

**Energieautarke Messeinrichtung
zum Messen einer Messgröße
und Drucksensor mit einer solchen Messeinrichtung**

12.03.2008

Anmelder: HSG-IMAT
Institut für Mikroaufbautechnik der
Hahn-Schickard-Gesellschaft e.V.
Allmandring 9b
70569 Stuttgart

Erfinder: Kück, Heinz, Prof. Dr. rer. nat.
Thomas-Münzer-Weg 43
70437 Stuttgart

Mayer, Volker, Dipl.-Ing.
Schloßhofstr. 5
73098 Rechberghausen

Fritz, Karl-Peter, Dipl.-Ing.
Bebenhäuser Str. 2
71034 Böblingen

Bülau, André, Dipl.-Ing.
Zaisgasse 4
70372 Stuttgart

Beschreibung:

Die vorliegende Erfindung bezieht sich auf eine drahtlose, energieautarke Messeinrichtung zum Messen einer Messgröße und auf einen Drucksensor, der eine solche Messeinrichtung enthält.

In der Technik haben Sensoren mit kapazitiven und induktiven Messprinzipen eine weite Verbreitung gefunden. Überall dort, wo berührungslos Abstände gemessen werden sollen, bietet sich ein Sensor mit einem entsprechenden Messprinzip an. Darüber hinaus werden kapazitive und induktive Sensoren auch zur Detektion von Bewegungen, Verdrehungen, Beschleunigungen oder Drehbeschleunigungen eingesetzt. Das dabei zugrundeliegende Prinzip ist stets, dass im Sensor eine Anordnung besteht, die eine Kapazität bzw. eine Induktivität darstellt, die ihren aktuellen Wert durch die Einwirkung der zu messenden Größe ändert. Dies kann entweder durch eine Veränderung der Geometrie geschehen, indem z.B. bei einem Plattenkondensator durch die Einwirkung einer Kraft der Spalt zwischen den Elektroden verändert wird oder indem aufgrund einer Beschleunigung eine bewegliche Elektrode, die als seismische Masse frei schwingend aufgehängt ist, von einer feststehenden Elektrode wegbewegt wird. Auf der anderen Seite können auch durch die Einwirkung der zu messenden Größe die Materialparameter der Anordnung verändert werden, indem z.B. in eine Messspule ein ferromagnetischer Kern eingeschoben wird, wodurch sich die Permeabilität im Inneren der Spule verändert. Alle genannten Änderungen wirken sich letztendlich in irgendeiner Form auf den aktuellen Wert einer Kapazität oder einer Induktivität aus.

Unter Berücksichtigung der physikalischen Zusammenhänge zwischen den geometrischen und materialspezifischen Parametern einer Messeinrichtung kann somit auf die Veränderung einzelner Parameter geschlossen werden, wenn die Gesamtänderung der Kapazität bzw. der Induktivität bekannt ist. Dabei interessiert meist nicht in erster Linie der absolute Wert der Kapazität bzw. Induktivität einer Messeinrichtung sondern vielmehr der Betrag, um welchen sich die Kapazität bzw. Induktivität einer Messeinrichtung unter einer Einwirkung der zu messenden Größe verändert hat.

Für die Bestimmung des absoluten Wertes der Kapazität bzw. Induktivität der Messeinrichtung oder für die Bestimmung der Änderung dieses Wertes werden Messwandler eingesetzt, welche eine zu ermittelnde Größe mit einem jeweils geeigneten Messprinzip erfassen und daraus ein analoges oder digitales Ausgangssignal gene-

rieren. Ein Ausgangssignal eines Messwandlers kann über Schnittstellen an andere Komponenten eines Systems weitergegeben werden, in welches der Sensor eingebaut ist, beispielsweise zur Positionsregelung etc.

Ein Nachteil bei herkömmlichen Messwandlern für kapazitive und induktive Sensoren kann darin bestehen, dass der Messwandler über Anschlussleitungen mit der zu messenden Kapazität bzw. Induktivität verbunden sein muss. Diese Anschlussleitungen können einen parasitären Effekt auf das zu detektierende Mess-Signal ausüben, insbesondere unter Umwelteinflüssen wie Temperatur, Feuchte etc., was sich negativ auf die Genauigkeit des Mess-Signals und damit auch auf die Genauigkeit des gesamten Sensors auswirkt.

Ein weiterer Nachteil bei herkömmlichen Messwandlern kann die Übertragung des gewandelten Signals an die Umwelt sein. Geschieht dies über Kabel, Leitungen etc., so müssen diese z.T. aufwändig befestigt und geführt werden. Bei der Montage des Wandlers auf einem rotierenden System kann es z.B. auch erforderlich sein, dass eine Kontaktierung entweder mit verschleißanfälligen Schleifkontakten oder mittels Funktechnik realisiert werden muss, wobei die Energie zur Übertragung der Signale am Messwandler z.B. in Form einer Batterie bereitgestellt werden muss. Darüber hinaus kann es Anwendungsfälle geben, bei denen Sensoren an sehr schwer zugänglichen Stellen platziert werden müssen, wo es enorme Schwierigkeiten bereitet, die ermittelten Sensordaten über z.B. Kabel, Leitungen oder Stecker an die Außenwelt zu transferieren. Auch in einem solchen Fall kann die Übertragung der Messwerte eines Sensors mittels Funk realisiert werden, was jedoch den schon erwähnten Nachteil mit sich bringt, dass für die Übertragung eigens ein Funksender am Sensor angebracht sein muss, der mit Energie, z.B. aus einer Batterie oder einem Akku versorgt werden muss.

Es besteht daher ein Bedarf an einer Messeinrichtung für kapazitive und induktive Sensoren, deren Kapazität oder Induktivität bzw. deren Änderung bestimmt werden kann ohne dass elektrische Verbindungsleitungen zu einem Messwandler benötigt werden, die parasitäre Effekte auf des Mess-Signal ausüben können. Des Weiteren besteht ein Bedarf an einer Messeinrichtung für kapazitive und induktive Sensoren, deren Messwert an die Umgebung weitergegeben werden kann, ohne dass diese über Kabel, Leitungen, Schleifkontakte etc. elektrisch kontaktiert werden muss oder dass für eine Übertragung per Funk eine entsprechende Energiequelle innerhalb der Messeinrichtung bereitgestellt werden muss.

Kapazitive Drucksensoren finden in der Technik weitverbreitete Verwendung. Die gängigste Form der kapazitiven Erfassung eines Drucks besteht darin, eine Membran mit einem Druck zu beaufschlagen, wodurch sich die Membran elastisch verformt. Diese Verformung kann beispielsweise kapazitiv erfasst werden, indem auf der Membran eine Elektrode angebracht und elektrisch kontaktiert wird, die als eine Halbelektrode eines Plattenkondensators dient. Verformt sich nun die Membran und mit ihr die darauf befindliche Elektrode, so ändert sich der Plattenabstand des Plattenkondensators, was sich wiederum in einer Änderung der Kapazität des Plattenkondensators auswirkt.

