, ausführlicher erklärt, welche zeigen in:

Fig. 1a eine erste Ausführungsform der Erfindung. Ein Magnetkern mit einer zu erfassenden internen Flussdichte $B_{\text{Sense}}(t)$, eine befestigte Erfassungseinrichtung und die jeweilige Signalverarbeitungsschaltung zur Flussdichtenrekonstruktion.

- Fig. 1b–1e ein Frequenzspektrum der gesamten internen Flussdichte (1b) im Magnetkern und das Ausgangssignal der jeweiligen Erfassungseinrichtung (1c) und ferner nachverarbeitetes Signal (1d), was zur Rekonstruktion der internen Flussdichte der Kerne führt (1e).
- Fig. 2 eine Ausführungsform der Erfindung in Kombination mit einer geregelten Strommessvorrichtung. Ein zu erfassender Strom $i_{\text{sense}}(t)$ erzeugt in dem Paar Kerne eine Flussdichte. Der Ausgang des elektromechanischen Wandlers wird dazu verwendet, den Kernfluss aktiv zu kompensieren, um die DC- und AC-Komponente des Stroms zu messen. Ein Paar von Kernen wird verwendet, um Kopplung des Trägersignals $u_{\text{Carrier}}(t)$ und des erfassten Stroms $i_{\text{sense}}(t)$ zu vermeiden.
- Fig. 3a eine Ausführungsform der Erfindung in einem DC-Flussdichtekomponenten-Kompensationsnetzwerk für magnetische Komponenten.
- Fig. 3b ein Frequenzspektrum des Erfassungseinrichtungsausgangssignals $u_{\text{Piezo}}(t)$, wobei eine DC-Spannungskomponente ungleich null an den Kern angelegt ist.

[0024] Fig. 1a zeigt die Schaltung, die zur Erfassung des magnetischen Flusses verwendet wird. Ein Magnetkern 1 leitet eine magnetische Flussdichte $B_{\text{Sense}}(t)$, die mit einer Hilfsflussdichte $B_{\text{Carrier}}(t)$ überlagert ist, die durch eine externe Spannungsquelle 3 und eine jeweilige Hilfswicklung 4 erzeugt wird. Ein elektromechanischer Wandler 2 erfasst Schwingungen, die durch die Überlagerung dieser zwei Flüsse erzeugt werden, und gibt ein Signal $u_{\text{Piezo}}(t)$ aus, das durch ein Filter 5 nachverarbeitet wird, wodurch ein amplitudenmoduliertes (AM) Signal $u_{\text{Piezo,AM}}(t)$ erhalten wird. Letztlich wird mit einem Demodulator 6 ein Signal $u_{\text{Sense}}(t)$, das zur Flussdichte $B_{\text{Sense}}(t)$ proportional ist, erhalten.

[0025] Im Einzelnen wird diese Anordnung und dieses jeweilige Nachverarbeitungsschema wie im Folgenden beschrieben betrieben: die zu erfassende Flussdichte $B_{\text{Sense}}(t)$ ist im Magnetkern mit einer Hochfrequenzträger-Flussdichtekomponente $B_{\text{Carrier}}(t)$ überlagert. Das Frequenzspektrum des magnetischen Flusses im Magnetkern ist in Fig. 1b dargestellt. Aufgrund der quadratischen Beziehung zwischen der Flussdichte und dem Magnetostruktions-Phänomen führen die Schwingungen, die durch diese zwei überlagerten Flussdichtekomponenten erzeugt werden, zum in Fig. 1c gezeigten Frequenzspektrum, wo die Frequenzkomponenten von B_{Sense} nun um die Trägerfrequenz ω_{Carrier} zentriert sind. Zusätzlich erscheinen andere Frequenzkomponenten aufgrund des quadratischen Verhaltens des Magnetostruktions-Effekts, wobei zur Vermeidung einer Überlappung dieser Komponenten die Trägerfrequenz vorzugsweise mindestens dreimal höher als die Bandbreite des erfassten Signals $B_{\text{Sense}}(t)$ ist. Alle anderen Frequenzkomponenten, die nicht um ω_{Carrier} zentriert sind, werden mittels standardmässiger Filtertechniken verworfen. Nach diesem Filterprozess wird ein amplitudenmoduliertes (AM) Signal erhalten, das die Informationen aus dem ursprünglichen zu erfassenden Fluss B_{Sense} enthält, wie in Fig. 1d gezeigt. Der letzte Schritt ist die Rekonstruktion des Flussdichtesignals mittels gut bekannter AM-Demodulationstechniken, wodurch das Signal $u_{\text{Sense}}(t)$ erhalten wird, das zur erfassten Flussdichte $B_{\text{Sense}}(t)$ proportional ist, gezeigt in Fig. 1e.

