



(19)  
**Bundesrepublik Deutschland**  
**Deutsches Patent- und Markenamt**

(10) **DE 10 2007 019 927 B3 2008.09.25**

(12)

## Patentschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2007 019 927.0**  
 (22) Anmeldetag: **27.04.2007**  
 (43) Offenlegungstag: –  
 (45) Veröffentlichungstag  
 der Patenterteilung: **25.09.2008**

(51) Int Cl.<sup>8</sup>: **G01P 5/10 (2006.01)**  
**G01F 1/68 (2006.01)**

Innerhalb von drei Monaten nach Veröffentlichung der Patenterteilung kann nach § 59 Patentgesetz gegen das Patent Einspruch erhoben werden. Der Einspruch ist schriftlich zu erklären und zu begründen. Innerhalb der Einspruchsfrist ist eine Einspruchsgebühr in Höhe von 200 Euro zu entrichten (§ 6 Patentkostengesetz in Verbindung mit der Anlage zu § 2 Abs. 1 Patentkostengesetz).

(73) Patentinhaber:  
**Forschungszentrum Dresden - Rossendorf e.V.,**  
**01328 Dresden, DE**

(56) Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht  
 gezogene Druckschriften:  
**DE 196 49 011 C2**  
**US2006/00 90 573 A1**  
**EP 13 87 150 A2**

(72) Erfinder:  
**Hampel, Uwe, 01324 Dresden, DE**

(54) Bezeichnung: **Anordnung zur zweidimensionalen Messung des Geschwindigkeitsfeldes in Strömungen**

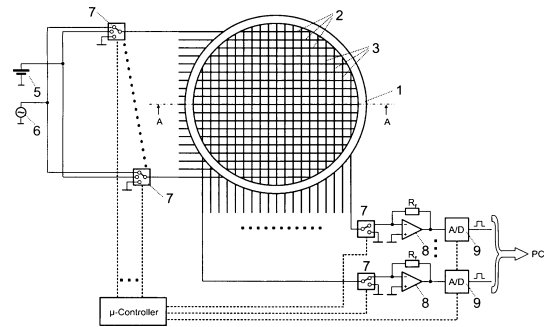
(57) Zusammenfassung: Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es, eine Anordnung zur Messung der Geschwindigkeitsverteilung in einem Messquerschnitt anzugeben, mit der vor allem Flüssigkeits- oder Gasströmungen untersucht werden können und die über ein möglichst effizientes elektronisches Anregungs- und Messschema verfügt.

Der Kern der Erfindung ist die Verwendung und Modifizierung eines Gittersensors, bei dem

- die Anregungselektroden (2) und die Empfängerelektroden (3) in jedem Kreuzungspunkt des Gitters durch einen Festkörper mit temperaturabhängigem ohmschen Widerstand, dem Heizelement (4), elektrisch miteinander verbunden sind,

- die zugeordnete Messelektronik, zusätzlich zu der den Anregungselektroden (2) vorgeschalteten Heizspannungsquelle (5), über eine den Anregungselektroden (2) vorgeschaltete Messspannungsquelle (6) verfügt und

- jede Anregungselektrode (2) mit einem dreipoligen Analogschalter (7) verbunden ist, der die Elektrode wahlweise mit der Heizspannungsquelle (5), der Messspannungsquelle (6) oder Massepotenzial verbindet, sowie jede Empfängerelektrode (3) mit einem Analogschalter (7) verbunden ist, der die Empfängerelektrode (3) wahlweise mit einem festen Bezugspotenzial (zum Beispiel Masse-Potenzial) oder einem Strom-Spannungs-Wandler (8) verbindet.



**Beschreibung**

**[0001]** Die Erfindung betrifft eine Anordnung zur zweidimensionalen Messung des Geschwindigkeitsfeldes in Strömungen. Die Anordnung ermöglicht Messungen in freien Strömungsquerschnitten sowie auf Oberflächen von Festkörpern. Anwendungsgebiete sind die Untersuchung von Gas- und Flüssigkeitsströmungen.