Problematisch bei aktuell eingesetzten, kapazitiven Drucksensoren nach dem Stand der Technik ist, dass das Medium, dessen Druck gemessen werden soll, direkt mit der Membran in Kontakt kommt, die verformt werden soll. Insbesondere bei aggressiven Medien ist daher die Anzahl möglicher Materialien, aus denen die Membran, das Gehäuse des Drucksensors und die notwendigen Dichtungen hergestellt werden können. Technisch bereits realisierte Systeme verwenden daher als Membran ein dünnes Edelstahl-Plättchen, welches von den meisten aggressiven Medien nicht angegriffen oder zerstört werden kann. Hierbei besteht jedoch die Problematik der Abdichtung zwischen der Edelstahl-Membran und dem Drucksensorgehäuse. Bisher eingesetzte Dichtmaterialien, z.B. O-Ringe oder Gummi-Flachdichtungen, führen zu Reibung und Slip-Stick Effekten an der Membran, wenn diese unter Einwirkung eines Drucks verformt wird. Derartige Reibungseffekte bewirken eine Hysterese des Ausgangssignals des Drucksensors und verschlechtern damit die Genauigkeit von Drucksensoren, die nach diesem Prinzip aufgebaut sind, erheblich. Dies ist der Grund, warum die weite Verbreitung von kapazitiven Drucksensoren mit einer Edelstahlmembran, die in einem Gehäuse abgedichtet eingebracht wird, bisher noch nicht stattfinden konnte, obwohl für die Druckmessung an aggressiven Medien, wie z.B. Treibstoffe oder Chemikalien zur Abgasnachbehandlung, Drucksensoren benötigt werden, die bei einem Kontakt mit den aggressiven Medien nicht angegriffen oder gar funktionsuntüchtig gemacht werden.

Es besteht daher ein Bedarf an kapazitiven Drucksensoren, welche mit hoher Genauigkeit einen Druck messen können, ohne Effekte wie Hysterese o.ä. aufzuweisen und die gleichzeitig dafür geeignet sind, auch an aggressiven Medien Druckmessungen durchzuführen.

Erfindungsgemäß wird der genannte Bedarf nach Messeinrichtungen bzw. Drucksensoren durch Messeinrichtungen gemäß den Ansprüchen 1 bis 8 sowie explizit für den Anwendungsfall eines kapazitiven Drucksensors durch einen Drucksensor gemäß den Ansprüchen 9 bis 15 gelöst.

Ausführungsbeispiele der vorliegenden Erfindung beruhen auf dem Prinzip des elektrischen Schwingkreises. Im einfachsten Fall besteht ein elektrischer Schwingkreis aus einer Spule mit der Induktivität L und einem Kondensator mit der Kapazität C , die an ihren beiden Polen elektrisch leitend miteinander verbunden sind.

Eine Resonanzfrequenz eines elektrischen Schwingkreises berechnet sich zu:

$$\omega = \frac{1}{\sqrt{LC}}$$

Bei dieser Betrachtungsweise werden die ohm'schen Leitungswiderstände vernachlässigt, welche die Verbindungsleitungen zwischen den Polen einer Induktivität und einer Kapazität sowie die Wicklungen einer Induktivität aufweisen. Für das Funktionsprinzip der vorliegenden Erfindung ist dies jedoch nicht von Belang, da der ohm'sche Widerstand zwar einen Einfluss auf die Resonanzfrequenz eines Schwingkreises hat, dieser Einfluss jedoch mit einem konstanter Faktor abgegolten werden kann, mit dem die Resonanzfrequenz eines idealen Schwingkreises verschoben bzw. verstärkt wird.

Die Detektion der Resonanzfrequenz eines Schwingkreises kann berührungslos durch eine externe Ausleseeinheit erfolgen, ohne dass dazu in dem Schwingkreis selbst eine Energiequelle vorhanden sein müsste. Dies kann beispielsweise so geschehen, dass die externe Ausleseeinheit eine Primär- und eine Sekundärwicklung enthält. An die Primärwicklung kann ein Wechselspannungsgenerator angeschlossen werden, welcher ein bestimmtes Frequenzband abfährt, d.h. welcher an die Primärwicklung eine Wechselspannung mit variabler Frequenz anlegt. Durch den Stromfluss in der Primärwicklung erzeugt diese ein elektromagnetisches Wechselfeld, das sich in alle Raumrichtungen ausbreitet. Die Reichweite des elektromagnetischen Wechselfeldes ist dabei von den Abmessungen einer Primärwicklung, von einer Stärke des Stroms, welcher die Primärwicklung durchfließt, sowie von einer Frequenz des Stroms abhängig.

Ein so erzeugtes elektromagnetisches Wechselfeld kann mit einer Sekundärwicklung einer Ausleseeinheit wiederum gemessen werden, indem die Sekundärwicklung bei-

spielsweise in einem bestimmten Abstand von der Primärwicklung in einem von der Primärwicklung erzeugten elektromagnetischen Wechselfeld platziert wird. Durch elektromagnetische Induktion wird durch das Wechselfeld in der Sekundärwicklung eine Spannung induziert, welche mit einem geeigneten Spannungsmessgerät gemessen werden kann.

Wird nun in ein von einer Primärwicklung erzeugtes elektromagnetisches Wechselfeld ein elektrischer Schwingkreis, der beispielsweise die oben beschriebenen Eigenschaften aufweist, eingebracht, indem dieser z.B. in einem Bereich zwischen einer Primär- und einer Sekundärwicklung einer Ausleseinheit platziert wird, so kann dieser Schwingkreis zu resonanten Schwingungen angeregt werden, wodurch dem elektromagnetischen Wechselfeld Energie entzogen werden kann. Dieser Effekt der Abschwächung eines elektromagnetischen Wechselfeldes durch einen darin platzierten Schwingkreis ist dann am größten, wenn der Schwingkreis exakt in seiner Resonanzfrequenz angeregt wird.

Der soeben erläuterte Effekt kann zur genauen Bestimmung einer Resonanzfrequenz eines elektrischen Schwingkreises genutzt werden. Wird nämlich ein von einer Primärwicklung erzeugtes elektromagnetisches Wechselfeld mit variabler Frequenz mittels einer Sekundärwicklung aufgezeichnet, so verringert sich die aufgezeichnete Amplitude der in einer Sekundärwicklung induzierten Spannung genau bei der Frequenz, welche ein in das elektromagnetische Wechselfeld eingebrachter Schwingkreis als eine Resonanzfrequenz hat. Auf diese Weise kann eine Resonanzfrequenz eines elektrischen Schwingkreises mit hoher Genauigkeit bestimmt werden, wobei die Genauigkeit im Wesentlichen von der Auflösung eines Wechselspannungsgenerators abhängig ist, mit welchem an einer Primärwicklung eine Wechselspannung beaufschlagt wird.

Im folgenden soll näher ausgeführt werden, auf welche Art und Weise das beschriebene Verfahren zur Bestimmung einer Resonanzfrequenz eines elektrischen Schwingkreises erfindungsgemäß genutzt werden kann, um eine veränderliche Kapazität oder Induktivität einer Messeinrichtung zu bestimmen.

Ausführungsbeispiele der vorliegenden Erfindung zeigen Messeinrichtungen mit veränderlicher Kapazität bzw. Induktivität, wobei sich eine Änderung einer zu messenden Größe auf eine Änderung einer Kapazität bzw. Induktivität einer Messeinrichtung auswirkt. Die Art und Weise, wie eine solche Auswirkung in einem konkreten Anwendungsfall aussieht, wurde oben bereits umfassend diskutiert. Bei erfindungsgemäßen

Messeinrichtungen wird die veränderliche Kapazität bzw. Induktivität der Messeinrichtung als ein Bestandteil eines elektrischen Schwingkreises beschaltet. Das bedeutet beispielsweise, dass in einer Messeinrichtung mit veränderlicher Kapazität, diese mit einer Induktivität elektrisch leitend verbunden ist, welche sich unter Einwirkung einer zu messenden Messgröße nicht verändert. Ebenso kann eine veränderliche Induktivität einer Messeinrichtung mit einer nicht veränderlichen Kapazität innerhalb einer Messeinrichtung elektrisch so kontaktiert werden, dass ein elektrischer Schwingkreis entsteht. Zuletzt sind auch Kombinationen denkbar, wobei durch die Einwirkung einer zu messenden Messgröße sowohl eine Kapazität als auch eine Induktivität einer Messeinrichtung verändert wird, welche zusammen ebenfalls einen elektrischen Schwingkreis bilden.

