



(10) **DE 695 25 212 T3** 2010.12.30

(12) **Übersetzung der geänderten europäischen Patentschrift**

(97) **EP 0 708 317 B2**

(51) Int Cl.⁸: **G01J 5/00** (2006.01)

(21) Deutsches Aktenzeichen: **695 25 212.7**

(96) Europäisches Aktenzeichen: **95 402 286.9**

(96) Europäischer Anmeldetag: **13.10.1995**

(97) Erstveröffentlichung durch das EPA: **24.04.1996**

(97) Veröffentlichungstag

der Patenterteilung beim EPA: **30.01.2002**

(97) Veröffentlichungstag

des geänderten Patents beim EPA: **09.06.2010**

(47) Veröffentlichungstag im Patentblatt: **30.12.2010**

Patentschrift wurde im Einspruchsverfahren geändert

(30) Unionspriorität:

9412588 21.10.1994 FR

(84) Benannte Vertragsstaaten:

CH, DE, ES, GB, LI

(73) Patentinhaber:

**Société Nationale d'Etude et de Construction de
Moteurs d'Aviation (S.N.E.C.M.A.), Paris, FR**

(72) Erfinder:

**Hernandez, Daniel M., F-66120 Odeillo, FR; Olalde,
Gabriel, F-66120 Odeillo, FR; Milcent, Emmanuel
M., F-66125 Odeillo, FR; Clement, Michel, F-27200
Vernon, FR**

(74) Vertreter:

Klunker, Schmitt-Nilson, Hirsch, 80796 München

(54) Bezeichnung: **Schnelles bichromatisches fiberoptisches Pyrometer**

Beschreibung

GEBIET DER ERFINDUNG

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft ein Pyrometer, das die Durchführung thermischer Bestimmungen (Messung der Temperatur von Gasen oder Oberflächen in Bewegung) in rauer Umgebung mit einer sehr großen Schnelligkeit der Messung erlaubt.

STAND DER TECHNIK

[0002] Diese Bedingungen einer extremen Umgebung finden sich insbesondere vorliegend bei Messungen der Rotationsgeschwindigkeit von Turbinen im Betrieb, wie beispielsweise jenen von Industrie-Turbomaschinen, von Helicopter-Turbinen, von Turbo-Luftstrahltriebwerken oder von Turbopumpen zur Versorgung von Raketen-Tiefsttemperaturantrieben. In diesen Fällen ist allein eine optische Messung in der Lage, am feinstmöglichen das thermische Verhalten dieser Turbinen zu analysieren und eine genaue Kenntnis der mechanischen Eigenschaften der Materialien und ihrer Entwicklung in Abhängigkeit von der Temperatur zu erlauben. Der Artikel von Sam Walters "New instrumentation for advanced turbine research", veröffentlicht in der Zeitschrift Mechanical Engineering vom Februar 1983 (Band 105, Nr. 2), beschreibt sehr genau die durch diese Messungen gestellten Probleme und zeigt eine gute Übersicht über die zur Zeit existierenden Lösungen.

[0003] Diese Lösungen zeigen jedoch noch bestimmte Nachteile. Insbesondere kann es mit optischen Übertragungsproblemen verbundene Messfehler in Vorrichtungen, die eine monochromatische optische Faser zum Auffangen und zum Transport thermischer Strahlung, die von der Turbine in Bewegung emittiert wird, verwenden, geben. Bei den bichromatischen Messvorrichtungen, bei denen es erforderlich ist, am Ausgang der Transportfaser zur Zerlegung des Lichtstrahls zu schreiten, ist es klassisch, auf einen Zerlegekubus auszuweichen, weil er eine große Homogenität mit der Faser zeigt. Ein solcher Kubus ist jedoch besonders empfindlich gegen Vibrationen und gegen mögliche Stöße, und die Aufteilung des Lichtflusses an seinem Ausgang kann sich daher verändert finden. Man kennt aus der europäischen Anmeldung EP-A-216 458 ein optisches Pyrometer, das eine optische Faser verwendet, deren Lichtenergie am Ausgang in zwei Elementarstrahlen aufgeteilt wird, was sowohl die Ansprechzeit als auch die Auflösung eines solchen Pyrometers beschränkt. Noch einfacher können chromatische Abweichungen auftreten, wenn der Strahl am Ausgang der Faser schlecht kollimiert wird (WO-A-91/03715).

[0004] Außerdem wird in diesen bichromatischen Vorrichtungen die Verarbeitung der aus den Mitteln zum Zerlegen herauskommenden Signale im Allge-

meinen in Echtzeit in analoger Form mit Hilfe von klassischen getrennten Komponenten durchgeführt. Daraus ergeben sich große Ansprechzeiten (in der Größenordnung von Millisekunden) und, im Falle von Messungen mit erhöhter Häufigkeit, besonders große Betriebsbelastungen. Daher erlegt die Stabilisierung der Messvorrichtung eine Einschränkung der Bandbreite und folglich des Gesamttakts (Geschwindigkeit) der Messung auf. Gleichermaßen bleibt eine derartige Vorrichtung wegen ihres Aufbaus empfindlich für alle Abweichungserscheinungen hinsichtlich Spannung oder hinsichtlich Temperatur, deren Unterdrückung dann nur um den Preis häufiger und störender Regelungen möglich ist.

[0005] Schließlich erlaubt es die Kombination des optischen Systems mit Zerlegekubus und der vorstehend genannten analogen elektronischen Anordnung nicht, zu einer miniaturisierten Vorrichtung zu kommen, woran jedoch Bedarf besteht, insbesondere in den Satelliten-Systemen, wo eine derartige Vorrichtung nützlich wäre, um die Betreibegrenzen von Turbomotoren und insbesondere die Kontrolle ihrer Übergangsbereiche zu präzisieren.

AUFGABE DER ERFINDUNG

[0006] Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es, die vorgenannten Nachteile zu beseitigen und ein Pyrometer vorzuschlagen, das insbesondere kompakt und für schnelle Erfassungstakte geeignet ist, dergestalt, dass es in kontinuierlicher Weise in einem großen Temperaturbereich prompte Temperaturmessungen insbesondere von rotierenden Turbinenschaukeln durchführen kann.

[0007] Diese Ziele werden erreicht mit einem schnellen bichromatischen Pyrometer, das zur Messung der Temperatur T eines Gases oder einer Oberfläche in Bewegung geeignet ist, aufweisend:

- einen Messfühler, welcher der Oberfläche gegenüber angeordnet oder in das Gas eingetaucht ist und eine für die Temperatur dieser Oberfläche oder dieses Gases charakteristische thermische Strahlung auffängt,
- eine optische Einzelfaser, die mit dem Messfühler verbunden ist und diese Strahlung übermittelt,
- eine optische Baugruppe, die diese Strahlung empfängt und die Eingangs-Kollimationsmittel zum Übertragen dieser Strahlung, Mittel zum Zerlegen, die von einem dichroitischen Plättchen gebildet werden, zum Zerlegen der übertragenen Strahlung in zwei verschiedene Spektralbanden, und Ausgangs-Fokussierungsmittel zum Bündeln der zerlegten Strahlung enthält,
- ein Quantenerfassungselement, das diese zerlegten Strahlungen empfängt und ihre Umwandlung in zwei Spannungen der Farbe V_r , V_b sicherstellt,
- ein Verarbeitungselement, das diese Span-

nungssignale empfängt und das Analog-Digital-Umwandlungsmittel, einen Signalverarbeitungs-Prozessor (DSP), der ausgehend von diesen digitalen Werten ein V_r/V_b -Verhältnis berechnet, und Speichermittel, die mit einer Tabelle von durch Eichungen vorbestimmten Werten $T = f(V_r/V_b)$ ausgestattet sind und am Ausgang, ausgehend von dem berechneten Verhältnis, die Temperatur T der Oberfläche oder des Gases liefern, enthält, wobei das Verarbeitungselement (5) außerdem Mittel (60a, 60b) zur schnellen Umwandlung der Werte V_r und V_b zur Abschätzung ihrer Größenordnung aufweist und das Verarbeitungselement (5) außerdem Mittel zur Anpassung der Verstärkungsstufe der Signale V_r und V_b gemäß den von den Mitteln zur schnellen Umwandlung an den Prozessor gelieferten Größenordnungen aufweist.

[0008] Der so definierte Aufbau führt zur Erhaltung eines Pyrometers, das besonders kompakt ist, unter Verwendung eines dichroitischen Plättchens als Zerlegevorrichtung, und schnell ist, durch Zuhilfenahme eines Signalprozessors in einem schnellen Speicher, der eine vorher erstellte Umwandlungstabelle enthält, was insbesondere die prompte Messung der Temperatur von rotierenden Turbinenschaufeln erlaubt.

[0009] Für bestimmte Anwendungen ist die Verlagerung der Messung nicht unerlässlich, und die Messung kann ausgehend von der optischen Baugruppe, die dann vorteilhafterweise mit Fokussierungsmitteln der Strahlung, die von der Oberfläche emittiert wird, ausgestattet ist, direkt durchgeführt werden.

[0010] Die Messungen können in großen Spektralbanden bis in monochromatische Bereiche durchgeführt werden, wo es notwendig ist, dass jedes der Ausgangs-Fokussierungsmittel der zerlegten Strahlung vorgeschaltete Interferenzfiltermittel hat.

[0011] Bevorzugt weisen die Fokussierungsmittel achromatische Zweilinser auf.

