

(19)



(11)

EP 2 407 251 B1

(12)

EUROPÄISCHE PATENTSCHRIFT

(45) Veröffentlichungstag und Bekanntmachung des
Hinweises auf die Patenterteilung:
05.06.2013 Patentblatt 2013/23

(51) Int Cl.:
B06B 1/04 (2006.01)

(21) Anmeldenummer: **11005723.9**

(22) Anmeldetag: **13.07.2011**

(54) **Elektromagnetischer Ultraschallwandler**

Electromagnetic ultrasound converter

Transducteur à ultrasons électromagnétique

(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 RS SE SI SK SM TR**

(30) Priorität: **15.07.2010 DE 102010027250**

(43) Veröffentlichungstag der Anmeldung:
18.01.2012 Patentblatt 2012/03

(73) Patentinhaber: **Fraunhofer-Gesellschaft zur
Förderung der
angewandten Forschung e.V.
80686 München (DE)**

(72) Erfinder: **Niese, Frank
66125 Saarbrücken (DE)**

(74) Vertreter: **Rösler, Uwe
Rösler Patentanwaltskanzlei
Landsberger Strasse 480a
81241 München (DE)**

(56) Entgegenhaltungen:
**EP-A1- 0 775 910 EP-A1- 2 146 204
WO-A1-02/04135 DE-C1- 4 303 293**

EP 2 407 251 B1

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents im Europäischen Patentblatt kann jedermann nach Maßgabe der Ausführungsordnung beim Europäischen Patentamt gegen dieses Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch gilt erst als eingelegt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist. (Art. 99(1) Europäisches Patentübereinkommen).

Beschreibung

Technisches Gebiet

[0001] Die Erfindung bezieht sich auf einen elektromagnetischen Ultraschallwandler, insbesondere zum Empfangen von linear polarisierten Scherwellen, so genannten SH-Ultraschallwellen, aus einem elektrisch leitfähigen Werkstück, mit einer Magnetisierungseinheit, die eine dem Werkstück zugewandte Seite vorsieht, längs der in wenigstens zwei mittel- oder unmittelbar nebeneinander angeordneten Reihen jeweils eine Anzahl n Permanentmagnete derart angebracht ist, dass sich die der Seite zugewandten und den Permanentmagneten zuordenbaren magnetischen Polaritäten längs einer Reihe periodisch mit einer Periodenlänge abwechseln, die einer Spurwellenlänge λ_S entspricht, sowie mit einer HF-Spulenordnung mit jeweils längs der wenigstens zwei Reihen zuordenbaren, zueinander parallel verlaufenden Leiterabschnitten, die einander in entgegengesetzter Richtung von Strom durchsetzbar sind.

Stand der Technik

[0002] Elektromagnetische Ultraschallwandler dienen der koppelmittelfreien Ein- und Auskopplung von Ultraschallwellen in bzw. aus Werkstücken, bspw. zur zerstörungsfreien Dickenmessung oder Materialuntersuchung, um Material-Inhomogenitäten in Form von Rissen oder Materialungängen zu ermitteln.

[0003] Das den elektromagnetischen Ultraschallwandlern zugrunde liegende Anregungssowie auch Empfangsprinzip basiert auf der Wechselwirkung zwischen einem oberflächennah innerhalb des Werkstückes vorherrschenden elektromagnetischen Hochfrequenzfeldes und einem diesen überlagerten, statischen oder quasi statischen Magnetfeld. Mit Hilfe einer oberflächennah am Werkstück angeordneten elektrischen Spule vorgegebener Geometrie- und Windungszahl, die mit einem HF-Strom-Impuls / -Burst-Signal beaufschlagt wird, werden innerhalb der so genannten Skintiefe des elektrisch leitfähigen Werkstückes dicht zur Werkstückoberfläche Wirbelströme induziert, deren flächige Verteilung spiegelbildlich zur Geometrie der elektrischen Spulenordnung ist. Werden die innerhalb der Skintiefe des Werkstückes sich ausbildenden Wirbelströme mit einem statisch oder quasi statischen Magnetfeld parallel oder senkrecht zur Materialoberfläche überlagert, so ergeben sich aufgrund von innerhalb des Werkstückes wirkenden Lorenzkraften räumliche und zeitlich periodische elastische Materialverschiebungen, die ursächlich für die Abschallung von Ultraschallwellen innerhalb des Werkstückes sind.

[0004] In reziproker Weise erfolgt die Detektion bzw. der Empfang von Ultraschallwellen. So erzeugt eine sich innerhalb des Werkstückes oberflächennah ausbreitende elastische Welle in Gegenwart eines in diesem Werkstückbereich vorherrschenden Magnetfeldes ein zur Ver-

schiebungsgeschwindigkeit der elastischen Welle proportionales elektrisches Feld, das im Wege induktiver Kopplung mit einer auf der Werkstückoberfläche aufliegenden elektrischen Spule in diese eine proportionale elektrische Spannung induziert, die als Nachweissignal für die Ultraschallwelle innerhalb des Werkstückes dient. Die hierbei auftretenden Spannungssignale liegen typischerweise im Bereich von einigen μV , so dass es für eine zuverlässige Signalaus- und -bewertung einer starken und rauscharmen Vorverstärkung der elektrischen Spannungssignale bedarf, die zudem einer möglichst schmalbandigen elektrischen Filterung zu unterziehen sind, um auswertbare Ultraschallwellensignale zu generieren.

[0005] Typischerweise wird die Impedanz der elektrischen Spule eines EMUS-Wandlers, der insbesondere für den Empfang von Ultraschallwellen geeignet ist, hochohmig ausgeführt, um möglichst große Pegel der induzierten Spannungssignale von den Ultraschallsignalen zu generieren. Jedoch eignet sich die eingesetzte elektrische Spule aufgrund ihrer elektrischen Induktivität auch andere elektromagnetische Signale zu empfangen, die von extern induktiv einwirkenden elektromagnetischen Signalquellen herrühren und als solche den Empfang und Nachweis von Ultraschallwellen in störender Weise beeinflussen. Sämtliche, von der elektrischen Spule induktiv in elektrische Spannungssignale umgesetzte Empfangssignale, d.h. sowohl Nutz- als auch Störsignale, durchlaufen die gleiche Verstärkungs- und Filterkette, so dass eine Unterscheidung zwischen Stör- und Nutzsignalen nicht ohne weiteres möglich ist.