[0026] Die Erfindung kann als Teil einer Stromerfassungseinrichtung verwendet werden, wie in Fig. 2 gezeigt. Hier wird das gemessene Magnetfeld $B_{\text{Sense}}(t)$ innerhalb des Magnetkerns durch den Strom $i_{\text{sense}}(t)$ erzeugt. Zusätzlich wird das Trägersignal $u_{\text{Carrier}}(t)$ mit entgegengesetzter Orientierung mittels einer ersten Anregungswicklung 4 einem ersten Magnetkern 1 zugeführt und mittels einer zweiten Anregungswicklung 13 einem zweiten Magnetkern 12 zugeführt. Auf diese Weise wird ein Koppeln der Hilfsanregung $u_{\text{Carrier}}(t)$ und des erfassten Stroms $i_{\text{sense}}(t)$ vermieden. Der Ausgang des Demodulators 6 wird als Eingang für einen Regler 7 verwendet, zum Beispiel einen Linearregler. Das Bezugssignal für diesen Linearregler $I_{\text{sense}}(t)$ ist in der Regel auf null gesetzt, um einen Mindestmagnetisierungszustand der Magnetkerne 1 und 12 aufrechtzuerhalten. Der Ausgang des Linearreglers 7 wird zur Steuerung einer Stromquelle 9 verwendet, die mit einer ersten Kompensationswicklung 8 und einer zweiten Kompensationswicklung 11 verbunden ist, die um die Kerne 1 bzw. 12 angeordnet sind.

[0027] Mit diesem Rückkopplungsregelkreis werden die magnetischen Flussdichten in Kernen 1 und 12 auf null gehalten, indem der Strom $i_{\text{Comp}}(t)$ in den Kompensationswicklungen 8 und 11 gesteuert wird. Man beachte, dass diese Kompensation nur erreicht wird, wenn der Strom $I_{\text{Comp}}(t)$ proportional zum erfassten Strom $i_{\text{sense}}(t)$ ist, wobei die Proportionalitätskonstante durch die Anzahl von Windungen in den Kompensationswicklungen 8 und 11 gegeben ist. Das Ausgangssignal des Wandlers wird daraufhin im Bürdenwiderstand R_{Burden} erfasst, wobei die Spannung davon zum Kompensationsstrom $i_{\text{Comp}}(t)$ proportional ist und damit zu $i_{\text{sense}}(t)$ proportional ist.

[0028] Als natürliches Resultat dieser geregelten Stromerfassungstechnik wird der Niederfrequenzteil des erfassten Stroms durch den Flussdichtekompensationskreis gemessen, wobei die Hochfrequenzkomponenten durch den Stromtransformator erfasst werden, der durch die Kompensationswicklungen 8 und 11 und den den Strom $i_{\text{sense}}(t)$ tragenden Leiter ausgebildet ist. Diese Nieder- und Hochfrequenzkomponenten werden in dem Bürdenwiderstand R_{Burden} hinzugefügt, wodurch ein Stromsensor mit einer erheblich grossen Bandbreite implementiert wird.

[0029] Bei einer weiteren Anwendung der Erfindung wird der Magnetkern durch eine Spannungsquelle angeregt, die unerwünschte DC-Komponenten enthält, zum Beispiel verursacht durch die Verbindung der Wicklung mit einer Leistungselektronikbrücke mit unangepassten Komponentencharakteristika. In Fig. 3a ist diese Leistungselektronikbrücke durch drei Spannungsquellen dargestellt. Die erste entspricht der reinen AC-Anregungsspannungsquelle 3, eine zweite stellt eine

unerwünschte DC-vorgespannte Spannungsquelle 15 dar, und eine dritte ist die gesteuerte Kompensationsspannungsquelle 9, die zur Neutralisierung der DC-Vorspannung in der an den Transformator angelegten Spannung verwendet wird. Diese letzte Spannungsquelle 9 kann zum Beispiel durch unabhängiges Einstellen des Tastverhältnisses der positiven und negativen Halbzyklen in einem leistungselektronisch versorgten Magnetkern 1 implementiert werden.