**[0002]** Zur Messung von Geschwindigkeitsfeldern in Strömungen existieren eine Reihe von allgemein bekannten Messverfahren. Zu diesen zählen Laser-Doppler-Messverfahren (LDA, PDPA), Ultraschall-Doppler-Messverfahren, Particle Imaging Velocimetry (PIV), videometrische Partikel Tracking Verfahren (VPT), Computer Aided Radioactive Particle Tracking (CARPT), Positron-Emission-Particle-Tracking (PEPT), sowie multiple Anordnungen lokaler Geschwindigkeitssonden, bestehend zum Beispiel aus Hitzedrahtanemometer-Sonden, Hitzefilmanemometer-Sonden oder optischen Sonden. Jedes dieser Verfahren hat bestimmte Vor- und Nachteile, die den Bereich möglicher Anwendungen festlegen. Optische Messverfahren, wie LDA, PDPA, PIV und VPT erfordern einen optischen Zugang zur Strömung sowie optisch klare Fluide, die mit einer ausreichenden Anzahl kleiner auftriebsneutraler Tracerpartikel beladen sein müssen. Ultraschall-Doppler-Messverfahren benötigen eine gewisse Messstrecke zur Bestimmung der Dopplerverschiebung. Daher ist es schwierig, mit US-Doppler-Messung Geschwindigkeitsfelder zu ermitteln. Weiterhin sind Ultraschallsensoren nicht für höhere Betriebstemperaturen geeignet, womit eine Anwendung in heißen Strömungen kaum möglich ist. Radioaktive Messverfahren (CARPT, PEPT) erfordern den Umgang mit offenen radioaktiven Quellen und sind daher aufgrund der damit verbundenen Strahlenschutzmaßnahmen aufwändig und nicht überall einsetzbar. In jüngster Zeit erfahren Anordnungen mit multiplen Sonden auf Basis traditioneller Strömungsgeschwindigkeitssensoren mit dem Aufkommen neuer Mikrofertigungstechnologien (MEMS) verstärktes Interesse. Hitzedraht- und Hitzefilmanemometer-Sensoren lassen sich sehr robust aufbauen und sind damit für den Einsatz in extremen Umgebungen (zum Beispiel heiße Gasströmungen, Hochdruckanwendungen, chemisch aggressive Stoffe) geeignet. EP 1 387 150 A2 beschreibt eine Anordnung zur zweidimensionalen Strömungsmessung, bei der die Anordnung aus einer Vielzahl von Heizelementen im Strömungsquerschnitt und einer Messelektronik besteht. DE 196 49 011 C2 und US 2006/0090573 A1 beschreiben Gitter von drahtförmigen elektrischen Leitern innerhalb eines Sensorrahmens. Nachteilig an den bekannten Anordnungen zur Erfassung von Geschwindigkeitsverteilungen mit Hitzedraht- oder Hitzefilmanemometer-Sensoren ist der für den gleichzeitigen Betrieb derartiger Sensoren an verschiedenen Messorten er-

forderliche Verdrahtungsaufwand.

**[0003]** Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es, eine Anordnung zur Messung der Geschwindigkeitsverteilung in einem Messquerschnitt anzugeben, mit der vor allem Flüssigkeits- oder Gasströmungen untersucht werden können und die über ein möglichst effizientes elektronisches Anregungs- und Messschema verfügt.

**[0004]** Die Aufgabe wird durch die Merkmale des Anspruchs 1 gelöst. Ausgestaltungen der Erfindung sind in den Unteransprüchen ausgeführt.