[0006] Aus der DE 42 23 470 C2 ist ein auf dem vorstehend beschriebenen Prinzip der koppelmittelfreien Ein- und Auskopplung von Ultraschallwellen in bzw. aus einem Werkstück basierender Ultraschall-Prüfkopf zu entnehmen, mit dem es möglich ist, linear polarisierte sowohl horizontal als auch vertikal polarisierte Transversalwellen zu erzeugen. Hierbei bedient man sich einer Permanentmagnetanordnung, die in den oberflächennahen Bereich eines Werkstückes ein inhomogenes Magnetfeld mit einer senkrecht zur Werkstückoberfläche orientierten Raumrichtung erzeugt. Die Permanentmagnetanordnung besteht aus einzelnen, nebeneinander liegenden Permanentmagnetstreifen mit jeweils der Werkstückoberfläche zugewandten sich periodisch abwechselnden, magnetischen Polaritäten.

[0007] Eine weitere Anordnung zur koppelmittelfreien Einschallung und Detektion von Ultraschallwellen in ferromagnetische Werkstücke, wie beispielsweise Rohrleitungen, ist der DE 195 43 481 C2 zu entnehmen. Um horizontal polarisierte Transversalwellen innerhalb eines zu prüfenden Werkstückes mit einer räumlich vorgegebenen Richtcharakteristik abschallen zu können, sieht eine in Fig. 3 illustrierte Ausführungsform für einen Ultraschallwandler eine Permanentmagnetanordnung mit einer Vielzahl jeweils in Reihen angeordnete und in Form und Größe identisch ausgebildete Einzelpermanentmagneten vor, deren magnetische Polaritäten sich jeweils

längs einer Reihe periodisch abwechseln. Um eine räumlich gerichtete Abstrahlcharakteristik zu erhalten sind die jeweils in einer Reihe angeordneten Einzelpermanentmagnete, zu denen in der unmittelbar benachbarten Reihe um die halbe Breite eines einzelnen Permanentmagneten zueinander versetzt angeordnet. Dies entspricht einem Viertel der so genannten Spurwellenlänge λ_s . Zudem sind längs der einzelnen Einzelpermanentmagnetreihen Leiterabschnitte zweier HF-Spulenordnungen angebracht, die jeweils in entgegengesetzter Richtung von Strom durchflossen werden. Weitere Einzelheiten können der vorstehend genannten Druckschrift entnommen werden.

[0008] Besonders zum Empfang von SH-Ultraschallwellen aus einem elektrisch leitfähigen Werkstück eignen sich EMUS-Wandler, von denen zwei Ausführungsvarianten in den Figuren 2a, b schematisch dargestellt sind, die jeweils die dem Werkstück zugewandte Seite der Magnetanordnung M und der HF-Spulenordnung HF zeigen.

[0009] In dem Ausführungsbeispiel in Figur 2a sind längs zweier Reihen R_1 und R_2 Permanentmagnete 1 derart angeordnet, dass sich die dem Werkstück zugewandten magnetischen Polaritäten in Abfolge längs der Reihen R_1 , R_2 periodisch abwechseln (siehe N für magnetisch Nord und S für magnetisch Süd). Eine in Fig. 2a illustrierte Magnetanordnung M prägt somit in ein Werkstück ein inhomogenes statisches Magnetfeld mit einer Spurwellenlänge λ_s ein, die durch die Periodenlänge, d.h. die Ausdehnung zweier Permanentmagneten längs einer Reihe bestimmt ist.

[0010] Ferner ist an der in Fig. 2a dargestellten dem Werkstück zugewandten Seite der Magnetisierungseinheit M eine HF-Spulenordnung HF angeordnet, jeweils mit längs der wenigstens zwei Reihen R_1 und R_2 und zueinander parallel verlaufenden Leiterabschnitten L_1 , L_2 , die jeweils einander in entgegen gesetzter Richtung von Strom durchsetzbar sind (siehe Strompfeile).

[0011] In analoger Weiterbildung zu der in Fig. 2a illustrierten Ausführungsform sieht eine in Fig. 2b illustrierte Ausführungsform die Anordnung von Permanentmagneten 1 in jeweils vier unterteilbare und nebeneinander liegend angeordnete Reihen R_1 bis R_4 vor. Auch in diesem Fall ist die HF-Spulenordnung HF derart ausgebildet, dass die Leiterabschnitte L_1 bis L_4 jeweils längs der Reihen R_1 bis R_4 einander in entgegen gesetzter Richtung von Strom durchsetzbar sind. Die HF-Spulenordnung ist in diesem Fall in zwei miteinander verbundene Teilspulen T1 und T2 aufgeteilt.

[0012] Um dem eingangs erläuterten Problem des überlagerten Empfangs von Ultraschallsignalen und Störsignalen entgegen zu treten und ein verbessertes Signal zu Rauschverhältnis zu erhalten, könnte ausgehend von der in Fig. 2b illustrierten Variante der Einsatz eines Differenzverstärkers zur Signalverstärkung erwogen werden. In dem Zusammenhang ist der Versuch unternommen worden, die zwei in Fig. 2b illustrierte linke und rechte Teilspule T1, T2 aufzutrennen und mit einem

Differenzverstärker zu kombinieren. Aus Fig. 2c ist ein derartiger Aufbau zu entnehmen. Die Anschlüsse E_1 und E_2 der Teilspulen sind an den jeweils invertierenden und nicht invertierenden Eingang eines Differenzverstärkers (nicht dargestellt) angeschlossen. Die beiden anderen Anschlüsse der Teilspulen T_1 und T_2 sind im dargestellten Beispiel auf Masse zusammengelegt. Ein derartiger Ansatz führt jedoch nicht zum erwünschten Ziel einer effektiven Rausch- bzw. Störunterdrückung. Zwar weisen die Spannungssignale, die von empfangenen Ultraschallimpulsen herrühren, bei entsprechender Polung der Spulen T_1 und T_2 in der in Fig. 2c angegebenen Empfangssituation eine relative Phase von 180° auf, doch gilt dies auch für die Störsignale, die über eine gleiche Phasenverschiebung von 180° verfügen. Der einzige mit der in Fig. 2c illustrierten Ausführungsvariante verbundene Vorteil liegt darin, dass durch die Addition der beiden Empfangssignale im Rahmen des Differenzverstärkers die Spannungsamplitude nahezu verdoppelt wird, wodurch die weitere Signalauswertung mittels Digitalisierung der Signalpegel verbessert werden kann. Dennoch werden die Signalpegel der Störsignale in gleicher Weise verstärkt, so dass keine Verbesserung des Signal-Rausch-Verhältnisses erzielt werden kann.

