



(19)
Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 697 33 138 T2** 2006.02.23

(12)

Übersetzung der europäischen Patentschrift

(97) **EP 0 920 609 B1**

(21) Deutsches Aktenzeichen: **697 33 138.5**

(86) PCT-Aktenzeichen: **PCT/US97/14537**

(96) Europäisches Aktenzeichen: **97 939 440.0**

(87) PCT-Veröffentlichungs-Nr.: **WO 98/008067**

(86) PCT-Anmeldetag: **19.08.1997**

(87) Veröffentlichungstag

der PCT-Anmeldung: **26.02.1998**

(97) Erstveröffentlichung durch das EPA: **09.06.1999**

(97) Veröffentlichungstag

der Patenterteilung beim EPA: **27.04.2005**

(47) Veröffentlichungstag im Patentblatt: **23.02.2006**

(51) Int Cl.⁸: **G01K 15/00** (2006.01)

(30) Unionspriorität:

702373 **23.08.1996** **US**

(73) Patentinhaber:

Accutru International Corp., Kingwood, Tex., US

(74) Vertreter:

**Hössle Kudlek & Partner, Patentanwälte, 70184
Stuttgart**

(84) Benannte Vertragsstaaten:

DE, DK, ES, FR, GB, IT, NL, SE

(72) Erfinder:

**LUNGHOFER, G., James, Colorado Springs, US;
BRANNON, Tom, C., Houston, US; CONNER, L.,
Bernard, Kingwood, US; TRANSIER, Lee,
Kingwood, US; CANNON, P., Collins, Liberty, US**

(54) Bezeichnung: **SELBSTPRÜFENDER TEMPERATURSENSOR**

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach der Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents kann jedermann beim Europäischen Patentamt gegen das erteilte europäische Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch ist schriftlich einzureichen und zu begründen. Er gilt erst als eingelegt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist (Art. 99 (1) Europäisches Patentübereinkommen).

Die Übersetzung ist gemäß Artikel II § 3 Abs. 1 IntPatÜG 1991 vom Patentinhaber eingereicht worden. Sie wurde vom Deutschen Patent- und Markenamt inhaltlich nicht geprüft.

Beschreibung

Technisches Gebiet der Erfindung

[0001] Diese Erfindung betrifft allgemein eine Vorrichtung und ein Verfahren zum Messen einer thermodynamischen Temperatur eines Systems und insbesondere eine selbstprüfende Vorrichtung zum Messen einer wahren thermodynamischen Temperatur eines Systems.

Hintergrund der Erfindung

[0002] Das genaue Messen von Temperatur ist für viele moderne industrielle Prozesse sehr wichtig geworden. Das typische industrielle Temperatorkontrollsystem bzw. -steuerungssystem verlässt sich auf Signalausgaben, die durch irgendeine Art einer Temperatursensorvorrichtung erzeugt wurden, um einen Temperaturmesswert für ein gegebenes System bereitzustellen. Der Temperaturmesswert wird dazu verwendet, die Energieeingabe, Materialeingabe, die Menge und die Qualität des Produkts, das hergestellt wird, Umwelt- und Sicherheitsparameter und andere Parameter, die kritisch für den ausgeführten Herstellungsprozess sind, zu regulieren. Festgesetzte Punkte, bei denen moderne Verarbeitungs-, Herstellungs- und Energieerzeugungsanlage betrieben werden, beziehen sich häufig auf gemessene Temperatur. Daher ist die Möglichkeit, eine Systemtemperatur genau zu messen und zu verifizieren, entscheidend für das Optimieren der Effizienz bzw. des Wirkungsgrads und der Sicherheit von jeglichem temperaturabhängigen Prozess. Als eine grundlegende physikalische Größe, wie Druck, Masse und Zeit, ist Temperatur jedoch sehr schwierig, genau zu messen, und große Schwierigkeiten treten beim Bestimmen auf, ob ein Temperaturmesswert, der von einem bestimmten Sensor bereitgestellt ist, die wahre thermodynamische Temperatur wiedergibt. Dem Stand der Technik fehlt jegliche Lehre einer Temperaturmessvorrichtung, die einen verifizierbar genauen Messwert einer Temperatur über einen bestimmten Temperaturbereich bereitstellen kann.

