

51

Int. Cl. 2:

G 01 P 5/08

19 **BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND**

G 01 P 5/18

G 01 F 1/58

G 01 F 1/70

G 01 N 33/20

G 21 C 17/02

DEUTSCHES PATENTAMT



DE 26 32 042 B 2

11

Auslegeschrift 26 32 042

21

Aktenzeichen: P 26 32 042.3-52

22

Anmeldetag: 16. 7. 76

43

Offenlegungstag: 19. 1. 78

44

Bekanntmachungstag: 31. 1. 80

30

Unionspriorität:

32 33 31 —

54

Bezeichnung:

Induktive Strömungssonde zum Messen der Strömungsgeschwindigkeit und des Gasvolumenanteils eines Flüssigmetallstromes

71

Anmelder:

Kernforschungszentrum Karlsruhe GmbH, 7500 Karlsruhe

72

Erfinder:

Müller, Stefan, 7500 Karlsruhe

56

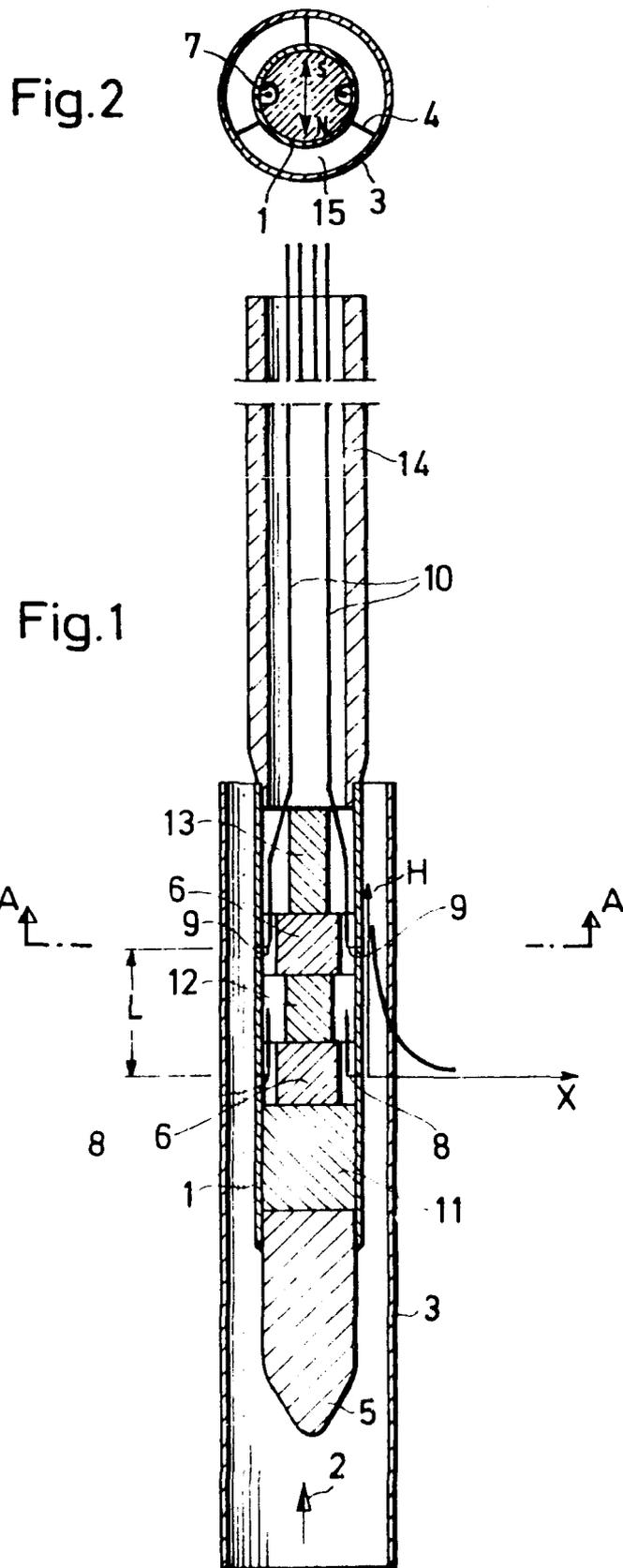
Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht gezogene Druckschriften:

