

①⑨ **BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND**



**DEUTSCHES
PATENTAMT**

⑫ **Offenlegungsschrift**
⑩ **DE 196 49 011 A1**

⑤① Int. Cl.⁶:
G 01 N 27/07
// G 01 R 27/22

②① Aktenzeichen: 196 49 011.1
②② Anmeldetag: 27. 11. 96
④③ Offenlegungstag: 28. 5. 98

⑦① Anmelder:

Forschungszentrum Rossendorf eV,
01474 Schönfeld-Weißig, DE

⑦② Erfinder:

Prasser, Horst-Michael, Dr., 01324 Dresden, DE;
Zschau, Jochen, Dr., 01324 Dresden, DE; Böttger,
Arnd, 01279 Dresden, DE

⑤⑥ Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht
zu ziehende Druckschriften:

DD 2 82 376 A7

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

⑤④ Gittersensor zur Bestimmung der Leitfähigkeitsverteilung in strömenden Medien sowie Verfahren zur Gewinnung der Meßsignale

⑤⑦ Die Erfindung betrifft eine Meßanordnung zur Messung der Leitfähigkeitsverteilung in Flüssigkeiten bzw. Mehrphasenmedien mit beliebiger Strömungsrichtung insbesondere für den Einsatz in der Verfahrens- und Kraftwerkstechnik, wobei die elektrische Leitfähigkeit vorwiegend als Maß für weitere physikalische oder chemische Eigenschaften (z.B. volumetrischer Gasanteil, Konzentration, Stoffart, usw.) der Flüssigkeit oder als Indikator für die Phasenverteilung über den Meßquerschnitt eines Mehrphasenmediums dient.

Mit der Erfindung wird ein Gittersensor vorgestellt, in dem die Elektroden in Form von elektrisch leitfähigen Gitterstäben bzw. Drähten in zwei oder drei Ebenen parallel zueinander angeordnet und sowohl gegenüber ihrer Halterung als auch gegeneinander elektrisch isoliert sind. Erfindungsgemäß sind die Elektroden der einzelnen Ebenen zueinander in einem Winkel von vorzugsweise 90° angeordnet. Eine der Ebenen, im Fall von drei Ebenen die mittlere, ist dabei als Erregerebene mit einem Impulsgenerator verbunden, während die weitere(n) Ebene(n) als Empfängerebene(n) mit einer Auswertelektronik gekoppelt ist (sind). Bezüglich des Verfahrens zur Signalgewinnung besteht die Erfindung darin, daß die Elektroden der Erregerebene nacheinander mit einem symmetrischen bipolaren Rechteckimpuls angesteuert werden, wobei alle nicht angesteuerten Elektroden niederohmig mit Nullpotential verbunden sind. Die Bestimmung der örtlichen Leitfähigkeit erfolgt in unmittelbarer Umgebung...

Die Erfindung betrifft eine Meßanordnung zur Messung der Leitfähigkeitsverteilung in Flüssigkeiten bzw. Mehrphasenmedien mit beliebiger Strömungsrichtung insbesondere für den Einsatz in der Verfahrens- und Kraftwerkstechnik, wobei die elektrische Leitfähigkeit vorwiegend als Maß für weitere physikalische oder chemische Eigenschaften (z.B. volumetrischer Gasanteil, Konzentration, Stoffart, usw.) der Flüssigkeit oder als Indikator für die Phasenverteilung über den Meßquerschnitt eines Mehrphasenmediums dient.

Für die Bestimmung der Eigenschaften von Flüssigkeiten und Mehrphasengemischen, z.B. des volumetrischen Gasanteils, wird verbreitet die Messung der elektrischen Leitfähigkeit verwendet. Dazu wird sowohl Gleich- als auch Wechselspannungsanregung des zu messenden Mediums eingesetzt, die Auswertung erfolgt durch Bestimmung des rein ohmschen bzw. komplexen Widerstandes. Vorzugsweise werden dazu sowohl bei Laboreinrichtungen als auch bei großtechnischen Anwendungen draht- oder flächenförmige Elektroden, die parallel oder konzentrisch angeordnet sind, in das zu messende Medium eingebracht. Die Leitfähigkeit wird dann lokal z.B. mit Nadelsonden [DE-PS 32 01 799] oder integral zwischen flächenförmigen Elektroden [DE-PS 40 41 160] gemessen. Zur Bestimmung der Verteilung der lokalen elektrischen Leitfähigkeit über einen Querschnitt sind diese Methoden wenig geeignet.

