



(10) **DE 10 2019 210 301 A1** 2021.01.14

(12) **Offenlegungsschrift**

(21) Aktenzeichen: **10 2019 210 301.4**
(22) Anmeldetag: **11.07.2019**
(43) Offenlegungstag: **14.01.2021**

(51) Int Cl.: **G01B 7/02 (2006.01)**
G01B 7/30 (2006.01)
G01D 5/12 (2006.01)
B23H 7/06 (2006.01)

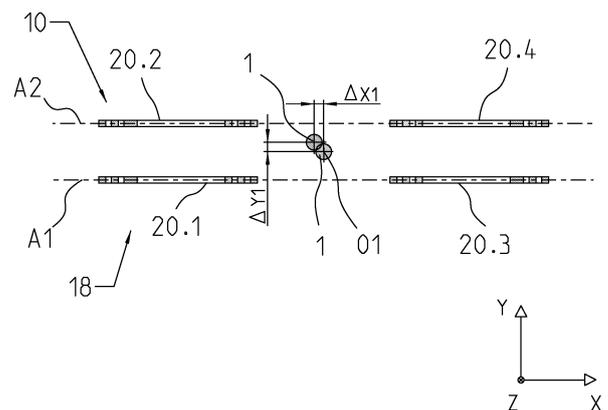
(71) Anmelder:
**DR. JOHANNES HEIDENHAIN GmbH, 83301
Traunreut, DE**

(72) Erfinder:
**Nutzinger, Tarek, 83377 Vachendorf, DE;
Heumann, Martin, Dr., 83278 Traunstein, DE**

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen.

(54) Bezeichnung: **Sensoranordnung zum Erfassen einer Auslenkung einer Drahtelektrode**

(57) Zusammenfassung: Die vorliegende Erfindung betrifft eine Sensoranordnung (10) zum Erfassen einer Auslenkung ($\Delta X1$, $\Delta Y1$) einer Drahtelektrode (1) einer Drahterodiermaschine in Bezug auf einen auf einer Referenzachse (O) liegenden ersten Referenzpunkt (O1) in einer ersten Messebene (T1). Die Sensoranordnung (10) weist eine Spulenelementanordnung (18) auf. Die Spulenelementanordnung (18) weist mindestens ein in der ersten Messebene (T1) angeordnetes erstes bis viertes Spulenelement (20.1 bis 20.4) auf. Das erste bis vierte Spulenelement (20.1 bis 20.4) sind in einer ersten Ebene (A1) und in einer zweiten Ebene (A2) derart angeordnet, dass sie sich in Bezug auf den ersten Referenzpunkt (O1) jeweils paarweise in einer ersten und zweiten Auslenkrichtung (X, Y) einander gegenüberliegen. Die erste Ebene (A1) und die zweite Ebene (A2) erstrecken sich jeweils parallel zur Referenzachse (O). Die erste und zweite Ebene (A1, A2) sind in Bezug auf den ersten Referenzpunkt (O1) in der zweiten Auslenkrichtung (Y) voneinander beabstandet und einander gegenüberliegend angeordnet.



Beschreibung

GEBIET DER TECHNIK

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft eine Sensoranordnung zum Erfassen einer Auslenkung einer Drahtelektrode nach dem Oberbegriff des Anspruchs 1.

STAND DER TECHNIK

[0002] Eine gattungsgemäße Sensoranordnung ist aus DE 28 26 270 A1 bekannt. Die Sensoranordnung umfasst vier Messelektroden, die jeweils in einer der vier Hauptachsenrichtungen X+, X-, Y+, Y- von der Drahtelektrode beabstandet angeordnet sind. Die gesamte Anordnung wird von einem Dielektrikum mit einem Leitwert von 1 bis 100 $\mu\text{S}/\text{cm}$ durchströmt. Die Messung der Auslenkung der Drahtelektrode in XY-Richtung erfolgt durch eine Detektion der Änderung der Widerstände zwischen den vier Messelektroden und der Drahtelektrode, die als Gemeinschaftselektrode für alle vier Messzellen dient.

ZUSAMMENFASSUNG DER ERFINDUNG

[0003] Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, eine Sensoranordnung zum Erfassen einer Auslenkung einer Drahtelektrode anzugeben, die einfach und kompakt aufgebaut ist und mit der eine präzise Detektion der Drahtelektrode ermöglicht wird.

[0004] Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß durch eine Sensoranordnung mit den Merkmalen des Anspruchs 1 gelöst.

[0005] Die erfindungsgemäß ausgebildete Sensoranordnung dient zum Erfassen einer Auslenkung einer Drahtelektrode einer Drahterodiermaschine in Bezug auf einen auf einer Referenzachse liegenden ersten Referenzpunkt in einer ersten Messebene. Die erste Messebene wird durch den ersten Referenzpunkt und durch eine erste Auslenkrichtung und eine zur ersten Auslenkrichtung senkrecht verlaufende zweite Auslenkrichtung definiert. Die erste und zweite Auslenkrichtung verlaufen jeweils senkrecht zur Referenzachse. Die Sensoranordnung weist eine Spulenelementanordnung auf. Die Spulenelementanordnung weist mindestens ein in der ersten Messebene angeordnetes erstes bis viertes Spulenelement zum Erfassen eines durch die Drahtelektrode erzeugten magnetischen Wechselfelds und zum Erzeugen eines ersten bis vierten Messsignals auf. Das erste bis vierte Spulenelement sind in einer ersten Ebene und in einer zweiten Ebene derart angeordnet, dass sie sich in Bezug auf den ersten Referenzpunkt jeweils paarweise in der ersten und zweiten Auslenkrichtung einander gegenüberliegen. Die erste Ebene und die zweite Ebene erstrecken sich jeweils parallel zur Referenzachse. Die erste und zweite Ebene sind in Be-

zug auf den ersten Referenzpunkt in der zweiten Auslenkrichtung voneinander beabstandet und einander gegenüberliegend angeordnet.

[0006] Vorzugsweise sind die erste und zweite Ebene parallel zueinander angeordnet.

[0007] Eine Drahterodiermaschine mit der erfindungsgemäßen Sensoranordnung und einer Drahtelektrode, wobei sich die Drahtelektrode in einem unausgelenkten Zustand kollinear zur Referenzachse durch den ersten Referenzpunkt erstreckt, ist im Anspruch 19 angegeben.

[0008] Es ist vorteilhaft, wenn die Drahterodiermaschine einen Signalgenerator zum Erzeugen eines Wechselstromimpulses aufweist und wenn die Drahtelektrode derart ausgebildet ist, dass bei einer Beaufschlagung derselben mit dem Wechselstromimpuls das zu erfassende magnetische Wechselfeld erzeugt wird. Die Drahtelektrode dient einerseits zum Erzeugen des magnetischen Wechselfelds und andererseits zur Bearbeitung eines in der Drahterodiermaschine befindlichen Werkstücks. Im Betrieb verläuft das magnetische Wechselfeld in einer Umfangsrichtung um die Drahtelektrode.

[0009] Durch die Erfindung wird mit einer einfach und kompakt aufgebauten Sensoranordnung eine genaue Positionierung und Ausrichtung von einzelnen, eine gemeinsame Einheit bildenden Spulenelementen relativ zueinander und in Bezug auf einen Referenzpunkt der Sensoranordnung ermöglicht. Dadurch wird eine hohe Genauigkeit der Detektion der Drahtelektrode erreicht. Die Erfindung ermöglicht zudem die Realisierung einer berührungslosen, zweidimensionalen Detektion der Drahtelektrode in einer Messebene. Dabei kann insbesondere auf die Verwendung eines für eine Widerstandsmessung erforderlichen Dielektrikums zwischen der Drahtelektrode und mehreren Messelektroden verzichtet werden.

[0010] Vorteilhafte Ausbildungen der Erfindung entnimmt man den abhängigen Ansprüchen.

Figurenliste

[0011] Einzelheiten und Vorteile der erfindungsgemäßen Sensoranordnung ergeben sich aus der nachfolgenden Beschreibung von Ausführungsbeispielen anhand der beiliegenden Figuren.

[0012] Es zeigen

Fig. 1 eine perspektivische Ansicht einer beispielhaften Sensoranordnung mit einem in einer ersten Messebene angeordneten ersten bis vierten Spulenelement;

Fig. 2 eine Seitenansicht der Sensoranordnung nach **Fig. 1**;

Fig. 3 einen Querschnitt der Sensoranordnung nach **Fig. 1** in der Schnittebene D-D von **Fig. 2**;

Fig. 4 eine Schnittdarstellung einer beispielhaften Sensoranordnung mit einem in einer ersten Messebene angeordneten ersten bis vierten Spulenelement und einem Träger, wobei der Träger durch einen einzigen gemeinsamen Abschnitt gebildet ist;

Fig. 5 eine Schnittdarstellung einer beispielhaften Sensoranordnung mit einem in einer ersten Messebene angeordneten ersten bis vierten Spulenelement und einem Träger, wobei der Träger zwei voneinander getrennte Abschnitte aufweist;

Fig. 6 eine Schnittdarstellung einer beispielhaften Sensoranordnung mit einem in einer ersten Messebene angeordneten ersten bis vierten Spulenelement und einem Träger, wobei der Träger zwei voneinander getrennte Abschnitte aufweist;

Fig. 7 eine Seitenansicht einer beispielhaften Sensoranordnung mit einem in einer ersten Messebene angeordneten ersten bis vierten Spulenelement und jeweils zugeordneten Referenzspulenelementen;

Fig. 8 eine schematische Darstellung zur Veranschaulichung eines zu erfassenden Winkels einer Drahtelektrode bei einer Auslenkung derselben in Bezug auf einen ersten und zweiten Referenzpunkt in einer ersten Auslenkrichtung;

Fig. 9 eine schematische Darstellung zur Veranschaulichung eines durch die Drahtelektrode erzeugten magnetischen Wechselfelds; und

Fig. 10 ein Blockdiagramm einer beispielhaften Sensoranordnung mit einer ersten und zweiten Auswerteeinheit zur Ermittlung des in **Fig. 8** veranschaulichten Winkels.