DE-OS 20 18 618

US 39 67 500

The Review of Scientific Instruments, Vol. 39,
1968, S. 1710-1712

DE 26 32 042 B 2



Patentansprüche:

1. Induktive Strömungssonde zum Messen der Strömungsgeschwindigkeit und des Gasvolumenanteils eines Flüssigmetallstromes bestehend aus einem einseitig verschlossenen Sondenrohr, das konzentrisch in ein den Flüssigmetallstrom führendes Rohr eingesetzt ist und einen Ringkanal für den Durchfluß des Flüssigmetalls bildet, mit zwei im Feld eines Permanentmagneten in einem vorbestimmten Abstand L in Strömungsrichtung hintereinander angeordneten Elektrodenpaaren und mit einer Auswerterschaltung zum Bestimmen der Laufzeit von statistischen Schwankungen der Signale an beiden Elektrodenpaaren, dadurch gekennzeichnet, daß in dem Sondenrohr (1) zwei scheibenförmige Dauermagnete (6) in dem axialen Abstand (L) angeordnet sind, daß die Dauermagnete (6) in Richtung des Durchmessers der Scheibe magnetisiert sind, daß der Quotient aus der in Magnetisierungsrichtung gemessenen Länge (1) des Dauermagneten (6) und der senkrecht zur Magnetisierungsrichtung gemessenen Dicke (d) des Dauermagneten (6) mindestens annähernd den Wert zwei erreicht, daß in der Mittelebene jedes der zwei scheibenförmigen Dauermagnete (6) zwei Elektroden eines Elektrodenpaares (8, 9) durch die Wand des Sondenrohres (1) geführt und mit den Eingängen der elektronischen Auswerterschaltung (16–22) verbunden sind, die synchron mit der Messung der Strömungsgeschwindigkeit auch die Ermittlung des Gasvolumenanteils aus der Höhe der Signalspannung mindestens eines Elektrodenpaares ermöglicht.

2. Einrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die scheibenförmigen Dauermagnete (6) an ihrem Rand in einer zur Magnetachse um 90 Grad versetzten Achse mit zwei diametral angeordneten Ausschnitten (7) für die Elektroden (8, 9) und deren Verbindungsleitungen (10) mit der Meßwertverarbeitung versehen sind.

3. Einrichtung nach Anspruch 1 und 2, dadurch gekennzeichnet, daß die Elektroden eines ersten Elektrodenpaares (8) in zwei diametralen Bohrungen der Wand des Sondenrohres (1) verschweißt sind, und daß in einem vorbestimmten axialen Abstand (L) von dem ersten Elektrodenpaar (8) ein zweites Elektrodenpaar (9) in der gleichen Art und so angeordnet ist, daß die Verbindungslinie des zweiten Elektrodenpaares (9) einander parallel und in der gleichen Richtung verlaufen.

4. Einrichtung nach Anspruch 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, daß das Sondenrohr (1) und die Elektrodenpaare (8, 9) aus einem magnetischen Edelstahl gleicher chemischer Zusammensetzung bestehen.

5. Einrichtung nach Anspruch 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, daß als Elektrodenzuleitung (10) eine Mantelmeßleitung verwendet wird, deren Zentralleiter und deren Mantel aus einem unmagnetischen Edelstahl wie V2A besteht, und daß der zentrale Leiter als Elektrode (9, 10) in der Bohrung der Wand des Sondenrohres (1) verschweißt ist.

6. Einrichtung nach Anspruch 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, daß die scheibenförmigen Dauermagnete (6) aus einem bis zu Betriebstemperaturen von 600°C beständigen Magnetwerkstoff wie AlNiCo 450 bestehen.