[0012] Die Mittel zur schnellen Umwandlung enthalten bevorzugt zwei Analog-Digital-Umwandler vom Flash-Typ. Die Mittel zur Anpassung der Verstärkungsstufe enthalten, bevorzugt für jedes Signal V_r oder V_b , ein Multiplexer-Element, das einen Kanal in mindestens zwei Kanäle aufteilt, welches das Signal empfängt und es an eines von mindestens zwei Verstärkerelementen verschiedener Verstärkung liefert, deren Ausgänge mit einem Demultiplexer-Element, das mindestens zwei Kanäle zu einem Kanal vereinigt, verbunden sind, wobei für jede Berechnung des Verhältnisses V_r/V_b ein einziges der Verstärkerelemente ausgewählt wird. Das Verarbeitungselement kann auch Digital-Analog-Umwandlungsmittel, die am Ausgang des Signalprozessors angeordnet und

dazu geeignet sind, einen analogen Wert der gemessenen Temperatur zu erhalten, aufweisen.

[0013] Das Erfassungselement weist zwei Quantendetektoren vom InGaAs-Typ auf. Diese Detektoren wandeln die Strahlung, die sie empfangen, in einen elektrischen Strom um, der zur Stärke dieser Strahlung proportional ist.

[0014] Die Speichermittel enthalten einen schnellen Speicher vom Flash-Typ, der gut an einen Prozessor vom DSP-Typ angepasst ist.

[0015] Das digitale Verarbeitungselement kann ersetzt sein durch ein Element, das einen analogen Teiler aufweist, der die Signale V_r und V_b empfängt und das Verhältnis V_r/V_b für einen Analog-Digital-Wandler liefert, dessen Ausgang mit einem Speicherelement verbunden ist, das eine Tabelle des Wertes $T = f(V_r/V_b)$ enthält und die gemessene Temperatur T liefert.

[0016] Der Messfühler weist einen Saphirstab auf, der mit einer dünnen Schutzschicht bedeckt ist, und dessen der Faser gegenüber liegendes Ende eine kugelförmige Kappe aufweist, die in der Faser fast die Gesamtheit der emittierten Strahlung fokussiert. Das andere Ende des die Strahlung empfangenden Messfühlers kann eine halbkugelförmige Kappe aufweisen, deren Radius entsprechend dem Abstand von der Oberfläche festgelegt ist.

[0017] In dem speziellen Fall der Messung von Gasen ist das Ende des Messfühlers mit einer Beschichtung bedeckt, die ihm eine thermische Ausstrahlung vom Typ schwarzer Körper verleiht. Diese Beschichtung besteht aus einer stark emittierenden ersten Schicht und einer zweiten Schicht, die lichtundurchlässig und stark leitfähig ist. Sie kann außerdem mit einer Zwischenschicht versehen sein, die zwischen der ersten und der zweiten Schicht angeordnet ist und eine Optimierung der Wärmediffusion und eine Vergleichmäßigung der Temperatur sicherstellt. Wenn diese Schichten die Wärme-Emission und -Übertragung optimieren, erlauben sie gleichermaßen, das thermomechanische und chemische Verhalten des Fühlers in Abhängigkeit von seiner Umgebung (reduzierendes oder oxidierendes Milieu) sicherzustellen.

[0018] Die vorliegende Erfindung betrifft außerdem ein Verfahren zur Messung der Temperatur eines Gases oder einer Oberfläche in Bewegung durch die Bestimmung und Verarbeitung einer thermischen Strahlung, die für diese Oberfläche oder dieses Gas charakteristisch ist, unter Verwendung des o. g. bichromatischen Pyrometers das die folgenden Schritte aufweist:

- 1) Auffangen einer thermischen Strahlung, die für die Temperatur der Oberfläche oder des Gases

charakteristisch ist,

- 2) Zerlegen dieser Strahlung in zwei Strahlungen unterschiedlicher Spektralbanden,
- 3) Umwandeln dieser zwei Strahlungen in zwei Spannungen der Farbe V_r und V_b ,
- 4) Abschätzen der Größenordnungen der Spannungen der Farbe V_r und V_b , um die Verstärkung eines Verstärkungselements dieser Spannungen anzupassen,
- 5) Berechnen ihres Verhältnisses V_r/V_b und
- 6) Entnehmen des der gemessenen Temperatur T entsprechenden Wertes aus einer Umrechnungstabelle $T = f(V_r/V_b)$, die vorher durch Eichung bestimmt wurde.

KURZE BESCHREIBUNG DER ZEICHNUNGEN

[0019] Andere Merkmale und Vorteile der vorliegenden Erfindung werden besser aus der vorliegenden Beschreibung, die beispielhaft und nicht beschränkend zu verstehen ist, im Hinblick auf die beiliegenden Zeichnungen hervorgehen, in denen:

[0020] [Fig. 1](#) ein Schema des Prinzips des erfindungsgemäßen schnellen Pyrometers ist,

[0021] die [Fig. 2a](#) und [Fig. 2b](#) zwei Beispiele der Verwirklichung einer optischen Baugruppe, die in dem Pyrometer der [Fig. 1](#) verwendet wird, zeigen,

[0022] [Fig. 3](#) ein erstes Beispiel der Verwirklichung der Signalverarbeitungsanordnung, die in dem Pyrometer der [Fig. 1](#) durchgeführt ist, zeigt

[0023] [Fig. 4](#) ein zweites Beispiel der Verwirklichung der Signalverarbeitungsanordnung, die in dem Pyrometer der [Fig. 1](#) durchgeführt ist, zeigt

[0024] [Fig. 5](#) ein bevorzugtes Beispiel der Verwirklichung der Signalverarbeitungsanordnung, die in dem Pyrometer der [Fig. 1](#) durchgeführt ist, zeigt

[0025] [Fig. 6](#) ein erstes Detail der Verwirklichung der Anordnung der [Fig. 5](#) veranschaulicht,

[0026] [Fig. 7](#) ein zweites Detail der Verwirklichung der Anordnung der [Fig. 5](#) veranschaulicht,

[0027] [Fig. 8](#) ein Ablaufplan ist, der die Funktionsweise der Signalverarbeitungsanordnung der [Fig. 5](#) zeigt, und

[0028] die [Fig. 9](#) und [Fig. 10](#) Beispiele der Verwirklichung von Fühlern, die in dem Pyrometer der [Fig. 1](#) verwendet werden können, veranschaulichen.

GENAUE BESCHREIBUNG VON AUSFÜHRUNGSFORMEN

[0029] Das erfindungsgemäße Pyrometer ist sche-

matisch in [Fig. 1](#) veranschaulicht. Es weist einen optischen Fühler oder Auffänger **1** auf, der gegenüber einem warmen Körper oder in einer gasförmigen Umgebung, dessen oder deren Temperatur zu messen ist, angeordnet ist und mittels einer dazwischen liegenden optischen Einzelfaser **3** mit einer optischen Baugruppe **2** verbunden ist. Ein Erfassungselement, das am Ausgang der optischen Baugruppe angeordnet oder bevorzugt in diese Baugruppe integriert ist, erlaubt eine Umwandlung der optischen Signale, die er liefert, in elektrische Signale, die von einer Verarbeitungsanordnung **5** auswertbar sind (nach eventueller Umwandlung und Anpassung durch ein Umwandlungselement **4**), die dann den Wert der gesuchten Temperatur erzeugt.

[0030] Die Gestaltung des gezeigten Pyrometers ist bichromatisch, das heißt, dass die thermische Strahlung, die von der Oberfläche des warmen Körpers oder dem Gas emittiert wird (wobei der Messfühler also eine als schwarzer Mikrokörper dienende Beschichtung aufweist) an zwei verschiedenen Spektralbanden gemessen wird. Es ist daher möglich, die Fehlerquellen, die Verlusten an Übertragung und Kopplung der Strahlung entsprechen (Biegungen, Anschlüsse, Unsauberkeiten), die im Falle einer monochromatischen Analyse direkt die Messung beeinflussen, zu begrenzen. Im Gegensatz dazu erfordert ein bichromatischer Aufbau, die aus der Faser herauskommende Strahlung in zwei Teile zu zerlegen. Dies ist die Aufgabe der optischen Baugruppe **2**, deren körperlicher Aufbau nun im Hinblick auf [Fig. 2a](#) genauer beschrieben wird.

[0031] Diese optische Baugruppe **2** weist am Eingang Eingangskollimationsmittel **20** auf, die dazu geeignet sind, die aus der Faser **3** herauskommende Strahlung parallel zu Mitteln zum Zerlegen dieses Bündels in zwei Teile, die von einem dichroitischen Plättchen **22** gebildet werden, das gleichermaßen eine Rolle als Hochpassfilter in Transmission und als Tiefpassfilter in Reflexion spielt, zu übertragen. Die dieses Plättchen verlassenden Bündel werden dann direkt oder über einen zwischengeschalteten Spiegel **28** zu Mitteln zur spektralen Auswahl (rote und blaue Spektren), die Interferenzfilter **30**, **32** enthalten, gelenkt. Ausgangs-Fokussierungsmittel **24**, **26**, die am Ausgang dieser Filter angeordnet sind, erlauben es, die zerlegten Strahlungen auf Quantendetektoren **33**, **34**, bevorzugt Arsenid von Gallium-Indium (InGaAs), zu bündeln. Die so ausgeführte optische Baugruppe ist besonders kompakt und zeigt verbesserte Leistungen. Tatsächlich sind einerseits die Signalhöhen, die am Eingang der Quantendetektoren (fotovoltaisch) verfügbar sind, besser als die Signalhöhen, die am Ausgang eines Zerlegekubus aufgenommen werden könnten, und andererseits ist das dichroitische Plättchen nicht polarisationsempfindlich und führt im Falle einer eventuellen schlechten Konvergenz der Strahlung keine Abweichungen ein. Die Verstärkung

bei jedem der Lichtströme, die das Plättchen verlassen, ist 100%, bezogen auf eine Vorrichtung mit Zerlegekubus. Es ist auch möglich, entweder für die Messung einer gleichen Temperatur eine Faser mit geringerem Durchmesser zu verwenden, oder den gemessenen Temperaturbereich auszudehnen, insbesondere zu den tiefen Temperaturen hin. Es kann festgestellt werden, dass im Fall von Messungen bei großen Spektralbanden (300–400 nm) die Interferenzfilter **30**, **32** vorteilhafterweise weggelassen werden können. Es kann auch festgestellt werden, dass die Verwendung von optischen achromatischen Zweilinsern auf der Stufe der Fokussierungsmittel erlaubt, darüber hinaus eine optimale räumliche Auflösung zu erhalten, was die Zuhilfenahme von Detektoren mit geringer Oberfläche erlaubt.