[0003] Ein zweites mit den verschiedenen Temperaturmessvorrichtung des Standes der Technik verknüpftes Problem ist, das alle bekannten Vorrichtung des Standes der Technik eine periodische bzw. zyklische Nach- bzw. Rekalibrierung in einem Kalibrierofen oder einer ähnlichen Vorrichtung nach einem Benutzungszeitabschnitt benötigen. Solche Kalibrierungen machen das Entfernen der Vorrichtung aus dem System, in dem es verwendet wird, während der Dauer der Rekalibrierung notwendig. Das Entfernen der Temperaturmessvorrichtung aus dem System führt zu Sicherheits- und Umweltrisiken, während die mit der Kalibrierung verknüpfte Ausfallzeit signifikante Kosten aufgrund von verllorener Produktivität darstellt.

[0004] Da Temperatur auf eine Vielzahl von Arten durch eine mannigfaltige Anordnung von Sensoren gemessen werden kann, existieren verschiedene Verfahren zur Temperaturmessung, die eine Vielzahl von allgemein wohlverstandenen Konzepten und Sensoren verwenden. Die verschiedenen Verfahren zur Temperaturmessung können in mehrere eindeutige Kategorien oder Familien von Vorrichtungen unterteilt werden, von denen jede auf verschiedenen wissenschaftlichen Prinzipien basiert oder diese verwendet. Die verschiedenen Familien von Vorrichtungen umfassen Widerstandsthermometrievorrichtungen (RTDs und Thermistoren), Thermopaare, optische Pyrometrievorrichtungen, wie etwa Hohlräume-missionsvorrichtungen und Infrarotstrahler, Bimetallvorrichtungen, Flüssigkeitsexpansionsvorrichtungen und Zustands- bzw. Phasenänderungsvorrichtungen. Die fundamentale Verknüpfung zwischen diesen eindeutigen bzw. verschiedenen Familien von Sensoren ist, dass jede Familie die Temperatur durch Aufzeigen irgendeiner Änderung einer physikalischen Charakteristik als Antwort auf eine Änderung der Temperatur ableitet. RTDs messen die Änderung des elektrischen Widerstands des Sensors, wenn sich seine Temperatur ändert, wobei der Widerstand ungefähr linear mit der Temperatur ansteigt. Thermistoren, die im allgemeinen aus verschiedenen keramischen Halbleitermaterialien hergestellt sind, zeigen ein nichtlineares Abfallen im Widerstand mit einem Ansteigen der Temperatur. Thermopaare messen die elektromotorische Kraft (EMF: electromotive force) zwischen einem Paar von unähnlichen Drähten. Optische Vorrichtungen, wie etwa Infrarotsensoren, leiten eine Temperatur ab, indem sie die von einem Material ausgesendete thermische Strahlung messen. Andere optische Vorrichtungen verwenden photolumineszente Prinzipien zum Bestimmen der Temperatur. Bimetallvorrichtungen messen den Unterschied in dem Maß der thermischen Ausdehnung zwischen verschiedenen Metallen. Flüssigkeitsexpansionsvorrichtungen, wie etwa typische Haushaltsthermometer, messen einfach die Volumenänderung eines bestimmten Fluids als Antwort auf eine Temperaturänderung. Letztendlich ändern Zustandsänderungs-Temperatur Sensoren ihre Erscheinung, wenn eine bestimmte Temperatur erreicht ist. Von den voranstehenden Temperatursensoren verwendet die große Mehrheit von in der Industrie verwendeten Vorrichtung heutzutage Widerstandsthermometrievorrichtungen, Thermopaarvorrichtungen oder optische Vorrichtungen.