**[0005]** Die Erfindung wird nachfolgend anhand eines Ausführungsbeispiels näher erläutert.

**[0006]** In den zugehörigen Zeichnungen zeigen:

**[0007]** [Fig. 1](#) das Prinzip der Anordnung in der Draufsicht,

**[0008]** [Fig. 2](#) den Schnitt A-A nach [Fig. 1](#), ergänzt um ein Verbindungsdetail und

**[0009]** [Fig. 3](#) das Prinzip der Anordnung in der Draufsicht mit alternativer elektronischer Beschaltung.

**[0010]** Die Anordnung besteht aus einem Gitter von draht- oder stabförmigen elektrischen Leitern, die in einem Sensorrahmen (1) gegeneinander und gegen das Erdpotenzial isoliert befestigt und in mindestens zwei in geringem axialen Abstand zueinander liegenden Ebenen angeordnet sind, sowie einer zugeordneten Messelektronik. Auf Grund ihrer elektrischen Funktion werden die elektrischen Leiter der einen Gitterebene im Folgenden als Anregungselektroden (2) bezeichnet, die elektrischen Leiter der zweiten Gitterebene als Empfängerelektroden (3). Die Anregungselektroden (2) und Empfängerelektroden (3) laufen jeweils innerhalb einer Ebene in einem geringen Abstand parallel zueinander. In der Draufsicht bilden die  $2 \times N$  Leiter der beiden Gitterebenen ein Gitter mit  $N \times N$  Kreuzungspunkten, wobei die Anregungs- (2) und die Empfängerelektroden (3) unter einem Winkel größer  $0^\circ$  gegeneinander orientiert sind. In den Kreuzungspunkten des Leitergitters sind die jeweiligen Elektrodenpaare durch einen temperaturabhängigen elektrischen Widerstand, das Heizelement (4), dargestellt in [Fig. 2](#), verbunden. Das Heizelement (4) sollte neben seinen thermoelektrischen Eigenschaften einer möglichst steilen Temperaturabhängigkeit und eines Widerstandswertes im Bereich einiger Ohm über eine Form verfügen, die die zu untersuchende Strömung möglichst wenig beeinflusst. Vorteilhaft ist ein dünner zylindrischer Körper eines Leitermaterials wie Platin, Titan, Wolfram oder Legierungen, der in den Gitterkreuzungspunkten elektrisch mit den Anregungselektroden (2) und Empfängere-

lektroden (3) verbunden ist, oder ein elektrisch nicht leitfähiger Festkörper, zum Beispiel ein Keramiksubstrat, auf dem ein Widerstandselement in Dünn- oder Dickschichttechnik aufgebracht ist, welches dann wieder über entsprechende elektrische Kontakte mit den Anregungselektroden (2) und Empfängerelektroden (3) verbunden ist.

**[0011]** Das Prinzip der Hitzeelementanemometrie erfordert es, das Hitzeelement (4) mittels eines elektrischen Stroms zu erwärmen und die konvektive Kühlung des Elements durch das Umgebungsmedium durch Messung des ohmschen Widerstandes des Hitzeelementes (4) zu bestimmen. Dies ist für die Erfindung auf verschiedenen Wegen möglich. Mögliche Schaltungsvarianten dazu sind schematisch in den [Fig. 1](#) bis [Fig. 3](#) dargestellt.

**[0012]** Bei der in [Fig. 1](#) dargestellten Schaltungsvariante werden mittels der dreipoligen Analogschalter (7), die von einem Mikrocontroller gesteuert werden, nach einem definierten Messschema jeweils kurzzeitig Spannungen an den Hitzeelementen (4) angelegt. Nach dem Messschema werden dabei zunächst jeweils N-1 der N Anregungselektroden (2) auf Massepotential gelegt, wobei die Empfängerelektroden (3) mittels der den Empfängerelektroden (3) nachgeschalteten Analogschalter (7) alle mit Massepotential verbunden werden. Die verbleibende Anregungselektrode, fortan als aktive Anregungselektrode bezeichnet, wird kurzzeitig mit der Spannung der Heizspannungsquelle (5) beaufschlagt, wodurch ein Heizstrom durch die mit der aktiven Anregungselektrode (2) verbundenen Hitzeelemente (4) fließt. Die Hitzeelemente (4) werden dadurch erwärmt. Nach einer vorgegebenen Zeitspanne wird mittels Umschaltens des der aktiven Anregungselektrode vorgeschalteten Analogschalters (7) die Messspannung der Messspannungsquelle (6) an die aktiven Anregungselektroden (2) angelegt. Gleichzeitig werden die den Empfängerelektroden (3) nachgeschalteten Analogschalter (7) so geschaltet, dass die Empfängerelektroden (3) direkt mit den Eingängen der Strom-Spannungs-Wandler (8) verbunden sind. Der durch ein mit der aktiven Anregungselektrode verbundenes Hitzeelement (4) zum Strom-Spannungs-Wandler (8) fließende Gleich- oder Wechselstrom wird dann am Strom-Spannungs-Wandler (8) in ein Spannungssignal gewandelt und durch die nachgeschalteten Analog-Digital-Wandler (9) in ein digitales Signal konvertiert, welches anschließend durch einen Rechner weiterverarbeitet werden kann. Auf Grund des virtuellen inneren Kurzschlusses des Strom-Spannungs-Wandlers (8) spielen die parallelen Impedanzen der anderen Hitzeelemente (4) keine Rolle. Der ohmsche Widerstand  $R_{HE}$  des Hitzeelementes (4) bestimmt sich aus dem Quotienten der Anregungsspannung  $U_A$  und des fließenden Stromes durch den Empfängerdraht. Mit der gemessenen Ausgangsspannung am Strom-Spannungs-Wandler (8)  $U_T$  ergibt