7. Einrichtung nach Anspruch 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, daß die scheibenförmigen Dauermagnete (6) gegeneinander und gegen axial benachbarte Bauelemente durch zylindrische Zwischenstücke (11, 12, 13) aus einem unmagnetischen und mindestens bis 600 Grad temperaturbeständigen Werkstoff auf einem vorbestimmten Abstand gehalten werden.

8. Einrichtung nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, daß die zylindrischen Zwischenstücke (11, 12, 13) aus gesintertem Magnesiumoxyd bestehen.

9. Einrichtung nach Anspruch 1 bis 8, dadurch gekennzeichnet, daß die Elektrodenleitungen (10) des ersten und des zweiten Elektrodenpaares (8, 9) auf einen ersten bzw. einen zweiten Verstärker (16, 17) geschaltet sind.

10. Einrichtung nach Anspruch 1 bis 9, dadurch gekennzeichnet, daß die Meßsignalausgänge (18, 19) des ersten und des zweiten Verstärkers (16, 17) zum Ermitteln der Kreuzkorrelationsfunktion und der Transportzeit (τ) auf einen Korrelator (20) geschaltet sind.

11. Einrichtung nach Anspruch 1 bis 9, dadurch gekennzeichnet, daß die Meßsignalausgänge (18, 19) des ersten und des zweiten Verstärkers (16, 17) zum Ermitteln des Gasvolumenanteils auf ein schnellreagierendes Meßgerät (21) geschaltet sind.

Die Erfindung betrifft eine Einrichtung nach dem Oberbegriff des Anspruchs 1.

Derartige Einrichtungen gewinnen an Bedeutung durch den Einsatz von Flüssigmetallen, wie z. B. Natrium, als Kühlmittel von Kernreaktoren, wobei an vielen Komponenten des Kreislaufes die Geschwindigkeiten bzw. die Durchsätze gemessen werden müssen. Insbesondere ist im Bereich der Brennelemente zur Vermeidung lokaler Überhitzungen z. B. durch Teilblockaden eine ständige Kontrolle des Flüssigmetallstromes erforderlich.

Weiterhin ist es von Bedeutung, daß das Schadhafwerden eines Brennstabes, das sich durch das Einblasen von Spaltgas in das Kühlmittel bemerkbar macht, rechtzeitig detektiert werden kann.

Bei einer bekannten Einrichtung dieser Art (US-PS 39 67 500) wird ein stabförmiger Dauermagnet für beide Elektrodenpaare gemeinsam verwendet, dessen Stabachse in Strömungsrichtung und dessen Magnetachse senkrecht zur Strömungsrichtung angeordnet ist. Ein Nachteil dieser Sonde besteht insbesondere darin, daß die Lage des Arbeitspunktes auf der Entmagnetisierungskennlinie bestimmende Verhältnis der Länge L des Magneten in Richtung der Magnetisierung (Dicke des Stabes) zur Dicke d des Magneten senkrecht dazu (Länge des Stabes) relativ klein ist, so daß eine sehr ungünstige Magnetgeometrie vorliegt, die eine geringe Langzeitstabilität bei höheren Temperaturen um 600°C und eine kleine Magnetenergie zur Folge hat. Außerdem besteht über den gemeinsamen Dauermagneten eine starke Kopplung der beiden Meßsysteme, die zu Verfälschungen des Meßergebnisses führt und die Korrelierbarkeit der Signale vermindert.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, eine Einrichtung zu entwickeln, die es ermöglicht, die Strömungsgeschwindigkeit eines Flüssigmetallstromes unabhängig von Temperatureinflüssen, Langzeitdriften

und Gammastrahleneinflüssen zu messen und in einer Zweiphasenströmung aus Flüssigmetall und Gas die Volumenanteile von Gas und Flüssigmetall zu bestimmen.

Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß durch die im kennzeichnenden Teil des Anspruches 1 angegebene Anordnung gelöst.