[0030] Aufgrund der quadratischen Beziehung zwischen der Flussdichte und dem Magnetostruktions-Phänomen verursacht eine DC-Spannungsvorspannung in der Flussdichte des Magnetkerns 1, dass das Ausgangssignal $u_{Piezo}(t)$ des elektromechanischen Wandlers 2 eine Frequenzkomponente auf der Trägerfrequenz $\omega_{Carrier}$ aufweist, wie in Fig. 3b dargestellt. Die Amplitude dieser Komponente wird in einem Amplitudendetektor 14 durch Demodulation des Signals oder Implementierung einer Spitzendetektionsschaltung detektiert. Die Amplitude dieses Signals wird daraufhin einer Regelkreissteuerung 7 zugeführt, dessen Bezugsflussdichte B_{Ref} auf null eingestellt ist. Der Ausgang dieser Steuerung 7 stellt die Kompensationsspannungsquelle 9 ein, die der ungewünschten Spannungsquelle 15 entgegensteht. Auf diese Weise ist die Gesamt-DC-Komponente, die an den Transformator angelegt wird, null, wodurch ein nicht vorgespannter Betrieb des Transformator kernels 1 sichergestellt wird.

Patentansprüche

1. Einrichtung zur Messung der Flussdichte in einem Magnetkern (1), aufweisend einen elektromechanischen Wandler (2), der an einem Magnetkern (1) angebracht werden kann, um ein elektrisches Signal ($u_{Piezo}[t]$) zu erzeugen, das einer mechanischen Dehnung des Magnetkerns (1) entspricht, und Signalverarbeitungselemente (5, 6, 14), die dazu konfiguriert sind, ein Signal zu extrahieren, das eine Flussdichte in dem Magnetkern (1) angibt.
2. Einrichtung nach Anspruch 1, wobei die Signalverarbeitungselemente dazu konfiguriert sind, einen Betrag einer Flussdichte-DC-Komponente als proportional zu einer Differenz zwischen benachbarten Spitzenwerten des elektrischen Signals ($u_{Piezo}[t]$) zu bestimmen.
3. Einrichtung nach Anspruch 1 oder Anspruch 2, wobei die Signalverarbeitungselemente dazu konfiguriert sind, Vorzeichen einer Flussdichte-DC-Komponente gemäss einer Phasenverschiebung zwischen dem elektrischen Signal ($u_{Piezo}[t]$) und einem Anregungssignal, das den magnetischen Fluss verursacht, zu bestimmen.
4. Einrichtung nach Anspruch 1, umfassend eine Hilfswicklung (4), die dem Magnetkern (1) hinzugefügt ist, und Mittel (3) zum Anlegen eines Anregungssignals mit einer gewissen Anregungsfrequenz an die Hilfswicklung (4), wobei die Signalverarbeitungselemente dazu konfiguriert sind, aus dem elektrischen Signal ($u_{Piezo}[t]$) ein amplitudenmoduliertes Signal ($u_{Piezo,AM}[t]$) als Frequenzkomponenten, die um die Anregungsfrequenz oder ein ganzzahliges Mehrfaches der Anregungsfrequenz zentriert sind, zu extrahieren und durch Amplitudendemodulation des amplitudenmodulierten Signals ($u_{Piezo,AM}[t]$) ein Signal ($u_{Sense}[t]$) zu erzeugen, das proportional zur Flussdichte ($B_{Sense}[t]$) ist.
5. Einrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei der elektromechanische Wandler (2) ein piezoelektrischer Wandler ist.
6. Einrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei der elektromechanische Wandler (2) ein Dehnmessstreifen ist.
7. Verfahren zur Messung der Flussdichte in einem Magnetkern (1), umfassend die Schritte des Erzeugens eines elektrischen Signals ($u_{Piezo}[t]$), das einer mechanischen Dehnung des Magnetkerns (1) entspricht, mittels eines elektromechanischen Wandlers (2), der an dem Magnetkern (1) befestigt ist, und des Extrahierens eines Signals, das die Flussdichte angibt, mittels Signalverarbeitungselementen (5, 6, 14).
8. Verfahren nach Anspruch 7, umfassend den Schritt des Bestimmens eines Betrags einer Flussdichte-DC-Komponente als proportional zu einer Differenz zwischen benachbarten Spitzenwerten des elektrischen Signals ($u_{Piezo}[t]$).
9. Verfahren nach Anspruch 7 oder Anspruch 8, umfassend den Schritt des Bestimmens eines Vorzeichens einer Flussdichte-DC-Komponente gemäss einer Phasenverschiebung zwischen dem elektrischen Signal ($u_{Piezo}[t]$) und einem Anregungssignal, das den magnetischen Fluss verursacht.
10. Verfahren nach Anspruch 7, umfassend die Schritte
 - Anlegen eines Anregungssignals mit einer Anregungsfrequenz an eine Hilfswicklung (4), die dem Magnetkern (1) hinzugefügt wird,
 - Extrahieren eines amplitudenmodulierten Signals ($u_{Piezo,AM}[t]$) als Frequenzkomponenten, die um die Anregungsfrequenz oder eines ganzzahligen Mehrfachen der Anregungsfrequenz zentriert sind, aus dem elektrischen Signal ($u_{Piezo}[t]$), und
 - Erzeugen eines Signals ($u_{Sense}[t]$), das zur Flussdichte ($B_{Sense}[t]$) proportional ist, durch Amplitudendemodulation des amplitudenmodulierten Signals ($u_{Piezo,AM}[t]$).