[0005] Der Stand der Technik enthält vielzählige Beispiele von Widerstandsthermometrievorrichtungen. Das U.S. Patent Nr. 4,971,452, das am 20. November 1990 Finney veröffentlicht wurde, lehrt eine RTD zum Messen der Temperatur der wärmepfangenden Oberfläche eines Wärmetauschers. Die RTD umfasst eine RTD-Baugruppe, die direkt an die wärmepfangende Oberfläche des Wärmetauschers

geschweißt ist und die das Widerstandselement von Verbrennungsgasen abschirmt und das Widerstandselement von dem Mantel eines ummantelten Kabels, dass die RTD mit ihren verknüpften Schaltkreisen elektrisch verbindet, thermisch isoliert. Das U.S. Patent Nr. 5,073,758, das am 17. Dezember 1991 für Postlewait u.a. veröffentlicht wurde, zeigt einen Schaltkreis und ein Verfahren zum Messen des Widerstands in einer aktiven und Hochtemperatur-Umgebung.

[0006] Der Stand der Technik enthält ebenfalls vielzählige Beispiele von Thermopaaren und Thermoelementen. Das U.S. Patent Nr. 5,209,571, das am 11. Mai 1993 für Kendall veröffentlicht wurde, lehrt eine Vorrichtung zum Messen der Temperatur von geschmolzenem Metall. Die Vorrichtung umfasst ein Thermopaarelement, ein aus einem wärmebeständigem Material bestehendes Gehäuse und ein Aufnahmeelement zum Aufnehmen des wärmebeständigen Elements. Das U.S. Patent Nr. 5,232,286, das am 03. August 1993 für Dubreuil u.a. veröffentlicht wurde, zeigt eine Thermopaar für Hochtemperaturmessungen von flüssigen Metallen, Steinen und Schlacken. Das Thermopaar umfasst zwei Cermetelemente aus unähnlichen Metallen, in denen der thermoelektrische Schaltkreis durch das Medium geschlossen ist, dessen Temperatur gemessen wird. Das U.S. Patent Nr. 5,121,994, das am 16. Juli 1992 für Molitoris veröffentlicht wurde, zeigt eine Thermopaarsonde zur Verwendung in einer Autoclave bzw. einem Dampfkochtopf.

[0007] Der Stand der Technik enthält ebenfalls Beispiele von Temperaturmessvorrichtungen, die ein Paar von Thermopaaren verwenden. Als ein Beispiel lehrt das U.S. Patent Nr. 5,038,303, das am 06. August 1991 für Kimura veröffentlicht wurde, ein Verfahren und eine Vorrichtung zum Messen einer Temperatur, das ein Hauptthermopaar und ein Hilfsthermopaar verwendet, das mit einem Bein des Hauptthermopaars verbunden ist, um Kaltverbindungskompensation bereitzustellen. Das U.S. Patent Nr. 5,061,083, das am 29. Oktober 1991 für Grimm u.a. veröffentlicht wurde, lehrt eine Temperaturüberwachungsvorrichtung, die aus mindestens einem ersten Thermopaar und einem zweiten Thermopaar zusammengesetzt ist.

[0008] Jede der voranstehend benannten Vorrichtungen des Standes der Technik verwendet eine RTD oder ein Thermopaar oder, unter gewissen Umständen, ein Paar von Thermopaaren, jedoch enthält der Stand der Technik keine Lehre, ein RTD mit einem Thermopaar zu kombinieren. Weiterhin enthält der Stand der Technik keine Lehre, irgend einen anderen Typ eines Impedanzelements (Kondensatoren, Induktoren bzw. Spulen, Kristalle oder Halbleiter) mit einem oder mehreren Thermopaaren zu kombinieren. Letztendlich enthält der Stand der Technik keine

Lehre, zwei oder mehrere Thermoelementdrähte mit irgendeiner Art eines Impedanzelements zu kombinieren.

