

⑤

Int. Cl. 2:

**G 01 P 5/08**

⑱ **BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND**

G 01 F 1/58

G 01 N 33/20

G 21 C 17/00

**DEUTSCHES PATENTAMT**



**DE 26 32 042 A 1**

⑪

# Offenlegungsschrift **26 32 042**

⑲

Aktenzeichen:

P 26 32 042.3-52

⑳

Anmeldetag:

16. 7. 76

㉔

Offenlegungstag:

19. 1. 78

⑳

Unionspriorität:

⑳ ㉑ ㉒

⑤④

Bezeichnung:

Verfahren und Einrichtung zum Messen der Strömungsgeschwindigkeit und des Gasvolumenanteils eines Flüssigmetallstromes

⑦①

Anmelder:

Gesellschaft für Kernforschung mbH, 7500 Karlsruhe

⑦②

Erfinder:

Müller, Stefan, 7500 Karlsruhe

Prüfungsantrag gem. § 28 b PatG ist gestellt

**DE 26 32 042 A 1**

GESELLSCHAFT FÜR  
KERNFORSCHUNG MBH

Karlsruhe, den 1. Juli 1976  
PLA 7639 Hä/sz

Patentansprüche :

1. Verfahren zum Messen der Strömungsgeschwindigkeit und des Gasvolumenanteiles eines Flüssigmetallstromes, dadurch gekennzeichnet, daß mit einer in den Flüssigmetallstrom eingetauchten Magnetsonde in einem ersten und einem zweiten vorbestimmten Volumen nach dem Faradayschen Induktionsprinzip eine erste und eine zweite Spannung induziert wird, daß die erste und die zweite Induktionsspannung in ihrem zeitlichen Verlauf als Geschwindigkeitsfluktuation als Maß der Strömungsgeschwindigkeit gemessen wird, daß die Transportzeit ( $\tau$ ) eines vorbestimmten Flüssigmetallvolumens von einem ersten zu einem zweiten Elektrodenpaar (8, 9) gemessen und aus dem bekannten axialen Abstand (L) der Elektrodenpaare (8, 9) die Strömungsgeschwindigkeit  $v = L/\tau$  ermittelt wird, und daß die in ihrer Höhe mit zunehmendem Gasvolumenanteil abfallende Induktionsspannung als Maß für den Gasvolumenanteil verwendet wird.
2. Einrichtung zum Durchführen des Verfahrens nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß ein einseitig verschlossenes Sondenrohr (1) konzentrisch in ein den Flüssigmetallstrom (2) führendes Rohr (3) eingesetzt ist und einen Ringkanal (15) für den Durchfluß des Flüssigmetalls bildet, daß zwei scheibenförmige Dauermagnete (6) in einem vorbestimmten axialen Abstand (L) in dem Sondenrohr (1) angeordnet sind, daß in der Mittelebene jedes der zwei scheibenförmigen Dauermagnete (6) zwei Elektroden (8, 9) durch das Sondenrohr (1) geführt sind, und daß die Elektrodenpaare (8, 9) mit den Eingängen einer elektronischen Meßwertverarbeitung verbunden sind.

3. Einrichtung nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß die scheibenförmigen Dauermagnete (6) diametral magnetisiert sind und 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.
4. Einrichtung nach Anspruch 2 und 3, 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 ersten Elektrodenpaares (8) und die Verbindungslinie des zweiten Elektrodenpaares (9) einander parallel und in der gleichen Richtung verlaufen.
5. Einrichtung nach Anspruch 2 bis 4, dadurch gekennzeichnet, daß das Sondenrohr (1) und die Elektrodenpaare (8, 9) aus einem unmagnetischen Edelstahl gleicher chemischer Zusammensetzung bestehen.
6. Einrichtung nach Anspruch 2 bis 5, 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.
7. Einrichtung nach Anspruch 2 bis 6, dadurch gekennzeichnet, daß die scheibenförmigen Dauermagnete (6) aus einem bis zu Betriebstemperaturen von 600 °C beständigen Magnetwerkstoff wie AlNiCo 450 bestehen.