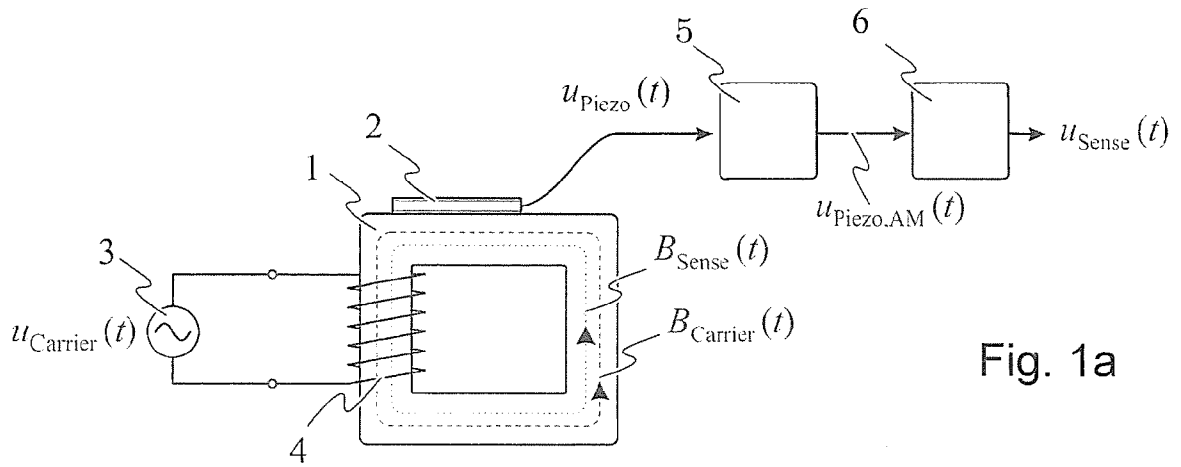


Fig. 1a

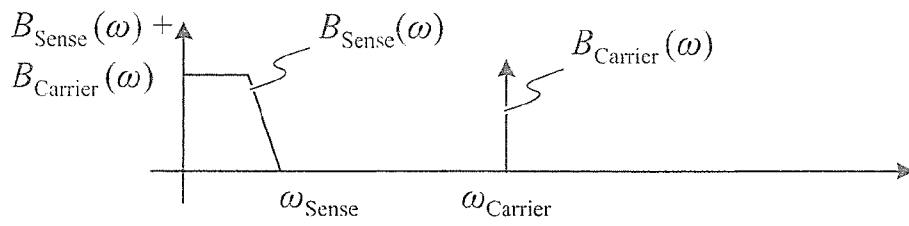


Fig. 1b

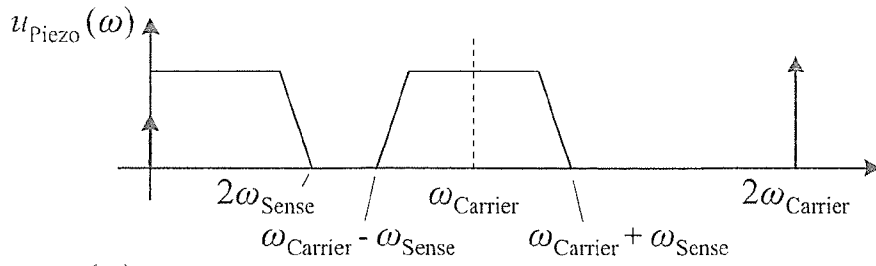