[0009] Der Stand der Technik lehrt ebenfalls das Kombinieren zweier optischer Temperaturmessvorrichtungen. Das U.S. Patent Nr. 5,112,137, das am 12. Mai 1992 für Wickersheim u.a. veröffentlicht wurde, lehrt eine Vorrichtung und ein Verfahren zum Messen von Hochtemperaturbereichen unter Verwendung von Hohlraum- bzw. Schwarzstrahler-Techniken und niedriger Temperaturbereiche unter Verwendung von photolumineszenten Techniken, die beide optische Temperaturmesstechniken sind. Wickersheim lehrt nicht das Kombinieren zweier Sensoren von verschiedenen Familien von Sensoren, wie etwa einer Widerstandsvorrichtung und einem Thermopaar oder einer Widerstandsvorrichtung und einer optischen Vorrichtung oder ähnliche Kombinationen.

[0010] Eine weitere fundamentale Einschränkung bei den Temperaturmessvorrichtungen des Standes der Technik ist, dass diese Vorrichtungen nicht dazu in der Lage sind, eine zuverlässige Überprüfung der Kalibrierung über den Temperaturbetriebsbereich ohne ein Entfernen des Sensors zum Vergleichen mit einer bekannten Kalibrierungsreferenz bereitzustellen. Die fundamentale Einschränkung aller Vorrichtungen des Standes der Technik ist, dass sie eine einzelne Familie von Temperaturmessvorrichtungen verwenden, d.h. RTDs, Thermoelemente, optische Vorrichtungen, usw., um die Temperatur zu messen. Obwohl gewisse Vorrichtungen im Stande der Technik existieren, die mehr als eine Temperaturmessvorrichtung verwenden, wie etwa ein Paar von Thermopaaren oder ein Paar von optischen Vorrichtungen, enthält der Stand der Technik keine Lehre, zwei unähnliche Vorrichtungen, wie etwa ein Widerstands- oder Kapazitivelement mit einem oder mehreren Thermoelementen.

[0011] Im allgemeinen grenzt sich die primäre Ausfallart oder die primären Ausfallarten einer Familie von Messvorrichtungen von der primären Ausfallart für eine andere Art von Messverfahren ab. Weiterhin werden die primären Ausfallarten von verschiedenen Arten von Vorrichtungen innerhalb derselben Familie im allgemeinen voneinander abweichen. Ein Sensorelement neigt dazu, aufgrund von schädlichen Betriebsbedingungen oder aufgrund einer verlängerten Benutzungsdauer ohne Rekalibrierung mit einer primären Fehlerart nachzulassen oder zu dekalibrieren. Falls dies auftritt, wird das Ausgangssignal des Sensors nicht länger genau mit der wahren thermodynamischen Temperatur an dem Ort des Sensors korrelieren. Dem Stand der Technik fehlt jegliche Lehre einer Vorrichtung, die den Benutzer hinsichtlich eines Abweichens in der Ausgabe des Sensors alarmiert, die wegen einer Verschlechterung aufgrund von irgendeinem aus einer Vielzahl von Faktoren auftritt,

während er damit fortfährt, eine wahre thermodynamische Systemtemperatur bereitzustellen. Das U.S. Patent Nr. 5,176,451, das für Sasada u.a. veröffentlicht wurde, lehrt einen Temperatursensor, der ein Thermopaar verwendet, das Mittel zum Anzeigen umfasst, wann ein Kurzschluss in dem Thermopaar auftritt. Ein entscheidender Nachteil von Sasada ist, dass der Benutzer nur dann eine Anzeige empfängt, wenn ein vollständiger Sensorausfall oder Kurzschluss aufgetreten ist. Der Benutzer empfängt keine Anzeige oder Warnung, wenn der Sensor zu dekalibrieren oder abzuweichen beginnt und deswegen nicht länger die wahre thermodynamische Temperatur ausliest, sondern statt dessen eine fehlerhafte Systemtemperatur bereitstellt.