Darstellung der Erfindung

[0013] Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, einen elektromagnetischen Ultraschallwandler, insbesondere zum Empfang von linear polarisierten horizontalen Scherwellen, so genannten SH- unter Ultraschallwellen, aus einem elektrisch leitfähigen Werkstück mit einer Magnetisierungseinheit, die eine dem Werkstück zugewandte Seite vorsieht, längs der in wenigstens zwei mittel- oder unmittelbar nebeneinander angeordneten ersten Reihen jeweils eine Anzahl n erste

[0014] Permanentmagnete derart angebracht ist, dass sich die der Seite zugewandten und den jeweils ersten Permanentmagneten zuordenbaren magnetischen Polaritäten längs einer Reihe periodisch mit einer Periodenlänge abwechseln, die einer Spurwellenlänge λ_s entspricht, und einer HF-Spulenordnung mit jeweils längs der wenigstens zwei ersten Reihen zuordenbaren, zueinander parallel verlaufenden Leiterabschnitten, die einander in entgegen gesetzter Richtung von Strom durchsetzbar sind, derart weiterzubilden, dass eine effektive Unterdrückung von Störsignalanteilen möglich wird, ohne dabei den konstruktiven Aufwand zur Realisierung des Ultraschallwandlers erheblich zu steigern sowie zu verkomplizieren.

[0015] Die Lösung der der Erfindung zugrunde liegenden Aufgabe ist im Anspruch 1 angegeben. Den Erfindungsgedanken weiterbildende Merkmale sind Gegenstand der Unteransprüche sowie der weiteren Beschreibung unter Bezugnahme auf das Ausführungsbeispiel zu entnehmen.

[0016] Ein lösungsgemäß ausgebildeter elektromagnetischer Ultraschallwandler, insbesondere zum Emp-

fangen von linear polarisierten horizontalen Scherwellen, so genannten SH-Ultraschallwellen aus einem elektrisch leitfähigen Werkstück, mit den Merkmalen des Oberbegriffes des Anspruchs 1, zeichnet sich lösungsgemäß dadurch aus, dass längs wenigstens zwei mittel- oder unmittelbar nebeneinander angeordneter zweiter Reihen jeweils eine Anzahl n zweiter Permanentmagnete derart angebracht ist, dass sich die der Seite zugewandten und den jeweils zweiten Permanentmagneten zuordenbaren magnetischen Polaritäten längs einer zweiten Reihe periodisch mit einer der Spurwellenlänge λ_s entsprechenden Periodenlänge abwechseln, dass jeweils längs der wenigstens zwei zweiten Reihen zueinander parallel verlaufende Leiterabschnitte einer weiteren HF-Spulenordnung angeordnet sind, die einander in entgegengesetzter Richtung von Strom durchsetzbar sind, und dass die wenigstens zwei zweiten Reihen mit den jeweils n zweiten Permanentmagneten um eine halbe Spurwellenlänge λ_s versetzt neben den wenigstens zwei ersten Reihen mit den n ersten Permanentmagneten unter Ausbildung von $n+1$ Zeilen derart angeordnet sind, dass in der zweiten bis $n-1$ -ten Zeile jeweils erste und zweite Permanentmagnete aus den jeweils ersten und zweiten Reihen und in der ersten Zeile ausschließlich erste und in der $n+1$ -ten Zeile ausschließlich zweite Permanentmagnete enthalten sind.

[0017] Durch die lösungsgemäße Ausbildung der elektromagnetischen Ultraschallwandleranordnung mit zwei getrennt zueinander ausgebildeten HF-Spulenordnungen, die jeweils einer in zwei Reihen unterteilbaren Permanentmagnetanordnung zuordenbar sind, wobei die benachbart angeordneten Permanentmagnetanordnungen in Reihenlängserstreckung jeweils um eine halbe Spurwellenlänge λ_s relativ zueinander versetzt angeordnet sind, ist es möglich, die Phasenbedingung für die Ultraschallsignale, nämlich relative Phase von 180° , sowie für die Störsignale, nämlich relative Phase von 0° , zu erfüllen. So heben sich im Rahmen der Differenzverstärkung die Störsignale mit einer relativen Phasenlage von 0° gegenseitig auf, wohingegen die Ultraschallsignale mit jeweils einer relativen Phasenlage von 180° addiert werden, wodurch ihre zugehörige Spannungsamplitude verdoppelt werden kann. Alternativ zur Verwendung eines Differenzverstärkers kann die vorstehende Signalauswertung auch numerisch im Rahmen einer rechnerbasierten Auswerteeinheit erfolgen, indem die empfangenen Ultraschall- und Störsignale digitalisiert und mit einem numerischen Addierer invers addiert werden.

[0018] Zur Realisierung des lösungsgemäßen elektromagnetischen Ultraschallwandlers werden zwei konkrete Ausführungsformen vorgeschlagen, die zur weiteren Beschreibung in den Fig. 1 a und b abgebildet sind.

Kurze Beschreibung der Erfindung

[0019] Die Erfindung wird nachstehend anhand von Ausführungsbeispielen unter Bezugnahme auf die

Zeichnungen exemplarisch beschrieben. Es zeigen:

- Fig. 1 a, b lösungsgemäß ausgebildete Ultraschallempfänger
- Fig. 2a bis c elektromagnetische Ultraschallwandler nach Stand der Technik sowie
- Fig. 3a, b perspektivische Darstellungen der in den Figuren 1a, b dargestellten Magnetanordnungen..

Wege zur Ausführung der Erfindung, gewerbliche Verwendbarkeit

[0020] Fig. 1 zeigt in schematisierter Weise die untere Seitenansicht einer Magnetisierungseinheit M mit einer entsprechenden HF-Spulenordnung HF, die auf die Oberfläche eines zu untersuchenden, aus elektrisch leitendem Material bestehenden Werkstückes (nicht dargestellt) aufsetzbar ist. Die Magnetisierungseinheit M setzt sich aus einer Vielzahl in Form und Größe identisch ausgebildeter Einzelpermanentmagnete 1 zusammen, deren Stirnseiten in Figur 1 a mit den angegebenen magnetischen Polaritäten N, S dargestellt sind.

[0021] Die Magnetisierungseinheit M lässt sich in dem in Fig. 1 a illustrierten Ausführungsbeispiel in zwei Permanentmagnetanordnungen P_1 und P_2 unterteilen. Die Permanentmagnetanordnung P_1 weist zwei Reihen R_1 und R_2 auf, längs derer jeweils eine Anzahl n erste Einzelpermanentmagnete 1 angeordnet sind. Jeweils längs der Reihen R_1 , R_2 wechseln sich die magnetischen Polaritäten der stirnseitig endenden ersten Einzelpermanentmagnete 1 periodisch ab (siehe hierzu N für magnetisch Nord und S für magnetisch Süd). Die jeweils unmittelbar aneinander grenzenden ersten Einzelpermanentmagnete 1 in den Reihen R_1 und R_2 , d.h. die zeilenweise nebeneinander liegenden Einzelpermanentmagnete, weisen hierbei ebenfalls eine entgegen gesetzte magnetische Polarität auf.