Anders ausgedrückt wird bei erfindungsgemäßen Messeinrichtungen eine Änderung einer Kapazität und/oder einer Induktivität einer Messeinrichtung aufgrund einer Einwirkung von außen in eine Änderung einer Resonanzfrequenz eines Schwingkreises überführt. Eine solche Änderung einer Resonanzfrequenz kann mittels einer Auswerteeinrichtung, welche beispielsweise eine Primär- und eine Sekundärwicklung enthält, detektiert werden. Aus einer ermittelten Änderung einer Resonanzfrequenz eines elektrischen Schwingkreises kann dann auf eine Änderung einer in dem Schwingkreis befindlichen Kapazität bzw. auf eine Änderung einer in dem Schwingkreis befindlichen Induktivität oder auch auf eine Änderung beider Bauelemente geschlossen werden. Im nächsten Schritt kann dann von der berechneten Änderung einer Induktivität bzw. Kapazität auf einen äußeren Einfluss, beispielsweise eine Beschleunigung, einen Druck oder eine Verschiebung geschlossen werden. Im Gegensatz zu Sensoren mit herkömmlichen Kapazitäts- und Induktivitätswandlern benötigen erfindungsgemäße Messeinrichtungen kein Wandlerelement, welches elektrisch mit einem Bauteil verbunden sein muss, dessen aktueller Wert zu detektieren ist, und welches mit entsprechender Energie versorgt werden muss. Eine für die Ermittlung und Übertragung eines Messwertes notwendige Energie kann bei erfindungsgemäßen Messeinrichtungen stattdessen durch eine Auswerteeinrichtung in Form eines elektromagnetischen Wechselfeldes bereitgestellt werden.

Bei den bisher genannten Ausführungsbeispielen wurde stets auf das Fehlen von elektrischen Anschlussleitungen zu den elektrischen Bauteilen (Kapazität, Induktivität) innerhalb einer Messeinrichtung, welche einen elektrischen Schwingkreis bilden, hingewiesen. Dies ist jedoch keineswegs eine zwingende Forderung. Vielmehr kön-

nen die elektrischen Bauteile innerhalb einer Messeinrichtung auch über elektrische Kontakte mit einer Auswerteeinrichtung verbunden werden, welche eine Resonanzfrequenz eines Schwingkreises innerhalb einer Messeinrichtung auf anderem Wege bestimmen als auf dem oben beschriebenen Weg mittels einer Primär- und Sekundärwicklung innerhalb einer Auswerteeinrichtung. Als alternative Möglichkeiten der Bestimmung einer Resonanzfrequenz eines elektrischen Schwingkreises kommen selbstverständlich alle einschlägigen Mess-Schaltungen aus der Elektrotechnik in Betracht, z.B. Brückenschaltungen etc.

Das grundsätzliche Prinzip für eine Messeinrichtung, die dazu geeignet ist die Veränderung des Wertes einer Kapazität bzw. einer Induktivität zu bestimmen, kann nun in einer Vielzahl von kapazitiven und induktiven Sensoren zum Einsatz kommen. Genannt seien an dieser Stelle explizit Sensoren für Druck, Beschleunigung, Geschwindigkeit, Annäherung, Bewegung, Neigung und Rotation. Es kann jedoch eine erfindungsgemäße Messeinrichtung grundsätzlich in allen Typen von Sensoren zum Einsatz kommen, die die Veränderung einer Induktivität oder die Veränderung einer Kapazität durch einen äußeren Einfluss ausnutzen, um auf die Größe dieses Einflusses zu schließen.

Auf eine mögliche Anwendung einer erfindungsgemäßen Messeinrichtung zur Realisierung eines Drucksensors soll nachfolgend Bezug nehmend auf die beiliegenden Zeichnungen näher eingegangen werden. Es zeigen:

- Fig. 1: eine schematische Darstellung eines elektrischen Schwingkreises
- Fig. 2: eine schematische Darstellung der Messeinrichtung gemäß einem Ausführungsbeispiel
- Fig. 3: einen schematischen Querschnitt durch den Drucksensor gemäß einem Ausführungsbeispiel
- Fig. 4: eine schematische, dreidimensionale Darstellung einer Hälfte des Drucksensorgehäuses gemäß einem Ausführungsbeispiel.

Fig. 1 zeigt eine schematische Darstellung eines elektrischen Schwingkreises 4, bestehend aus einer Kapazität 1, einer Induktivität 2 und Verbindungsleitungen 3, wie er in einer erfindungsgemäßen Messeinrichtung eingesetzt werden kann. Anzumerken ist, dass die Verbindungsleitungen 3 zwischen der Kapazität 1 und der Induktivität 2 nahezu jede beliebige Form und Länge annehmen können, also insbesondere

als sehr kurze, geradlinige Verbindungen ausgeführt sein können, was zur Minimierung des ohm'schen Widerstands des Schwingkreises 4 beiträgt. Zusätzliche Leitungen, beispielsweise zu diskreten Wandler-Bauelementen oder Strom- und Spannungsmessgeräten sind nicht erforderlich. Bezüglich der speziellen elektrischen Eigenschaften von Schwingkreisen, insbesondere auch für Informationen zu Anordnungs- und Aufbaualternativen von Schwingkreisen wird auf die einschlägige Fachliteratur der Physik und Elektrotechnik verwiesen.

Fig. 2 zeigt eine schematische Darstellung der Messeinrichtung 100 gemäß einem Ausführungsbeispiel. Kernelement der Messeinrichtung 100 ist ein elektrischer Schwingkreis 4, welcher in Fig. 2 beispielhaft in identischer Ausführung wie der bereits in Fig. 1 dargestellte Schwingkreis 4 gezeigt ist. Ferner zeigt Fig. 2 eine Auswerteeinrichtung 6, wie sie in verschiedenen Ausführungsbeispielen der Messeinrichtung 100 enthalten sein kann. Die Auswerteeinrichtung 6 kann beispielsweise einen Wechselspannungsgenerator 10 enthalten, welcher mit einer Primärwicklung 11 elektrisch leitend verbunden sein kann und an diese eine Wechselspannung mit fester oder variabler Frequenz anlegen kann. Nach den Gesetzen der Physik baut sich in der Primärwicklung 11, wenn diese von einem Strom durchflossen wird, ein magnetisches Feld auf. Im Fall eines Anlegens einer elektrischen Wechselspannung an die Primärwicklung 11 kann diese ein elektromagnetisches Wechselfeld erzeugen, welches sich in den Raum um die Primärwicklung ausbreiten kann, wobei die Stärke dieses Feldes von der Stärke des durch die Primärwicklung 11 fließenden Stroms, von der Frequenz der Wechselspannung und von den Materialkonstanten der Materialien, die sich im Inneren oder in der Umgebung der Primärwicklung 11 befinden können, abhängen kann. Die Auswerteeinrichtung 6 kann ferner eine Sekundärwicklung 12 enthalten, welche in das von der Primärwicklung abgestrahlte elektromagnetische Wechselfeld eingebracht werden kann. Nach dem Gesetz der elektromagnetischen Induktion wird in der Sekundärwicklung 12 von dem elektromagnetischen Wechselfeld eine Spannung induziert, welche beispielsweise mit einem Spannungsmessgerät 13 gemessen werden kann. Wird nun neben der Sekundärwicklung 12 ein Schwingkreis 4 in das elektromagnetische Wechselfeld eingebracht, insbesondere z.B. genau in den Bereich, der zwischen der Primärwicklung 11 und der Sekundärwicklung 12 liegt, so kann dem elektromagnetischen Wechselfeld Energie entzogen werden, was sich in einer Verringerung der Amplitude der in der Sekundärwicklung 12 induzierten Wechselspannung bemerkbar machen kann. Diese Verringerung der

Amplitude, die beispielsweise mit einem Spannungsmessgerät 13 detektiert werden kann, ist dann am größten, wenn das elektromagnetische Wechselfeld mit der Resonanzfrequenz ω des elektrischen Schwingkreises 4 erzeugt wird.