Zur Durchführung von Zweiphasenstrommessungen in elektrisch leitenden Flüssigkeiten ist es bekannt, Chen-Sonden zu verwenden (The Review of Scientific Instruments, Vol. 39 (1968) Seiten 1710 bis 1712, die aus zwei in das zu kontrollierende Medium eingebrachten Mantelthermoelementen bestehen, deren Meßleiter an der Meßstelle mit dem umschließenden Mantel verlötet sind. Die freien Enden des einen Meßleiters sind mit den Polen einer stabilisierten Gleichspannungsquelle verbunden. Leitfähigkeitsänderungen im Bereich der Chen-Sonden sind als Spannungsänderungen an den freien Enden des anderen Meßleiters meßbar.

Mit derartigen Sonden sind jedoch nur lokale Messungen in einem eng begrenzten Bereich möglich. Zum Ausführen integraler Messungen z. B. eine Ringraumbene ist der Einbau einer Vielzahl am Umfang des Ringraumes verteilter Sonden erforderlich. Das Meßergebnis wird verfälscht, weil kleinere Gasblasen den Sonden ausweichen und nur größere Blasen zu einer Spannungsänderung führen. Nachteilig ist auch, daß die Strömungsgeometrie durch die in die Strömung hineinragenden Sonden gestört wird, und daß eine stabilisierte Fremdspannungsversorgung erforderlich ist.

Es ist auch bekannt (DE-OS 20 18 618), bei Korrelationsverfahren zum Messen der Strömungsgeschwindigkeit von Zweiphasen-Gemischen mit zwei kapazitiven Meßfühlern, die in ihrer Höhe mit zunehmendem Anteil einer Phasenkomponente sich ändernde Signalspannung mindestens eines Fühlers als Maß für den Anteil dieser Komponente zu verwenden.

Die mit der Erfindung erzielten Vorteile bestehen insbesondere darin, daß in zwei räumlich eng benachbarten Strömungsquerschnitten die Strömungsgeschwindigkeit über Laufzeitmessungen der Geschwindigkeitsfluktuation gemessen wird, so daß das Meßergebnis unabhängig ist vom Temperaturgang der Sonde, von der Temperatur des strömenden Flüssigmetalls, von Langzeitdriften, Alterungserscheinungen und Gammastrahleneinflüssen.

Die gleiche Meßanordnung ermöglicht synchron mit Messungen der Strömungsgeschwindigkeit die Ermittlung des Gasvolumenanteiles einer aus Gas und Flüssigmetall bestehenden Zweiphasenströmung mit einer Grenzfrequenz von einigen kHz.

Die Erfindung wird im folgenden mit einem Ausführungsbeispiel anhand der Zeichnung näher erläutert. Es zeigt

Fig. 1 Achsschnitt einer Meßsonde.

Fig. 2 Radialschnitt einer Meßsonde.

Fig. 3 Blockschaltbild der Meßwertverarbeitung.

Fig. 4 Geschwindigkeitsfluktuationssignale.

Fig. 5 Kreuzkorrelationsfunktion der Geschwindigkeitsfluktuationssignale.

Fig. 6 Meßsignale eines Flüssigmetallstromes mit einzelnen Gasblasen.

Fig. 7 Vergleich der Meßsignale einer Chen-Sonde und einer Magnetsonde bei 20% Gasvolumenanteil.

Fig. 8 Vergleich der Meßsignale einer Chen-Sonde und einer Magnetsonde bei 55% Gasvolumenanteil.