8. Einrichtung nach Anspruch 2 bis 7, 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.
9. Einrichtung nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, daß die zylindrischen Zwischenstücke (11, 12, 13) aus gesintertem Magnesiumoxyd bestehen.
10. Einrichtung nach Anspruch 2 bis 9, dadurch gekennzeichnet, daß die Elektrodenzuleitungen (10) des ersten und des zweiten Elektrodenpaares (8, 9) auf einen ersten bzw. einen zweiten Verstärker (16, 17) geschaltet sind.
11. Einrichtung nach Anspruch 2 bis 10, dadurch gekennzeichnet, daß die Meßsignalausgänge (18, 19) des ersten und des zweiten Verstärkers (16, 17) zum Ermitteln der Kreuzkorrelationsfunktion und der Transportzeit ( $\tau$ ) auf einen Korrelator (20) geschaltet sind.
12. Einrichtung nach Anspruch 2 bis 10, dadurch gekennzeichnet, daß die Meßsignalausgänge (18, 19) des ersten und des zweiten Verstärkers (16, 17) zum Ermitteln des Gasvolumenanteiles auf ein schnellregistrierendes Meßgerät (21) geschaltet sind.

2632042

GESELLSCHAFT FÜR  
KERNFORSCHUNG MBH

Karlsruhe, den 1. Juli 1976  
PLA 7639 Hä/sz

Verfahren und Einrichtung zum Messen der Strömungsgeschwindigkeit  
und des Gasvolumenanteils eines Flüssigmetallstromes

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Messen der Strömungsgeschwindigkeit und des Gasvolumenanteiles eines Flüssigmetallstromes und eine Einrichtung zum Durchführen des Verfahrens.

Derartige Verfahren und 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 einer Spaltgasmenge in das Kühlmittel bemerkbar macht, rechtzeitig detektiert werden kann.

- 1 -

709883/0475

Es ist bekannt, zur Erfüllung dieser Erfordernisse die Rohrleitung mit dem Flüssigmetallstrom, dessen Geschwindigkeit zu messen ist, zwischen den Polschuhen eines Permanentmagneten anzuordnen und die nach dem Faradayschen Induktionsgesetz bei Bewegung eines Leiters senkrecht zu einem Magnetfeld induzierte Spannung zu messen (Siemens-Zeitschrift 48 (1974) Seiten 614 bis 617). Derartige Meßeinrichtungen erfordern jedoch eine Eichung mit temperaturabhängigen Kennlinien, die in aufwendigen Anlagen meist nur beim Hersteller ermittelt werden können. Da die magnetische Flußdichte in das Meßergebnis eingeht und das Feld der Permanentmagnete sich durch Alterung ändert sind Nacheichungen erforderlich, die in eingebautem Zustand sehr aufwendig und oft überhaupt nicht durchführbar sind (EUR 1631 d, 1964).

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 1713), 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. über 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.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren zu entwickeln, das es ermöglicht, die Strömungsgeschwindigkeit eines Flüssigmetallstromes unabhängig von Temperatureinflüssen, Langzeitdriften und Gammastrahleneinflüssen zu messen und eine einfache Eichung bekannter Durchflußmesser vorzunehmen. Das Verfahren soll ferner in einer Zweiphasenströmung aus Flüssigmetall und Gas zum Bestimmen der Volumenanteile von Gas und Flüssigmetall einsetzbar sein. Aufgabe der Erfindung ist es auch, eine Einrichtung zu schaffen, mit der das Verfahren zum Messen der Strömungsgeschwindigkeit und des Gasvolumenanteils des Flüssigmetallstromes in einfacher Weise realisiert werden kann und die frei ist von den Nachteilen der bekannten Einrichtungen.

Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß dadurch gelöst, daß mit einer in den Flüssigmetallstrom eingetauchten Magnetsonde in einem ersten und einem zweiten vorbestimmten Volumen nach dem Faradayschen Induktionsprinzip eine erste und eine zweite Spannung induziert wird, daß die erste und die zweite Induktionsspannung in ihrem zeitlichen Verlauf als Geschwindigkeitsfluktuation als Maß der Strömungsgeschwindigkeit gemessen wird, daß die Transportzeit  $\tau$  eines vorbestimmten Flüssigmetallvolumens von einem ersten zu einem zweiten Elektrodenpaar gemessen und aus dem bekannten axialen Abstand  $L$  der Elektrodenpaare die Strömungsgeschwindigkeit  $v = L/\tau$  ermittelt wird, und daß die in ihrer Höhe mit zunehmendem Gasvolumenanteil abfallende Induktionsspannung als Maß für den Gasvolumenanteil verwendet wird.

Eine überraschend einfache Einrichtung zum Durchführen dieses Verfahrens besteht im wesentlichen darin, daß ein einseitig verschlossenes Sondenrohr konzentrisch in ein den Flüssigmetallstrom führendes Rohr eingesetzt ist und einen Ringkanal für den Durchfluß des Flüssigmetalls bildet, daß zwei scheibenförmige Dauermagnete in einem vorbestimmten axialen Abstand  $L$  in dem Sondenrohr angeordnet sind, daß in der Mittelebene jedes der zwei scheibenförmigen Dauermagnete zwei Elektroden durch das Sondenrohr geführt sind, und daß die Elektrodenpaare mit den Eingängen einer elektronischen Meßwertverarbeitung verbunden sind.