BESCHREIBUNG DER AUSFÜHRUNGSFORMEN

[0013] Eine beispielhafte Sensoranordnung **10** wird nachfolgend anhand der **Fig. 1** bis **Fig. 3** erläutert. Die Sensoranordnung **10** nach **Fig. 1** bis **Fig. 3** dient zum Erfassen einer Auslenkung ΔX_1 , ΔY_1 einer Drahtelektrode **1** einer Drahterodiermaschine in Bezug auf einen auf einer Referenzachse O liegenden ersten Referenzpunkt **O1** in einer ersten Messebene **T1**. Die erste Messebene **T1** wird durch den ersten Referenzpunkt **O1** und durch eine erste Auslenkrichtung X und eine zur ersten Auslenkrichtung X senkrecht verlaufende zweite Auslenkrichtung Y definiert. Die erste und zweite Auslenkrichtung X, Y verlaufen jeweils senkrecht zur Referenzachse O. Der erste Referenzpunkt **O1** und die Auslenkung ΔX_1 , ΔY_1 sind in **Fig. 3** veranschaulicht. In **Fig. 1** und **Fig. 2** ist die Drahtelektrode **1** lediglich im unausgelenkten Zustand dargestellt. In **Fig. 3** ist die Drahtelektrode **1**

im unausgelenkten Zustand und in einem ausgelenkten Zustand dargestellt. Im unausgelenkten Zustand erstreckt sich die Drahtelektrode **1** durch den ersten Referenzpunkt **O1**. Die Referenzachse O ist durch eine Längserstreckung der Drahtelektrode **1** im unausgelenkten Zustand gegeben.

[0014] Wie in **Fig. 1** gezeigt, ist die Drahtelektrode **1** in einer Vorschubrichtung A bewegbar. Die Drahtelektrode **1** dient zur Bearbeitung eines in der Drahterodiermaschine befindlichen Werkstücks.

[0015] Die Sensoranordnung **10** nach **Fig. 1** bis **Fig. 3** weist eine Spulenelementanordnung **18** auf. Die Spulenelementanordnung **18** weist ein in der ersten Messebene **T1** angeordnetes erstes bis viertes Spulenelement **20.1** bis **20.4** zum Erfassen eines durch die Drahtelektrode **1** erzeugten magnetischen Wechselfelds und zum Erzeugen eines ersten bis vierten Messsignals **S1** bis **S4** auf. Im Betrieb verläuft das magnetische Wechselfeld in einer Umfangsrichtung um die Drahtelektrode **1**. Das magnetische Wechselfeld ist in **Fig. 9** dargestellt und mit dem Bezugszeichen **11** versehen. Das magnetische Wechselfeld **11** verläuft entsprechend auch in einer zweiten Messebene **T2**.

[0016] In Bezug auf **Fig. 3** sind das erste bis vierte Spulenelement **20.1** bis **20.4** in einer ersten Ebene **A1** und in einer zweiten Ebene **A2** derart angeordnet, dass sie sich in Bezug auf den ersten Referenzpunkt **O1** jeweils paarweise in der ersten und zweiten Auslenkrichtung X, Y einander gegenüberliegen. Die erste Ebene **A1** und die zweite Ebene **A2** erstrecken sich jeweils parallel zur Referenzachse O. Die erste und zweite Ebene **A1**, **A2** sind in Bezug auf den ersten Referenzpunkt **O1** in der zweiten Auslenkrichtung Y voneinander beabstandet und einander gegenüberliegend angeordnet. Vorzugsweise sind die erste und zweite Ebene **A1**, **A2** parallel zueinander angeordnet.

[0017] Das erste bis vierte Spulenelement **20.1** bis **20.4** sind derart angeordnet und ausgebildet, dass das in Umfangsrichtung um die Drahtelektrode **1** verlaufende magnetische Wechselfeld **11** im Wesentlichen senkrecht zu dem jeweiligen Spulenelement **20.1** bis **20.4** durch dasselbe hindurch verläuft (vgl. **Fig. 1** und **Fig. 9**). Das erste bis vierte Messsignal **S1** bis **S4** des ersten bis vierten Spulenelements **20.1** bis **20.4** sind von der Auslenkung ΔX_1 , ΔY_1 abhängig.

[0018] Zum Erfassen eines Winkels α (**Fig. 8**) der Drahtelektrode **1** kann die Sensoranordnung **10** zusätzlich zu dem ersten bis vierten Spulenelement **20.1** bis **20.4** ein in der zweiten Messebene **T2** angeordnetes fünftes bis achtes Spulenelement **20.5** bis **20.8** der Spulenelementanordnung **18** aufweisen. Das fünfte bis achte Spulenelement **20.5** bis **20.8** dienen zum Erfassen des magnetischen Wechselfelds **11** und zum Erzeugen eines fünften bis achten Mess-

signals **S5** bis **S8**. Der Einsatz des fünften bis achten Spulenelements **20.5** bis **20.8** wird später im Zusammenhang mit **Fig. 8** und **Fig. 10** noch näher erläutert.

[0019] Die beiden Messebenen **T1**, **T2** sind in Richtung der Referenzachse O (Z-Achse) versetzt zueinander angeordnet (vgl. insbesondere **Fig. 2**). In der Seitenansicht von **Fig. 2** sind die Spulenelemente **20.1**, **20.3** und **20.5**, **20.7** (vordere Spulenelemente) sichtbar, während die Spulenelemente **20.2**, **20.4** und **20.6**, **20.8** (hintere Spulenelemente) nicht sichtbar sind.

[0020] In Bezug auf **Fig. 3** bilden das erste bis vierte Spulenelement **20.1** bis **20.4** eine Einheit, mit der eine präzise Detektion der Drahtelektrode **1** ermöglicht wird. Die Einheit ist einfach und kompakt aufgebaut. Es wird zum einen eine relativ komplizierte, insbesondere kreuzweise Anordnung vermieden. Zum anderen wird der Bedarf an Bauraum, insbesondere in der zweiten Auslenkrichtung Y, reduziert.

[0021] In den **Fig. 4** bis **Fig. 6** sind Schnittdarstellungen beispielhafter Sensoranordnungen **10** gezeigt. Die Sensoranordnungen **10** nach **Fig. 4** bis **Fig. 6** weisen jeweils ein in einer ersten Messebene (XY-Ebene) angeordnetes erstes bis viertes Spulenelement **20.1** bis **20.4** (obere, in **Fig. 4** bis **Fig. 6** sichtbare Spulenelemente) und einen Träger **12** auf. Das erste bis vierte Spulenelement **20.1** bis **20.4** der Sensoranordnungen **10** nach **Fig. 4** bis **Fig. 6** entsprechen jeweils dem ersten bis vierten Spulenelement **20.1** bis **20.4** der Sensoranordnung **10** nach **Fig. 1** bis **Fig. 3** und haben die gleiche Funktion. Die Schnittdarstellungen von **Fig. 4** bis **Fig. 6** entsprechen jeweils dem in **Fig. 3** gezeigten Querschnitt. Im Folgenden werden anhand der **Fig. 4** bis **Fig. 6** verschiedene Ausgestaltungen des Trägers **12** erläutert. Der Träger **12** dient zum Tragen des ersten bis vierten Spulenelements **20.1** bis **20.4**. Ferner kann der Träger **12** zum Tragen eines in einer zweiten Messebene (XY-Ebene) angeordneten fünften bis achten Spulenelements **20.5** bis **20.8** (untere, in **Fig. 4** bis **Fig. 6** nicht sichtbare Spulenelemente) dienen. Das fünfte bis achte Spulenelement **20.5** bis **20.8** der Sensoranordnungen **10** nach **Fig. 4** bis **Fig. 6** entsprechen jeweils dem in **Fig. 1** gezeigten fünften bis achten Spulenelement **20.5** bis **20.8** und haben die gleiche Funktion. Das erste bis vierte Spulenelement **20.1** bis **20.4** und das fünfte bis achte Spulenelement **20.5** bis **20.8** der Sensoranordnungen **10** nach **Fig. 4** bis **Fig. 6** bilden eine Spulenelementanordnung **18**.

[0022] Der Träger **12** ist derart ausgebildet, dass das erste bis vierte Spulenelement **20.1** bis **20.4** in der ersten Ebene **A1** und in der zweiten Ebene **A2** getragen werden (vgl. **Fig. 4** bis **Fig. 6**). Der Träger **12** hat eine die erste Ebene **A1** festlegende erste Oberfläche **B1** und eine die zweite Ebene **A2** festlegende zweite Oberfläche **B2**. Das erste bis vierte Spulenele-

ment **20.1** bis **20.4** sind auf der ersten bzw. zweiten Oberfläche **B1**, **B2** angeordnet. Die beispielsweise mittig durch die Spulenelemente **20.1**, **20.3** verlaufende erste Ebene **A1** erstreckt sich parallel zur ersten Oberfläche **B1**. Die beispielsweise mittig durch die Spulenelemente **20.2**, **20.4** verlaufende zweite Ebene **A2** erstreckt sich parallel zur zweiten Oberfläche **B2**. Vorzugsweise sind die beiden Oberflächen **B1**, **B2** parallel zueinander angeordnet. Dadurch wird die Lage bzw. Ausrichtung der ersten und zweiten Ebene **A1**, **A2** festgelegt.

[0023] Der Träger **12** ist als ein vorzugsweise plattenförmiger (oder schichtförmiger) Kern einer Leiterplatte ausgebildet. Das erste bis vierte Spulenelement **20.1** bis **20.4** sind als eine gemeinsame Struktur auf dem Träger **12** (d.h. Leiterplattenkern) angeordnet. Dadurch wird eine hohe Genauigkeit bei der Positionierung und Ausrichtung des ersten bis vierten Spulenelements **20.1** bis **20.4** in der ersten und zweiten Ebene **A1**, **A2** erreicht.

[0024] Bei der Sensoranordnung **10** nach **Fig. 4** ist der Träger **12** durch einen einzigen gemeinsamen Abschnitt zum Tragen des ersten bis vierten Spulenelements **20.1** bis **20.4** gebildet. Hierbei ist der Träger **12** insbesondere einstückig ausgebildet.

[0025] Bei der Sensoranordnung **10** nach **Fig. 5** weist der Träger **12** zwei voneinander getrennte Abschnitte **12.1**, **12.2** zum Tragen des ersten bis vierten Spulenelements **20.1** bis **20.4** auf. Die beiden Abschnitte **12.1**, **12.2** sind über einen auf dem Träger **12** angeordneten, durchgehenden Abschnitt **14.1**, insbesondere einen oberen (in Richtung der Y-Achse betrachtet) Schichtstapel (bzw. Schichtpaket), miteinander verbunden. Die beiden Abschnitte **12.1**, **12.2** bilden insbesondere den Leiterplattenkern. Ferner sind auf dem Träger **12** der Sensoranordnung **10** nach **Fig. 5** zwei weitere voneinander getrennte Abschnitte **14.21**, **14.22** angeordnet, die auf einer dem Abschnitt **14.1** abgewandten Seite des Leiterplattenkerns **12.1**, **12.2** angeordnet sind. Die beiden Abschnitte **14.21**, **14.22** bilden insbesondere einen unteren (in Richtung der Y-Achse betrachtet) Schichtstapel (bzw. Schichtpaket).