Eine Meßsonde nach der Erfindung ist als Achsschnitt

in Fig. 1 und als Radialschnitt in der Ebene AA in Fig. 2 dargestellt. Ein Sondenrohr 1 ist in einem den Flüssigmetallstrom 2 führenden Rohr 3 von 12 mm Innendurchmesser durch drei um 120 Grad versetzte Stege 4 konzentrisch angeordnet. Das Sondenrohr 1 besteht aus einem unmagnetischen Edelstahl und ist an seinem unteren Ende durch einen angeschweißten, strömungsgünstig geformten Edelstahleinsatz 5 verschlossen. In dem Sondenrohr 1 sind zwei scheibenförmige diametral magnetisierte Dauermagnete 6 angeordnet, deren Mittelebenen einen axialen Abstand L von 10 mm haben. Jede Magnetscheibe ist 3,5 mm dick, hat einen Durchmesser von 6,6 mm und ist an ihrem Rand in einer zur Magnetachse um 90 Grad versetzten Achse mit zwei diametral angeordneten Ausschnitten 7 versehen. Der Spalt zwischen dem Dauermagneten 6 und dem Sondenrohr 1 beträgt maximal 0,01 mm. Im Bereich der Mittelebene der scheibenförmigen Dauermagnete 6 sind in diametralen Bohrungen der Wand des Sondenrohres 1 in dem axialen Abstand $L = 10$ mm ein erstes Elektrodenpaar 8 und ein zweites Elektrodenpaar 9 so angeordnet, daß die Verbindungslinie des ersten Elektrodenpaares 8 und des zweiten Elektrodenpaares 9 einander parallel und in der gleichen Richtung verlaufen. Das Sondenrohr 1 und die Elektroden 8, 9 bestehen aus einem unmagnetischen Edelstahl gleicher chemischer Zusammensetzung. Als Elektrodenzuleitung 10 wird eine Mantelmeßleitung verwendet, die aus einem zentralen Leiter besteht, der von einem Mantel aus Metall umschlossen und von diesem durch eine Metalloxydschicht getrennt ist. Der zentrale Leiter und der Mantel bestehen aus einem unmagnetischen Edelstahl wie V2A. Der zentrale Leiter ist als Elektrode 9, 10 in der Bohrung der Wand des Sondenrohres 1 verschweißt.

Die scheibenförmigen Dauermagnete 6 bestehen aus einem bis zu 600°C beständigen Magnetwerkstoff wie z. B. AlNiCo 450 und werden gegen axial benachbarte Bauelemente durch zylindrische Zwischenstücke 11, 12, 13 aus einem unmagnetischen und mindestens bis 600°C temperaturbeständigen Werkstoff wie z. B. gesintertem Magnesiumoxyd oder Aluminiumoxyd auf einem vorbestimmten Abstand gehalten.

Am oberen Ende des Sondenrohres 1 ist ein Führungsrohr 14 angeschlossen, welches die Elektrodenzuleitungen 10 aufnimmt.

Jeder der scheibenförmigen Dauermagnete 6 erzeugt in dem Ringraum 15 zwischen dem Sondenrohr 1 und dem den Flüssigmetallstrom 2 führenden Rohr 3 ein Magnetfeld, dessen Feldstärke H über dem Radius X den in Fig. 1 angegebenen Verlauf hat und den Ringraum 15 vollständig durchdringt.

Ein vereinfachtes Blockschaltbild der Meßeinrichtung zum Bestimmen der Strömungsgeschwindigkeit eines Flüssigmetallstromes und dessen Gasvolumenanteil zeigt Fig. 3. Die Elektroden des Elektrodenpaares 8 sind über Elektrodenzuleitungen 10 auf einen ersten Verstärker 16 und die Elektroden des Elektrodenpaares 9 auf einen zweiten Verstärker 17 geschaltet. Die im Flüssigmetallstrom 2 von den scheibenförmigen Dauermagneten 6 infolge der Geschwindigkeitsfluktuationen induzierten Spannungen werden von den Elektroden 8, 9 abgegriffen. Die verstärkten, die Geschwindigkeitsfluktuationssignale darstellenden Spannungen stehen an den Ausgängen 18, 19 der Verstärker 16, 17 zur Verfügung.