Anders ausgedrückt sind in Fig. 2 wesentliche Bestandteile eines Ausführungsbeispiels der Messeinrichtung 100 gezeigt, mit welcher die Resonanzfrequenz ω eines elektrischen Schwingkreises 4 berührungslos durch eine entsprechenden Auswerteeinrichtung 6 bestimmt werden kann.

Fig. 3 zeigt einen schematischen Querschnitt durch den Drucksensor 200 gemäß einem Ausführungsbeispiel. Die Grundform des Drucksensors 200 in diesem Ausführungsbeispiel ist rotationssymmetrisch. Damit soll aber keine bevorzugte Form des Drucksensors zum Ausdruck gebracht werden. Denkbar sind auch andere, beispielsweise rechteckige oder quadratische Aufbauformen des Drucksensors 200.

Der Drucksensor 200 umfasst ein Drucksensorgehäuse 201a, 201b welches in diesem Ausführungsbeispiel als zweiteiliges Drucksensorgehäuse 201a, 201b ausgeführt ist. Die Verbindung zwischen beiden Gehäusehälften 201a und 201b ist in Fig. 3 nicht explizit gezeigt, es kommen jedoch die verschiedensten Verbindungstechniken in Frage, beispielsweise Schrauben, Kleben oder Schweißen. An der unteren Gehäusehälfte 201b kann sich ein Druckeinlass 202 befinden, durch den in geeigneter Weise das Medium, dessen Druck bestimmt werden soll, ins Innere des Drucksensorgehäuses 201a, 201b hineingeführt werden kann, indem z.B. am Druckeinlass 202 ein Gewindeflansch angebracht sein kann, der in eine Rohrleitung oder in einen Tank, welche das Medium enthalten, dessen Druck bestimmt werden soll, eingeschraubt werden kann. Der Bereich im Inneren des Drucksensorgehäuses 201a, 201b, welcher in Berührung mit dem Medium kommt, dessen Druck bestimmt werden soll, kann auf der einen Seite durch die untere Gehäusehälfte 201b, auf der anderen Seite durch ein Einlegeelement 204 und ein Dichtelement 208 begrenzt werden.

Die genaue Anordnung der einzelnen Elemente sowie die Bezeichnungen der Hälften des Drucksensorgehäuses 201a, 201b sind dabei explizit nicht an die hier beschriebene Darstellung gebunden. Ohne Weiteres ist ein Ausführungsbeispiel denkbar, bei dem der Druckeinlass 202 in der oberen Gehäusehälfte 201 angebracht sein kann und bei dem sich das Dichtelement 208 auf der anderen Seite des Einlegeelements 204 befinden kann. Darüber hinaus kann es auch Ausführungsbeispiele geben, bei denen das Drucksensorgehäuse nicht aus zwei Hälften 201a und 201b besteht, sondern die ein einstückiges Drucksensorgehäuse oder auch ein Drucksen-

sorgehäuse, das aus mehr als zwei Einzelteilen zusammengesetzt wird, enthalten können.

Entscheidend für den erfindungsgemäßen Drucksensor ist, dass es innerhalb des Drucksensorgehäuses 201a, 201b einen Bereich 205 geben kann, der von dem Bereich, in welchem sich das Medium befindet, dessen Druck bestimmt werden soll, getrennt ist und in dem insbesondere Elektrodenstrukturen und Leiterbahnen angebracht werden können, welche sonst bei einem Kontakt mit dem möglicherweise aggressiven Medium degenerieren könnten.

Das Einlegeelement 204 kann zwei Bereiche 206a und 206b aufweisen, die sich hinsichtlich ihrer Dicke unterscheiden. Das Einlegeelement 204 kann ein einstückiges Teil sein, beispielsweise eine Scheibe aus Edelstahl mit in der Mitte eingebrachter kreisförmiger Tasche, durch welche die Dicke der Scheibe lokal verringert wird, so dass ein Bereich 206a entsteht, der als Membran wirkt und sich unter einem Druck leicht verformen lässt. Die Randbereiche 206b des Einlegeelements 204 können demzufolge eine größere Dicke aufweisen und dadurch eine größere mechanische Stabilität des Einlegeelements 204 bewirken. Ebenso ist es auch denkbar, das Einlegeelement aus mehreren Einzelteilen aufzubauen, z.B. aus einem Ring, dessen zentrale Bohrung mit einer dünnen Membran verschlossen wird, indem z.B. die Membran auf den Ring aufgeschweißt wird. In diesem Fall würde die aufgeschweißte Membran über der Bohrung des Rings den dünneren Bereich 206a des Einlegeelements 204 enthalten, wogegen der Ring mit der darauf aufgeschweißten Membran den dickeren Bereich 206b enthalten würde. Wiederum gilt, dass mit der Bezeichnung der dickeren und dünneren Bereiche des Einlegeelements 204 keine Bevorzugung ausgedrückt werden soll. Es wäre auch möglich, den dünneren Bereich mit 206b und den dickeren Bereich mit 206a zu bezeichnen. Entscheidend ist vielmehr, dass sich beim Aufbringen eines Drucks auf das Einlegeelement 204 lediglich der dünnere Bereich 206a des Einlegeelements 204 verformt, wogegen der dickere Bereich 206b aufgrund seiner höheren mechanischen Steifigkeit beispielsweise keine Verformung und damit auch keine Bewegung aufgrund des Drucks erfährt, welcher auf das Einlegeelement 204 von dem Medium, dessen Druck bestimmt werden soll, ausgeübt werden kann. Auf diese Weise kann eine Relativbewegung des Einlegeelements 204 und des Dichtelements 208 prinzipbedingt verhindert werden, was dazu führen kann, dass an der Kontaktstelle zwischen Einlegeelement 204 und Dichtelement 208 sowie an der Anlagefläche des Einlegeelements 204 an der oberen Ge-

häusehälfte 201a keine Reibung und keine Slip-Stick Effekte auftreten können, die zu einer Hysterese des Sensorsignals führen könnten.

Um die Verformung des dünneren Bereichs 206a des Einlegeelements 204 mit einem kapazitiven Messprinzip erfassen zu können, kann auf der dem Medium abgewandten Seite des Einlegeelements 204 beispielsweise eine Elektrode 203b angebracht sein, die mit einer zweiten Elektrode 203a, welche beispielsweise auf der oberen Gehäusehälfte 201a angebracht sein kann, eine Kapazität 1, z.B. in Form eines Plattenkondensators bildet. Bei einer Verformung des Einlegeelements 204 kann sich also der Spaltabstand innerhalb der Kapazität 1 verringern oder vergrößern, was zu einer Vergrößerung bzw. Verkleinerung des aktuellen Wertes der Kapazität 1 führen kann.