[0026] Bei der Sensoranordnung **10** nach **Fig. 6** weist der Träger **12** zwei voneinander getrennte Abschnitte **12.1**, **12.2** zum Tragen des ersten bis vierten Spulenelements **20.1** bis **20.4** auf. Die beiden Abschnitte **12.1**, **12.2** sind über zwei auf dem Träger **12** angeordnete, durchgehende Abschnitte **14.1**, **14.2**, insbesondere einen oberen und unteren (in Richtung der Y-Achse betrachtet) Schichtstapel (bzw. Schichtpaket), miteinander verbunden. Die beiden Abschnitte **12.1**, **12.2** bilden insbesondere den Leiterplattenkern. Die beiden Abschnitte **14.1**, **14.2** sind auf verschiedenen Seiten des Leiterplattenkerns **12.1**, **12.2** angeordnet.

[0027] Der in **Fig. 5** bzw. **Fig. 6** gezeigte Träger **12** kann über den oberen bzw. unteren Schichtstapel (bzw. Schichtpaket) direkt, d.h. ohne den Einsatz eines weiteren Befestigungsabschnitts, mit einem Teil der Drahterodiermaschine verbunden bzw. an diesem befestigt sein. Alternativ kann auch ein weiterer auf dem oberen bzw. unteren Schichtstapel (bzw. Schichtpaket) angeordneter Zwischenabschnitt zur Befestigung des Trägers **12** vorgesehen sein. Der Schichtstapel bzw. das Schichtpaket umfasst beispielsweise eine dem Leiterplattenkern abgewandte Deckschicht.

[0028] Wie in **Fig. 4** bis **Fig. 6** gezeigt, hat der Träger **12** eine Ausnehmung **16**. Die Ausnehmung **16** erstreckt sich parallel zur Referenzachse O (Z-Achse) durch den Träger **12** hindurch. Das erste bis vierte Spulenelement **20.1** bis **20.4** (obere, in **Fig. 4** bis **Fig. 6** sichtbare Spulenelemente) und das fünfte bis achte Spulenelement **20.5** bis **20.8** (untere, in **Fig. 4** bis **Fig. 6** nicht sichtbare Spulenelemente) sind in Umfangsrichtung um einen Längsabschnitt der Ausnehmung **16** herum verteilt angeordnet. In Richtung der Referenzachse O betrachtet erstreckt sich die Ausnehmung **16** zwischen einem ersten Paar von sich in der zweiten Auslenkrichtung Y einander gegenüberliegenden Spulenelementen **20.1**, **20.2** und einem zweiten Paar von sich in der zweiten Auslenkrichtung Y einander gegenüberliegenden Spulenelementen **20.3**, **20.4** in der ersten Auslenkrichtung X und zwischen der ersten und zweiten Ebene **A1**, **A2** in der zweiten Auslenkrichtung Y. Der erste Referenzpunkt **O1** liegt vorzugsweise im Wesentlichen mittig innerhalb eines Querschnitts der Ausnehmung **16**.

[0029] In Bezug auf **Fig. 4** erstreckt sich die Ausnehmung **16** in der zweiten Auslenkrichtung Y nahezu vollständig durch den Träger **12** hindurch. In Bezug auf **Fig. 5** erstreckt sich die Ausnehmung **16** in der zweiten Auslenkrichtung Y durch den unteren Schichtstapel **14.21**, **14.22** hindurch bis zu einer inneren Oberfläche **C1** des oberen Schichtstapels **14.1** (oder darüber hinaus bis in den oberen Schichtstapel **14.1** hinein). In Bezug auf **Fig. 6** erstreckt sich die Ausnehmung **16** in der zweiten Auslenkrichtung Y von einer inneren Oberfläche **C1** des oberen Schichtstapels **14.1** bis zu einer inneren Oberfläche **C2** des unteren Schichtstapels **14.2**.

[0030] Vorzugsweise ist die Ausnehmung **16** durch eine Ausfräsung gebildet (vgl. insbesondere **Fig. 4** und **Fig. 5**). Die Ausnehmung **16** ist derart ausgebildet, dass die Drahtelektrode **1** in Vorschubrichtung A vollständig durch den Träger **12** hindurch und in der ersten und zweiten Auslenkrichtung X, Y innerhalb einer Querausdehnung der Ausnehmung **16** bewegt werden kann.

[0031] Bei der Sensoranordnung **10** nach **Fig. 1** bis **Fig. 3** bzw. bei den Sensoranordnungen **10** nach

Fig. 4 bis **Fig. 6** sind das erste bis vierte Spulenelement **20.1** bis **20.4** in Bezug auf den ersten Referenzpunkt **O1** symmetrisch angeordnet. D.h., der erste Referenzpunkt **O1** liegt in der Mitte der durch das erste bis vierte Spulenelement **20.1** bis **20.4** gebildeten Einheit.

[0032] **Fig. 7** zeigt eine Seitenansicht einer beispielhaften Sensoranordnung **10** mit einer Spulenelementanordnung **18**. Die Sensoranordnung **10** nach **Fig. 7** unterscheidet sich von der Sensoranordnung **10** nach **Fig. 1** bis **Fig. 3** lediglich dadurch, dass die Spulenelementanordnung **18** ein dem ersten bis vierten Spulenelement **20.1** bis **20.4** jeweils zugeordnetes Referenzspulenelement **22.1** bis **22.4** und ein dem fünften bis achten Spulenelement **20.5** bis **20.8** jeweils zugeordnetes Referenzspulenelement **22.5** bis **22.8** aufweist. In der Seitenansicht von **Fig. 7** sind die den Spulenelementen **20.1**, **20.3** jeweils zugeordneten Referenzspulenelemente **22.1**, **22.3** sichtbar, während die den Spulenelementen **20.2**, **20.4** jeweils zugeordneten Referenzspulenelemente **22.2**, **22.4** nicht sichtbar sind. Ferner sind in der Seitenansicht von **Fig. 7** die den Spulenelementen **20.5**, **20.7** jeweils zugeordneten Referenzspulenelemente **22.5**, **22.7** sichtbar, während die den Spulenelementen **20.6**, **20.8** jeweils zugeordneten Referenzspulenelemente **22.6**, **22.8** nicht sichtbar sind. Die Referenzspulenelemente **22.1** bis **22.4** dienen zum Erzeugen eines ersten bis vierten Referenzsignals **R1** bis **R4** zur Normierung des ersten bis vierten Messsignals **S1** bis **S4**. Die Referenzspulenelemente **22.5** bis **22.8** dienen zum Erzeugen eines fünften bis achten Referenzsignals **R5** bis **R8** zur Normierung des fünften bis achten Messsignals **S5** bis **S8**.

[0033] Die Referenzspulenelemente **22.1** bis **22.4** und **22.5** bis **22.8** sind derart angeordnet, dass sie das erste bis vierte Spulenelement **20.1** bis **20.4** bzw. das fünfte bis achte Spulenelement **20.5** bis **20.8** beispielsweise konzentrisch umgeben (vgl. **Fig. 7**). Dabei sind die Referenzspulenelemente **22.1** bis **22.4** und **22.5** bis **22.8** derart ausgebildet, dass sie im Wesentlichen das gleiche magnetische Wechselfeld **11** wie das erste bis vierte Spulenelement **20.1** bis **20.4** bzw. das fünfte bis achte Spulenelement **20.5** bis **20.8** erfassen.

[0034] Anstelle der in **Fig. 7** gezeigten Anordnung können die Referenzspulenelemente **22.1** bis **22.4** bzw. **22.5** bis **22.8** auch ober- und unterhalb (oder vor und hinter) des ersten bis vierten Spulenelements **20.1** bis **20.4** bzw. des fünften bis achten Spulenelements **20.5** bis **20.8** sowie in unterschiedlichen Dimensionen bzw. Umfangsgrößen, jeweils in Richtung der Z- bzw. Y-Achse betrachtet, angeordnet sein. Dabei sollte die Position bzw. (transversale) Auslenkung der Drahtelektrode **1** keinen Einfluss auf die Summe des ersten bis vierten Referenzsignals **R1** bis **R4**

bzw. des fünften bis achten Referenzsignals **R5** bis **R8** haben.

[0035] **Fig. 8** zeigt eine schematische Darstellung zur Veranschaulichung eines zu erfassenden Winkels α der Drahtelektrode **1** bei einer Auslenkung $\Delta X1$, $\Delta X2$ derselben in Bezug auf den ersten und einen zweiten Referenzpunkt **O1**, **O2** in der ersten Auslenkrichtung X. Der erste Referenzpunkt **O1** liegt in der ersten Messebene **T1**. Der zweite Referenzpunkt **O2** liegt in der zweiten Messebene **T2**. Der Abstand zwischen dem ersten und zweiten Referenzpunkt **O1**, **O2** (bzw. zwischen der ersten und zweiten Messebene **T1**, **T2**) in der Z-Richtung ist mit L bezeichnet. Die Auslenkung $\Delta X1$ in **Fig. 8** entspricht der in **Fig. 3** gezeigten Auslenkung $\Delta X1$. In **Fig. 8** ist der Winkel α in der XZ-Ebene, d.h. lediglich für den Fall einer Auslenkung der Drahtelektrode **1** in der ersten Auslenkrichtung X, dargestellt. Für den Fall einer Auslenkung der Drahtelektrode **1** in der zweiten Auslenkrichtung Y gelten die Ausführungen analog. Die Drahtelektrode **1** ist in **Fig. 8** im unausgelenkten Zustand, d.h. in dem Zustand, in dem sie sich kollinear zur Referenzachse O durch den ersten und zweiten Referenzpunkt **O1**, **O2** erstreckt, und in einem ausgelenkten Zustand gezeigt. In dem in **Fig. 8** gezeigten, ausgelenkten Zustand verläuft die Drahtelektrode **1** gegenüber einer zur Referenzachse O parallelen Richtung (Z-Richtung) abgewinkelt. Die Drahtelektrode **1** kann im ausgelenkten Zustand auch parallel zur Referenzachse O, d.h. in Z-Richtung, verlaufen. In diesem Fall sind die Auslenkung $\Delta X1$ in Bezug auf den ersten Referenzpunkt **O1** in der ersten Auslenkrichtung X und die Auslenkung $\Delta X2$ in Bezug auf den zweiten Referenzpunkt **O2** in der ersten Auslenkrichtung X gleich groß (d.h. $\alpha = 0$).

[0036] In Bezug auf **Fig. 8** erfolgt eine Auswertung dahingehend, dass auf Grundlage der Auslenkung $\Delta X1$, der Auslenkung $\Delta X2$ und des Abstands L zwischen dem ersten und zweiten Referenzpunkt **O1**, **O2** der in Bezug auf die Z-Richtung definierte Winkel α der Drahtelektrode **1** erhalten wird. Die Auswertung erfolgt beispielsweise unter Verwendung der folgenden Beziehung:

$$\tan \alpha = (\Delta X2 - \Delta X1) / L \quad (\text{Gl. 1a})$$

[0037] Für den in **Fig. 8** nicht gezeigten Fall der Auslenkung der Drahtelektrode **1** in der zweiten Auslenkrichtung Y (d.h. der Winkel α liegt in der YZ-Ebene) erfolgt eine Auswertung beispielsweise unter Verwendung der folgenden Beziehung:

$$\tan \alpha = (\Delta Y2 - \Delta Y1) / L \quad (\text{Gl. 1b})$$

[0038] Dabei sind $\Delta Y1$, $\Delta Y2$ den Auslenkungen $\Delta X1$, $\Delta X2$ entsprechende Auslenkungen in der zweiten Auslenkrichtung Y. Die Auslenkungen $\Delta X1$, $\Delta X2$

bzw. $\Delta Y1$, $\Delta Y2$ ergeben sich insbesondere aus den nachfolgend im Zusammenhang mit **Fig. 10** genannten Gleichungen 2 bis 5. Die Gleichungen 2 bis 5 beruhen auf der Kenntnis (bzw. Ermittlung) des ersten bis achten Messsignals **S1** bis **S8**.