sich der ohmsche Widerstand  $R_{HE}$  des Hitzeelementes (4) zu

$$R_{HE} = \frac{U_A}{I_E} = R_F \frac{U_A}{U_T},$$

wobei  $R_F$  den Rückkopplungswiderstand am Strom-Spannungs-Wandler bezeichnet. Der ohmsche Widerstand des Hitzeelementes (4)  $R_{HE}$  steht in bekannter Beziehung zur Temperatur  $T_{HE}$  des Hitzeelementes (4). Diese wiederum ist eine Funktion verschiedener Stoffparameter des Hitzeelementes (4) und des Umgebungsmediums (Wärmeleitfähigkeit, Wärmekapazität, Wärmeübergangswiderstand) sowie der Strömungsgeschwindigkeit am Hitzeelement (4). Da der letztere Zusammenhang im Allgemeinen komplex und nichtlinear ist, muss der Sensor entsprechend kalibriert werden, um vom temperaturabhängigen Widerstand  $R_{HE}$  auf die Strömungsgeschwindigkeit zurück zu rechnen.

**[0013]** Ein besonderer Vorteil der Anordnung besteht darin, dass durch die Trennung von Heizspannungsquelle (5) und Messspannungsquelle (6) sowie das Abschalten der Strom-Spannungs-Wandler (8) während der Heizperiode eine deutlich höhere Heizleistung aufgebracht werden kann, ohne dass der Rückkoppelwiderstand  $R_F$  des Strom-Spannungs-Wandlers (8) den Stromfluss durch das Hitzeelement (4) begrenzt.

**[0014]** [Fig. 3](#) zeigt eine Schaltungsvariante bei der, anders als in [Fig. 1](#), die Hitzeelemente (4) mit einem kontinuierlichen Heizstrom betrieben werden. Der Heizstrom wird als Gleichstrom bzw. niederfrequenter Wechselstrom durch die Heizspannungsquelle (5) erzeugt und durchfließt die Induktivitäten  $L_A$  der Anregungsseite und  $L_E$  der Empfängerseite. Die Messung des ohmschen Widerstandes der Hitzeelemente (4) erfolgt parallel durch Anlegen einer hochfrequenten Wechselspannung der separaten Messspannungsquelle (6) an jeweils eine Anregungselektrode (2) über den Koppelkondensator  $C_A$  und Messung des Wechselstromes durch jeweils ein Hitzeelement (4) und einen der Koppelkondensatoren  $C_E$  mittels Strom-Spannungs-Wandler (8).

**[0015]** Bei den vorgeschlagenen Anordnungen ist zu berücksichtigen, ob durch das Untersuchungsmedium ein Stromfluss zwischen den Anregungselektroden (2) und Empfängerelektroden (3) außerhalb des Hitzeelementes (4) möglich ist. Dies kann etwa bei Kontakt des Sensorgitters mit leitfähigen Fluiden oder metallischen Oberflächen der Fall sein. In einem solchen Fall müssen alle leitfähigen Oberflächen des Sensors mit einer elektrisch isolierenden Schutzschicht überzogen werden.

## Bezugszeichenliste

1	Sensorrahmen
2	Anregungselektrode
3	Empfängerelektrode
4	Hitzelement
5	Heizspannungsquelle
6	Messspannungsquelle
7	Analogschalter
8	Strom-Spannungs-Wandler
9	Analog-Digital-Wandler

## Patentansprüche

1. Anordnung zur zweidimensionalen Messung des Geschwindigkeitsfeldes in Strömungen, bestehend aus

– einer Vielzahl von Hitzelementen (4), die im Querschnitt einer Strömung entsprechend der Messanforderung verteilt sind und

– einer zugeordneten Messelektronik, bestehend aus einer Heizspannungsquelle (5), zum Erzeugen des Heizstromes durch das Hitzelement, Strom-Spannungs-Wandlern (8) und Analog-Digital-Wandlern (9),