Dabei hat es sich als vorteilhaft erwiesen, daß die scheibenförmigen Dauermagnete diametral magnetisiert sind und an ihrem Rand in einer zur Magnetachse um 90 Grad versetzten Achse mit zwei diametral angeordneten Ausschnitten für die Elektroden und deren Verbindungsleitungen mit der Meßwertverarbeitung versehen sind, und daß die Elektroden eines ersten Elektrodenpaares in zwei diametralen Bohrungen der Wand des Sondenrohres verschweißt sind, und daß in einem vorbestimmten axialen Abstand L von dem ersten Elektrodenpaar ein zweites Elektrodenpaar in der gleichen Art und so angeordnet ist, daß die Verbindungslinie des ersten Elektrodenpaares und die Verbindungslinie des zweiten Elektrodenpaares einander parallel und in der gleichen Richtung verlaufen.

Die mit der Erfindung erzielten Vorteile bestehen insbesondere darin, daß in zwei räumlich eng benachbarten Strömungsquerschnitten die Strömungsgeschwindigkeit über Laufzeitmessungen der Geschwindigkeitsfluktuationen 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.

Ein Ausführungsbeispiel der Erfindung ist in der Zeichnung dargestellt und wird im folgenden näher beschrieben. Es zeigen:

- 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 Zwischen-

stücke 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  $\tau$  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 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  $= 0,899$  ms folgt aus Fig. 5, so daß die mittlere Strömungsgeschwindigkeit des Flüssigmetalls  $v = L/ = 10 \text{ mm}/0,899 \text{ ms} = 11,1 \text{ m/s}$  beträgt.

Das in Fig. 3 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 (Kurve 32) bei einem Gasvolumenanteil von 55 %.

2632042

Fig.2

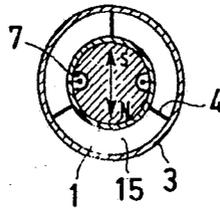
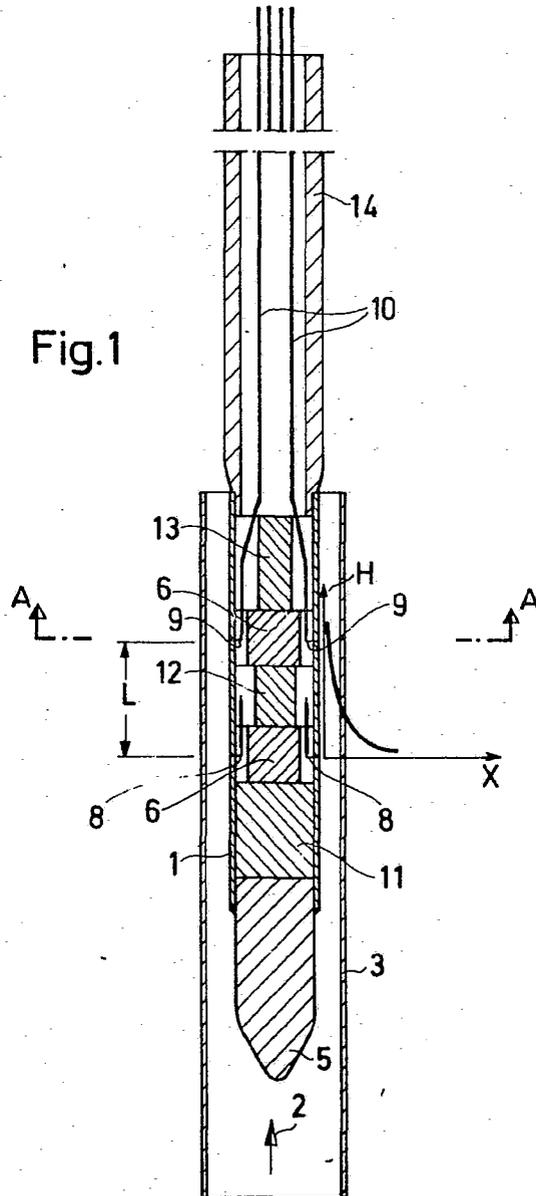