[0039] **Fig. 10** zeigt ein Blockdiagramm einer beispielhaften Sensoranordnung **10** mit einer ersten und zweiten Auswerteeinheit **4.1**, **4.2** zur Ermittlung des in **Fig. 8** veranschaulichten Winkels α . Die Sensoranordnung **10** nach **Fig. 10** umfasst die Spulenelementanordnung **18** einer der im Vorhergehenden beschriebenen Sensoranordnungen **10**. Die Auswerteeinheit **4.1** dient dazu, die Auslenkung $\Delta X1$, $\Delta Y1$ in der ersten Messebene **T1** auf Grundlage des ersten bis vierten Messsignals **S1** bis **S4** zu ermitteln. Ferner dient die Auswerteeinheit **4.1** dazu, die Auslenkung $\Delta X2$, $\Delta Y2$ in der zweiten Messebene **T2** auf Grundlage des fünften bis achten Messsignals **S5** bis **S8** zu ermitteln. Die Auswerteeinheit **4.1** ist mit der Spulenelementanordnung **18** gekoppelt. Die Spulenelementanordnung **18** umfasst das erste bis achte Spulenelement **20.1** bis **20.8** zur Erzeugung des ersten bis achten Messsignals **S1** bis **S8**. Die Auswerteeinheit **4.2** dient zur Durchführung der vorgenannten Auswertung (z.B. unter Verwendung von Gleichung 1a bzw. 1b).

[0040] Im Folgenden wird die Funktion der Auswerteeinheit **4.1** anhand der Spulenelemente **20.1** bis **20.8** der Sensoranordnung **10** nach **Fig. 1** bis **Fig. 3** näher erläutert. Das erste bis vierte Spulenelement **20.1** bis **20.4** bilden ein erstes und zweites Paar von Spulenelementen **20.1**, **20.2**; **20.3**, **20.4**. Die Spulenelemente **20.1**, **20.2** des ersten Paares und die Spulenelemente **20.3**, **20.4** des zweiten Paares liegen sich jeweils in Bezug auf den ersten Referenzpunkt **O1** in der zweiten Auslenkrichtung Y einander gegenüber. Die Spulenelemente **20.1**, **20.2** des ersten Paares sind in Bezug auf den ersten Referenzpunkt **O1** auf einer ersten Seite angeordnet. Die Spulenelemente **20.3**, **20.4** des zweiten Paares sind in Bezug auf den ersten Referenzpunkt **O1** auf einer der ersten Seite in der ersten Auslenkrichtung X gegenüberliegenden zweiten Seite angeordnet.

[0041] Die Spulenelemente **20.1**, **20.2** des ersten Paares sind zum Erzeugen des ersten und zweiten Messsignals **S1**, **S2** ausgebildet. Die Spulenelemente **20.3**, **20.4** des zweiten Paares sind zum Erzeugen des dritten und vierten Messsignals **S3**, **S4** ausgebildet. Durch die Auswerteeinheit **4.1** wird die Auslenkung $\Delta X1$ in der ersten Messebene **T1** in der ersten Auslenkrichtung X auf Grundlage eines Vergleichs der Summe des ersten und zweiten Messsignals **S1**, **S2** und der Summe des dritten und vierten Messsignals **S3**, **S4** ermittelt. Beispielsweise erfolgt die Ermittlung der Auslenkung $\Delta X1$ durch eine Differenzbildung der Summe des ersten und zweiten Messsignals **S1**, **S2** und der Summe des dritten und vierten

Messsignals **S3**, **S4** und eine anschließende Normierung unter Verwendung der Summe des ersten bis vierten Messsignals **S1** bis **S4**. Hierzu wird beispielsweise die folgende Beziehung verwendet:

$$\Delta X1 = c1 \times [(S1 + S2) - (S3 + S4)] / (S1 + S2 + S3 + S4) \quad (\text{Gl. 2})$$

[0042] Dabei ist $c1$ ein vorbestimmter Umrechnungsfaktor für die Umrechnung der (dimensionslosen) signalabhängigen Größe $[(S1+S2)-(S3+S4)] / (S1+S2+S3+S4)$ in ein Längenmaß.

[0043] Das erste bis vierte Spulenelement **20.1** bis **20.4** bilden ein drittes und viertes Paar von Spulenelementen **20.1**, **20.3**; **20.2**, **20.4**. Die Spulenelemente **20.1**, **20.3** des dritten Paares und die Spulenelemente **20.2**, **20.4** des vierten Paares liegen sich jeweils in Bezug auf den ersten Referenzpunkt **O1** in der ersten Auslenkrichtung **X** einander gegenüber. Die Spulenelemente **20.1**, **20.3** des dritten Paares sind in der ersten Ebene **A1** angeordnet, und die Spulenelemente **20.2**, **20.4** des vierten Paares sind in der zweiten Ebene **A2** angeordnet. Die Spulenelemente **20.1**, **20.3** des dritten Paares sind zum Erzeugen des ersten und dritten Messsignals **S1**, **S3** ausgebildet. Die Spulenelemente **20.2**, **20.4** des vierten Paares sind zum Erzeugen des zweiten und vierten Messsignals **S2**, **S4** ausgebildet. Durch die Auswerteeinheit **4.1** wird die Auslenkung $\Delta Y1$ in der ersten Messebene **T1** in der zweiten Auslenkrichtung **Y** auf Grundlage eines Vergleichs der Summe des ersten und dritten Messsignals **S1**, **S3** und der Summe des zweiten und vierten Messsignals **S2**, **S4** ermittelt. Beispielsweise erfolgt die Ermittlung der Auslenkung $\Delta Y1$ durch eine Differenzbildung der Summe des ersten und dritten Messsignals **S1**, **S3** und der Summe des zweiten und vierten Messsignals **S2**, **S4** und eine anschließende Normierung unter Verwendung der Summe des ersten bis vierten Messsignals **S1** bis **S4**. Hierzu wird beispielsweise die folgende Beziehung verwendet:

$$\Delta Y1 = c2 \times [(S1 + S3) - (S2 + S4)] / (S1 + S2 + S3 + S4) \quad (\text{Gl. 3})$$

[0044] Dabei ist $c2$ ein vorbestimmter Umrechnungsfaktor für die Umrechnung der (dimensionslosen) signalabhängigen Größe $[(S1+S3)-(S2+S4)] / (S1+S2+S3+S4)$ in ein Längenmaß.

[0045] In analoger Weise wird durch die Auswerteeinheit **4.1** die Auslenkung $\Delta X2$, $\Delta Y2$ in der zweiten Messebene **T2** auf Grundlage des fünften bis achten Messsignals **S5** bis **S8** ermittelt. Hierzu werden beispielsweise folgende Beziehungen verwendet:

$$\Delta X2 = c3 \times [(S5 + S6) - (S7 + S8)] / (S5 + S6 + S7 + S8) \quad (\text{Gl. 4})$$

$$\Delta Y2 = c4 \times [(S5 + S7) - (S6 + S8)] / (S5 + S6 + S7 + S8) \quad (\text{Gl. 5})$$

[0046] Dabei sind $c3$, $c4$ vorbestimmte Umrechnungsfaktoren für die Umrechnung der (dimensionslosen) signalabhängigen Größen $[(S5+S6)-(S7+S8)] / (S5+S6+S7+S8)$ bzw. $[(S5+S7)-(S6+S8)] / (S5+S6+S7+S8)$ in ein jeweiliges Längenmaß.

[0047] Anstelle der oben genannten Normierung unter Verwendung der Summe des ersten bis vierten Messsignals **S1** bis **S4** bzw. der Summe des fünften bis achten Messsignals **S5** bis **S8** kann auch eine Normierung unter Verwendung des ersten bis vierten Referenzsignals **R1** bis **R4** bzw. des fünften bis achten Referenzsignals **R5** bis **R8** durchgeführt werden.

[0048] Vorzugsweise ist jede Auswerteeinheit **4.1**, **4.2** als Teil der Sensoranordnung **10** vorgesehen (vgl. **Fig. 10**). Die Auswerteeinheit **4.2** kann auch weggelassen werden. Die Auswerteeinheit **4.1** oder die beiden Auswerteeinheiten **4.1**, **4.2** bilden eine Einheit zur Signalverarbeitung. Diese Einheit zur Signalverarbeitung ist vorzugsweise unabhängig bzw. getrennt von einer Steuereinheit der Drahterodiermaschine vorgesehen (Fall (i)). Alternativ kann die Einheit zur Signalverarbeitung auch in der Steuereinheit integriert sein (Fall (ii)). In beiden Fällen (i), (ii) umfasst die Sensoranordnung **10** die Einheit zur Signalverarbeitung.

[0049] Im Fall (i) ist die Steuereinheit (nicht gezeigt) dazu ausgebildet, die durch die Einheit zur Signalverarbeitung erhaltenen Signale (z.B. Signale, die die Auslenkung $\Delta X1$, $\Delta Y1$, die Auslenkung $\Delta X2$, $\Delta Y2$ und/oder den Winkel α angeben) als Eingangssignale zu empfangen und eine Ansteuerung der Drahtelektrode **1** zur Nachregelung derselben bzw. zur Korrektur deren Vorschubbahn auf Grundlage der empfangenen Signale durchzuführen. Der Einsatz einer entsprechenden, in der Steuereinheit integrierten Einheit zur Signalverarbeitung ist dabei nicht nötig. Im Fall (ii) ist die Steuereinheit (nicht gezeigt) dazu ausgebildet, die durch die Spulenelementanordnung **18** erhaltenen Signale (d.h. das erste bis achte Messsignal **S1** bis **S8**) als Eingangssignale zu empfangen und die Ansteuerung der Drahtelektrode **1** auf Grundlage der empfangenen Signale unter Verwendung der in der Steuereinheit integrierten Einheit zur Signalverarbeitung durchzuführen.