Für die Bestimmung der Eigenschaftsverteilung von Flüssigkeiten oder Mehrphasensystemen über einen bestimmten Querschnitt werden daher häufig tomographische Meßmethoden eingesetzt. Neben dem Einsatz von Licht- oder Teilchenstrahlung mit interferometrischen bzw. holographischen Auswertemethoden hat sich besonders die Anwendung elektrischer Tomographieverfahren unter Einbeziehung sowohl von elektrischen Leitfähigkeitsmessungen als auch kapazitiven Meßmethoden bewährt. Neben berührungslosen Verfahren mit Elektroden am Rand des Strömungskanals haben sich Methoden etabliert, bei denen Elektroden gitterförmig quer zur Strömungsrichtung des Mediums (sogenannte Wire-Mesh-Sensoren) angeordnet werden.

Bei einem an der Universität Hannover entwickelten Verfahren [M. Boden, N. Reinecke, D. Mewes: „Measurement of two-dimensional phase distributions using a wire-mesh sensor“, Proc. ECAPT, Oporto, Portugal, 1994 pp.155-162] werden parallele Drähte in drei Ebenen senkrecht zur Strömungsrichtung des Mediums in dem zu messenden Querschnitt angeordnet und sequentiell immer die Leitfähigkeit zwischen zwei parallelen benachbarten Drähten einer Ebene gemessen. Die Drähte benachbarter Ebenen verlaufen zueinander in einem Winkel von 60°. Nach Ausführung aller Messungen zwischen je zwei parallelen benachbarten Drähten aller drei Ebenen liegen die Projektionen der Leitfähigkeitsverteilung in den drei, durch die Orientierung des Drahtgitters vorgegebenen Richtungen vor. Daraus wird die elektrische Leitfähigkeitsverteilung mittels eines umfangreichen tomographischen Rekonstruktionsalgorithmus ermittelt. Die mathematische Nachberechnung der Meßergebnisse schränkt die praktische Handhabbarkeit der Anzahl der Drähte und die erreichbare Frequenz zur Bestimmung von Leitfähigkeitsverteilungen über einen bestimmten Querschnitt stark ein.

Der vorliegenden Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, die Messung der Verteilung der Leitfähigkeit des Strömungsmediums mit Hilfe von Gittersensoren ohne den Einsatz von tomographischen Rekonstruktionsalgorithmen zu bestimmen.

Erfindungsgemäß wird diese Aufgabe mit den in den Pa-

tentansprüchen dargestellten technischen Mitteln gelöst.

Mit der Erfindung ist die Messung der Verteilung der elektrischen Leitfähigkeit des Strömungsmediums innerhalb des vom Gittersensor begrenzten Querschnitts mit hoher Auflösung und Meßfolge möglich. Die erhaltenen Meßwerte repräsentieren die lokalen Leitfähigkeitswerte direkt und erfordern keine zusätzliche Nachberechnung mittels tomographischen Rekonstruktionsalgorithmen. Hierfür ist ein Gittersensor mit mindestens zwei Elektrodenebenen erforderlich. Mit einer Dreiebenenanordnung ist zusätzlich die Verfolgung der Bewegung von Inhomogenitäten im Strömungsmedium, die sich in der Änderung der Leitfähigkeit manifestieren, in Strömungsrichtung möglich. Für den Fall einer Zweiphasenströmung kann so die Messung der Geschwindigkeit von Gaspartikeln vorgenommen werden.

Mit einer Reihenschaltung von mehreren Dreiebenenanordnung läßt sich der zu betrachtende Volumenabschnitt beliebig erweitern.

Zum besseren Verständnis wird die Erfindung nachfolgend anhand von Ausführungsbeispielen näher erläutert.

Für Erprobungszwecke wurde ein Zweiebenen-Gittersensor für eine Rohrleitung mit 50 mm Nennweite mit 16 Konstantan-Drähten je Ebene von $d = 0,15$ mm Durchmesser gebaut. Der Sensorkörper besteht aus V2A und die Drähte wurden mit temperaturbeständigem Epoxidharz isoliert und gespannt im Grundkörper montiert.