Die Ausgänge 18, 19 können auf einen Korrelator 20 zum Bilden der Kreuzkorrelationsfunktion und/oder auf

einen Schnellschreiber 21 zum Ermitteln der Laufzeit τ beim Auftreten von einzelnen Gasblasen geschaltet werden.

Jedes der Elektrodenpaare 8, 9 kann auch auf einen schnellen Gleichspannungsmesser 22 geschaltet werden, mit dem die geschwindigkeitsproportionale Gleichspannung langsam und schnell (instationäre Vorgänge) erfaßt werden kann.

Mit abnehmender Temperatur des Flüssigmetalls fällt die Steigung der Geraden.

In Fig. 4 sind Geschwindigkeitsfluktuationssignale 23, 24, wie sie an den Ausgängen 18, 19 der Verstärker 16, 17 auftreten, als Funktion der Zeit dargestellt.

Fig. 5 zeigt das mit dem Korrelator 20 aus den Geschwindigkeitsfluktuationssignalen 23, 24 erzeugte Kreuzkorrelationssignal 25, aus dem sich die Laufzeit einer Signaländerung ergibt. Eine derartige Signaländerung kann auch z. B. durch eine bestimmte Gasblase im Flüssigmetall verursacht sein und wird zum Zeitpunkt 0 an dem ersten Elektrodenpaar 8 und zum Zeitpunkt τ an dem zweiten Elektrodenpaar 9 gemessen. Die als Ausführungsbeispiel beschriebene Einrichtung hat einen axialen Abstand der Elektrodenpaare 8, 9 von $L = 10$ mm. Die Laufzeit $\tau = 0,899$ ms folgt aus Fig. 5, so daß die mittlere Strömungsgeschwindigkeit des Flüssigmetalls $v = L/\tau = 10 \text{ mm}/0,899 \text{ ms} = 11,1 \text{ m/s}$ beträgt.

Das in Fig. 2 verwendete schnellregistrierende Meßgerät 21 kann auch aus einem Oszillographen bestehen. Fig. 6 zeigt die Meßsignale 26, 27 der Elektrodenpaare 8, 9 der in Fig. 1 dargestellten Meßanordnung eines Flüssigmetallstromes mit einzelnen Gasblasen. Jede Gasblase verursacht einen Rückgang der im Flüssigmetallstrom induzierten Spannung, der als Peak 28 sichtbar wird. Die zeitliche Verschiebung des Peaks 28 zwischen den zwei Meßsignalen 26, 27 ist die Laufzeit.

Bei einem Gasvolumenanteil von 20% in flüssigem Natrium wird das in Fig. 7 gezeichnete Meßsignal 29 mit einer Chen-Sonde und das Meßsignal 30 mit der in Fig. 1 dargestellten Einrichtung nach der Erfindung gemessen und das Meßergebnis mit einem Schnellschreiber 21 (Fig. 3) registriert. Aus dem Registrierstreifen kann der Gasvolumenanteil auf einige Prozent genau ermittelt werden.

Das Meßsignal 29 der Chen-Sonde zeigt wesentlich weniger Signale infolge der auf die unmittelbare Umgebung beschränkten Wirksamkeit der Chen-Sonde und der Tatsache, daß kleinere Gasblasen der Sonde ausweichen.

Fig. 8 zeigt einen entsprechenden Vergleich der Meßsignale einer Chen-Sonde (Kurve 31) mit den Meßsignalen der Magnetsonde nach der Erfindung (Kurv. 32) bei einem Gasvolumenanteil von 55%.