[0022] Ferner ist der Permanentmagnetanordnung P_1 eine Empfangsspule ET_1 zugeordnet, die in Reihenlängserstreckung zwei zueinander parallel verlaufende Leiterabschnitte L_1 und L_2 vorsieht, die in der aus Fig. 1 a entnehmbaren zueinander entgegen gesetzter Stromrichtung (siehe Stromrichtungspfeile) durchflossen werden. Unmittelbar angrenzend an die Permanentmagnetanordnung P_1 ist eine zweite Permanentmagnetanordnung P_2 vorgesehen, die ebenfalls längs zweier Reihen R_3 und R_4 eine identische Anzahl n zweite Permanentmagnete 1 vorsieht, wobei die Permanentmagnetanordnung P_2 relativ zur Permanentmagnetanordnung P_1 um die Breite eines Permanentmagneten 1, d.h. um die halbe Periodenlänge bzw. um die halbe Spurwellenlänge λ_s versetzt angeordnet ist.

[0023] Aus der Figurendarstellung in Fig. 1a, aber auch aus der Figur 3a, die eine perspektivische Ansicht der Magnetanordnung gemäß Fig. 1 a zeigt, geht hervor,

dass durch die lösungsgemäß versetzte Anordnung der ersten Permanentmagnete längs der Reihen R1 und R2 gegenüber den zweiten Permanentmagneten längs der Reihen R3 und R4 n+1 Zeilen gebildet werden, zu denen die ersten und/oder zweiten Permanentmagnete in der nachfolgenden Weise zuordenbar sind: In dem dargestellten Beispiel sind n=7 Permanentmagnete in jeder der Reihen R1, R2, R3, R4 angeordnet. Durch die lösungsgemäß versetzte Reihenanordnung bilden sich n+1 gleich acht Zeilen aus, von denen in der n gleich ersten Zeile lediglich zweite Permanentmagnete aus den Reihen R3 und R4 und in der n+1 gleich achten Zeile lediglich erste Permanentmagnete aus den Reihen R1 und R2 angeordnet sind. In den Zeilen von n gleich zwei bis n gleich sieben sind jeweils erste und zweite Permanentmagnete aus Reihen R1, R2, R3, R4 angeordnet.

[0024] Die Ausbildung und Anordnung der der Permanentmagnetanordnung P₂ zugeordneten Empfangsspule ET₂ (siehe Fig. 1a) ist entsprechend der Empfangsspulenanordnung ET₁ nachgebildet. Die elektrischen Anschlüsse E₁ und E₂ der jeweiligen Empfangsspulen ET₁ und ET₂ sind an den invertierenden bzw. nicht-invertierenden Eingang eines nicht weiter dargestellten Differenzverstärkers angeschlossen. Die übrigen beiden Anschlüsse der Empfangsspulen ET₁ und ET₂ befinden sich auf einem gemeinsamen elektrischen Potential, dem Massepotential.

[0025] Die mit Hilfe einer derartigen EMUS-Wandleranordnung empfangenen Ultraschallsignale werden konstruktionsbedingt mit einer Phasenverschiebung von 180° in den Empfangsspulen ET₁ und ET₂ empfangen, wohingegen die Störsignale in beiden Empfangsspulen ET₁ und ET₂ keinen Phasenunterschied, d.h. relative Phase von 0°, aufweisen. Nach Addition der Empfangssignale mit einem Differenzverstärker mitteln sich somit die Störsignale vollständig weg, übrig bleiben ausschließlich Ultraschallsignalanteile. Hierdurch kann das Signal-Rausch-Verhältnis erheblich verbessert werden, ohne dabei einen messtechnisch bedeutsamen Zusatzaufwand leisten zu müssen.

[0026] In Fig. 1b ist eine alternative Ausbildungsform für einen lösungsgemäß ausgebildeten EMUS-Empfangswandler dargestellt, der eine Verschachtelung der vorstehend beschriebenen Permanentmagnetanordnungen P₁ und P₂ mit den dazu gehörigen Empfangsspulen ET₁ und ET₂ vorsieht. Figur 3b zeigt eine diesbezügliche perspektivische Darstellung. So befindet sich zwischen den Reihen R₁ und R₂ der ersten Permanentmagnetanordnung P₁ die Reihe R₄ der zweiten Permanentmagnetanordnung P₂, gemäß der in Fig. 1a illustrierten und beschriebenen Ausbildung. Unmittelbar rechts neben der Reihe R₂ schließt sich die Reihe R₃ der Permanentmagnetanordnung P₂ an. Aus der perspektivischen Darstellung in Figur 3b sind zudem die Zeilenzahlen von n=1 bis n+1 und die in den jeweiligen Zeilen angeordneten Permanentmagnete klar ersichtlich.

[0027] Die zu den Permanentmagnetanordnungen P₁ und P₂ zugehörigen Empfangsspulen ET₁ und ET₂ sind

gleichsam verschachtelt bzw. überlappend angeordnet und ausgebildet, so dass ihre zugehörigen Leiterabschnitte L₁ bis L₄ zu den jeweiligen Reihen R₁ bis R₄ zugeordnet sind.

[0028] Auch in diesem Fall werden die Anschlüsse E₁, E₂ der Empfangsspulen ET₁ und ET₂ an den invertierenden bzw. nicht-invertierenden Anschluss eines Differenzverstärkers angeschlossen. Die beiden übrigen Anschlüsse werden auf gleiches Potenzial, dem Massepotential gelegt.

[0029] Die in Fig. 1b illustrierte Ausführungsform weist gegenüber der in Fig. 1a gezeigten Ausführungsform Vorteile auf, so beispielsweise der räumlich kompaktere Aufbau und insbesondere die weitgehende Überlappung der Empfangsspulen ET₁ und ET₂, durch die lokal begrenzte Störsignale in beiden Empfangsspulen ET₁ und ET₂ annähernd mit gleicher Amplitude und Phase empfangen werden können. Hinzu kommt, dass die Grundempfindlichkeit durch eine mögliche Zusammenfassung der in den Zeilen von n=2 bis n angeordneten Permanentmagnetkörper der Reihen R₄ und R₂ verbessert werden kann, zumal besonders bei kleinen Magnetabmessungen die magnetische Feldstärke sehr stark mit dem Magnetvolumen zunimmt und die Empfangsamplitude direkt proportional zur magnetischen Feldstärke ist. In diesem Fall ist die strichliert eingetragene Trennlinie wegzudenken. Wichtig für die Ausführung gemäß der in Fig. 1b gezeigten Ausführungsform ist jedoch, dass sowohl beide Empfangsspulen ET₁ und ET₂ in Form, Ausführung und Wickelsinn sowie die periodische Magnetanordnung für beide Permanentmagnetanordnungen P₁ und P₂ identisch bzw. symmetrisch aufgebaut sind.