[0012] Im Falle einer Sensorkalibrierung oder eines Sensorausfalls, ist ein Benutzer dazu gedrängt, andere Informationsquellen zu nutzen, um das Ausfallen, die Dekalibrierung oder das "Abweichen" des Sensors zu korrigieren. Wenn das Niveau der Dekalibrierung oder des "Abweichens" in dem Sensor den Punkt erreicht, der als inakzeptabel angenommen wird, muss der Sensor dekalibriert oder ersetzt werden. Weiterhin fehlt dem Stand der Technik jegliche Vorrichtung oder Verfahren, um dem Benutzer zu ermöglichen, die Höhe der Abweichung zu bestimmen. Gegenwärtig ist der Benutzer dazu gezwungen, zu "schätzen", basierend auf Erfahrung, wie hoch das Niveau der Kalibrierung ist. Zusammenfassend ist das einzig bekannte zuverlässige Verfahren zum Verifizieren der Genauigkeit von moderner Temperatursensoren über einen großen Temperaturbereich das Entfernen und unabhängige Dekalibrieren in einem Kalibrierungssofen. Für viele moderne Anwendungen erfordert dieser Vorgang kostspielige und unzumutbare Abschaltungen und Wartungsausgaben. Systemabschaltungen, um die Kalibrierungsaufgabe zu erfüllen, ziehen außerdem wesentliche Sicherheitsrisiken für die Personen nach sich, die mit dem Entfernen des Sensors aus dem System in Verbindung stehen. Zum Beispiel ist bei vielen Anwendungen, bei denen das System im Betrieb fortfahren muss, das Entfernen des Sensorelements gefährlich, wenn nicht unmöglich.

[0013] Die Druckschrift WO 95/01657 beschreibt eine Temperaturmessvorrichtung des Standes der Technik, die drei Thermopaare verwendet. Der Oberbegriff des Anspruchs 1 basiert auf diesem Dokument. Bardyla u.a. beschreiben in "Überprüfen von Widerstandsthermometern unter Arbeitsbedingungen ohne Demontage" ("Checking Resistance Thermometers Under Working Conditions Without Demounting"), Measurement Techniques, Band 27, Nr. 6, Juni 1984, Seiten 524–526, New York, USA einen Temperatursensor, der ein Thermopaar und einen Widerstand verwendet.

[0014] Ein weiterer Bedarf besteht in der Technik an

einer Temperaturmessvorrichtung und ein Verfahren, dass eine wahre verifizierte thermodynamische Temperatur bereitstellen kann.

[0015] Ein weiterer Bedarf besteht an einer Vorrichtung, die in situ bzw. an Ort und Stelle dekalibriert werden kann und dabei die Notwendigkeit, den Sensor von dem System zur Dekalibrierung zu entfernen, umgeht.

[0016] Es besteht ein weiterer Bedarf an einer Vorrichtung, die zwei oder mehr eindeutige Familien von Temperatursensoren umfasst, wobei sie die Wahrscheinlichkeit, dass jeder der Sensoren an einer bestimmten Vorrichtung in Antwort auf dieselben feindlichen Betriebsbedingungen oder an ungefähr demselben Punkt in seinem Betriebsleben dekalibriert, wesentlich reduziert.

[0017] Es besteht ein weiterer Bedarf für eine Vorrichtung, die eine Datensignatur erzeugt, die eine Vielzahl von Spannungs- und Impedanzmessungen umfasst, die von dem Sensor erlangt wurden.

[0018] Es besteht ein weiterer Bedarf für ein Verfahren zum Kompilieren einer Datensignatur, die eine Vielzahl von Spannungs- und Impedanzmessungen umfasst, und zum Analysieren der Datensignatur, um eine verifizierte wahre Systemtemperatur zu bestimmen.

Zusammenfassung der Erfindung

[0019] Die voranstehenden und anderen Bedürfnisse werden durch eine Vorrichtung und ein Verfahren zum Messen und Verifizieren einer wahren thermodynamischen Systemtemperatur erfüllt. Ein selbstprüfender Temperatursensor umfasst einen Sensor, dessen Elektronik und einen Computer.