[0050] Bezug nehmend auf **Fig. 9** verläuft das magnetische Wechselfeld **11** zumindest in der ersten Messebene **T1**. Zur Erzeugung desselben ist ein Signalgenerator **3** der Drahterodiermaschine vorgesehen. Der Signalgenerator **3** ist mit der Drahtelektro-

de **1** gekoppelt und dient zum Erzeugen eines Wechselstromimpulses (z.B. Strompulse mit einer Stromstärke von mehreren Ampere und einer Pulsfrequenz im Frequenzbereich zwischen 1 kHz und 1 MHz). Die Drahtelektrode **1** ist derart ausgebildet, dass bei einer Beaufschlagung derselben mit dem Wechselstromimpuls das zu erfassende magnetische Wechselfeld **11** erzeugt wird.

mieden werden. Im Gegensatz zu bekannten Lösungen mit optischen Sensoren oder Schleifkontakten ist die Erfindung unempfindlich auf Verschmutzungen und weist keinen Verschleiß auf.

[0051] Das erste bis vierte Spulenelement **20.1** bis **20.4** haben vorzugsweise jeweils eine rechteckförmige Spulenfläche, deren Mittelpunkte (bzw. Mittellinien) in der ersten Messebene **T1** liegen (vgl. **Fig. 2**). Das fünfte bis achte Spulenelement **20.5** bis **20.8** haben vorzugsweise jeweils eine rechteckförmige Spulenfläche, deren Mittelpunkte (bzw. Mittellinien) in der zweiten Messebene **T2** liegen (vgl. **Fig. 2**). Das erste bis vierte Spulenelement **20.1** bis **20.4** und das fünfte bis achte Spulenelement **20.5** bis **20.8** dienen insbesondere zur induktiven Abtastung des erzeugten magnetischen Wechselfelds **11**.

[0052] Das erste bis vierte Spulenelement **20.1** bis **20.4** und/oder das fünfte bis achte Spulenelement **20.5** bis **20.8** (bzw. die Referenzspulenelemente **22.1** bis **22.8**) können jeweils ein- oder mehrlagig ausgebildet sein. Vorzugsweise sind das erste bis vierte Spulenelement **20.1** bis **20.4** bzw. das fünfte bis achte Spulenelement **20.5** bis **20.8** jeweils durch einen Schichtstapel aus Isolationsmaterial und elektrisch leitfähigem Material (z.B. Kupfer) gebildet (Multilayer).

[0053] Der Träger **12** besteht beispielsweise aus keramischem Material oder Kunststoff. Die Spulenelemente **20.1** bis **20.8** (bzw. die Referenzspulenelemente **22.1** bis **22.8**) können durch eine Strukturierung des Trägers **12** unter Verwendung eines Lasers erzeugt bzw. hergestellt werden. Es kann insbesondere eine LPKF-Technik oder MID-Technik eingesetzt werden.

[0054] Durch die zuvor genannte Normierung können Einflüsse auf das jeweilige Messsignal **S1** bis **S4** bzw. **S5** bis **S8** (Induktionssignal), die sich durch Änderungen bzw. Schwankungen der Stromstärke und/oder Pulsfrequenz während der Bearbeitung des Werkstücks ergeben, kompensiert werden.

[0055] Die erfindungsgemäße Detektion der Drahtelektrode **1** kann dynamisch erfolgen. D.h., es können nicht nur eine statische (unveränderliche) Auslenkung $\Delta X1$, $\Delta Y1$, sondern auch eine sich zeitlich ändernde Auslenkung $\Delta X1$, $\Delta Y1$, beispielsweise im Fall einer Schwingung der Drahtelektrode **1**, erfasst werden.

[0056] Durch die Erfindung kann eine aufwendige, nachträgliche Justage von einzelnen Spulenelementen in der Endmontage der Sensoranordnung **10** ver-

ZITATE ENTHALTEN IN DER BESCHREIBUNG

Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde automatisiert erzeugt und ist ausschließlich zur besseren Information des Lesers aufgenommen. Die Liste ist nicht Bestandteil der deutschen Patent- bzw. Gebrauchsmusteranmeldung. Das DPMA übernimmt keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.

Zitierte Patentliteratur

- DE 2826270 A1 [0002]

Patentansprüche

1. Sensoranordnung (10) zum Erfassen einer Auslenkung ($\Delta X1$, $\Delta Y1$) einer Drahtelektrode (1) einer Drahterodiermaschine in Bezug auf einen auf einer Referenzachse (O) liegenden ersten Referenzpunkt (O1) in einer ersten Messebene (T1), wobei die erste Messebene (T1) durch den ersten Referenzpunkt (O1) und durch eine erste Auslenkrichtung (X) und eine zur ersten Auslenkrichtung (X) senkrecht verlaufende zweite Auslenkrichtung (Y) definiert wird, wobei die erste und zweite Auslenkrichtung (X, Y) jeweils senkrecht zur Referenzachse (O) verlaufen,

dadurch gekennzeichnet, dass die Sensoranordnung (10) eine Spulenelementanordnung (18) aufweist, wobei die Spulenelementanordnung (18) mindestens ein in der ersten Messebene (T1) angeordnetes erstes bis viertes Spulenelement (20.1 bis 20.4) zum Erfassen eines durch die Drahtelektrode (1) erzeugten magnetischen Wechselfelds (11) und zum Erzeugen eines ersten bis vierten Messsignals (S1 bis S4) aufweist, und dass das erste bis vierte Spulenelement (20.1 bis 20.4) in einer ersten Ebene (A1) und in einer zweiten Ebene (A2) derart angeordnet sind, dass sie sich in Bezug auf den ersten Referenzpunkt (O1) jeweils paarweise in der ersten und zweiten Auslenkrichtung (X, Y) einander gegenüberliegen, wobei sich die erste Ebene (A1) und die zweite Ebene (A2) jeweils parallel zur Referenzachse (O) erstrecken, und wobei die erste und zweite Ebene (A1, A2) in Bezug auf den ersten Referenzpunkt (O1) in der zweiten Auslenkrichtung (Y) voneinander beabstandet und einander gegenüberliegend angeordnet sind.

2. Sensoranordnung (10) nach Anspruch 1, wobei die Sensoranordnung (10) einen Träger (12) aufweist, wobei der Träger (12) derart ausgebildet ist, dass das erste bis vierte Spulenelement (20.1 bis 20.4) in der ersten Ebene (A1) und in der zweiten Ebene (A2) getragen werden.

3. Sensoranordnung (10) nach Anspruch 2, wobei der Träger (12) eine zur ersten Ebene (A1) parallele erste Oberfläche (B1) und eine zur zweiten Ebene (A2) parallele zweite Oberfläche (B2) hat.

4. Sensoranordnung (10) nach Anspruch 2 oder 3, wobei der Träger (12) als ein Kern einer Leiterplatte ausgebildet ist.

5. Sensoranordnung (10) nach einem der Ansprüche 2 bis 4, wobei der Träger (12) durch einen einzigen gemeinsamen Abschnitt zum Tragen des ersten bis vierten Spulenelements (20.1 bis 20.4) gebildet ist.

6. Sensoranordnung (10) nach einem der Ansprüche 2 bis 4, wobei der Träger (12) zwei voneinander getrennte Abschnitte (12.1, 12.2) zum Tragen des

ersten bis vierten Spulenelements (20.1 bis 20.4) aufweist, wobei die beiden Abschnitte (12.1, 12.2) über mindestens einen weiteren Abschnitt (14.1) miteinander verbunden sind.

7. Sensoranordnung (10) nach einem der Ansprüche 2 bis 6, wobei der Träger (12) eine Ausnehmung (16) hat.

8. Sensoranordnung (10) nach Anspruch 7, wobei sich die Ausnehmung (16) parallel zur Referenzachse (O) durch den Träger (12) hindurch erstreckt.

9. Sensoranordnung (10) nach Anspruch 7 oder 8, wobei sich die Ausnehmung (16), in Richtung der Referenzachse (O) betrachtet, zwischen einem ersten Paar von sich in der zweiten Auslenkrichtung (Y) einander gegenüberliegenden Spulenelementen (20.1, 20.2) und einem zweiten Paar von sich in der zweiten Auslenkrichtung (Y) einander gegenüberliegenden Spulenelementen (20.3, 20.4) in der ersten Auslenkrichtung (X) und zwischen der ersten und zweiten Ebene (A1, A2) in der zweiten Auslenkrichtung (Y) erstreckt.

10. Sensoranordnung (10) nach einem der Ansprüche 7 bis 9, wobei der erste Referenzpunkt (O1) innerhalb eines Querschnitts der Ausnehmung (16) liegt.

11. Sensoranordnung (10) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei das erste bis vierte Spulenelement (20.1 bis 20.4) in Bezug auf den ersten Referenzpunkt (O1) symmetrisch angeordnet sind.

12. Sensoranordnung (10) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei das erste bis vierte Spulenelement (20.1 bis 20.4) als eine gemeinsame Struktur auf dem Träger 12 ausgebildet sind.

13. Sensoranordnung (10) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die Sensoranordnung (10) derart ausgebildet ist, dass die Auslenkung ($\Delta X1$, $\Delta Y1$) in der ersten Messebene (T1) auf Grundlage des ersten bis vierten Messsignals (S1 bis S4) erhalten wird.

14. Sensoranordnung (10) nach Anspruch 13, wobei das erste bis vierte Spulenelement (20.1 bis 20.4) ein erstes und zweites Paar von Spulenelementen (20.1, 20.2; 20.3, 20.4) bilden, wobei sich die Spulenelemente (20.1, 20.2) des ersten Paares und die Spulenelemente (20.3, 20.4) des zweiten Paares jeweils in Bezug auf den ersten Referenzpunkt (O1) in der zweiten Auslenkrichtung (Y) einander gegenüberliegen, wobei die Spulenelemente (20.1, 20.2) des ersten Paares in Bezug auf den ersten Referenzpunkt (O1) auf einer ersten Seite angeordnet sind, wobei die Spulenelemente (20.3, 20.4) des zweiten Paares in Bezug auf den ersten Referenzpunkt (O1) auf ei-

ner der ersten Seite in der ersten Auslenkrichtung (X) gegenüberliegenden zweiten Seite angeordnet sind, wobei die Spulenelemente (20.1, 20.2) des ersten Paares zum Erzeugen des ersten und zweiten Messsignals (S1, S2) ausgebildet sind, wobei die Spulenelemente (20.3, 20.4) des zweiten Paares zum Erzeugen des dritten und vierten Messsignals (S3, S4) ausgebildet sind, wobei die Sensoranordnung (10) derart ausgebildet ist, dass die Auslenkung ($\Delta X1$) in der ersten Messebene (T1) in der ersten Auslenkrichtung (X) auf Grundlage eines Vergleichs der Summe des ersten und zweiten Messsignals (S1, S2) und der Summe des dritten und vierten Messsignals (S3, S4) erhalten wird.