Erfindungsgemäß kann die Kapazität 1 eine veränderliche Kapazität innerhalb eines Schwingkreises 4 darstellen, der beispielsweise als zweites Element eine Induktivität 2 enthalten kann, welche als Planarspule auf der Außenseite der oberen Gehäusehälfte 201a ausgeführt sein kann. Um beide Elektroden 203a und 203b der Kapazität 1 mit den beiden Enden der Induktivität 2 elektrisch zu verbinden, können beispielsweise entsprechende Durchkontaktierungen in der oberen Gehäusehälfte 201a des Drucksensorgehäuses 201a, 201b vorhanden sein und insbesondere kann an der Berührungsstelle zwischen dem Einlegeelement 204 und der oberen Gehäusehälfte 201a eine elektrisch leitende Verbindung 209 angebracht sein, durch welche der elektrische Kontakt zwischen der auf dem Einlegeelement 204 befindlichen Elektrode 203b und den restlichen Elementen des elektrischen Schwingkreises 4 hergestellt werden kann.

Bei weiteren Ausführungsbeispielen kann außerdem das Einlegeelement 4 aus einem elektrisch leitfähigen Material bestehen und somit direkt die Elektrode 203b enthalten. Der elektrische Kontakt zwischen der Elektrode 203b und den restlichen Elementen des elektrischen Schwingkreises 4 kann dabei wiederum durch eine leitende Verbindung 209 zwischen einer auf der oberen Gehäusehälfte 201a befindlichen, elektrisch leitfähigen Fläche und dem elektrisch leitfähigem Einlegeelement 204 hergestellt werden.

Die Bauform der Induktivität 2 innerhalb des elektrischen Schwingkreises ist keineswegs an die in Fig. 3 gezeigte Variante mit der Ausführung als Planarspule auf der Außenseite der oberen Hälfte des Drucksensorgehäuses 201a gebunden. Stattdessen sind auch Aufbauvarianten möglich, bei denen die Induktivität 2 innerhalb des

Drucksensorgehäuses 201a, 201b angebracht sein kann, beispielsweise innerhalb des Bereichs 205 im Drucksensorgehäuse 201a, 201b, welcher gegenüber dem Medium, dessen Druck bestimmt werden soll, abgedichtet ist. Hierbei sind diverse Bauformen der Induktivität 2 denkbar, beispielsweise kann diese als diskretes SMD-Bau- element ausgeführt sein.

Wie bei allen kapazitiven Sensoren nach dem Stand der Technik muss beachtet werden, dass sich der Wert der Kapazität 1 unter Umwelteinflüssen wie Temperatur und Feuchte ändern kann, obwohl sich der auf das Einlegeelement wirkende Druck nicht ändert und damit die Geometrie und gegenseitige Position der Elektroden 203a und 203b gleich bleibt. Um eine solche Änderung nicht als Druckänderung zu detek- tieren, wird bei vielen kommerziell erhältlichen kapazitiven Sensoren eine Referenz- kapazität eingeführt, welche den gleichen Wert aufweist, den die Messkapazität des Sensors im unbelasteten Zustand annimmt. Besonderes Merkmal der Referenzkapa- zität ist dabei, dass sie unter der Belastung, welche bei der Messkapazität zu einer Änderung des aktuellen Werts führt, ihren Wert beibehält. Wird nun die Differenz des Mess-Signals der Referenzkapazität und der Messkapazität gebildet, so enthält diese Differenz keine Kapazitätsänderungen aufgrund äußerer Umwelteinflüsse wie Tem- peratur und Feuchte, da diese Einflüsse sowohl auf die Messkapazität als auch auf die Referenzkapazität wirken und bei der Differenzbildung sich gegenseitig aufhe- ben. Anders ausgedrückt kann mit einer derart kompensierten Messschaltung aus einer Änderung der Kapazitätsdifferenz zwischen Mess- und Referenzkapazität mit hoher Genauigkeit diejenige Messgröße bestimmt werden, welche mit dem kapaziti- ven Sensorprinzip eigentlich bestimmt werden soll.

Das in Fig. 3 gezeigte Ausführungsbeispiel des Drucksensors 200 zeigt daher weite- re Elektroden 203c und 203d, welche beispielsweise als konzentrische Ringe um die Elektroden 203a und 203b der Kapazität 1 des Schwingkreises 4 angeordnet sein können. Die Elektrode 203c kann dabei wie die Elektrode 203a auf der oberen Ge- häusehälfte 201a des Drucksensors 200 angebracht sein. Die Elektrode 203d kann beispielsweise auf dem dickeren Randbereich 206b des Einlegeelements 204 ange- bracht sein. Ein Plattenkondensator, der von den Elektroden 203c und 203d gebildet werden kann, wird daher bei einer Verformung des dünneren Bereichs 206a des Ein- legeelements keine Veränderung seines aktuellen Wertes erfahren. Bei Umweltein- flüssen, die im Bereich 205 innerhalb des Drucksensorgehäuses 201a, 201b wirken, wird sich jedoch sowohl bei dem durch die Elektroden 203a und 203b als auch bei

dem durch die Elektroden 203c und 203d gebildeten Kondensator eine Änderung des aktuellen Wertes ergeben.

Der durch die Elektroden 203c und 203d gebildete Kondensator kann mit entsprechenden Anschlussleitungen 3 und einer weiteren Induktivität 2 (die in Fig. 3 nicht dargestellt ist) zu einem zweiten elektrischen Schwingkreis 4 erweitert werden. Auf diese Weise können sich in dem Drucksensor 200 zwei voneinander unabhängige Schwingkreise 4 befinden, deren jeweilige Resonanzfrequenz ω mit einer, in Fig. 3 nicht dargestellten, Auswerteeinrichtung 6 separat bestimmt werden kann. Dann kann die Änderung der Differenz der beiden Resonanzfrequenzen ω der Schwingkreise 4 als Maß für die Veränderung der Kapazität des ersten Schwingkreises aufgrund einer Verformung des dünneren Bereichs 206a des Einlegeelements verwendet werden, da sämtliche Änderungen der Kapazitäten 1 aufgrund von Umwelteinflüssen wie Temperatur und Druck in gleicher Weise eine Verschiebung der Resonanzfrequenzen ω beider Schwingkreise 4 bewirken und eine solche Änderung der Resonanzfrequenzen ω bei der Differenzbildung verschwindet.

Fig. 4 zeigt eine schematische, dreidimensionale Darstellung einer Hälfte des Drucksensorgehäuses 201a gemäß einem Ausführungsbeispiel.

Fig. 4 verdeutlicht, dass die Fertigung der oberen Hälfte des Drucksensorgehäuses 201a besonders vorteilhaft mit Hilfe der MID-Technik erfolgen kann. Als Grundkörper kann dabei ein rotationssymmetrisches, topfförmiges Element verwendet werden, das beispielsweise mittels Spritzguss mit sehr hoher Präzision und zu geringen Stückkosten hergestellt werden kann.

Die Herstellung aller elektrisch leitenden Elemente auf diesem Bauteil, also insbesondere der Induktivität 2, z.B. in Form einer Planarspule, der verschiedenen Elektroden 203a und 203c für die Kapazitäten 1 sowie der elektrisch leitenden Fläche 209 zur Kontaktierung der auf dem Einlegeelement angebrachten Elektroden 203b und 203d, kann dann beispielsweise mittels Laserdirektstrukturierung und anschließender außenstromlos chemischer Metallisierung erfolgen. Auf diese Weise kann die obere Gehäusehälfte 201a des Drucksensorgehäuses als ein hochintegriertes Bauelement mit optimierten Stückkosten ausgeführt werden.