[0032] [Fig. 2b](#) zeigt ein zweites Ausführungsbeispiel der optischen Baugruppe. Tatsächlich kann festgestellt werden, dass für bestimmte Anwendungen, bei denen eine Verlagerung der Messung nicht notwendig ist, die Messung direkt ausgehend von der optischen Baugruppe **2** ausgeführt werden kann, indem diese mit Mitteln ausgestattet wird, die eine pyrometrische Beobachtung erlauben. Diese Mittel weisen Eingangsfokussierungsmittel **18** auf, die die Strahlung einfangen und sie im Brennpunkt der Eingangskollimationsmittel **20** fokussieren, wobei die Lichtströme dann, wie vorstehend, zu den Mitteln zum Zerlegen **22** gelenkt werden und bei den Detektoren **33**, **34** enden.

[0033] Die von den fotovoltaischen Detektoren gelieferten elektrischen Ströme werden in dem Strom-Spannungs-Umwandlungselement **4**, das aus Gründen der Verbesserung des Signal/Rausch-Verhältnisses vorteilhafterweise in die optische Baugruppe integriert sein kann, in Spannung umgewandelt und normiert.

[0034] Die Spannungen der Farbe, die von diesem Element auf der Stufe jedes der zwei Messkanäle geliefert werden, werden als V_r (Spannung von Rot) und V_b (Spannung von Blau) bezeichnet.

[0035] Die Verarbeitung der Signale V_r und V_b , ausgehend von denen die zu messende Temperatur T bestimmt wird, wird in dem Verarbeitungselement **5** von dem verschiedene Ausführungsbeispiele dem [Fig. 3](#) bis [Fig. 5](#) gezeigt sind, ausgeführt, wobei die Architekturen der [Fig. 3](#) und [Fig. 4](#) als solche nicht beansprucht werden.

[0036] In [Fig. 3](#) weist dieses Element eine vereinfachte, gleichzeitig analoge und digitale Bauart auf, die besonders an langsame Messtakte (in der Größenordnung von 1000 Messungen pro Sekunde) angepasst ist. Die Spannungen V_r und V_b werden zu einem analogen Teiler **40** gelenkt, der das Verhältnis V_r/V_b erstellt und es an einen Analog-Digital-Wandler

42 liefert dessen Ausgang mit einem Speicherelement **44** verbunden ist, das eine Umrechnungstabelle $t = f(V_r/V_b)$ aufweist und den Wert der Temperatur T , der dem berechneten Verhältnis entspricht, am Ausgang des Wandlers liefert.

[0037] Im Gegensatz dazu weist dieses Verarbeitungselement in [Fig. 4](#) eine vollständig digitale Bauart auf, die geordnet ist um eine digitale Berechnungsanordnung mit Mikroprozessor **50**, die die Spannungen V_r und V_b , die aus den Detektoren herauskamen und von den Analog-Digital-Wandlern **52**, **54** digitalisiert wurden, empfängt, und die nach Berechnung einen dem Verhältnis von V_r/V_b gleichen digitalen Wert für Speichermittel **56**, denen direkt, wie vorstehend, die gemessene Temperatur T entnommen wird, liefert. Ein mit der Berechnungsanordnung **50** verbundenes Synchronisationsmodul **58** sichert das Auslösen des Messvorgangs nach Befehl einer Steuerungs-Software, die gespeichert ist in einem vorteilhafterweise programmierbaren und löschbaren Festspeicher **60** (EPROM). Ein Anzeigemodul **62** erlaubt die Sichtbarmachung der Temperatur T , aber auch diejenige des Verhältnisses V_r/V_b .

[0038] Um sehr schnelle Messtakte (bis zu 110.000 Messungen pro Sekunde) zu erlauben, haben die Wandler eine Auflösung von 16 Bit und weisen Umwandlungszeiten in der Größenordnung von Mikrosekunden auf. Das Verhältnis V_r/V_b wird von der digitalen Berechnungsanordnung **50** in Echtzeit berechnet und wird als Teilwert verwendet, um den Wert der Temperatur den Speichermitteln, die wie vorstehend eine Wertetabelle (Umrechnungstabelle), die für jedes Verhältnis V_r/V_b die Temperatur T angibt, aufweisen, zu entnehmen.

[0039] In dem Fall des erfindungsgemäßen bichromatischen Pyrometers ist der Wert der Temperatur durch die folgende Formel gegeben:

$$T = A/(\log(V_r/V_b) + B)$$

wobei V_r und V_b die zwei Spannungen der Farbe (Rot und Blau), die von den Detektoren geliefert werden, sind und A und B zwei Konstanten, die durch eine vorangehende Eichung bestimmt werden, sind.

[0040] Nun aber wird die Berechnung von T , ausgehend von V_r und V_b , in Echtzeit, wenn sie auch für langsame Messtakte keine besonderen Schwierigkeiten zeigt und mittels einer klassischen analogen oder digitalen Technologie ausgeführt werden kann, ein echtes Problem, wenn es darum geht, sie mit schnelleren Takten durchzuführen. Tatsächlich werden die analogen Techniken jenseits einer Ansprechzeit von 1 ms sehr komplex und erfordern die Zuhilfenahme von speziellen Elementen, die sich im Gebrauch als sehr empfindlich erweisen. Was die digitalen Techniken betrifft, erfordert die Berechnung eines

Logarithmus, ja sogar die Durchführung mehrerer Teilungen, nachfolgende Ausführungszeiten, die sich als mit sehr hohen Messtakten unvereinbar erweisen.

[0041] Die vorliegende Erfindung hat auch dieses Problem gelöst unter Zuhilfenahme der Umrechnungstabelle $T = f(V_r/V_b)$, die ein Ensemble von Werten aufweist, die vorher bestimmt und mit jeder Veränderung der mittels Eichungen erhaltenen Konstanten A und B ins Reine gebracht werden. Tatsächlich entwickeln sich die Signale V_r und V_b in sehr großen Ausmaßen, während das Verhältnis V_r/V_b im Gegensatz dazu in einem ziemlich eingeschränkten Bereich, der mit einer Umrechnungstabelle vernünftiger Größe leicht vollständig abzudecken ist, eingeschlossen bleibt. So erhält man, indem man alle die Werte des Verhältnisses V_r/V_b , die zwischen 0,3 und 2,6 liegen, in Schritten von 10^{-3} nimmt, eine Tabelle, die als Eingangsvariable das Verhältnis V_r/V_b und als Ausgangsvariable die Temperatur T hat und in einem Speicher von 2048 Worten gespeichert werden kann. Das Verfahren der Temperaturmessung erschöpft sich also in der einfachen Berechnung des Verhältnisses der Spannungen der Farbe V_r/V_b und in der Anpeilung des Werts der entsprechenden Temperatur in einem Speicher, der diese Umrechnungstabelle enthält. Offensichtlich kann diese originelle Lösung auch für langsamere Takte verwendet werden, wie es das Ausführungsbeispiel der [Fig. 3](#) zeigt.

[0042] Die Berechnung des Verhältnisses V_r/V_b wird ausgeführt auf der Stufe der Berechnungsanordnung **50**, die vorteilhafterweise ein Element aufweist, das auf die Verarbeitung digitaler Signale spezialisiert ist, wie beispielsweise einen Signalprozessor (digitalen Signalprozessor), der es erlaubt, Vorgänge mit 48, ja sogar 56 Bit auszuführen.

[0043] [Fig. 5](#) zeigt ein bevorzugtes Ausführungsbeispiel des Verarbeitungselements **5**. Die Signale V_r und V_b , die aus den zwei Messkanälen herauskommen und von den Erfassungselementen **33**, **34** geliefert werden, bilden jedes der Eingangssignale für einerseits einen schnellen Analog-Digital-Wandler **60a**, **60b**, und andererseits ein Multiplexer-Element, das einen Kanal in mindestens zwei Kanäle (vorteilhafterweise vier Kanäle) **62a**, **62b** aufteilt, wobei jeder Ausgang des Multiplexer-Elements mit einem Verstärkerelement **64a**, **66a**, **68a**, **70a**; **64b**, **66b**, **68b**, **70b** verbunden ist, wobei jedes Element einen unterschiedlichen Verstärkungsfaktor (Verstärkung) hat, der bevorzugt unter den Verhältnissen 1, 4, 16 und 64 ausgewählt ist. Die von diesen Verstärkerelementen gelieferten Signale werden zu einem Demultiplexer-Element, das mindestens zwei Kanäle (vorteilhafterweise vier Kanäle) zu einem Kanal **72a**, **74b** vereinigt, gelenkt, wobei der Ausgang des Demultiplexer-Elements verbunden ist mit einem Stufen-Anpasser **74a**, **74b**, der eine Eingangsspannung für einen Ana-

log-Digital-Wandler **76a**; **76b** liefert. Die Ausgänge der zwei Wandler sind verbunden mit einer digitalen Recheneinheit, einem Signalprozessor **78**, der die Steuerung und Regelung des Ensembles der Elemente des Verarbeitungselements sicherstellt und den numerischen Wert T der gemessenen Temperatur erzeugt. Ein Digital-Analog-Wandler **80** erlaubt schließlich, über diese Temperatur in einer analogen Form zu verfügen. Das Verarbeitungselement **5** weist gleichermaßen auf, verbunden mit dem Prozessor **78**, ein Synchronisationsmodul **82**, eine Anordnung zur Eingabe und Ausgabe gegebener Größen (in Form einer Tastatur und eines Anzeigegeräts) **84**, einen Festspeicher **86** und einen Quick-RAM-Speicher (vom Flash-Typ) **88**.