Fig.1



709883/0475

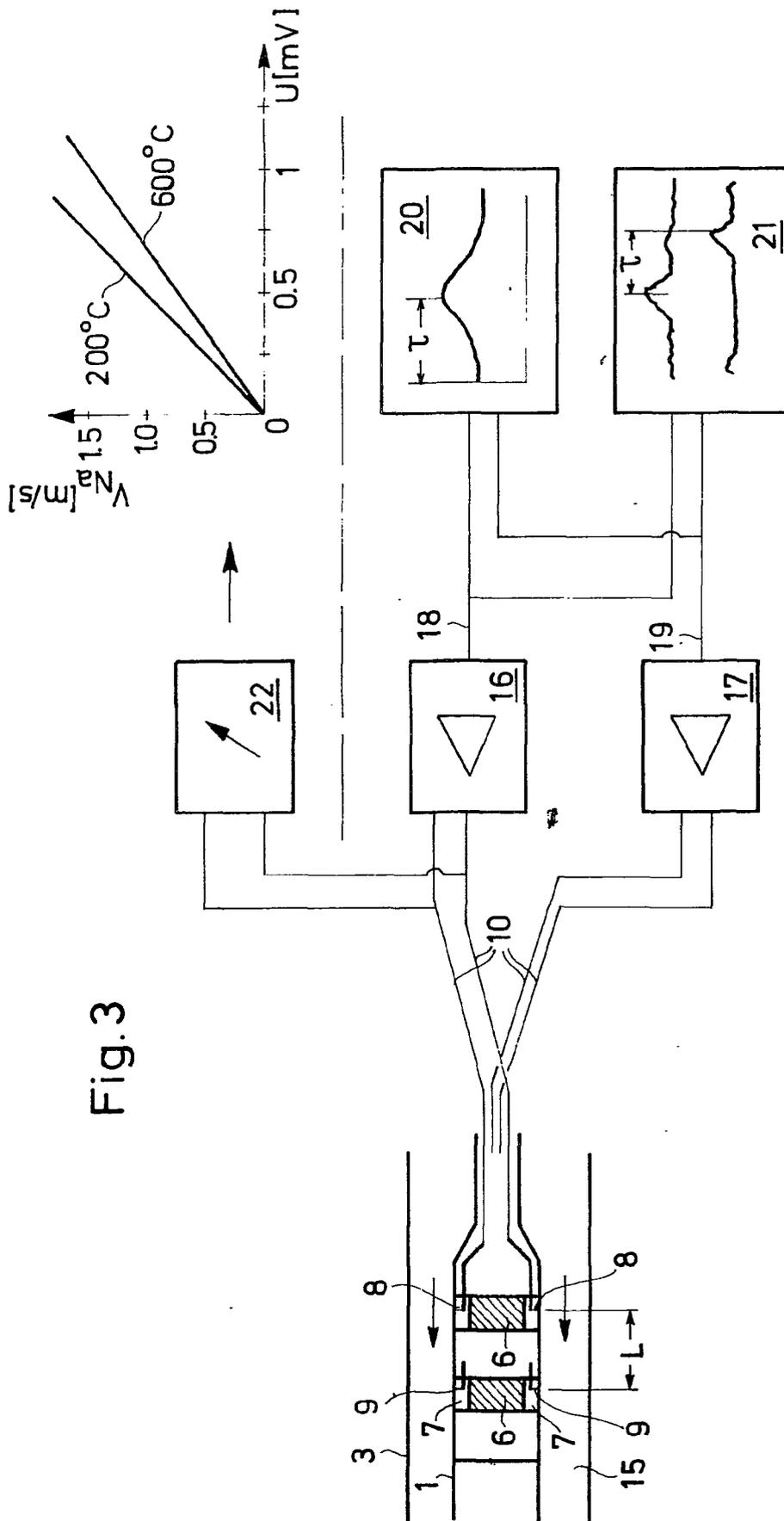


Fig. 3

Fig.4

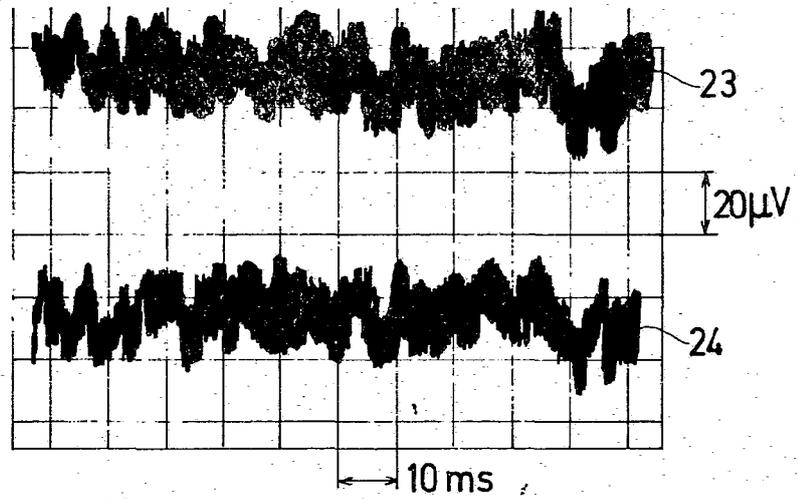


Fig.5