Fig. 1c

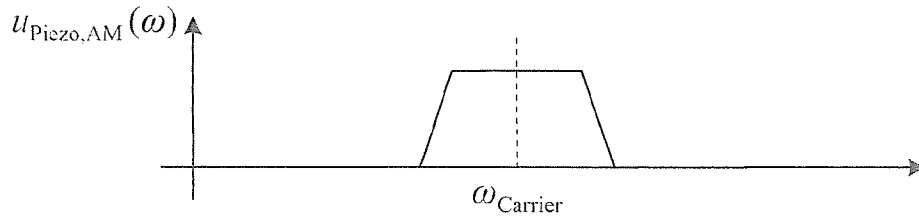


Fig. 1d

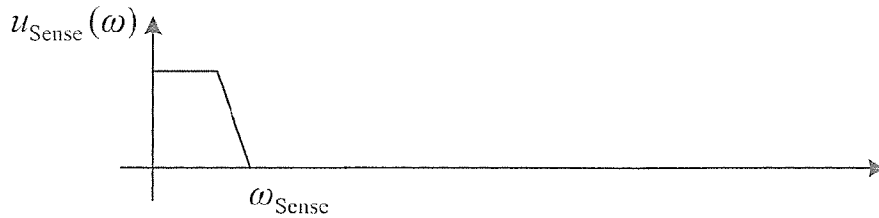


Fig. 1e