Hierzu 4 Blatt Zeichnungen

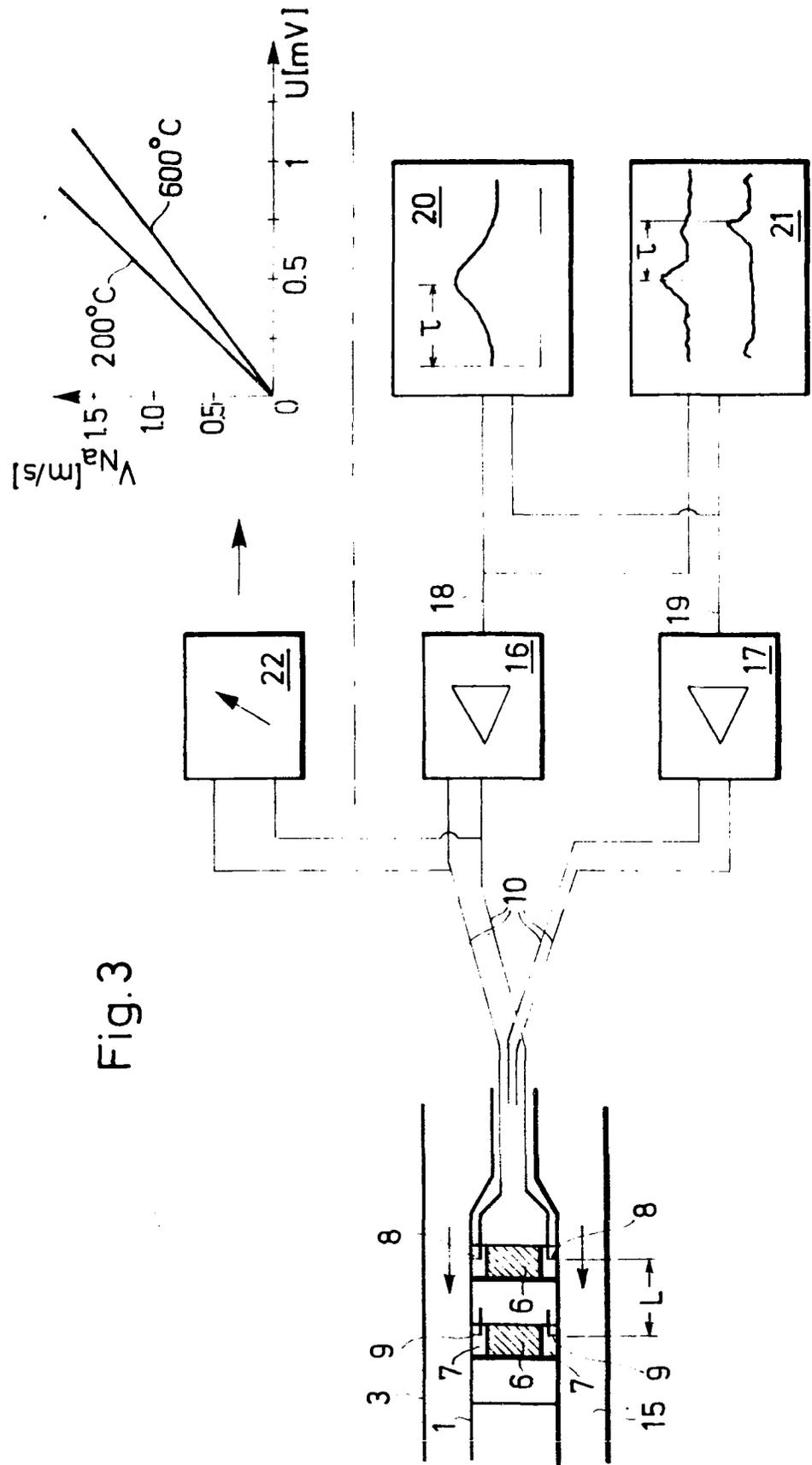


Fig. 3

Fig.4

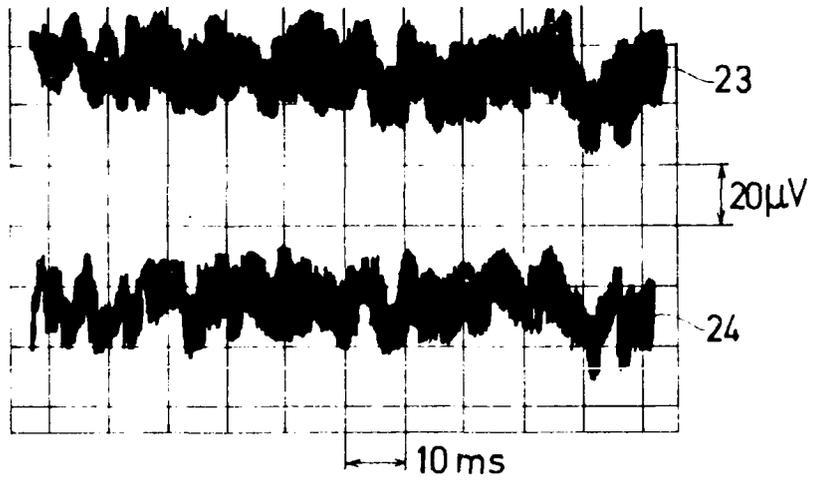