Für den industrienahen Einsatz wurde ein Zweiebenen-Sensor mit 8 stabförmigen Elektroden je Ebene für eine Rohrleitung von 50 mm Nennweite sowie ein Zweiebenen-Sensor mit 16 Elektroden je Ebene für eine Rohrleitung von 100 mm Nennweite gebaut. Diese Sensoren besitzen zur Verringerung des Strömungswiderstandes und aus Festigkeitsgründen linsenförmig profilierte V2A-Gitterstäbe als Elektroden mit 1,5 mm Profilstärke und 5 mm -länge. Der Sensorgrundkörper besteht aus elektrisch leitfähigem Material (V2A).

Zur Ansteuerung und Auswertung dieser Gittersensoren werden nachfolgende elektronische Funktionsgruppen eingesetzt. Dies sind im einzelnen

- Erregerspannungserzeugung und -ansteuerung,
- Strom-Spannungswandler und Signalkonditionierung,
- Sample and Hold-Schaltung,
- Analog/Digital-Wandler,
- Statischer Meßwertspeicher,
- Mikrokontroller,
- Steuereinheit.

Der Meßvorgang wird in eine der Anzahl der Erregerelektroden entsprechende Zahl von äquivalenten Meßzyklen unterteilt und durch eine Steuerschaltung vorzugsweise einen ASIC gesteuert.

Ein von außen an den ASIC angelegter in seiner Frequenz programmierbarer Takt bestimmt die Dauer eines Meßzyklus. Dazu wird der Meßzyklus in n Teilabschnitte unterteilt, mit denen der zeitliche Verlauf der Signale zur Steuerung der Meß- und Auswertefunktionen programmiert werden kann.

Die Meßzyklen für die einzelnen Erregerelektroden werden durch einen Zähler zeitlich nacheinander gestartet. Der Meßvorgang kann nach einer beliebigen Zahl von Meßzyklen abgebrochen und neu gestartet werden.

Für jeden Meßzyklus wird ein symmetrischer bipolarer Erreger-Rechteckimpuls ($I+U_{\text{Anst}} = I-U_{\text{Anst}}$) mittels Analogschalter oder eines mit einer Offsetspannung am Pluseingang beaufschlagtem Operationsverstärker von den Betriebsspannungen abgeleitet und über stromgegengekopp-

pelte Verstärker an die Erregerelektroden nacheinander zeitversetzt angelegt, wobei alle nicht angesteuerten Erregerelektroden niederohmig mit Nullpotential verbunden sind. Der zeitliche Mittelwert der Erreger-Rechteckspannung ist Null und damit die Ansteuerung der Gitterelektroden zur Vermeidung von Elektrolyseeffekten gleichspannungsfrei.

Da der Sensorgrundkörper mit Nullpotential verbunden wird, ist der Sensor potentialmäßig eindeutig definiert.

Die Stromeinträge auf die Elektroden der Empfängerebene werden von Strom/Spannungswandlern mit niedrigem Eingangswiderstand in Spannungen umgewandelt.

Die Auswertung der Stromeinträge auf die Empfänger- elektroden erfolgt erst nach dem Abklingen der Einschwingvorgänge für alle Elektroden der Empfängerebene gleichzeitig. Dazu werden die Spannungssignale aller Auswertekanäle am Ausgang der Signalkonfektionierung mit Sample and Hold Schaltungen bis zum Auswertungsende festgehalten. Bei Sensoren mit drei Elektrodenebenen ist die mittlere Ebene als Erreger geschaltet und wirkt gleichzeitig auf beide benachbarten Empfängerebenen.

Die Auswertung der in Form von elektrischen Spannungen gewonnenen Meßsignale kann auf verschiedene Weise erfolgen. Nachfolgend sind zwei Möglichkeiten beschrieben:

1. Nach einer für die anschließenden Sample and Hold-Schaltungen geeigneten Signalkonfektionierung erfolgt eine Digitalisierung der Signalspannungen. Der Übergang von dem Sample-Zustand in den Hold-Zustand geschieht für alle Sample and Hold-Schaltungen gleichzeitig. Die erhaltenen digitalisierten Signalspannungen können dann mittels Mikroprozessoren vorverdichtet und zwischengespeichert werden. Bei der Vorverdichtung werden die Meßergebnisse auf die Meßwerte der einzelnen Phasen des durchströmenden Mediums bezogen, normiert ausgewertet. Dazu wird zunächst die Leitfähigkeit der Einzelphasen (MW_1 und MW_2) während einer Eichung gemessen und anschließend werden die Meßwerte MW darauf bezogen, indem ein errechneter Meßwert $MW_{er} = MW_x / MW_2 - MW_1 / MW_2$ gebildet wird.