Das Fügen der dargestellten oberen Hälfte des Drucksensorgehäuses 201a mit einer nicht dargestellten unteren Hälfte des Drucksensorgehäuses 201b kann auf verschiedene Arten erfolgen, so z.B. mittels Kleben oder mit einer abgedichteten Schraubverbindung. Grundsätzlich soll das in Fig. 4 gezeigte Ausführungsbeispiel

keinerlei Festlegung bezüglich der geometrischen Gestalt eines erfindungsgemäßen Drucksensors 200 oder einer Hälfte eines Drucksensorgehäuses 201a darstellen, vielmehr wird in Fig. 4 lediglich eine denkbare Möglichkeit der Fertigung einer Hälfte des Drucksensorgehäuses 201a gezeigt.

Zusammenfassend bleibt festzuhalten, dass die Messeinrichtung 100 in einer Vielzahl von Sensoren zum Einsatz kommen kann und keinesfalls nur auf den Einsatz innerhalb eines kapazitiven Drucksensors beschränkt ist. Denkbare weitere Einsatzmöglichkeiten sind beispielsweise kapazitive Beschleunigungssensoren, wobei eine veränderliche Kapazität des Beschleunigungssensors durch eine oder mehrere feststehende Elektroden und durch eine oder mehrere schwebend gelagerte Gegenelektroden gebildet werden kann. Weitere Einsatzmöglichkeiten sind beispielsweise kapazitive Kraftsensoren, wobei eine veränderliche Kapazität des Kraftsensors durch eine Elektrodenanordnung gebildet werden kann, die sich entweder unter Kraffteinwirkung verformt oder die mit einem sich verformenden Element derart gekoppelt ist, dass eine Verformung des gesamten Aufbaus unter Kraffteinwirkung zu einer Geometrieänderung der Kapazität der Messeinrichtung führt. Weitere Einsatzmöglichkeiten sind beispielsweise kapazitive Näherungssensoren, wobei eine veränderliche Kapazität eines Näherungssensors durch ein Elektrodenpaar gebildet werden kann, dessen Kapazität sich durch die Annäherung eines Elements ändert, beispielsweise weil das sich annähernde Element eine Dielektrizitätszahl ϵ_r aufweisen kann, welche sich von der Dielektrizitätszahl ϵ_r des Mediums welches die Kapazität des für sich betrachteten Elektrodenpaars bestimmt, unterscheiden kann. Weitere Einsatzmöglichkeiten sind beispielsweise induktive Wegmess-Sensoren, wobei eine veränderliche Induktivität innerhalb der Messeinrichtung durch eine Wicklung gebildet werden kann, deren Induktivität sich durch das Verschieben eines in der Windung befindlichen Elements ändern kann.

Schutzansprüche:

1. Messeinrichtung (100) zum Messen einer Messgröße, bestehend aus mindestens einer Kapazität (1) mit dem Wert C, mindestens einer Induktivität (2) mit dem Wert L und Verbindungsleitungen (3), die elektrisch so kontaktiert sind, dass sie einen elektrischen Schwingkreis (4) bilden, dessen Resonanzfrequenz ω mindestens durch die Werte C und L bestimmt wird, wobei die Resonanzfrequenz ω sich unter der Einwirkung der zu messenden Messgröße verändert.
2. Messeinrichtung (100) gemäß Anspruch 1, wobei die Kapazität (1) als veränderliche Kapazität ausgeführt ist und / oder die Induktivität (2) als veränderliche Induktivität ausgeführt ist.
3. Messeinrichtung (100) gemäß Anspruch 2, wobei die Kapazität (1) und / oder die Induktivität (2) so ausgebildet sind, dass sie ihren Wert aufgrund einer Veränderung einer zu bestimmenden Messgröße ändern.
4. Messeinrichtung (100) gemäß einem der Ansprüche 1 bis 3 , wobei die Messeinrichtung (100) folgendes Merkmal aufweist:
eine Auswerteeinrichtung (6), die so ausgebildet ist, dass sie die Resonanzfrequenz ω eines Schwingkreises (4) innerhalb der Messeinrichtung (100) bestimmen kann.
5. Messeinrichtung (100) gemäß Anspruch 4, wobei die Auswerteeinrichtung (6) so ausgebildet ist, dass sie die Resonanzfrequenz ω eines Schwingkreises (4) innerhalb der Messeinrichtung (100) berührungslos bestimmen kann
6. Messeinrichtung (100) gemäß Anspruch 5, wobei die Auswerteeinrichtung (6) einen Wechselspannungsgenerator (10) mit Primärwicklung (11) zur Erzeugung eines elektromagnetischen Wechselfeldes und eine Sekundärwicklung (12) mit einem Spannungsmessgerät (13) zum Messen des Einflusses des Schwingkreises (4) auf das elektromagnetische Wechselfeld enthält.

7. Messeinrichtung (100) gemäß Anspruch 6, wobei die Primärwicklung (11) und die Sekundärwicklung (12) eine Einheit bilden.
8. Messeinrichtung (100) gemäß einem der Ansprüche 4 bis 7, wobei die Auswerteeinrichtung (6) ausgebildet ist, um aus der ermittelten Resonanzfrequenz ω des Schwingkreises (4) auf die momentanen Werte C der Kapazität (1) und L der Induktivität (2) zu schließen.
9. Drucksensor (200),
bestehend aus einem Drucksensorgehäuse (201a, 201b) mit einem Druckeinlass (202) und einer Messeinrichtung (100) gemäß einem der Ansprüche 1 bis 8,
wobei eine Kapazität (1) der Messeinrichtung (100) als Plattenkondensator mit mindestens zwei Elektroden (203a, 203b) ausgebildet ist, deren Abstand d sich unter Einwirkung des Drucks ändert, welchen das Medium aufweist, das am Druckeinlass (202) angeschlossen ist.
10. Drucksensor (200) gemäß Anspruch 9, wobei der Drucksensor (200) folgendes Merkmal aufweist:
ein Einlegeelement (204) im Drucksensorgehäuse (201a, 201b), welches sich unter Einwirkung eines Drucks eines am Druckeinlass (202) angeschlossenen Mediums verformt.
11. Drucksensor (200) gemäß Anspruch 10, wobei eine Elektrode (203a) des Plattenkondensators fest im Drucksensorgehäuse (201a) positioniert ist und eine andere Elektrode (203b) des Plattenkondensators auf dem Einlegeelement (204) angebracht ist.
12. Drucksensor (200) gemäß einem der Ansprüche 10 und 11, wobei die Befestigung des Einlegeelements (204) im Drucksensorgehäuse (201a, 201b) derart ausgestaltet ist, dass ein Medium, welches am Druckeinlass (202) angeschlossen ist, nicht in einen Bereich (205) im Drucksensorgehäuse eindringen kann, welcher auf einer dem Medium abgewandten Seite des Einlegeelements (204) liegt.

13. Drucksensor (200) gemäß einem der Ansprüche 10 bis 12, wobei das Einlegeelement (204) so ausgebildet ist, dass es sich unter Einwirkung eines Drucks eines am Druckeinlass (202) angeschlossenen Mediums nur in bestimmten Bereichen (206a) verformt, wobei andere Bereiche des Einlegeelements (206b) keine Verformung erfahren.
14. Drucksensor (200) gemäß Anspruch 13, wobei das Einlegeelement (204) durch eine Metallmembran gebildet wird, welche in mindestens zwei unterschiedlichen Bereichen (206a, 206b) eine jeweils unterschiedliche Dicke aufweist.
15. Drucksensor (200) gemäß einem der Ansprüche 9 bis 14, wobei die Messeinrichtung (100) folgendes Merkmal aufweist:
mindestens ein weiteres Elektrodenpaar (203c, 203d), durch welches eine Kapazität gebildet wird, die sich unter Einwirkung eines Drucks eines Mediums, das am Druckeinlass (202) angeschlossen ist, nicht ändert.