[0044] Die Auslösung des Messvorgangs wird sichergestellt von dem Synchronisationsmodul **82** gemäß dem Befehl einer Steuerungs-Software, die in dem vorteilhafterweise programmierbaren und löschraren Festspeicher **86** (EPROM) gespeichert ist. Dieser Vorgang beginnt mit einer schnellen, aber groben Umwandlung, beispielsweise auf einfach 6 Bit, die von den schnellen Wandlern **60a**, **60b** durchgeführt wird, um die Größenordnung der Spannungen der Farbe V_r und V_b abzuschätzen. Ausgehend von den erhaltenen Werten bestimmt der Prozessor **78** die angepassteste Verstärkung (1, 4, 16 oder 64) auf jedem der zwei Messkanäle (diese Bestimmung wird für jeden Messpunkt in Echtzeit ausgeführt), was auf diese Weise eine Verringerung der Dynamik der Signale erlaubt. Die Anpassungsstufe **74a**, **74b** erlaubt es, die von den ausgewählten Verstärkerelementen gelieferten Signale zu kalibrieren, um von der Gesamtheit der Auflösung des Analog-Digital-Wandlers **76a**, **76b**, der die Umwandlung in bevorzugt mindestens 12 Bit ausführt, zu profitieren. Die digitalisierten Werte von V_r und V_b dienen zur Berechnung des Verhältnisses V_r/V_b , die von der arithmetischen und logischen Verarbeitungseinheit des Prozessors **78** vollzogen wird.

[0045] Ein Ausführungsbeispiel der Verstärkerelemente der Verstärkung 4, 16 oder 64, wobei das Verstärkerelement mit einheitlicher Verstärkung in klassischer Weise von einem einfachen operativen Verstärker, der in Spannungsnachführung gebaut ist, verwirklicht wird, ist in der [Fig. 6](#) veranschaulicht. Die Eingangsstufe wird von einem operativen Verstärker mit Feldeffekttransistoren (TEC) **90** gebildet, der es erlaubt, einen Strom mit sehr geringer Versetzung und der wenig mit der Temperatur schwankt, zu erhalten. Die Geringfügigkeit des Durchlassbereichs dieses TEC-Verstärkers und des maximalen Schwankungsgrads seiner Ausgangsspannung (slew-rate) wird kompensiert durch die Anwesenheit eines zweiten operativen Verstärkers mit doppelpoligen Transistoren **92**, der im Gegensatz dazu einen sehr großen Durchlassbereich und eine sehr hohe slew-rate hat, an seinem Ausgang. Das Signal V_e ,

das aus dem Multiplexer-Element **62a**; **62b** herauskommt, wird zu dem nicht-umpolenden Eingang des ersten Verstärkers **90** gelenkt, wobei sein umpolender Eingang mit dem Mittelpunkt eines verstellbaren Potentiometers ΔR verbunden ist, dessen zwei Enden jeweils mit einem Ende eines ersten Widerstands R_1 , dessen anderes Ende mit dem Ausgang des zweiten Verstärkers **92** verbunden ist, und mit einem Ende eines zweiten Widerstands R_2 , dessen anderes Ende mit einem positiven Bezugspotential verbunden ist, verbunden sind. Der Ausgang des ersten Verstärkers bildet den umpolenden Eingang des zweiten Verstärkers, dessen nicht-umpolender Eingang am Ausgang dieses zweiten Verstärkers durch einen dritten Widerstand R_3 zur Schleife geschaltet ist und über einen vierten Widerstand R_4 mit einem negativen Referenzpotential verbunden ist. Indem man das Verhältnis der Widerstände R_3/R_4 gleich demjenigen der Widerstände R_1/R_2 wählt, ist die Verstärkung dieser Verstärkungs-Anordnung dann einfach durch das Verhältnis von R_1/R_2 gegeben.

[0046] Das Synchronisations-Modul **58**, **82**, das dafür zuständig ist, den Messvorgang durch die Aktivierung des entsprechenden Ausschaltens des Prozessors **50**, **78** auszulösen, ist in [Fig. 7](#) dargestellt. Dieses Modul weist ein Multiplexer-Element **94** auf, das vier Kanäle zu einem Kanal vereint, das jeweils auf jedem seiner vier Eingänge empfängt: ein äußeres Signal, die Ausgangssignale der zwei Taktgeber-Elemente **96**, **98** der Frequenz 10 und 10000 Hz, und das Ausgangssignal eines Komparators **99**, der am Eingang einerseits das Signal V_b und andererseits eine vorbestimmte Schwellenspannung empfängt. Die Wahl des einen oder des anderen dieser Signale wird von dem Signalprozessor **78** ausgeführt, der so vier verschiedene Synchronisationsmodi erzeugt: einen langsamen Modus für die Eichung, in dem die Konstanten A und B und die Werte von V_r und V_b an der Tastatur manuell eingegeben werden (in diesem Modus beträgt die Messfrequenz vorteilhafterweise einige Hz, beispielsweise 10 Hz, und der Durchlassbereich auf jedem Kanal ist dann eingeschränkt), und drei schnelle Modi, die sich durch das Auslöseprinzip der Messung unterscheiden. In einem Außensynchronisationsmodus wird die Berechnung der Temperatur durch ein äußeres logisches Signal ausgelöst, wobei diese Berechnung dann bis zu 110000 mal pro Sekunde vollzogen werden kann. In einem Innensynchronisationsmodus wird die Berechnung durch das Signal V_b ausgelöst, sobald dieses die vorgegebene Schwelle der Spannung überschreitet. In einem Synchronisationsmodus mit festgelegter Frequenz wird die Berechnung 10000 mal pro Sekunde ausgelöst. Es versteht sich, dass die vorher genannten verschiedenen Frequenzen rein beispielhaft angegeben wurden, und indem man sie verändert, ist es möglich, das erfindungsgemäße Pyrometer an eine sehr große Anzahl von Situationen anzupassen. Beispielsweise ist das Pyrometer in der Lage, Er-

scheinungen zu charakterisieren, die natürliche Periodizitäten haben (beispielsweise Turbinenschaukeln), wie Vorgänge, die irgendwelche Veränderungen a priori zeigen.

[0047] Die verschiedenen Berechnungsschritte der Temperatur, ausgehend von den Spannungen der Farbe V_r und V_b , werden nun im Hinblick auf [Fig. 8](#) beschrieben.

[0048] Nach einer Initialisierung, die in einem ersten Schritt **100** ausgeführt wird, begibt sich in einem Schritt **102** auf ein Unterbrechungssignal hin, das von dem Synchronisationsmodul **82** (Funktion Temperaturberechnung) oder von dem Steuerelement der Anzeige und der Tastatur **84** (Eichfunktion) erzeugt werden kann, der Prozessor in Bereitschaft.

[0049] Wenn diese Unterbrechung von dem Synchronisationsmodul stammt, liest der Prozessor in einem Schritt **104** die Werte der Spannung V_r , V_b , die von den schnellen Wandlern **60a**, **60b** geliefert werden, dann wählt er, in dem Schritt **106**, die am besten an die Analog-Digital-Umwandlung angepasste Verstärkung, die er in einem Schritt **108** ausgibt. Parallel schreitet er, in einem Schritt **110**, zur Berechnung des Verhältnisses V_r/V_b (aus den sich aus der vorhergehenden Umwandlung ergebenden Werten). In dem folgenden Schritt **112** liest er in der Umrechnungstabelle den Wert der entsprechenden Temperatur, und in dem Schritt **114** wird dieser Wert T zu einem digitalen Ausgang geschickt oder an den Wandler **80** adressiert, der an seinem Ausgang das analoge Äquivalent t davon liefert. Am Ende der Umwandlung, in dem Schritt **116**, werden die Werte V_r und V_b von dem Prozessor gelesen und für die kommende Berechnung gesichert, und die Verstärkung wird während des folgenden Schritts **118** auf 1 zurückgesetzt. Je nach dem in dem Schritt **120** gewählten Funktionsmodus (Berechnungsmodus/Eichmodus) kehrt der Prozess entweder in den Ausgangsbereitschaftszustand zurück (**102**) oder adressiert die Werte von T und von V_r/V_b an das Steuerelement der Anzeige **84**.

[0050] Im Gegensatz dazu schreitet er, wenn die Unterbrechung von dem Steuerelement der Tastatur **84** stammt, zu einer Analyse der eingegangenen Meldung, und dann wird die entsprechende Aktion ausgeführt. Es kann sich um eine Änderung des Modus oder auch um eine Eichung mit Veränderung der Parameter A und B handeln. Nach Beendigung dieser Aktion kehrt der Prozessor in seinen Ausgangsbereitschaftszustand für eine neue Unterbrechung von Tastatur-Herkunft oder Synchronisationsmodul-Herkunft zurück.