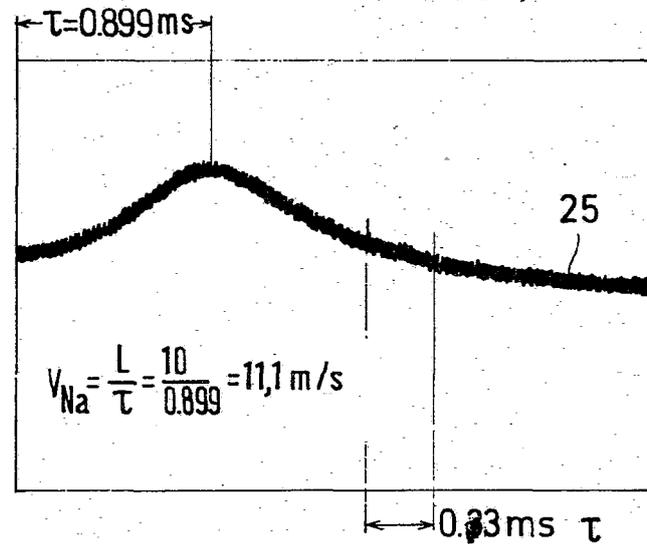


Fig.6

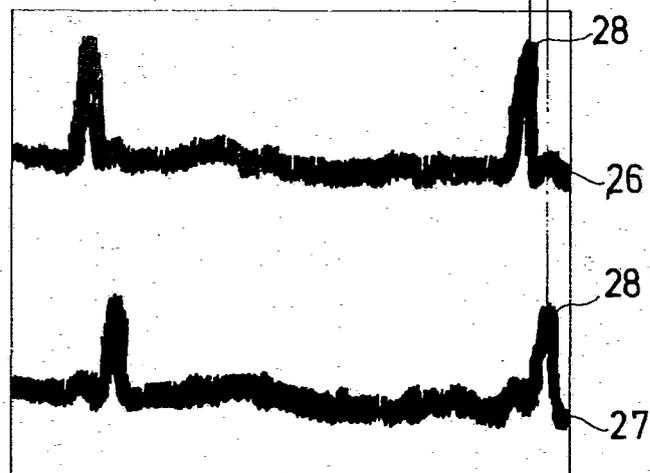


Fig.7

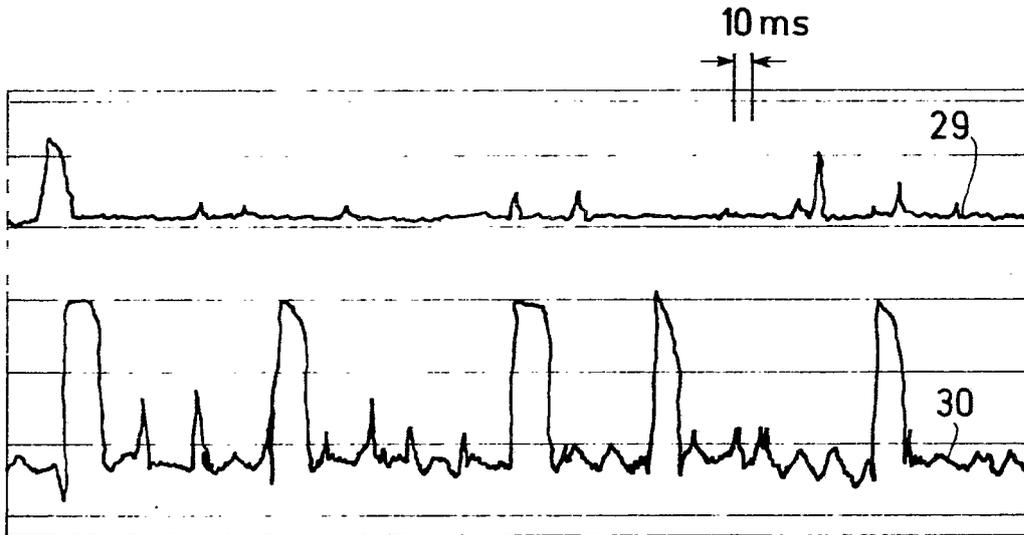


Fig.8