**dadurch gekennzeichnet**, dass

– ein Gitter von draht- oder stabförmigen elektrischen Leitern, die innerhalb eines Sensorrahmens (1) elektrisch gegeneinander und gegen das Erdpotenzial isoliert in zwei koplanaren Ebenen im Abstand von wenigen Millimetern aufgespannt sind, wobei die elektrischen Leiter der einen Ebene als Anregungselektroden (2) dienen und parallel zueinander orientiert sind, die elektrischen Leiter der anderen Ebene als Empfängerelektroden (3) dienen und ebenfalls parallel zueinander orientiert sind, sowie die Anregungselektroden (2) in einem Winkel größer  $0^\circ$  zu den Empfängerelektroden (3) orientiert sind und somit in der Draufsicht ein Gitter von Kreuzungspunkten bilden,

– die Anregungselektroden (2) und die Empfängerelektroden (3) in jedem Kreuzungspunkt des Gitters durch einen Festkörper mit temperaturabhängem ohmschen Widerstand, dem Hitzelement (4), elektrisch miteinander verbunden sind,

– die zugeordnete Messelektronik, zusätzlich zu den Anregungselektroden (2) vorgeschalteten Heizspannungsquelle (5), über eine den Anregungselektroden (2) vorgeschaltete Messspannungsquelle (6) verfügt,

– jede Anregungselektrode (2) mit einem dreipoligen Analogschalter (7) verbunden ist, der die Anregungselektrode wahlweise mit der Heizspannungsquelle (5), der Messspannungsquelle (6) oder Massepotenzial verbindet,

– jede Empfängerelektrode (3) mit einem Analogschalter (7) verbunden ist, der die Empfängerelektrode (3) wahlweise mit einem festen Bezugspotenzial (zum Beispiel Masse-Potenzial) oder einem Strom-Spannungs-Wandler (8) verbindet,

– die Strom-Spannungs-Wandler (8) mit jeweils einem Analog-Digital-Wandler (9) verbunden sind,  
– die Analog-Digital-Wandler (9) über eine I/O-Schnittstelle mit einem Mess-PC zur Datenerfassung und -verarbeitung verbunden sind.

2. Anordnung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass jede Anregungselektrode (2) über eine Induktivität  $L_A$  mit der Heizspannungsquelle (5) verbunden ist, sowie jede Empfängerelektrode (3) über eine Induktivität  $L_E$  mit einem gegebenen Potenzial (zum Beispiel Masse-Potenzial) verbunden ist, so dass durch die Induktivitäten  $L_A$  und  $L_E$  sowie das Hitzelement (4) ein kontinuierlicher Heizstrom fließt, und jede Anregungselektrode (2) über einen Koppelkondensator  $C_A$  mit einer schaltbaren Messspannungsquelle (6) verbunden ist und die Empfängerelektroden (3) zur Messung des ohmschen Widerstandes des Hitzelements (4) über Koppelkondensatoren  $C_E$  mit den Strom-Spannungs-Wandlern (8) verbunden sind.

3. Anordnung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass alle elektrisch leitfähigen Oberflächen des Gitters mittels einer elektrisch isolierenden Schutzschicht vom Umgebungsmedium isoliert sind.