[0051] Die [Fig. 9](#) und [Fig. 10](#) veranschaulichen zwei mögliche Bauarten für den Messfühler **1**. Bei einfacher Gestaltung verwenden diese Fühler eine

klassische optische Faser **120**, ohne irgendeine Fokussier-Vorrichtung, die dann gegenüber der Oberfläche, deren Temperatur zu messen ist, angeordnet ist, wobei diese Oberfläche einfach durch die Bewegung eines über sie streichenden Gases auf Temperatur gebracht werden kann. Eine derartige Faser ist beispielsweise eine Mehrtypen-Faser mit Stufenprofil aus Kieselsäureanhydrid/Kieselsäureanhydrid (Kern/Hülle). Die transparente Faser wird vorteilhafterweise bedeckt mit einer dünnen Schicht **122** aus einem opaken Material, die ihr einen thermischen und mechanischen Schutz sichert, der ausreichend, aber spezifisch für jede Anwendung ist (beispielsweise Abscheidung eines hitzebeständigen Materials durch Plasmaspritzen). Der Faser-Fühler wird mittels eines nicht dargestellten Verbinders mit der Übertragungsfaser **3** verbunden. In einer weiter entwickelten Version wird der Fühler gebildet von einem zylindrischen Stab aus Saphir **130**, dessen Strahlungsexpositionseite in der Gestalt einer halbkugelförmigen Kappe **132**, deren Radius sich in festgelegter Weise in Abhängigkeit von der beabsichtigten Anwendung ändert, ausgeführt sein kann. Es versteht sich, dass eine einfach senkrechte Fläche auch ins Auge gefasst werden kann. Die Ausgangsfläche des Saphirs, gegenüber der Faser, wird vorteilhafterweise in der Gestalt einer kugelförmigen Kappe **134** ausgeführt, die eine Fokussierung von praktisch fast der Gesamtheit des Flusses, bevor er in die Faser **3** übertragen wird (Maximierung der optischen Kopplung mit der Faser), erlaubt. Diese Lösung, die die Zuhilfenahme einer Linse, deren Einstellung immer heikel ist, vermeidet, ist dank der kleinen Anzahl von Teilen, die ins Spiel kommen, besonders zuverlässig. Sie zeigt auch den Nutzen geringer Kosten und den Nutzen, die wesentlichen Eigenschaften des Saphirstabs zu erhalten. Wie vorher weist die Außenfläche des Stabs einen thermischen und mechanischen Schutz **136** auf.

[0052] Außerdem ist in der in [Fig. 10](#) dargestellten Version, die zur Messung von Gasen, insbesondere bei hohen Temperaturen, bestimmt ist, die halbkugelförmige Kappe **132** mit verschiedenen Schichten bedeckt, die die Aufgabe haben, am freien Ende des Saphirs eine Beschichtung zu erzeugen, die eine thermische Ausstrahlung vom Typ schwarzer Körper verleiht. Diese Schichten, deren Gesamtdicke 10 bis 15 μm nicht überschreitet (insbesondere zur Erhaltung eines guten zeitlichen Ansprechens), optimieren einerseits die Wärme-Emission und -Übertragung und andererseits die thermo-mechanische und chemische Widerstandsfähigkeit des Fühlers in Abhängigkeit von seiner Umgebung (reduzierendes oder oxidierendes Milieu). Jede Schicht hat eine spezifische Funktion: eine erste, stark emittierende Schicht **138**, und eine zweite, opake und stark leitfähige Schicht **142**. Zwei Schichten reichen, jedoch eine Zwischenschicht **140** kann hinzugefügt werden, um die Diffusion der Wärme zu optimieren und so die

Temperatur zu vergleichmäßigen.

[0053] Das schnelle bichromatische Pyrometer gemäß der Erfindung ist dazu geeignet, in allen Stufen der Entwicklung und der Nutzung von Turbomotoren verwendet zu werden:

- In der Entwicklungsphase erlaubt die Kenntnis der Temperaturen der Schaufeln beispielsweise, die Wechselbeziehungen zwischen dem Gas und der Turbine oder die verschiedenen Methoden zur Kühlung zu untersuchen, und
- in der Betriebsphase wird das Auffinden von Anomalien durch die genaue Verfolgung der Entwicklung der Temperatur erleichtert.

[0054] Seine Schnelligkeit prädisponiert es außerdem für eine Verwendung in zahlreichen Spitzenbereichen. Beispielsweise die Messung von Teilchen in schneller Bewegung in Gasströmungen wie Fließbetten oder Plasmastrahlen. Beispielsweise auch die Behandlung von Oberflächen durch kurzweilige Bestrahlung mit Hilfe intensiver Strahlen (Laser, gebündelte Sonnenstrahlung, ...).

[0055] Dieses Pyrometer kann also die Kenntnis sehr komplexer experimenteller Daten über noch wenig untersuchte Erscheinungen, weil außerhalb der Reichweite der klassischen instrumentellen Ausrüstung, erlauben.

Patentansprüche

1. Schnelles bichromatisches Pyrometer, das zur Messung der Temperatur T eines Gases oder einer Oberfläche in Bewegung geeignet ist, aufweisend:

- einen Messfühler (**1**), welcher der Oberfläche gegenüber angeordnet oder in das Gas eingetaucht ist und eine für die Temperatur dieser Oberfläche oder dieses Gases charakteristische thermische Strahlung auffängt,
- eine optische Einzelfaser (**3**), die mit dem Messfühler verbunden ist und diese Strahlung übermittelt,
- eine optische Baugruppe (**2**), die mit der optischen Faser verbunden ist und diese Strahlung empfängt, wobei diese optische Baugruppe Eingangskollimationsmittel (**20**) zum Übertragen dieser Strahlung in der Gesamtheit, Mittel zum Zerlegen, die von einem dichroitischen Plättchen (**22**) gebildet werden, zum Zerlegen der übertragenen Strahlung in zwei verschiedene Spektralbanden, und Ausgangs-Fokussierungsmittel (**24**, **26**) zum Bündeln der zerlegten Strahlungen enthält,
- ein Quantenerfassungselement (**2**, **4**), das diese zerlegten Strahlungen empfängt und ihre Umwandlung in zwei Spannungen der Farbe V_r , V_b sicherstellt,
- ein Verarbeitungselement (**5**), das diese Spannungssignale empfängt, und das Analog-Digital-Umwandlungsmittel (**52**, **54**; **76a**, **76b**), einen Signalverarbeitungs-Prozessor (DSP **50**, **78**), der ausgehend

von diesen numerischen Werten ein V_r/V_b -Verhältnis berechnet, und Speichermittel (**56, 88**), die mit einer Tabelle von durch Eichen vorbestimmten Werten $T = f(V_r/V_b)$ ausgestattet sind und am Ausgang, ausgehend von dem berechneten Verhältnis, die Temperatur T der Oberfläche oder des Gases liefern, enthält, wobei das Verarbeitungselement (**5**) außerdem Mittel (**60a, 60b**) zur schnellen Umwandlung der Werte V_r und V_b zur Abschätzung ihrer Größenordnung aufweist und das Verarbeitungselement (**5**) außerdem Mittel zur Anpassung der Verstärkungsstufe der Signale V_r und V_b gemäß den von den Mitteln zur schnellen Umwandlung an den Prozessor gelieferten Größenordnungen aufweist.

2. Schnelles bichromatisches Pyrometer, das zur Messung der Temperatur T einer Oberfläche geeignet ist, aufweisend:

- eine gegenüber der Oberfläche angeordnete optische Baugruppe (**2**), die eine thermische Strahlung, welche von dieser Oberfläche emittiert wird und für ihre Temperatur charakteristisch ist, auffängt, und die Eingangs-Fokussierungsmittel (**18**), welche die emittierte Strahlung empfangen und die im Brennpunkt der Eingangs-Kollimationsmittel (**20**) zum Übertragen der empfangenen Strahlung in der Gesamtheit fokussieren, Mittel zum Zerlegen, die von einem dichroitischen Plättchen (**22**) gebildet werden, um diese Strahlung in zwei verschiedene Spektralbanden zu zerlegen, und Ausgangs-Fokussierungsmittel (**24, 26**) zum Bündeln der zerlegten Strahlungen enthält,
- ein Quantenerfassungselement (**2, 4**), das diese zerlegten Strahlungen empfängt und ihre Umwandlung in zwei Spannungen der Farbe V_r, V_b sicherstellt, und
- ein Verarbeitungselement (**5**), das diese Spannungssignale empfängt, und das Analog-Digital-Umwandlungsmittel (**52, 54; 76a, 76b**), einen Signalverarbeitungs-Prozessor (DSP **50, 78**), der ausgehend von diesen numerischen Werten ein V_r/V_b -Verhältnis berechnet, und Speichermittel (**56, 88**), die mit einer Tabelle von durch Eichung vorbestimmten Werten $T = f(V_r/V_b)$ ausgestattet sind und am Ausgang, ausgehend von dem berechneten Verhältnis, die Temperatur T der Oberfläche liefern, enthält, wobei das Verarbeitungselement (**5**) außerdem Mittel (**60a, 60b**) zur schnellen Umwandlung der Werte V_r und V_b zur Abschätzung ihrer Größenordnung aufweist, das Verarbeitungselement (**5**) außerdem Mittel zur Anpassung der Verstärkungsstufe der Signale V_r und V_b gemäß den von den Mitteln zur schnellen Umwandlung an den Prozessor gelieferten Größenordnungen aufweist.

3. Schnelles bichromatisches Pyrometer nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass jedes der Ausgangs-Fokussierungsmittel (**24, 26**) der zerlegten Strahlungen vorgeschaltete Interferenzfiltermittel (**30, 32**) hat.

4. Schnelles bichromatisches Pyrometer nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass die Fokussierungsmittel (**18, 24, 26**) achromatische Zweilinser aufweisen.

5. Schnelles bichromatisches Pyrometer nach Anspruch 1 oder Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass die Mittel zur schnellen Umwandlung zwei Analog-Digital-Wandler vom Flash-Typ enthalten.

6. Schnelles bichromatisches Pyrometer nach Anspruch 1 oder Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass die Mittel zur Anpassung für jedes Signal V_r oder V_b ein Multiplexer-Element, das einen Kanal in mindestens zwei Kanäle aufteilt (**62a; 62b**), welches das Signal empfängt und es an eines von mindestens zwei Verstärkerelementen verschiedener Verstärkung (**64a, 66a, 68a 70a; 64b, 66b, 68b, 70b**) liefert, deren Ausgänge mit einem Demultiplexer-Element, das mindestens zwei Kanäle zu einem Kanal vereinigt (**72a; 72b**), verbunden sind, enthalten, wobei für jede Berechnung des Verhältnisses V_r/V_b ein einziges der Verstärkerelemente ausgewählt wird.

7. Schnelles bichromatisches Pyrometer nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass das Verarbeitungselement (**5**) außerdem Digital-Analog-Umwandlungsmittel (**80**), die am Ausgang des Signalprozessors angeordnet und dazu geeignet sind, einen analogen Wert der gemessenen Temperatur zu erhalten, aufweist.