Fig.5

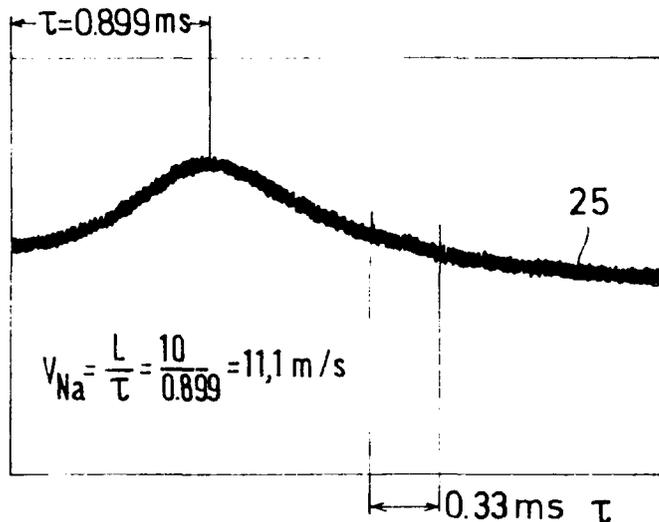


Fig.6



Fig.7

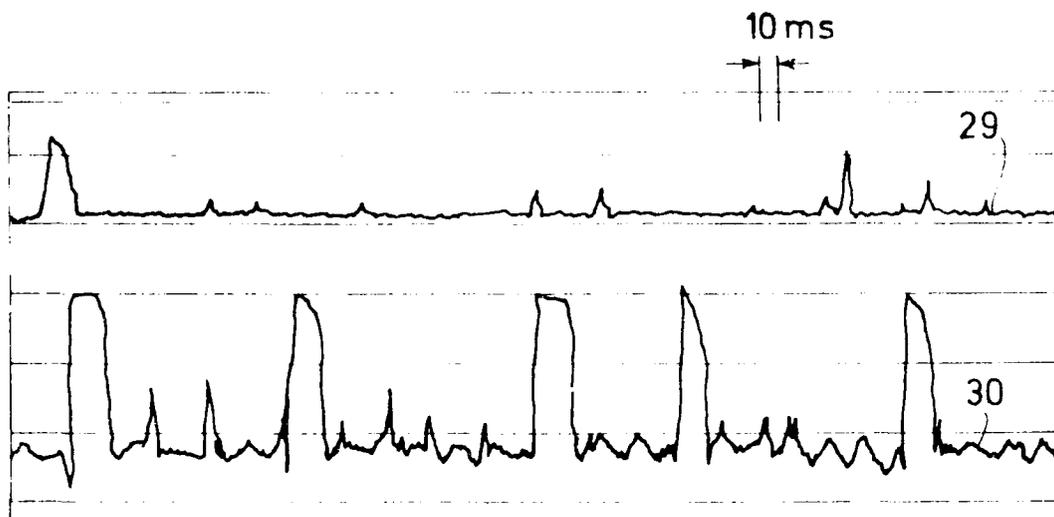


Fig.8