Es folgen 2 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

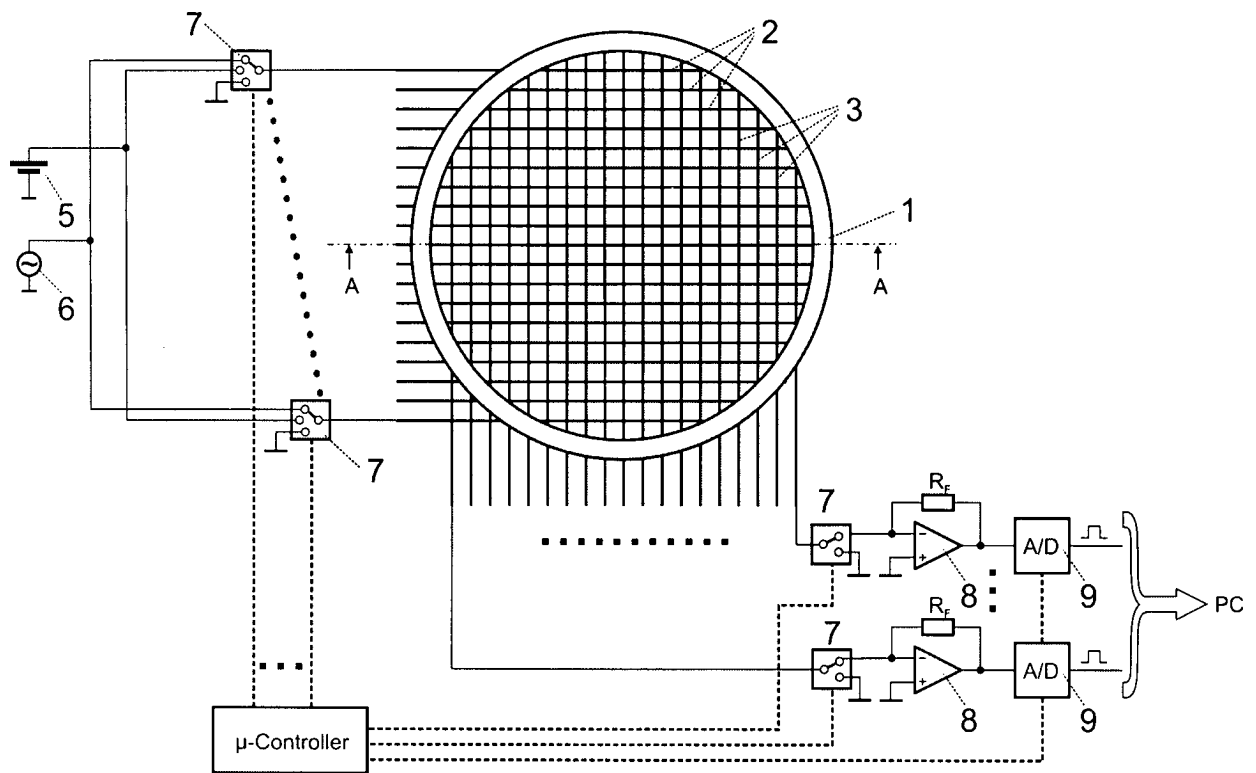