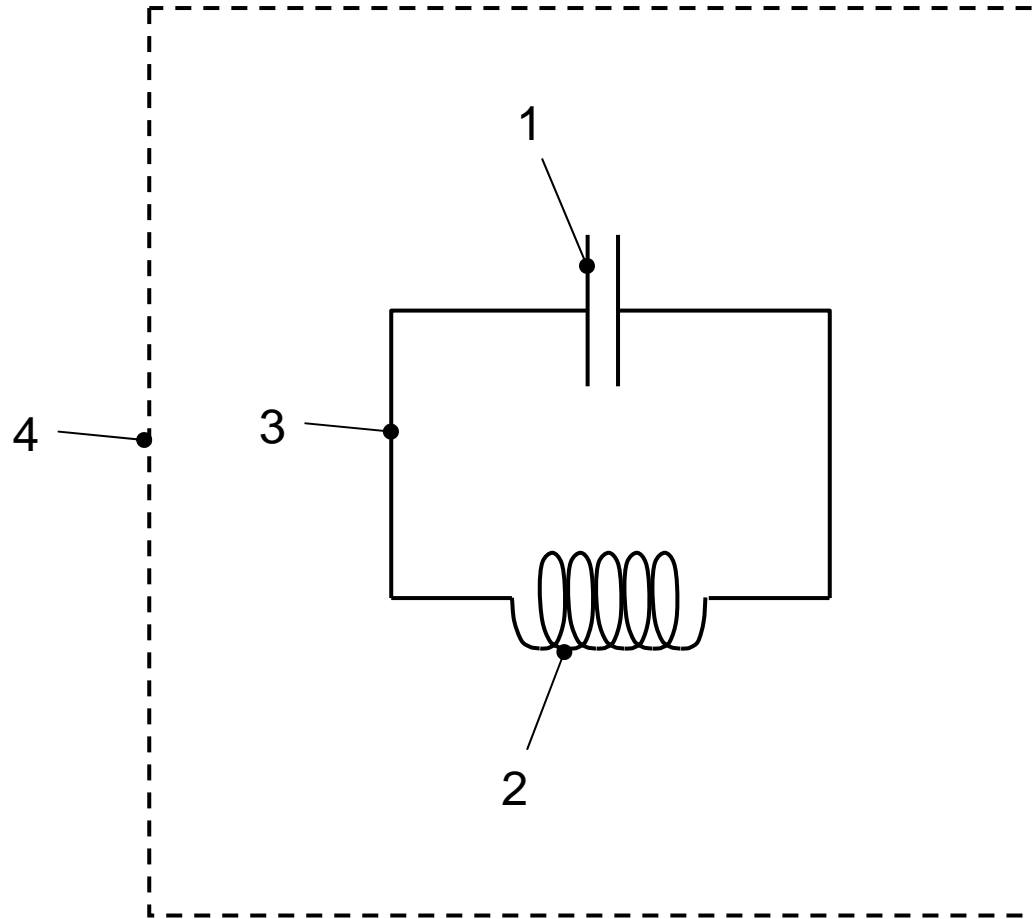


Fig. 1

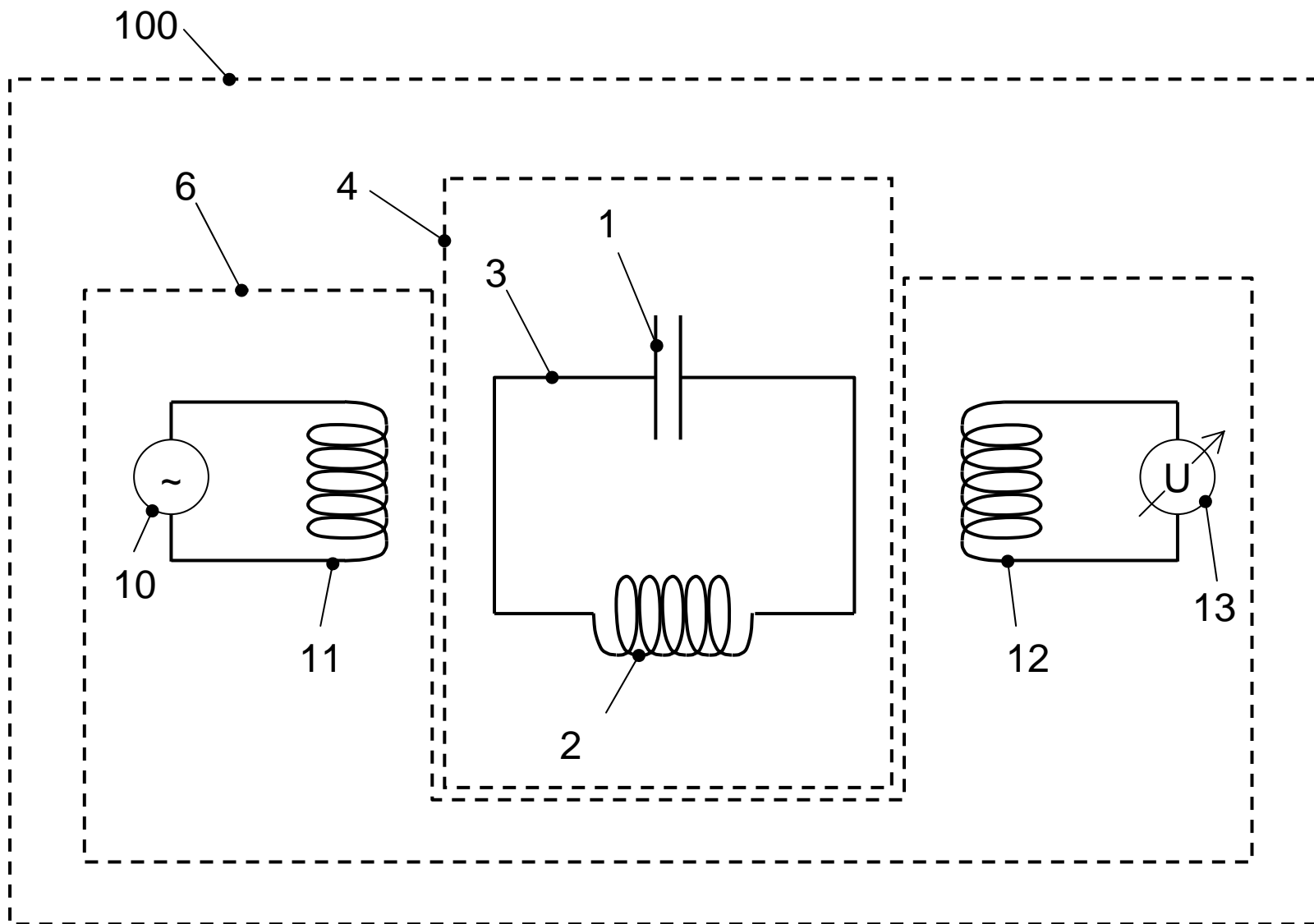


Fig. 2