8. Schnelles bichromatisches Pyrometer nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass das Erfassungselement zwei Quantendetektoren (**33, 34**) vom InGaAs-Typ aufweist.

9. Schnelles bichromatisches Pyrometer nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass die Speichermittel zum Speichern einen schnellen Speicher vom Flash-Typ enthalten.

10. Schnelles bichromatisches Pyrometer nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass das Verarbeitungselement (**5**) ersetzt ist durch ein Element, das einen analogen Teiler (**40**) aufweist, der die Signale V_r und V_b empfängt und das Verhältnis V_r/V_b für einen Analog-Digital-Wandler (**42**) liefert, dessen Ausgang mit einem Speicherelement (**44**) verbunden ist, welches eine Tabelle des Wertes $T = f(V_r/V_b)$ enthält und die gemessene Temperatur T liefert.

11. Schnelles bichromatisches Pyrometer nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass der Messfühler einen Saphir-Stab (**130**), der mit einer dünnen Schutzschicht (**136**) bedeckt ist, und dessen der Faser (**3**) gegenüberliegendes Ende eine kugelförmige Kappe (**134**) aufweist, die in der Faser fast die Gesamtheit der emittierte Strahlung fokussiert,

aufweist.

12. Schnelles bichromatisches Pyrometer nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass das Ende des Messfühlers, das die Strahlung der Oberfläche empfängt, eine halbkugelförmige Kappe (**132**) aufweist, deren Radius entsprechend dem Abstand von der Oberfläche festgelegt ist.

13. Schnelles bichromatisches Pyrometer nach Anspruch 1 oder 12, das insbesondere geeignet ist zur Messung der Temperatur von Gasen, dadurch gekennzeichnet, dass ein Ende des Messfühlers, das die Strahlung empfängt, mit einer Beschichtung bedeckt ist, die ihm eine thermische Ausstrahlung vom Typ schwarzer Körper verleiht.

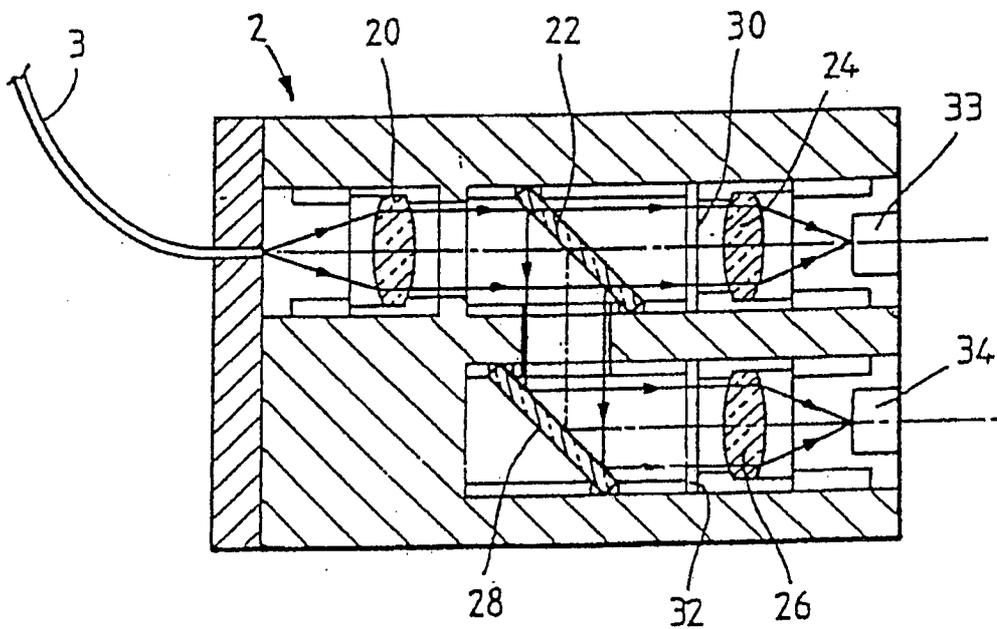
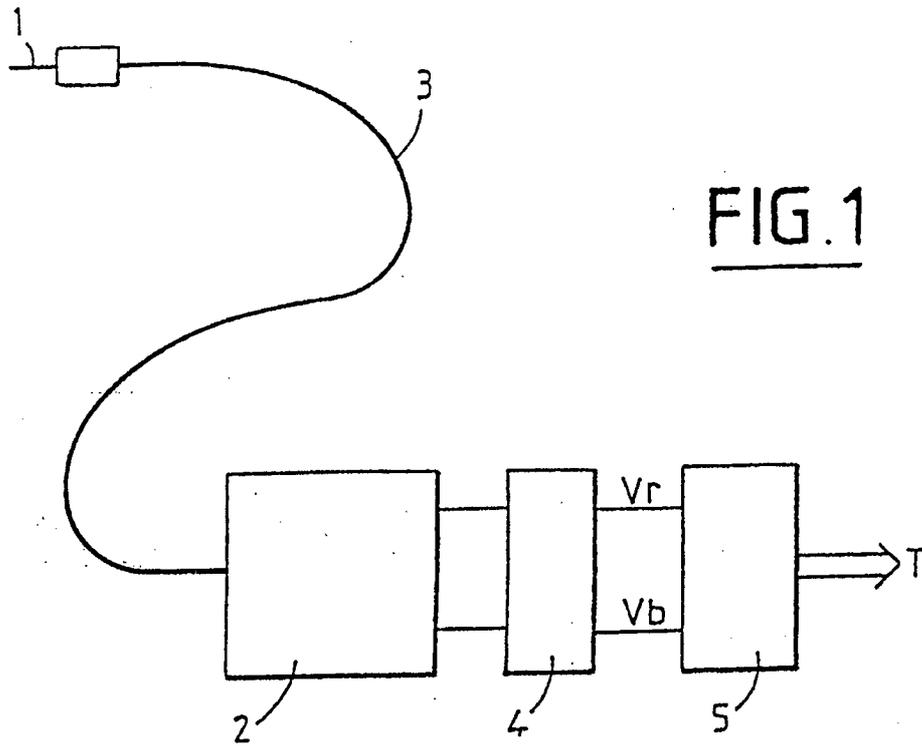
14. Schnelles bichromatisches Pyrometer nach Anspruch 13, dadurch gekennzeichnet, dass die Beschichtung aus einer stark emittierenden ersten Schicht (**138**) und einer zweiten Schicht (**142**), die lichtundurchlässig und stark leitfähig ist, besteht.

15. Schnelles bichromatisches Pyrometer nach Anspruch 14, dadurch gekennzeichnet, dass die Beschichtung außerdem eine Zwischenschicht (**140**) aufweist, die zwischen der ersten und der zweiten Schicht (**138**, **142**) angeordnet ist und eine Optimierung der Wärme-Diffusion und eine Vergleichmäßigung der Temperatur sicherstellt.

16. Verfahren zur Messung der Temperatur eines Gases oder einer Oberfläche in Bewegung durch die Bestimmung und Verarbeitung einer thermischen Strahlung, die für die Temperatur dieser Oberfläche oder dieses Gases charakteristisch ist, unter Verwendung des schnellen bichromatischen Pyrometers nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass es die folgenden Schritte aufweist:

- 1) Auffangen einer thermischen Strahlung, die für die Temperatur der Oberfläche oder des Gases charakteristisch ist,
- 2) Zerlegen dieser Strahlung in zwei Strahlungen unterschiedlicher Spektralbanden,
- 3) Umwandeln dieser zwei Strahlungen in zwei Spannungen der Farbe V_r und V_b ,
- 4) Abschätzen der Größenordnungen der Spannungen der Farbe V_r und V_b , um die Verstärkung eines Verstärkungselements dieser Spannungen anzupassen,
- 5) Berechnen ihres Verhältnisses V_r/V_b , und
- 6) Entnehmen des der gemessenen Temperatur T entsprechenden Werts aus einer Umrechnungstabelle $T = f(V_r/V_b)$, die vorher durch Eichung bestimmt wurde.