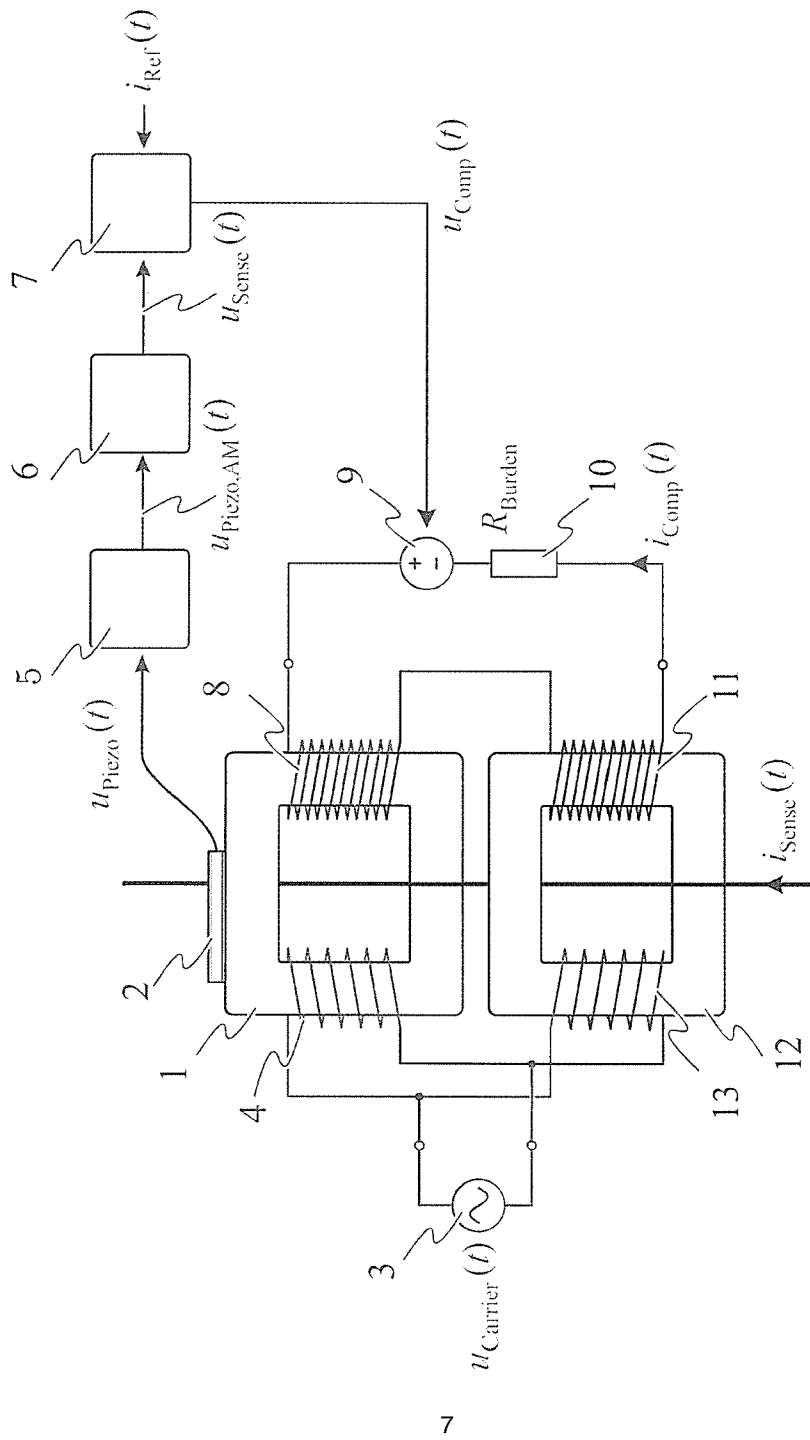


Fig. 2

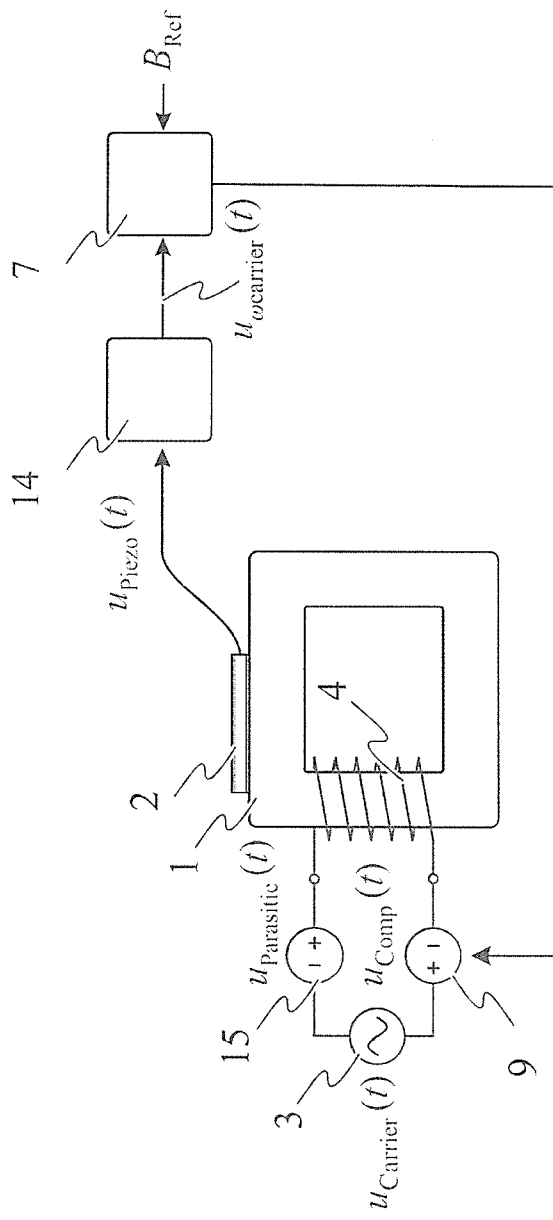


Fig. 3a

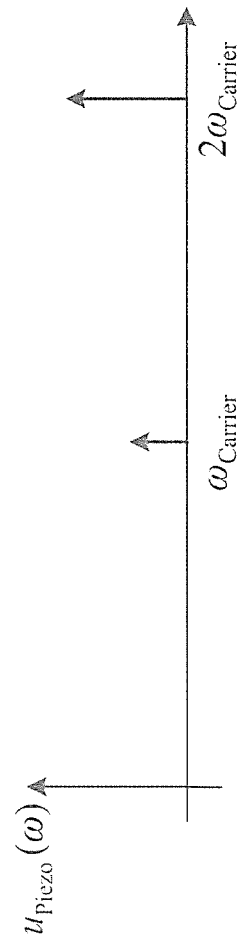


Fig. 3b