15. Sensoranordnung (10) nach Anspruch 13 oder 14, wobei das erste bis vierte Spulenelement (20.1 bis 20.4) ein drittes und viertes Paar von Spulenelementen (20.1, 20.3; 20.2; 20.4) bilden, wobei sich die Spulenelemente (20.1, 20.3) des dritten Paares und die Spulenelemente (20.2; 20.4) des vierten Paares jeweils in Bezug auf den ersten Referenzpunkt (O1) in der ersten Auslenkrichtung (X) einander gegenüberliegen, wobei die Spulenelemente (20.1, 20.3) des dritten Paares in der ersten Ebene (A1) und die Spulenelemente (20.2; 20.4) des vierten Paares in der zweiten Ebene (A2) angeordnet sind, wobei die Spulenelemente (20.1, 20.3) des dritten Paares zum Erzeugen des ersten und dritten Messsignals (S1, S3) ausgebildet sind, wobei die Spulenelemente (20.2; 20.4) des vierten Paares zum Erzeugen des zweiten und vierten Messsignals (S2, S4) ausgebildet sind, wobei die Sensoranordnung (10) derart ausgebildet ist, dass die Auslenkung ($\Delta Y1$) in der ersten Messebene (T1) in der zweiten Auslenkrichtung (Y) auf Grundlage eines Vergleichs der Summe des ersten und dritten Messsignals (S1, S3) und der Summe des zweiten und vierten Messsignals (S2, S4) erhalten wird.

16. Sensoranordnung (10) nach einem der Ansprüche 13 bis 15, wobei die Sensoranordnung (10) derart ausgebildet ist, dass eine Auslenkung ($\Delta X2$, $\Delta Y2$) der Drahtelektrode (1) in Bezug auf einen auf der Referenzachse (O) liegenden zweiten Referenzpunkt (O2) in einer zweiten Messebene (T2) erhalten wird, wobei die zweite Messebene (T2) durch den zweiten Referenzpunkt (O2) und durch die erste und zweite Auslenkrichtung (X, Y) definiert wird, wobei der erste und zweite Referenzpunkt (O1, O2) in Richtung der Referenzachse (O) versetzt zueinander angeordnet sind, wobei die Spulenelementanordnung (18) ein in der zweiten Messebene (T2) angeordnetes fünftes bis achttes Spulenelement (20.5 bis 20.8) zum Erfassen des magnetischen Wechselfelds (11) und zum Erzeugen eines fünften bis achten Messsignals (S5 bis S8) aufweist, wobei die Sensoranordnung (10) derart ausgebildet ist, dass die Auslenkung ($\Delta X2$, $\Delta Y2$) in der zweiten Messebene (T2) auf

Grundlage des fünften bis achten Messsignals (S5 bis S8) erhalten wird.

17. Sensoranordnung (10) nach Anspruch 16, wobei die Sensoranordnung (10) derart ausgebildet ist, dass auf Grundlage der Auslenkung ($\Delta X1$, $\Delta Y1$) in der ersten Messebene (T1), der Auslenkung ($\Delta X2$, $\Delta Y2$) in der zweiten Messebene (T2) und eines Abstands (L) zwischen dem ersten und zweiten Referenzpunkt (O1, O2) ein in Bezug auf die Richtung der Referenzachse (O) definierter Winkel (α) der Drahtelektrode (1) erhalten wird.

18. Sensoranordnung (10) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die Spulenelementanordnung (18) mindestens ein dem ersten bis vierten Spulenelement (20.1 bis 20.4) jeweils zugeordnetes Referenzspulenelement (22.1 bis 22.4) aufweist, wobei die Referenzspulenelemente (22.1 bis 22.4) zum Erzeugen eines ersten bis vierten Referenzsignals (R1 bis R4) zur Normierung des ersten bis vierten Messsignals (S1 bis S4) ausgebildet sind.

19. Drahterodiermaschine mit einer Sensoranordnung (10) nach einem der vorhergehenden Ansprüche und einer Drahtelektrode (1), wobei sich die Drahtelektrode (1) in einem unausgelenkten Zustand kollinear zur Referenzachse (O) durch den ersten Referenzpunkt (O1) erstreckt.

20. Drahterodiermaschine nach Anspruch 19, wobei die Drahterodiermaschine einen Signalgenerator (3) zum Erzeugen eines Wechselstromimpulses aufweist, wobei die Drahtelektrode (1) derart ausgebildet ist, dass bei einer Beaufschlagung derselben mit dem Wechselstromimpuls das zu erfassende magnetische Wechselfeld (11) erzeugt wird.

Es folgen 7 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

FIG.1

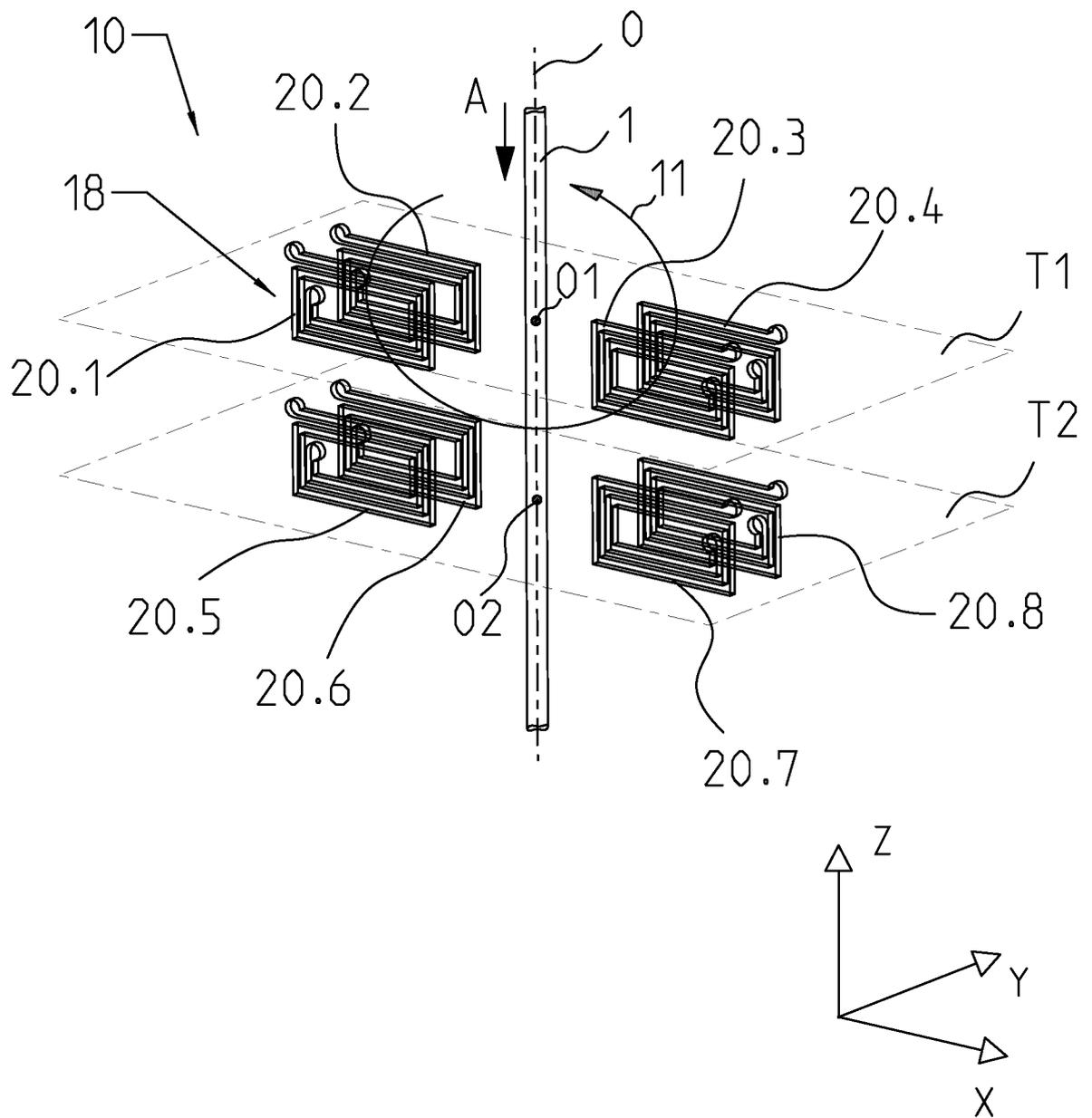


FIG.2

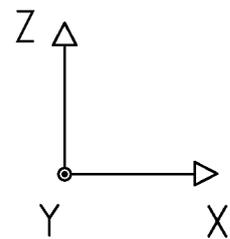
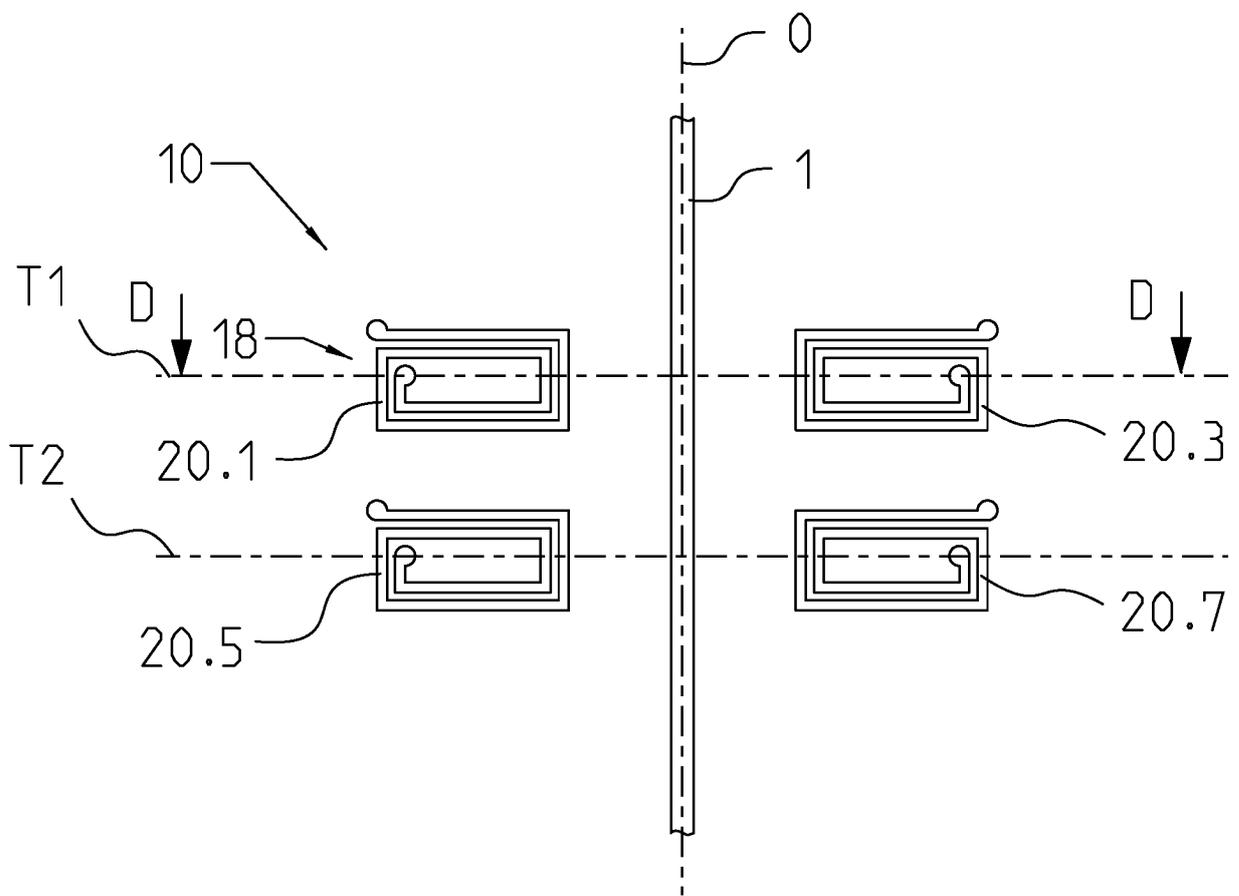