Bezugszeichenliste

[0030]

1	Permanentmagnete
R ₁ , R ₂ , R ₃ , R ₄	Reihen
M	Magnetisierungseinheit
T ₁ , T ₂	Teilsulen,
L ₁ , L ₂ , L ₃ , L ₄	Leiterabschnitte
HF	HF-Spulenanordnung
ET ₁ , ET ₂	Empfangsspulen
P ₁ , P ₂	Permanentmagnetanordnung

Patentansprüche

1. Elektromagnetischer Ultraschallwandler, insbesondere zum Empfangen von linear polarisierten hori-

zontalen Scherwellen, so genannten SH-Ultraschallwellen, aus einem elektrisch leitfähigen Werkstück, mit

- einer Magnetisierungseinheit (M), die eine dem Werkstück zugewandte Seite vorsieht, längs der in wenigstens zwei mittel- oder unmittelbar nebeneinander angeordnete erste Reihen (R1, R2) jeweils eine Anzahl n erste Permanentmagnete (1) derart angebracht ist, dass sich die der Seite zugewandten und den jeweils ersten Permanentmagneten (1) zuordenbaren magnetischen Polaritäten sowohl längs einer Reihe (R1, R2) periodisch mit einer Periodenlänge, die einer Spurwellenlänge λ_s entspricht, als auch längs einer zeilenweise nebeneinander liegenden Anordnung abwechseln, und
- einer an der dem Werkstück zugewandten Seite der Magnetisierungseinheit (M) angebrachten HF-Spulenordnung (HF) mit jeweils längs der wenigstens zwei ersten Reihen (R1, R2) zuordenbaren, zueinander parallel verlaufenden Leiterabschnitten (L1, L2), die einander in entgegengesetzter Richtung von Strom durchsetzbar sind,

dadurch gekennzeichnet, dass längs wenigstens zwei mittel- oder unmittelbar nebeneinander angeordneter zweiter Reihen (R3, R4) jeweils eine Anzahl n zweiter Permanentmagnete (1) derart angebracht ist, dass sich die der Seite zugewandten und den jeweils zweiten Permanentmagneten (1) zuordenbaren magnetischen Polaritäten längs einer zweiten Reihe (R3, R4) periodisch mit einer Periodenlänge, die der Spurwellenlänge λ_s entspricht, als auch längs einer zeilenweise nebeneinander liegenden Anordnung abwechseln, dass jeweils längs der wenigstens zwei zweiten Reihen (R3, R4) zueinander parallel verlaufende Leiterabschnitte (L3, L4) einer weiteren HF-Spulenordnung angeordnet sind, die einander in entgegengesetzter Richtung von Strom durchsetzbar sind, und dass die wenigstens zwei zweiten Reihen (R3, R4) mit den jeweils n zweiten Permanentmagneten (1) um eine halbe Spurwellenlänge λ_s versetzt neben den wenigstens zwei ersten Reihen (R1, R2) mit den n ersten Permanentmagneten unter Ausbildung von $n+1$ Zeilen derart angeordnet sind, dass in der zweiten bis $n-1$ -ten Zeile jeweils erste und zweite Permanentmagnete aus den jeweils ersten und zweiten Reihen und in der ersten Zeile ausschließlich erste und in der $n+1$ -ten Zeile ausschließlich zweite Permanentmagnete enthalten sind.

2. Elektromagnetischer Ultraschallwandler nach Anspruch 1, wobei die in den ersten und zweiten Reihen (R1, R2, R3, R4) angeordneten n ersten und zweiten Permanentmagnete (1) jeweils in Form und Größe

identisch ausgebildet sind.

3. Elektromagnetischer Ultraschallwandler nach Anspruch 1 oder 2, wobei die zwei ersten Reihen (R1, R2) unmittelbar nebeneinander angeordnet sind, und dass die zwei zweiten Reihen (R3, R4) unmittelbar nebeneinander angeordnet sind und unmittelbar an einer der zwei ersten Reihen (R1, R2) angrenzen.
4. Elektromagnetischer Ultraschallwandler nach Anspruch 1 oder 2, wobei die ersten und zweiten Reihen (R1, R2, R3, R4) mit den jeweils n Permanentmagneten (1) jeweils verschachtelt, d.h. mit abwechselnder Reihenabfolge, jeweils unmittelbar aneinander angrenzend angeordnet sind.
5. Elektromagnetischer Ultraschallwandler nach einem der Ansprüche 1 bis 4, wobei die den ersten und zweiten Permanentmagneten (1) zuordenbaren HF-Spulenordnungen (ET₁, ET₂) jeweils wenigstens eine durchgängige Spulenwicklung mit den jeweils zwei parallel zueinander verlaufenden Leiterabschnitten (L₁, L₂, L₃, L₄) vorsehen und jeweils in Form, Wicklungsanzahl und Wicklungssinn identisch ausgebildet sind.
6. Elektromagnetischer Ultraschallwandler nach einem der Ansprüche 1 bis 5, wobei ein Differenzverstärker mit einem invertierenden und einem nicht invertierenden Anschluss vorgesehen ist, dass die HF-Spulenordnungen (ET₁, ET₂) über jeweils zwei Leitungsanschlüsse verfügen, dass ein Leitungsanschluss der einen HF-Spulenordnung an den invertierenden und ein Leitungsanschluss der anderen HF-Spulenordnung an den nichtinvertierenden Anschluss angeschlossen sind, und dass die jeweils anderen Leitungsanschlüsse beider HF-Spulenordnungen miteinander verbunden sind oder auf gleichem elektrischem Potenzial liegen.
7. Elektromagnetischer Ultraschallwandler nach einem der Ansprüche 1 bis 5, wobei die HF-Spulenordnungen (ET₁, ET₂) über jeweils zwei Leitungsanschlüsse verfügen, dass ein Leitungsanschluss der einen HF-Spulenordnung und ein Leitungsanschluss der anderen HF-Spulenordnung an einen AD-Wandler angeschlossen sind, der mit einer Numerischen Auswerteeinheit angeschlossen ist, die die Signalanteile beider Leitungsanschlüsse jeweils invers addiert, und dass die jeweils anderen Leitungsanschlüsse beider HF-Spulenordnungen miteinander verbunden sind oder auf gleichem elektrischem Potenzial liegen.

8. Elektromagnetischer Ultraschallwandler nach einem der Ansprüche 6 oder 7, wobei der Ultraschallwandler als Ultraschallempfänger dient und die HF-Spulenansordnungen jeweils Empfangsspulen (ET_1 , ET_2) darstellen, deren parallel zueinander ausgerichteten Leiterabschnitten (L_1 , L_2 , L_3 , L_4) in Schallausbreitungsrichtung orientiert sind.