Fig. 1

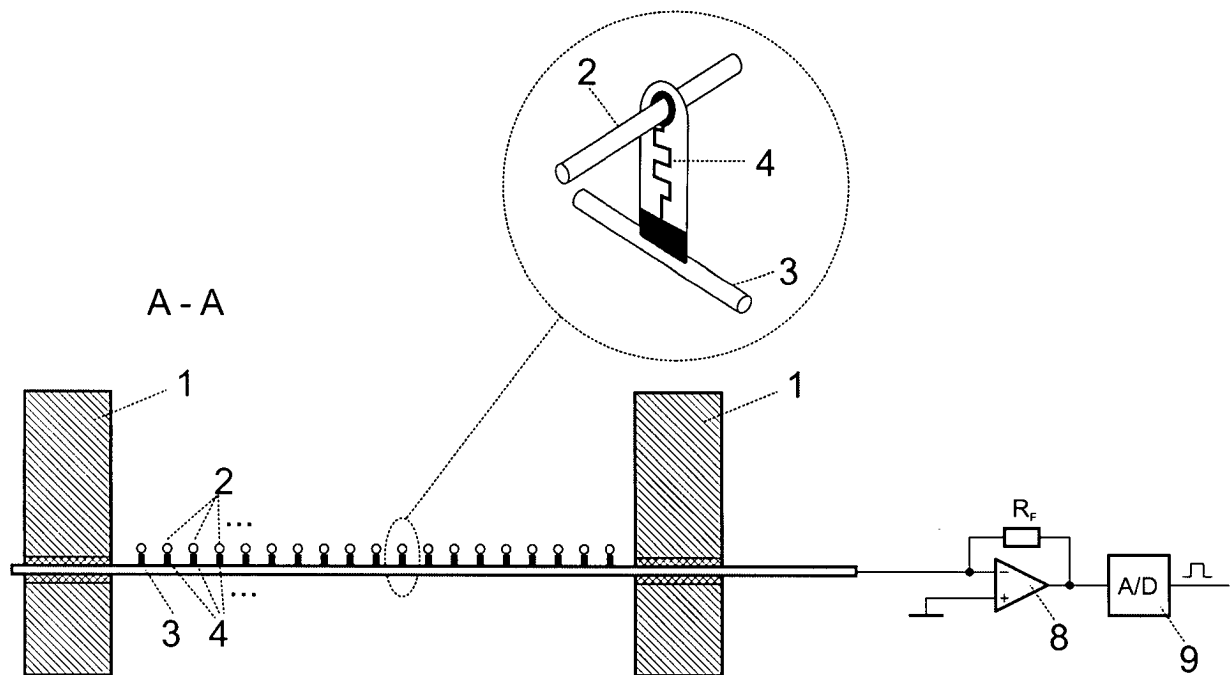


Fig. 2

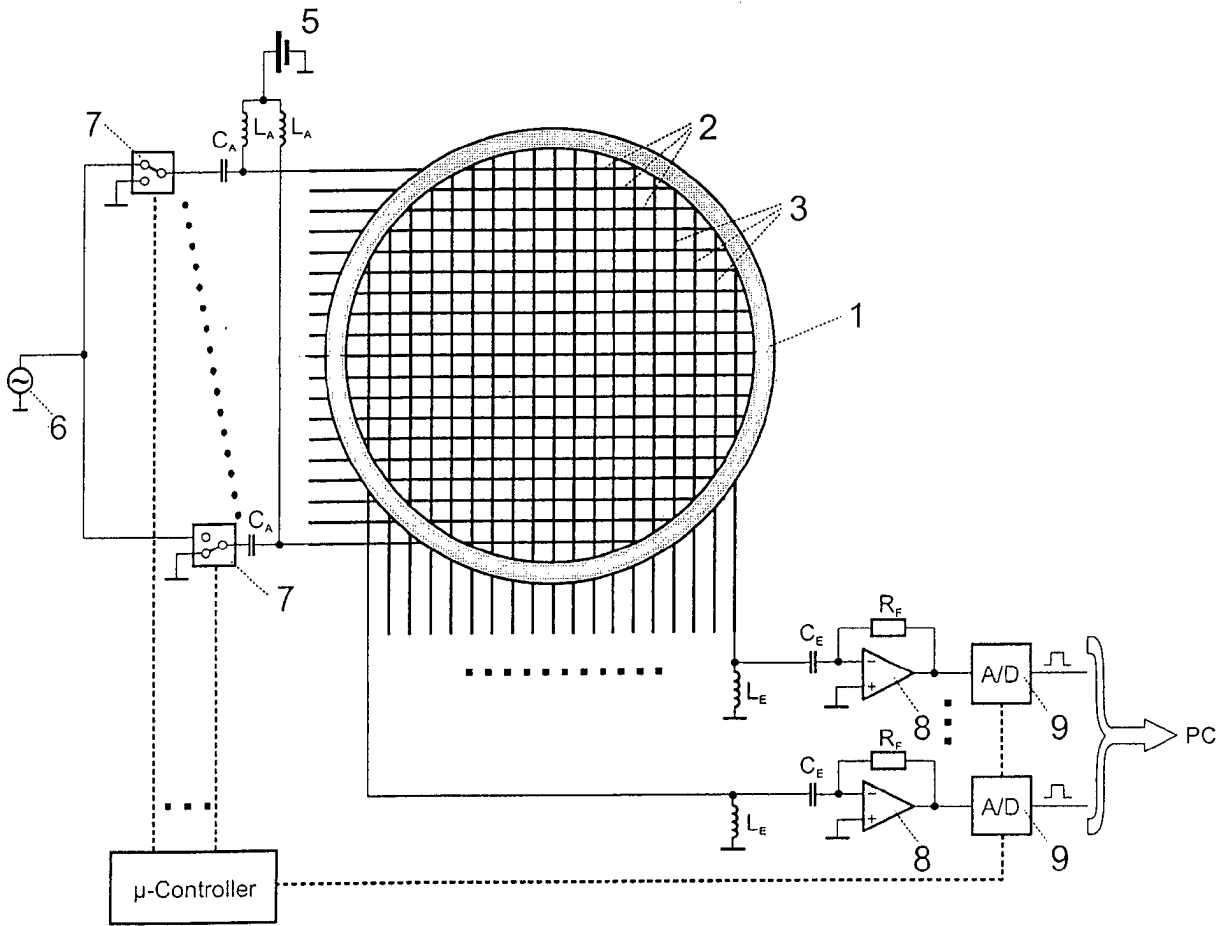


Fig. 3