FIG.3

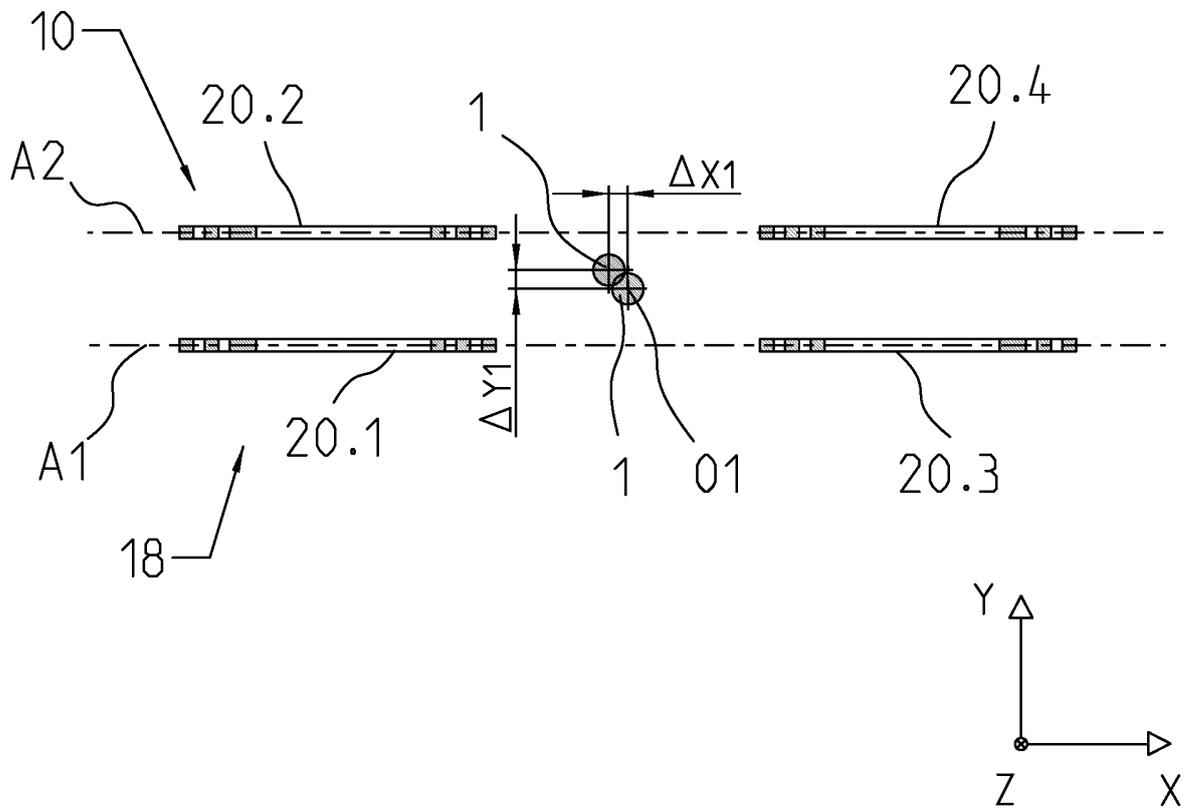


FIG.4

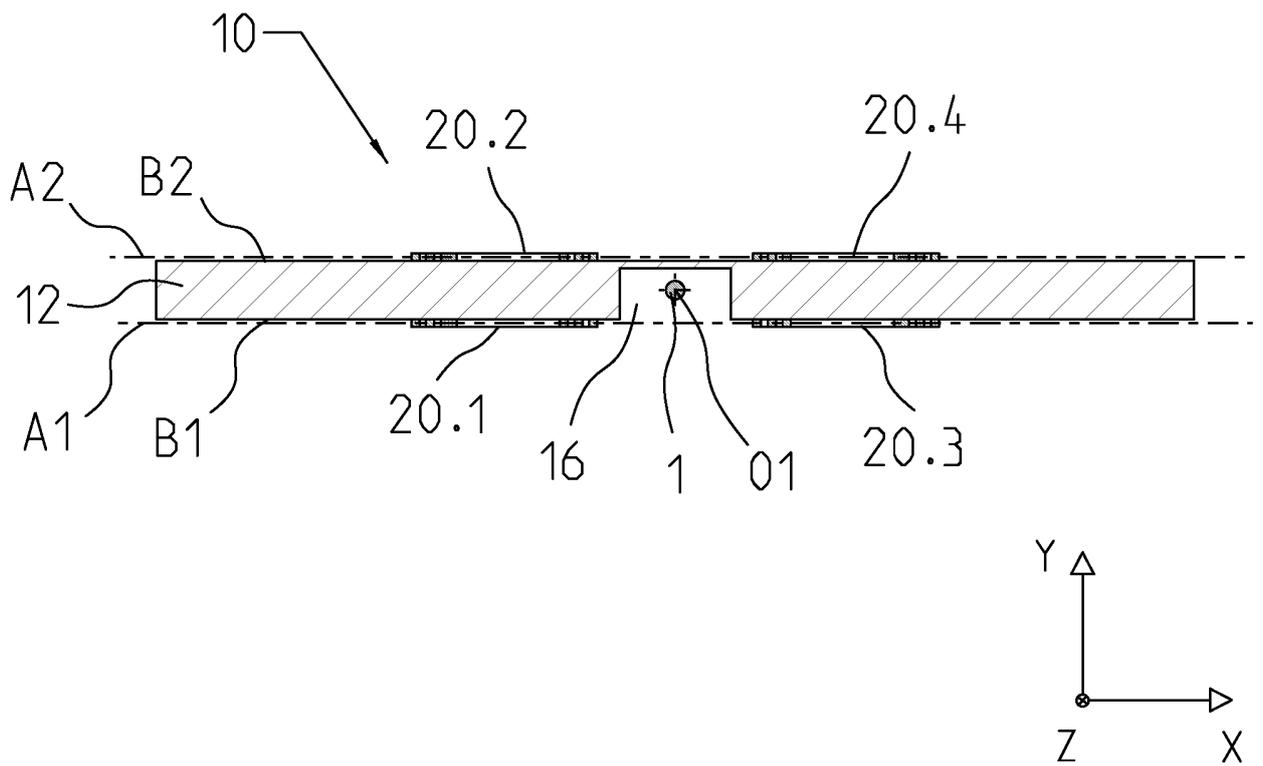


FIG.5

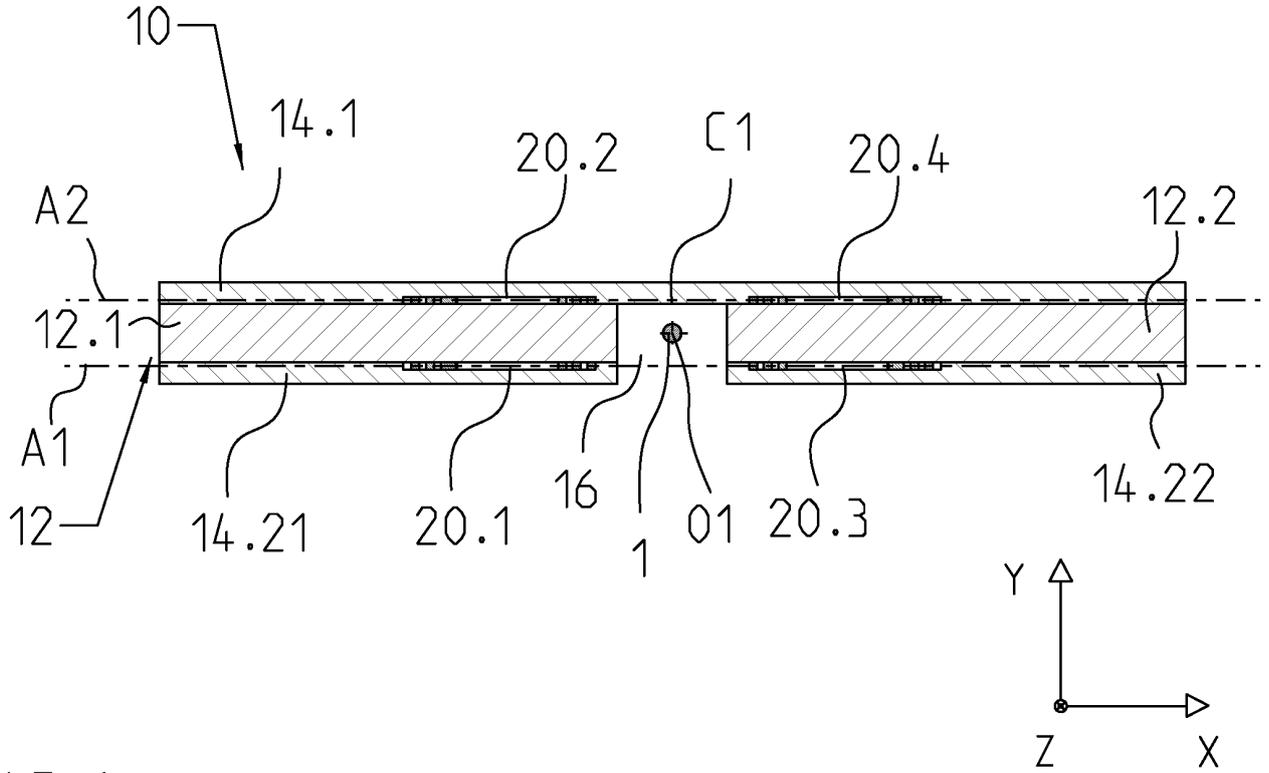


FIG.6

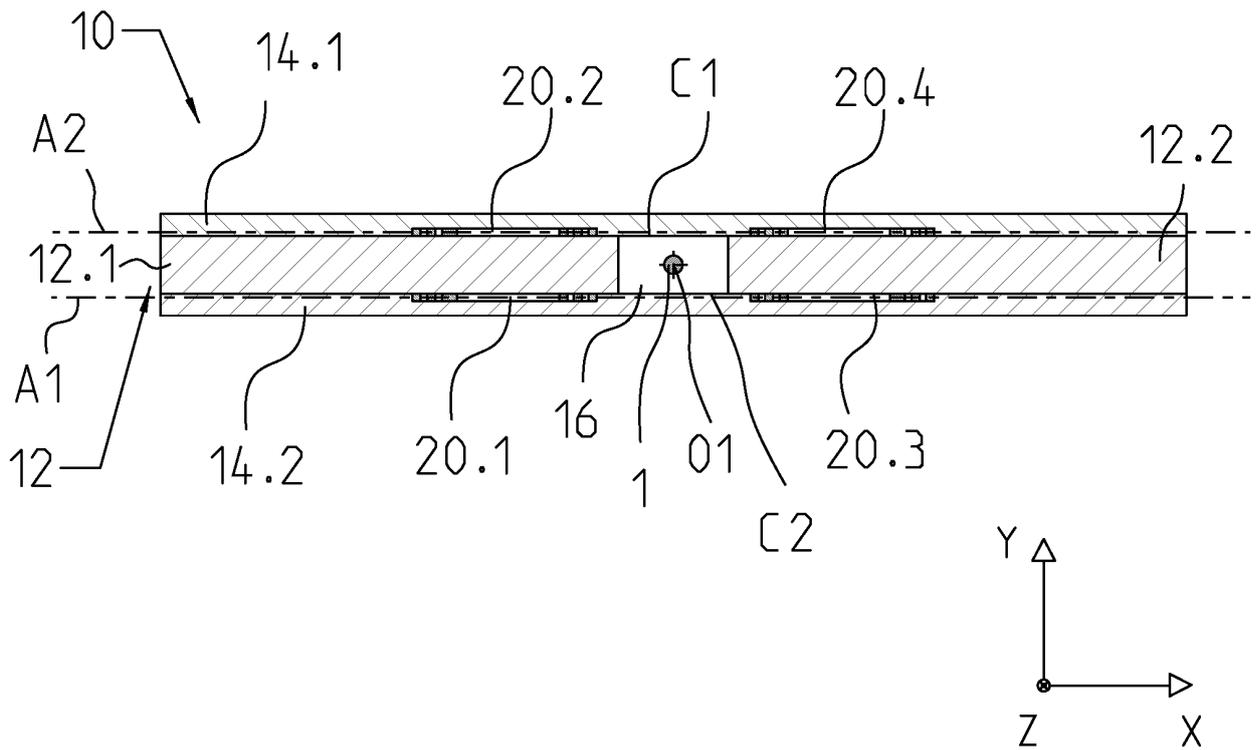