Claims

1. Electromagnetic ultrasonic transducer, in particular for receiving linearly polarised horizontal shear waves, so-called SH-ultrasonic waves, from an electrically conductive workpiece, having

- a magnetising unit (M), which provides a side facing the workpiece, along which in each of at least two first rows (R1, R2) arranged directly or indirectly next to each other, a number n of first permanent magnets (1) is mounted such that the magnetic polarities facing the side and which can be assigned to each of the first permanent magnets (1) alternate periodically along a row (R1, R2) with a period length corresponding to a track wavelength λ_s , and also along an arrangement of rows located in adjacent lines, and
 - an HF-coil assembly (HF) mounted on the side of the magnetising unit (M) facing the workpiece, having conductor sections (L1, L2) each extending parallel to one another and which can be assigned along the at least two first rows (R1, R2), through which current can be passed in mutually opposite directions,

characterized in that

along each of at least two second rows (R3, R4) arranged directly or indirectly next to each other, a number n of second permanent magnets (1) is mounted such that the magnetic polarities, which face the side and can be assigned to each of the second permanent magnets (1), alternate periodically along a second row (R3, R4) with a period length corresponding to the track wavelength λ_s , and also along an arrangement of rows located in adjacent lines,
 that along each of the at least two second rows (R3, R4), mutually parallel conductor sections (L3, L4) of a further HF-coil assembly are arranged through which current can be passed in mutually opposite directions, and
 that the at least two second rows (R3, R4), each with the n second permanent magnets (1), are arranged next to the at least two first rows (R1, R2) with the n first permanent magnets offset by half a track wavelength λ_s , forming n+1 lines, such that the 2nd to (n-1)th lines contain first and second permanent magnets from the respective first and second rows and

the first line contains only first permanent magnets and the (n+1)th line contains only second permanent magnets.

2. Electromagnetic ultrasonic transducer according to Claim 1, wherein the n first and second permanent magnets (1) arranged in the first and second rows (R1, R2, R3, R4) are each designed identically in shape and size.
3. Electromagnetic ultrasonic transducer according to Claim 1 or 2, wherein the first two rows (R1, R2) are arranged directly next to each other, and the two second rows (R3, R4) are arranged directly next to each other and lie directly adjacent to one of the first two rows (R1, R2).
4. Electromagnetic ultrasonic transducer according to Claim 1 or 2, wherein the first and second rows (R1, R2, R3, R4) each with the n permanent magnets (1) are arranged in an interlaced manner, i.e. with alternating sequence, and directly adjacent to one another.
5. Electromagnetic ultrasonic transducer according to any one of Claims 1 to 4, wherein the first and second HF-coil assemblies (ET_1 , ET_2) that can be assigned to the first and second permanent magnets (1) each provide at least one continuous coil winding with the two respective conductor sections (L_1 , L_2 , L_3 , L_4) which extend parallel to each other, and are each identically designed in shape, number of windings and winding direction.
6. Electromagnetic ultrasonic transducer according to any one of Claims 1 to 5, wherein a differential amplifier with an inverting and a non-inverting input is provided, the HF-coil assemblies (ET_1 , ET_2) are each provided with two conductor terminals, one conductor terminal of the one HF-coil assembly is connected to the inverting input and one conductor terminal of the other HF-coil assembly is connected to the non-inverting input, and the other respective conductor terminals of both HF-coil assemblies are connected to each other or are at the same electrical potential.
7. Electromagnetic ultrasonic transducer according to any one of Claims 1 to 5, wherein the HF-coil assemblies (ET_1 , ET_2) are each provided with two conductor terminals, one conductor terminal of the one HF-coil assembly and one conductor terminal of the other HF-coil assembly are connected to an AD-converter, which is connected to a numerical analysis unit that adds the signal components of each of the two conductor terminals inversely, and

the other respective conductor terminals of both HF-coil assemblies are connected to each other or are at the same electrical potential.

8. Electromagnetic ultrasonic transducer according to one of Claims 6 or 7, wherein the ultrasonic transducer is used as an ultrasonic receiver and the HF-coil assemblies each represent receiver coils (ET₁, ET₂), the conductor sections (L₁, L₂, L₃, L₄) of which, aligned parallel to each other, are oriented in the direction of sound propagation.

Revendications

1. Transducteur ultrasonore électromagnétique, en particulier pour réceptionner des ondes de cisaillement horizontales polarisées linéairement, des dénommées ondes ultrasonores SH, issues d'une pièce usinée électroconductrice, avec

- une unité de magnétisation (M) qui prévoit un côté tourné vers la pièce usinée le long duquel est mis en place - en au moins deux premières rangées (R1, R2) disposées indirectement ou directement côte à côte - respectivement un nombre n de premiers aimants permanents (1) de manière à ce que les polarités magnétiques orientées vers le côté et pouvant être affectées aux premiers aimants permanents (1) respectifs alternent périodiquement le long d'une rangée (R1, R2) avec une longueur de période correspondant à une longueur d'onde de trace λ_s tout comme également le long d'un agencement de juxtaposition ligne par ligne, et

- une installation de bobine HF (HF) disposée sur le côté tourné vers la pièce usinée de l'unité de magnétisation (M) avec des sections de conducteur (L1, L2) s'étendant parallèlement les unes par rapport aux autres pouvant être respectivement affectées le long des au moins deux premières rangées (R1, R2), lesquelles sections peuvent être traversées par du courant dans des directions opposées les unes des autres,

caractérisé en ce que le long d'au moins deux deuxièmes rangées (R3, R4) disposées indirectement ou directement côte à côte, respectivement un nombre n de deuxièmes aimants permanents (1) est mis en place de manière à ce que les polarités magnétiques orientées vers le côté et pouvant être respectivement affectées aux deuxièmes aimants permanents (1) alternent périodiquement le long d'une deuxième rangée (R3, R4) avec une longueur de période correspondant à la longueur d'onde de trace λ_s tout comme également le long d'un agencement de juxtaposition ligne par ligne, **en ce que** des sections de conducteur (L3, L4) s'étendant parallèle-

ment les unes par rapport aux autres d'une autre installation de bobine HF sont respectivement disposées le long des au moins deux deuxièmes rangées (R3, R4), lesquelles sections peuvent être traversées par du courant dans des directions opposées les unes des autres, et

en ce que les au moins deux deuxièmes rangées (R3, R4) avec respectivement les n deuxièmes aimants permanents (1) sont disposées avec un décalage d'une demi longueur d'onde de trace λ_s à côté des au moins deux premières rangées (R1, R2) avec les n premiers aimants permanents en formant n+1 lignes de manière à ce que dans la deuxième ligne jusqu'à la ligne n-1 se trouvent respectivement des premiers et deuxièmes aimants permanents issus respectivement des premières et deuxièmes rangées et à ce que dans la première ligne se trouvent exclusivement des premiers aimants permanents et dans la ligne n+1 exclusivement des deuxièmes aimants permanents.