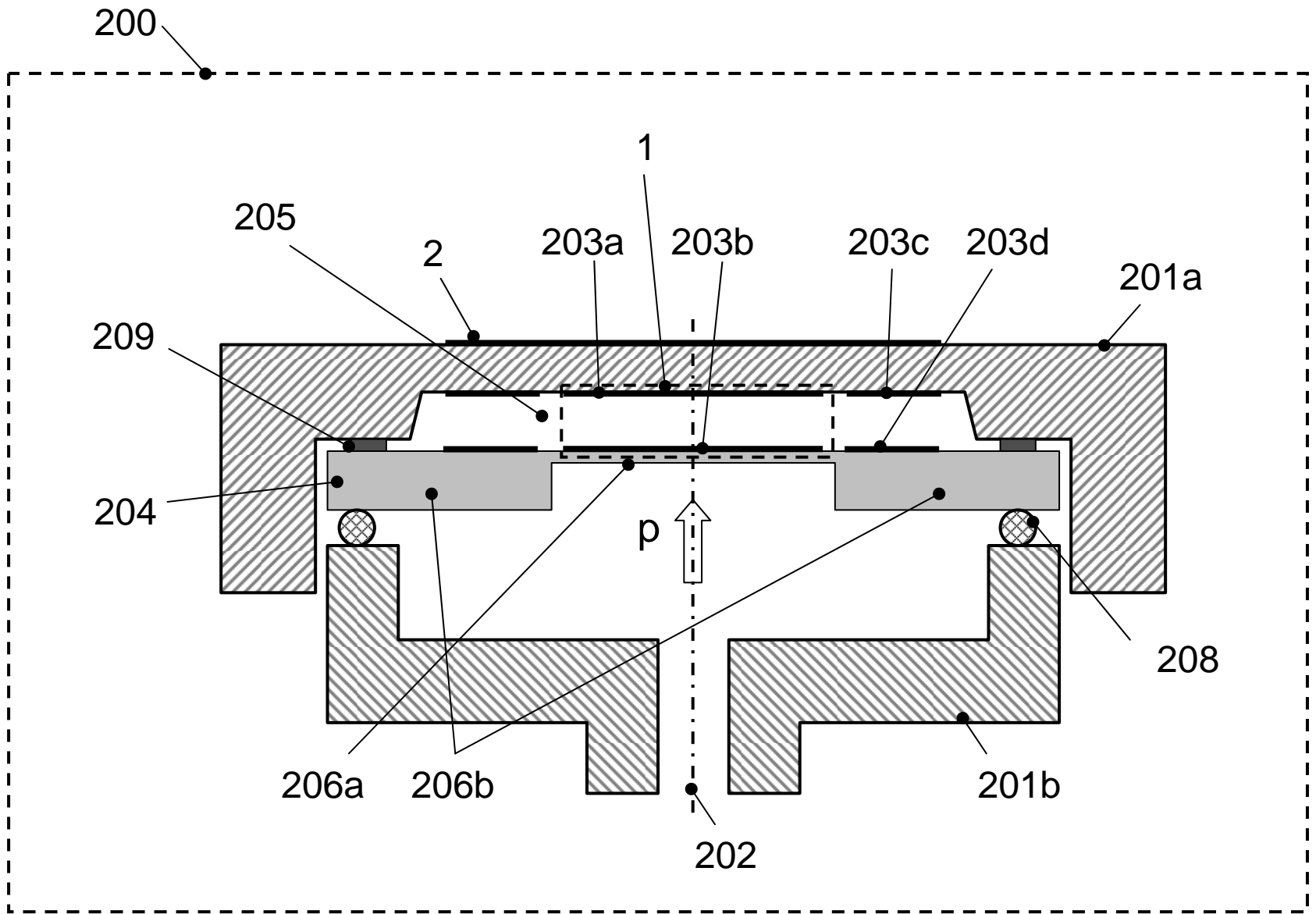


Fig. 3

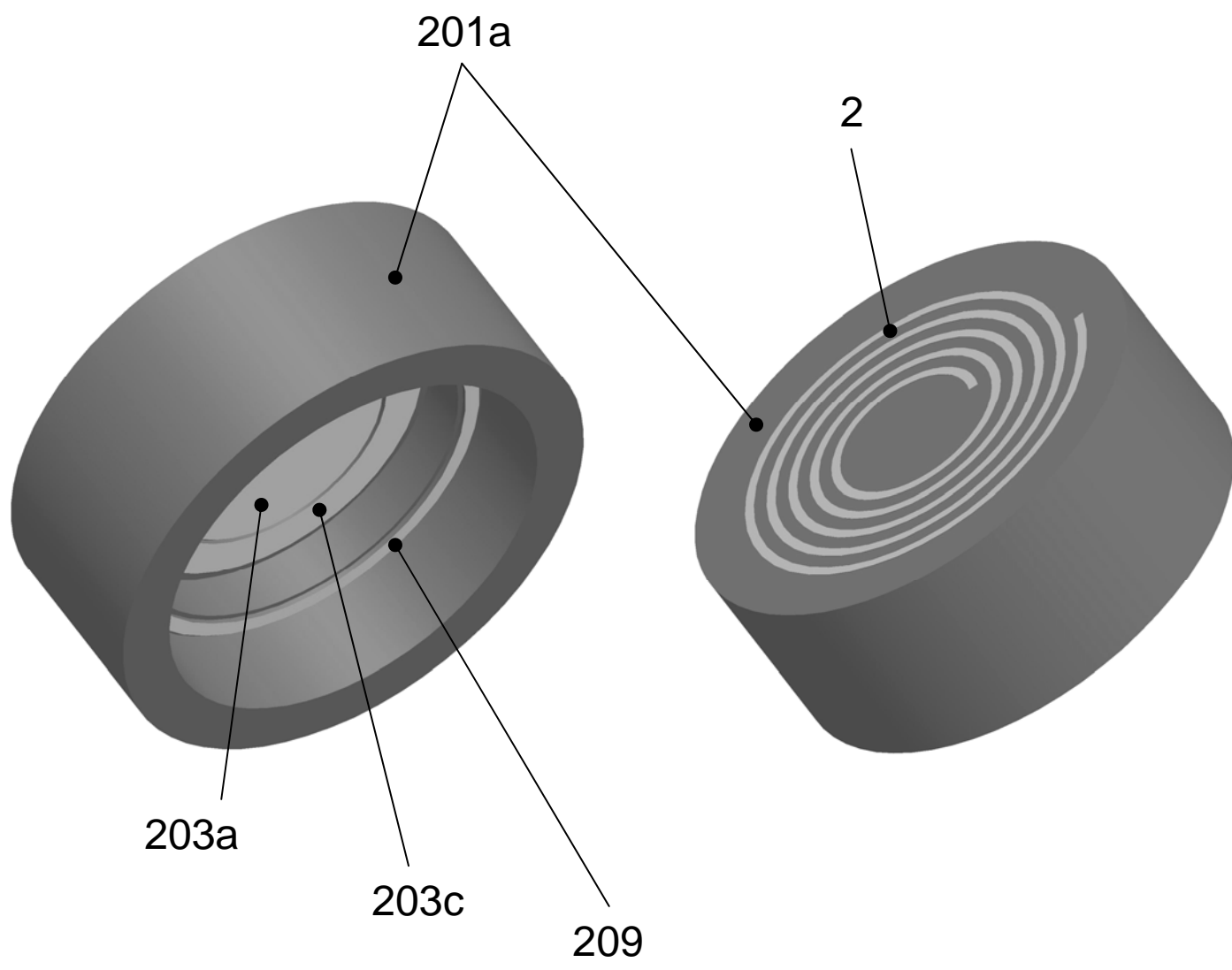


Fig. 4