Es folgen 7 Blatt Zeichnungen



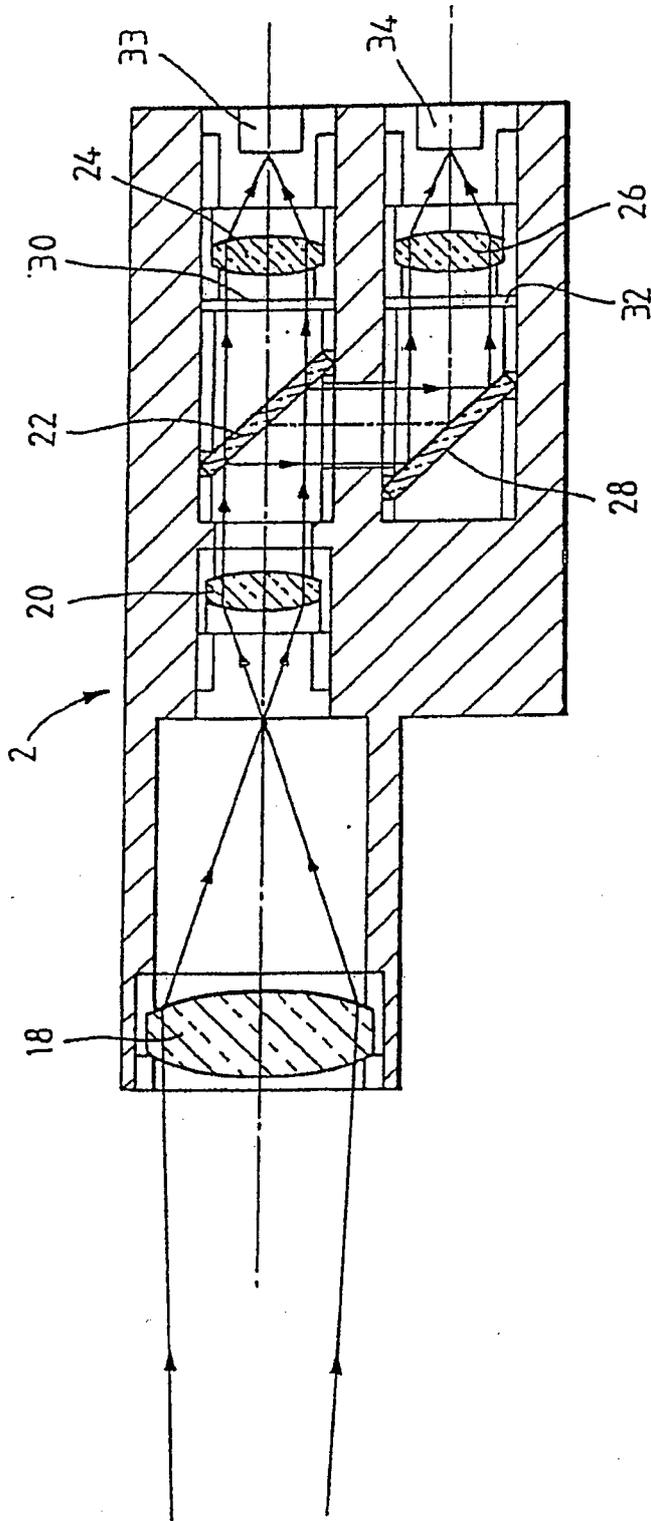


FIG. 2b

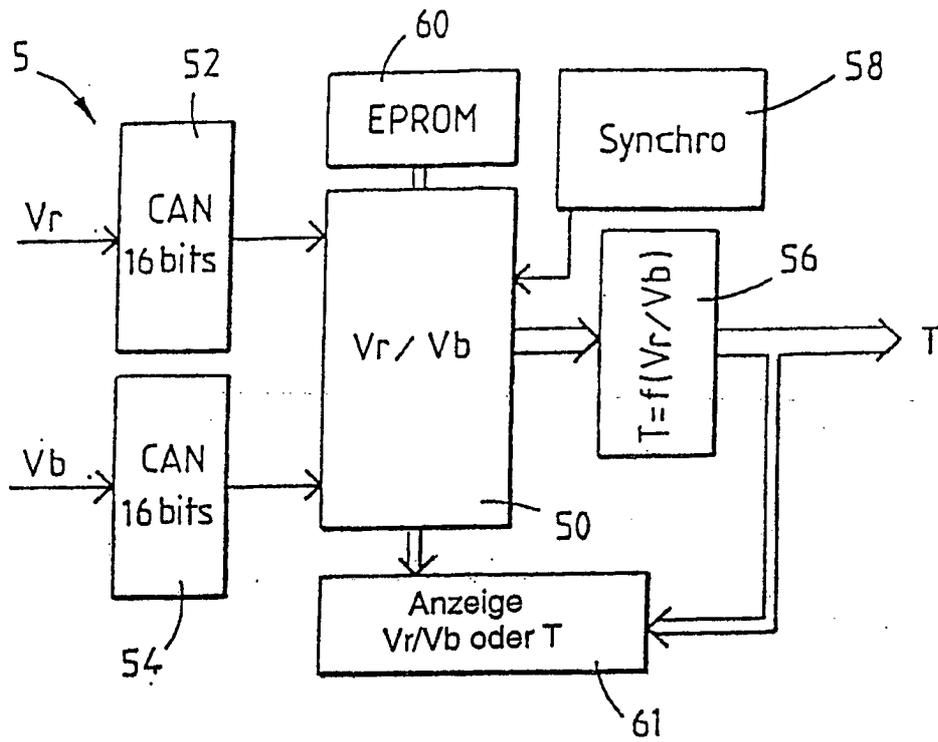


FIG. 4

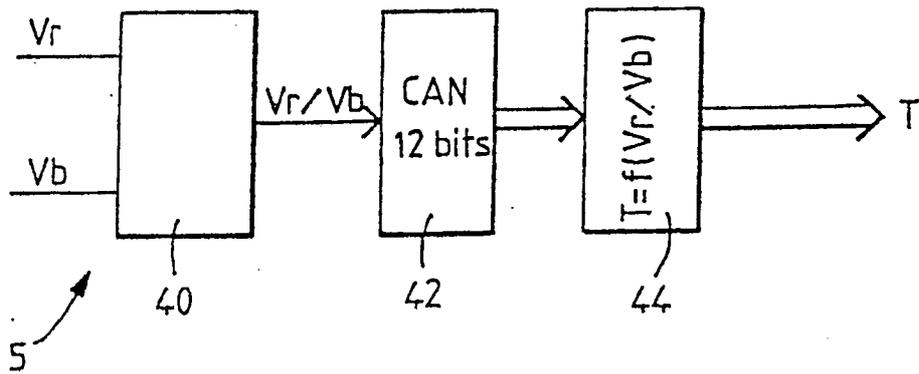


FIG. 3

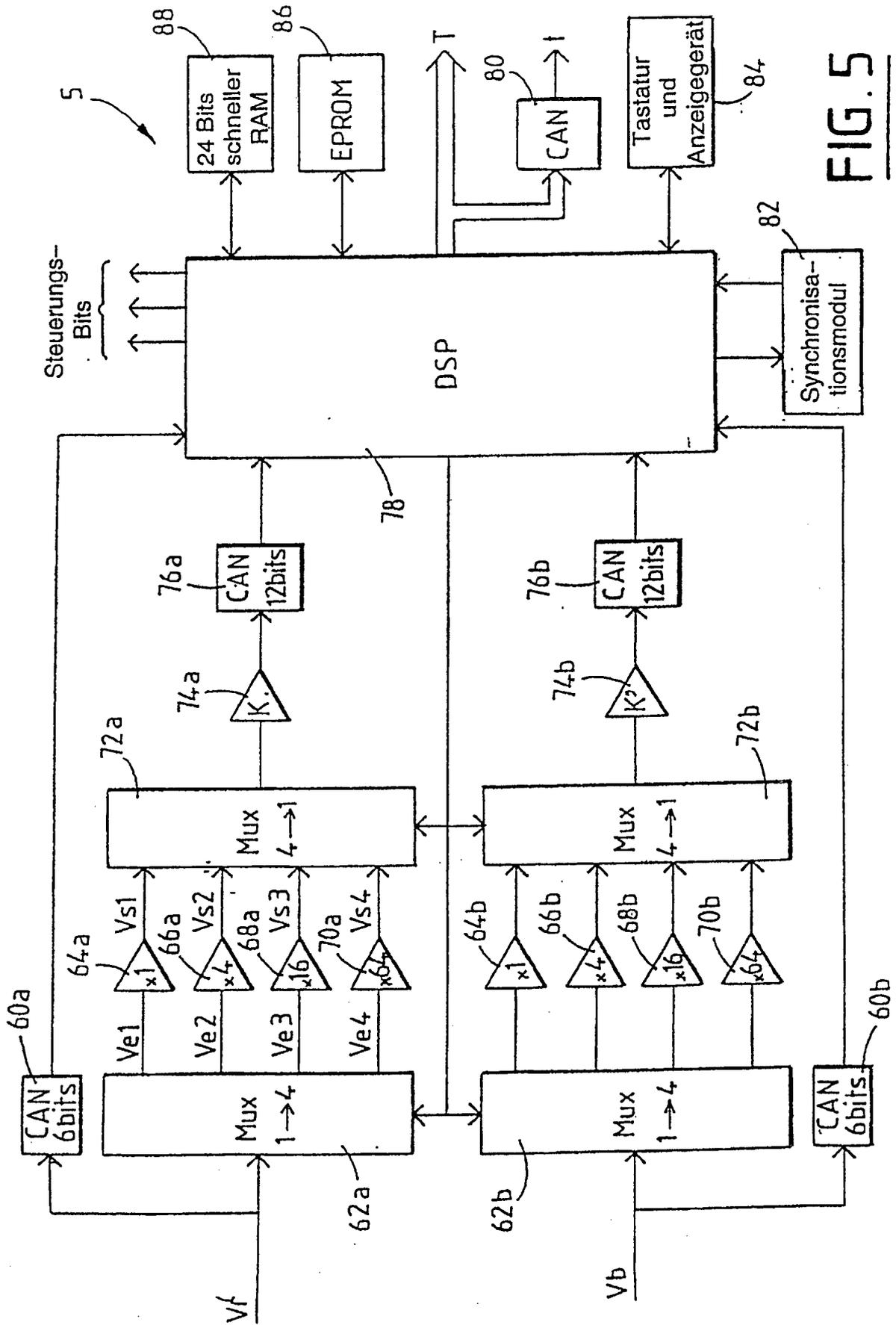


FIG. 5