2. Transducteur ultrasonore électromagnétique selon la revendication 1, les n premiers et deuxièmes aimants permanents (1) disposés dans les premières et deuxièmes rangées (R1, R2, R3, R4) étant respectivement réalisés de manière identique concernant la forme et la taille.

3. Transducteur ultrasonore électromagnétique selon la revendication 1 ou 2, les deux premières rangées (R1, R2) étant disposées directement l'une à côté de l'autre, et les deux deuxièmes rangées (R3, R4) étant disposées directement l'une à côté de l'autre et jouxtant directement l'une des deux premières rangées (R1, R2).

4. Transducteur ultrasonore électromagnétique selon la revendication 1 ou 2, les premières et deuxièmes rangées (R1, R2, R3, R4) avec respectivement les n aimants permanents (1) étant respectivement disposées de manière imbriquée, c'est-à-dire avec un ordre alterné, respectivement de manière directement juxtaposée les unes aux autres.

5. Transducteur ultrasonore électromagnétique selon l'une des revendications 1 à 4, les installations de bobine HF (ET₁, ET₂) pouvant être affectées aux premiers et deuxièmes aimants permanents (1) prévoyant respectivement au moins un enroulement de bobine continu avec respectivement les deux sections de conducteur (L₁, L₂, L₃, L₄) s'étendant parallèlement l'une par rapport à l'autre, et étant respectivement réalisées de manière identique concernant la forme, le nombre d'enroulements et le sens d'enroulement.

6. Transducteur ultrasonore électromagnétique selon

l'une des revendications 1 à 5, un amplificateur différentiel étant prévu avec un raccordement inverseur et un raccordement non inverseur, les installations de bobine HF (ET_1 , ET_2) disposant respectivement de deux raccordements de ligne, un raccordement de ligne de l'une des installations de bobine HF étant raccordé au raccordement inverseur et un raccordement de ligne de l'autre installation de bobine HF étant raccordé au raccordement non inverseur, et les autres raccordements de ligne respectifs des deux installations de bobine HF étant reliés ensemble ou bien se trouvant sur le même potentiel électrique.

5

10

15

7. Transducteur ultrasonore électromagnétique selon l'une des revendications 1 à 5, les installations de bobine HF (ET_1 , ET_2) disposant respectivement de deux raccordements de ligne, un raccordement de ligne de l'une des installations de bobine HF et un raccordement de ligne de l'autre installation de bobine HF étant raccordés à un convertisseur A/N, lequel est raccordé à une unité d'évaluation numérique qui additionne respectivement de manière inverse les parts de signal des deux raccordements de ligne, et les autres raccordements de ligne respectifs des deux installations de bobine HF étant reliés ensemble ou bien se trouvant sur le même potentiel électrique.

20

25

30

8. Transducteur ultrasonore électromagnétique selon l'une des revendications 6 ou 7, le transducteur ultrasonore servant de récepteur ultrasonore et les installations de bobine HF représentant respectivement des bobines réceptrices (ET_1 , ET_2) dont les sections de conducteur (L_1 , L_2 , L_3 , L_4) orientées parallèlement les unes aux autres sont orientées en direction de propagation du son.