Bei der Auswertung kann eine ortsabhängige Bewertung der Meßwerte (Ausgleich von Effekten in Randzonen des Sensors) berücksichtigt werden.

2. Die in Signalkonfektionierschaltungen auf bereiteten Signalspannungen werden mit Referenzspannungen verglichen, die der Leitfähigkeit der Phase des Mehrphasenmediums mit der geringeren Leitfähigkeit entsprechen. Dabei ergibt sich eine duale unmittelbare Aussage über den Zustand der augenblicklichen Phase an der gemessenen Stelle. Hierbei ist es jedoch notwendig, die Referenzspannungen in angemessenen Abständen über eine Meßeinheit bestehend aus A/D-Wandler, Mikroprozessor und D/A-Wandler in Abhängigkeit von eventuellen Temperatur-, Konzentrationsänderungen usw. ortsabhängig unter Berücksichtigung der Randzoneneffekte zu ermitteln und nachzuführen.

Während die zweite Auswertemöglichkeit vorwiegend für Zweiphasensysteme einsetzbar ist, eignet sich erstere für universelle Auswertungen.

Für die Verfolgung der Bewegung von Inhomogenitäten im Strömungsmedium, die sich in der Änderung der Leitfähigkeit in Strömungsrichtung manifestieren, z. B. der Messung der Geschwindigkeit oder der Größe von Gasparkeln, werden mehrere solche Dreiebenensensoren hintereinander angeordnet und die Meßwertauswertungen synchronisiert.

Patentansprüche

1. Gittersensor zur Bestimmung der Leitfähigkeitsverteilung in strömenden Medien, bestehend aus Elektroden in Form von elektrisch leitfähigen Gitterstäben bzw. Drähten, die vorzugsweise senkrecht zur Strömungsrichtung, in zwei oder drei Ebenen parallel zueinander, und sowohl gegenüber ihrer Halterung als auch gegeneinander isoliert angeordnet sind, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Elektroden der einzelnen Ebenen zueinander in einem Winkel von vorzugsweise 90° angeordnet sind, daß eine der Ebenen, im Fall von drei Ebenen die mittlere, als Erregerebene mit einem Impulsgenerator, und die weitere(n) Ebene(n) als Empfängerebene(n) mit einer Auswerteelektronik gekoppelt sind.

2. Gittersensor nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß zur Verringerung des Strömungswiderstandes und damit der Kraftwirkung auf die als Gitterstäbe ausgeführten Elektroden diese strömungsdynamisch günstig profiliert sind.

3. Gittersensor nach Anspruch 1 und 2, dadurch gekennzeichnet, daß bei Einsatzfällen, bei denen mit Strömungsumkehr zu rechnen ist, die Gitterstäbe hinsichtlich der Strömungsrichtung ein symmetrisches Profil aufweisen.

4. Gittersensor nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß mehrere Dreiebenenanordnungen in Reihe zu einer Meßeinrichtung zusammengefügt sind.

5. Verfahren zur Bestimmung der Verteilung der elektrischen Leitfähigkeit von strömenden Medien unter Verwendung eines Gittersensors nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß

– die Elektroden der Erregerebene nacheinander mit einem symmetrischen bipolaren Rechteckimpuls angesteuert werden, wobei alle nicht angesteuerten Elektroden niederohmig mit Nullpotential verbunden sind,

– die Bestimmung der örtlichen Leitfähigkeit in unmittelbarer Umgebung des Kreuzungspunkts von jeweils einer Erregerelektrode und einer Empfängerelektrode durch Messung des Stromeintrags auf die Empfängerelektrode im Moment der elektrischen Anregung der Erregerelektrode erfolgt,

– die Messung des Stromeintrags als Maß der örtlichen Leitfähigkeit in unmittelbarer Umgebung aller Kreuzungspunkte zwischen jeweils einer Erregerelektrode und allen Empfängerelektroden gleichzeitig erfolgt,

– die Anregung der einzelnen Erregerelektroden zeitlich nacheinander erfolgt und die gemessenen Stromeinträge an allen Kreuzungspunkten zu einer Leitfähigkeitsverteilung über den erfaßten Strömungsquerschnitt zusammengefügt werden.

6. Verfahren nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, daß die Messung erst nach Abklingen der elektrischen Einschwingvorgänge an den Elektroden durch die Auswerteelektronik erfolgt.