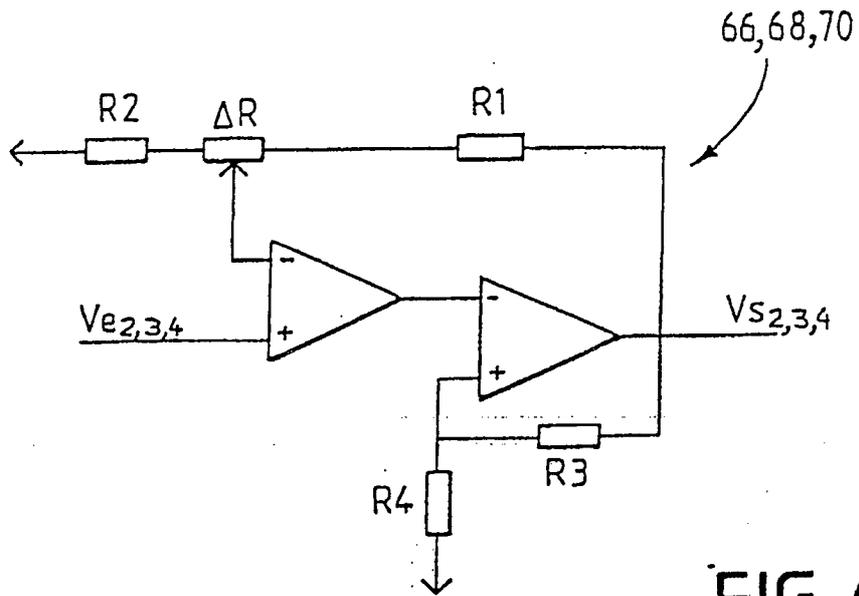


FIG. 6

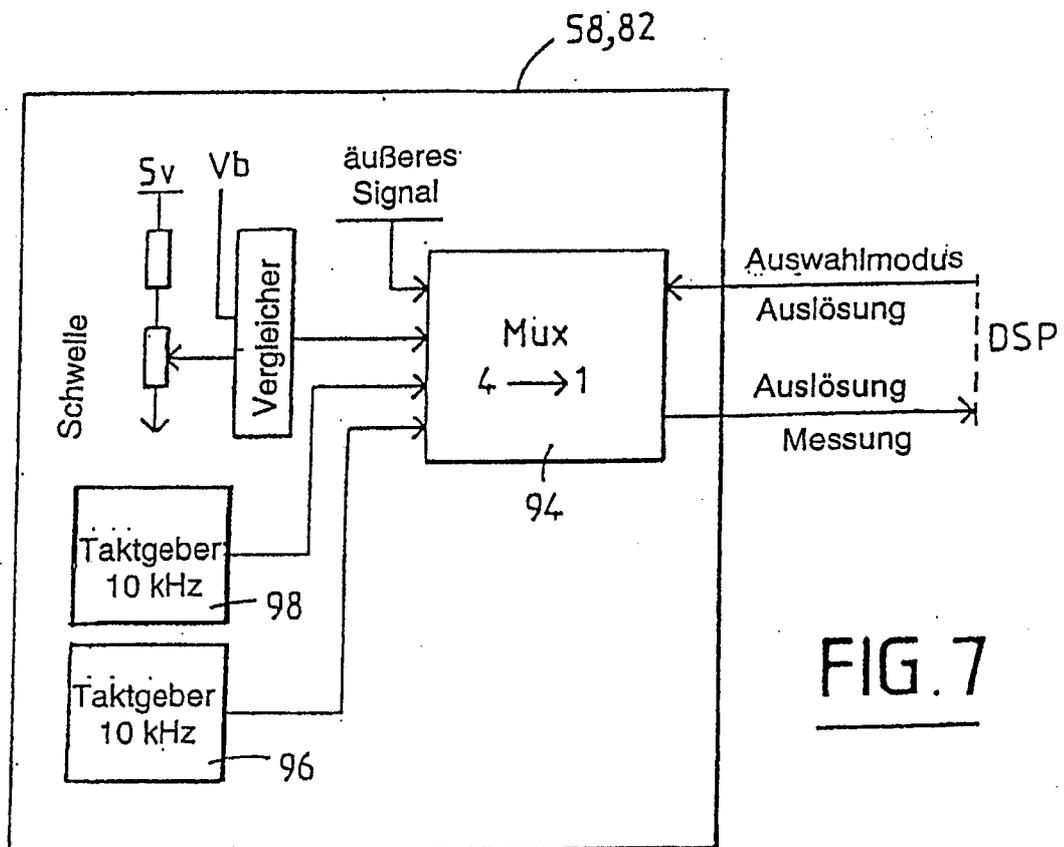


FIG. 7

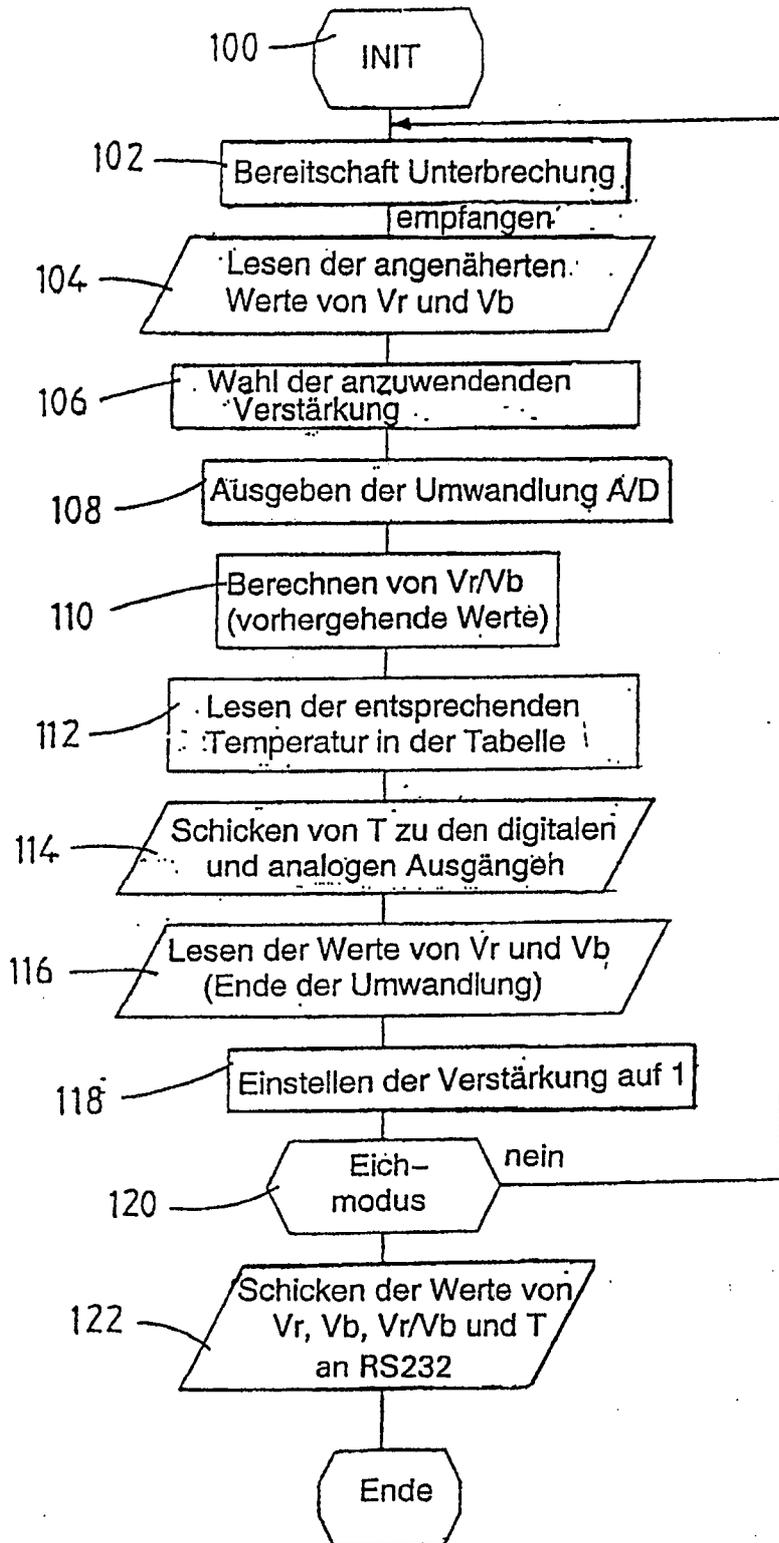


FIG. 8

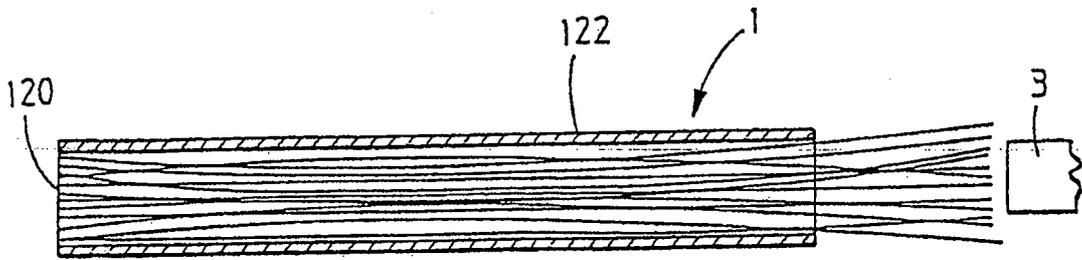


FIG. 9

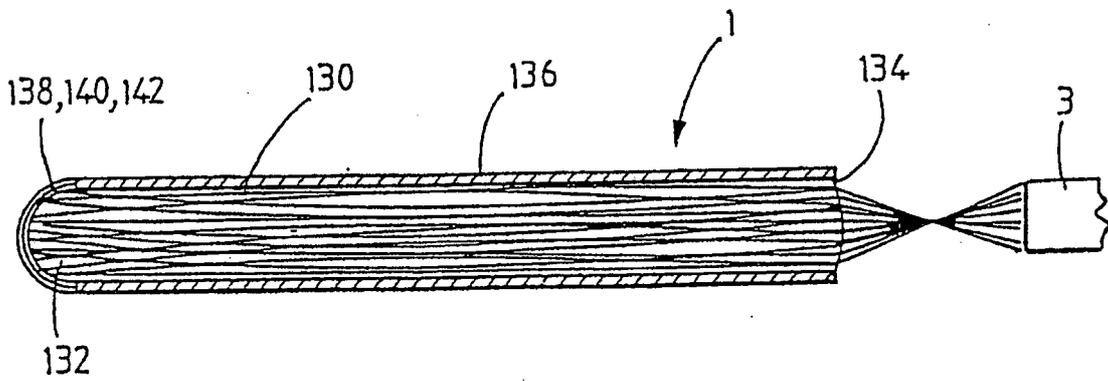


FIG. 10