FIG. 7

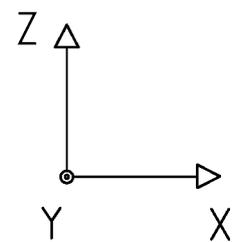
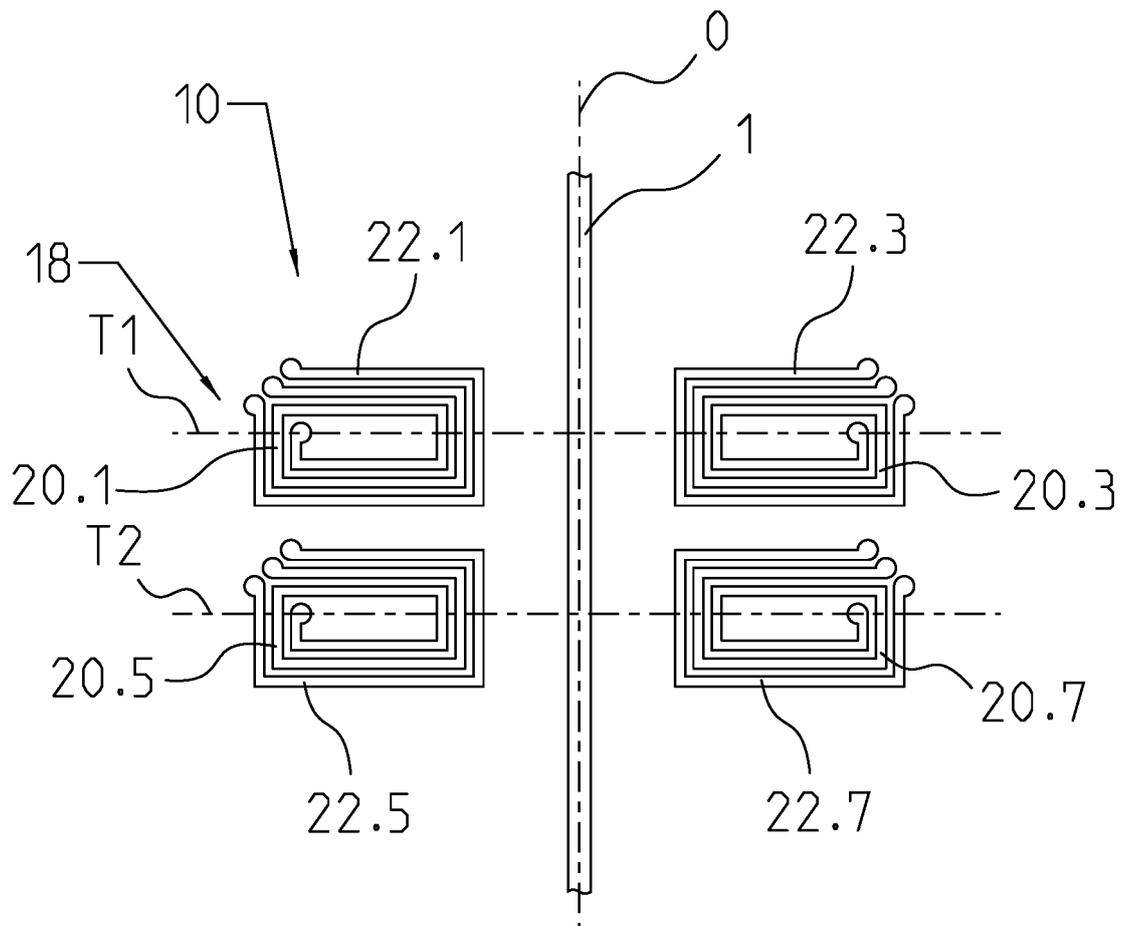


FIG.8

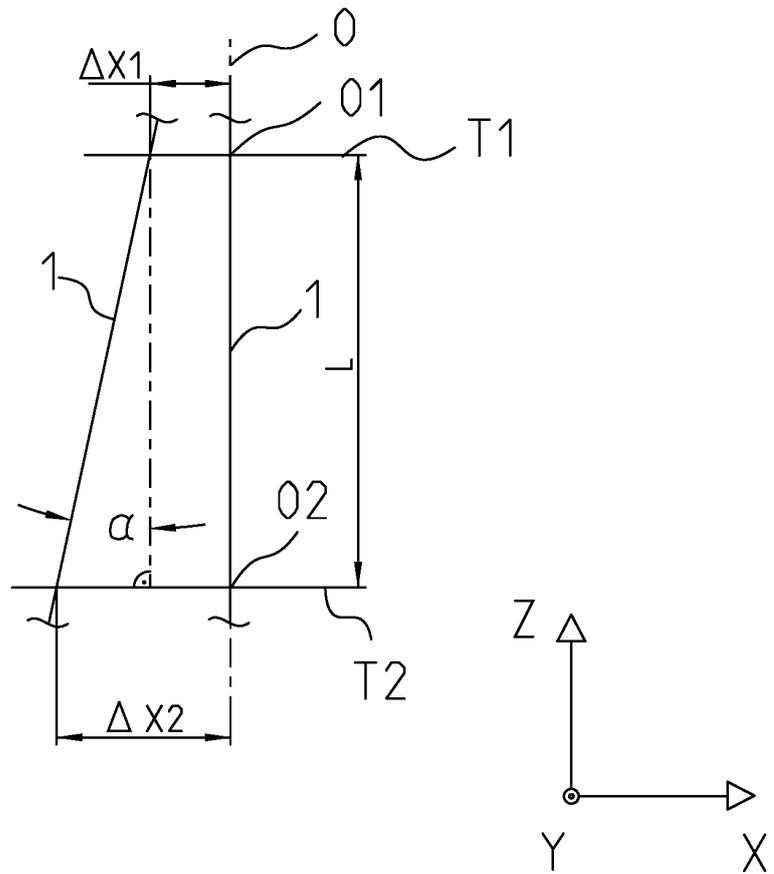


FIG.9

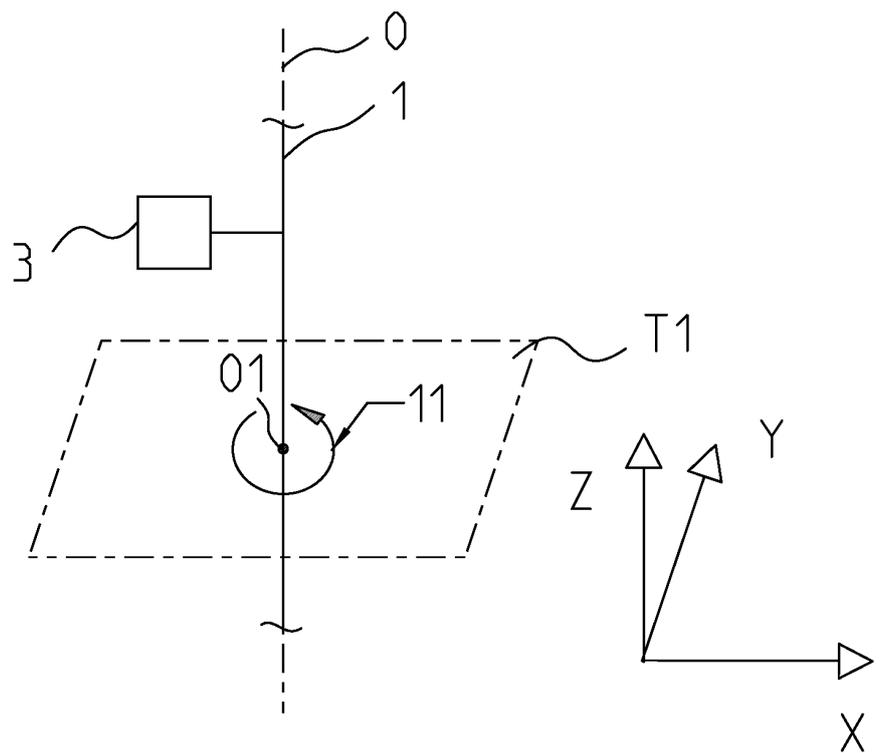


FIG.10