35

40

45

50

55

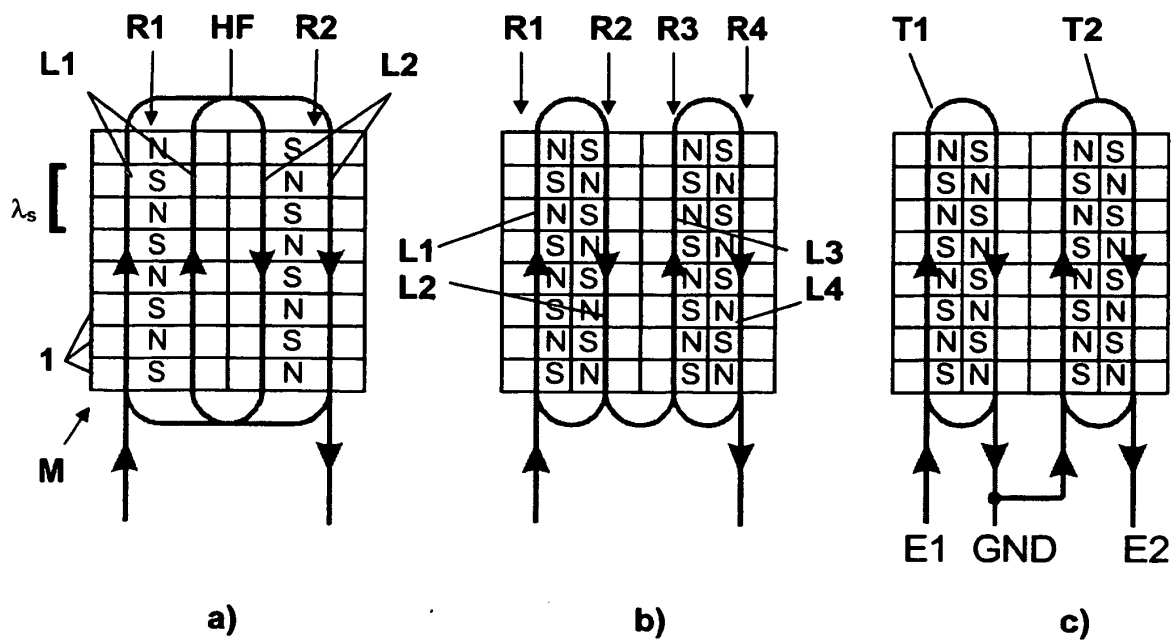
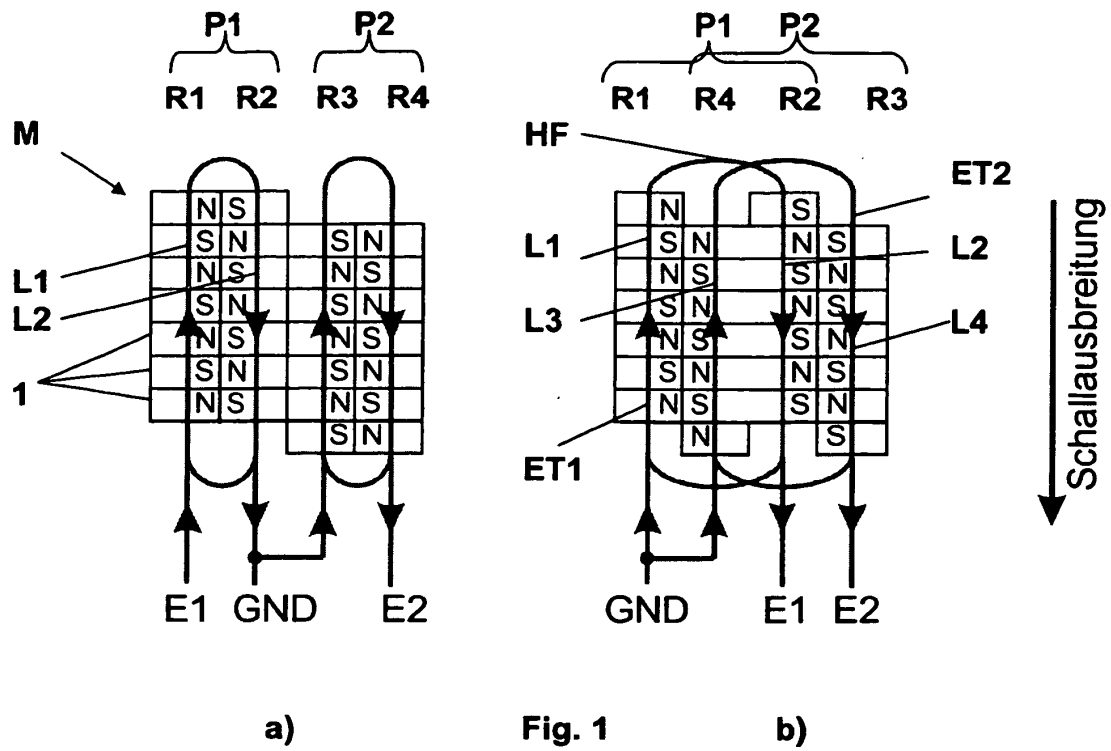
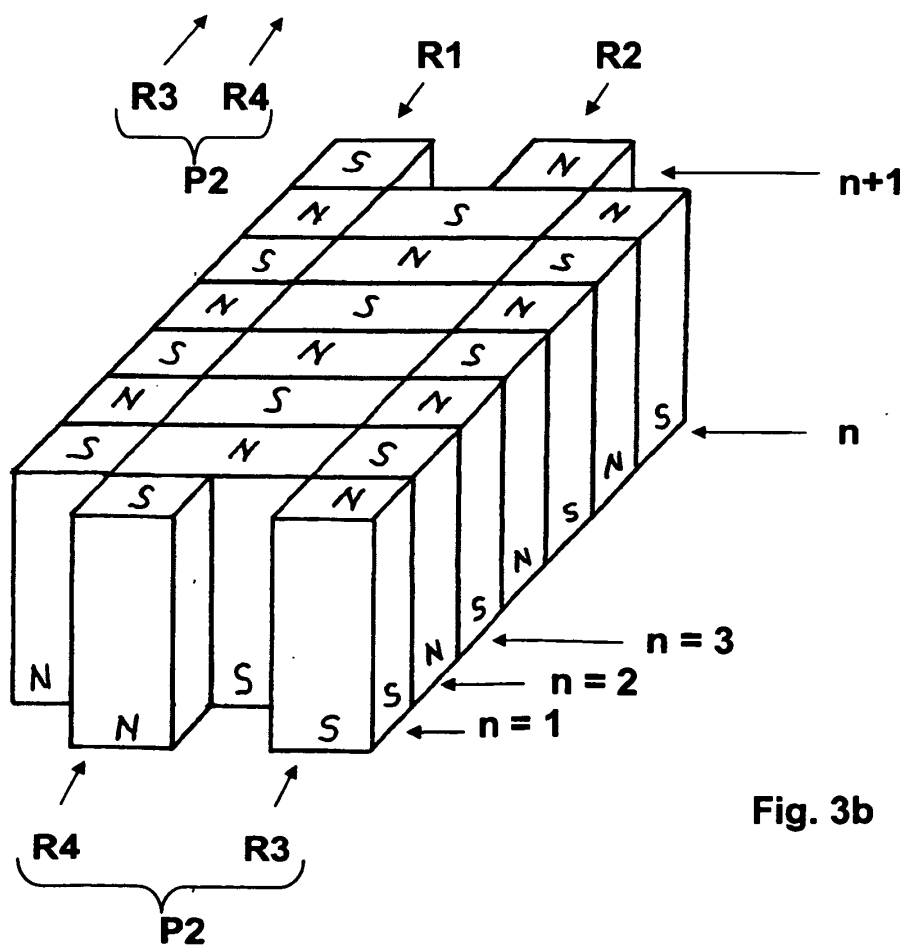
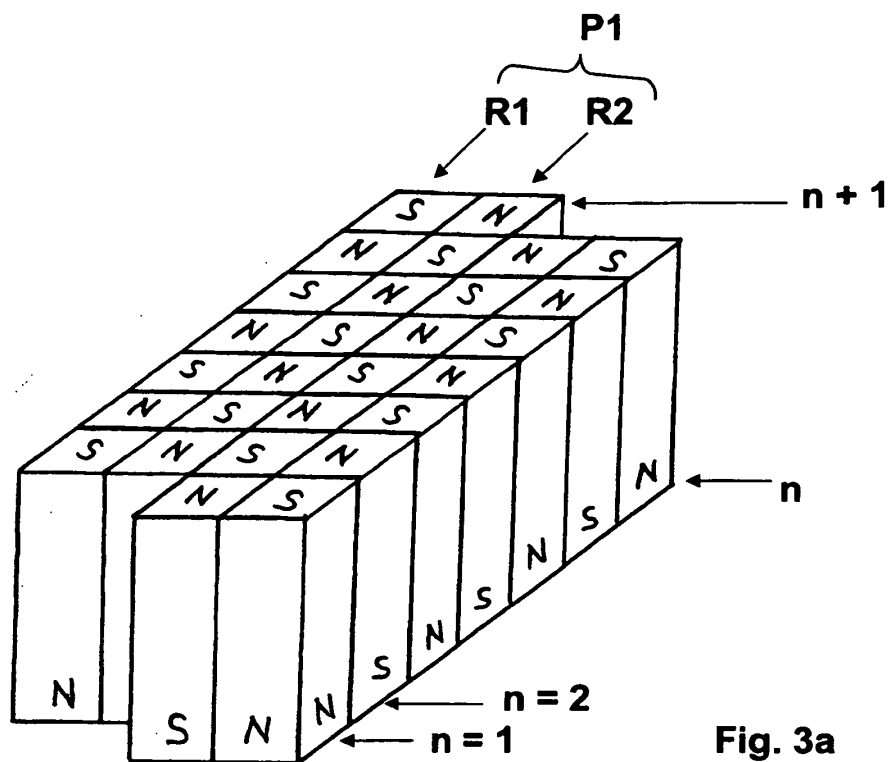


Fig. 2



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

- DE 4223470 C2 [0006]
- DE 19543481 C2 [0007]