[0020] Gemäß einem ersten Aspekt der vorliegenden Erfindung ist ein selbstprüfender Sensor mit einem ersten Thermopaar und einem zweiten Thermopaar bereitgestellt, der weiterhin gekennzeichnet durch:

ein temperaturabhängiges Element in der Form eines Impedanzelements, das ein erstes Ende und ein zweites Ende aufweist, wobei das erste Thermopaar mit dem ersten Ende gekoppelt ist und das zweite Thermopaar mit dem zweiten Ende gekoppelt ist, und ein Thermoelement, das mit dem temperaturabhängigen Element zwischen dem ersten und dem zweiten Ende gekoppelt ist.

[0021] Gemäß einem zweiten Aspekt der vorliegenden Erfindung ist ein Verfahren zum Messen einer Systemtemperatur unter Verwendung eines selbstprüfenden Temperatursensors bereitgestellt, wobei der Sensor aufweist:

ein erstes Thermopaar und ein zweites Thermopaar,

wobei jedes Thermopaar ein erstes Thermoelement und ein zweites Thermoelement aufweist, ein temperaturabhängiges Element in der Form eines Impedanzelements, das ein erstes und ein zweites Ende aufweist, wobei das erste Thermopaar mit dem ersten Ende gekoppelt ist das zweite Thermopaar mit dem zweiten Ende gekoppelt ist, und ein Thermoelement, das mit dem thermoabhängigen Element zwischen dem ersten und dem zweiten Ende gekoppelt ist,

wobei das Verfahren folgende Schritte umfasst:

Erhalten einer primären Datensignatur von einem Primärsensor, der aus einer Kombination der ersten Thermoelemente des ersten Thermopaars, der Thermoelemente des zweiten Thermopaars des Thermoelements, das mit dem temperaturabhängigen Element gekoppelt ist, gebildet ist, und

Erhalten einer sekundären Datensignatur von einem Sekundärsensor, der aus einer verschiedenen Kombination der Thermoelemente des ersten Thermopaars und des Thermoelements, das mit dem temperaturabhängigen Element gekoppelt ist, gebildet ist, wobei der Sekundärsensor das temperaturabhängige Impedanzelement umfasst,

Bestimmen einer primären Systemtemperatur anhand der primären Datensignatur,

Bestimmen einer Kalibrierungsreferenz anhand der sekundären Datensignatur, und

Vergleichen der primären Systemtemperatur mit der Kalibrierungsreferenz, um eine verifizierte Systemtemperatur zu erhalten.

[0022] Innerhalb des Sensors der vorliegenden Erfindung befindet sich ein vieldrahtiges bzw. Multidraht-Sensorelement. In verschiedenen Ausführungsformen enthält das Sensorelement eine Mehrzahl von temperaturabhängigen Thermoelementen, die mit mindestens einer temperaturabhängigen Impedanzvorrichtung gekoppelt sind. In einer bevorzugten Ausführungsform sind die zwei Thermopaare des Sensors aus zwei verschiedenen Thermoelementen gebildet. Verbindungspunkte der Thermopaare sind auf jeder Seite einer Widerstandsvorrichtung verbunden. Ein fünftes Thermoelement ist mit der Mitte der Widerstandsvorrichtung verbunden.

[0023] Die Thermoelemente sind an eine Messelektronik gekoppelt. Die Messelektronik gibt Signale in die Thermoelemente ein und sammelt davon eine Datensignatur. Ein Thermopaar ist als der primäre Temperatursensor ausgewählt und wird fortwährend überwacht. Die anderen Thermoelemente bilden eine sekundären Sensor aus und werden in verschiedenen Kombinationen überwacht.

[0024] Die Datensignatur wird gefiltert, verstärkt und in digitale Daten umgewandelt. Die digitalen Daten werden in einem Computer zur Umwandlung in Temperaturwerte und zur weiteren Analyse gesen-

det. Der Computer zeigt die von dem primären Sensor bestimmte Temperatur auf einer Anzeige an. Der Computer verwendet die von dem sekundären Sensor gesammelten Daten, um die von dem primären Sensor gemessene Temperatur zu verifizieren. Da die sekundären Sensordaten von einer Mehrzahl von temperaturabhängigen Elementen erlangt werden, wobei jedes Element eine unterschiedliche Auswahlart aufweist, zeigen die Daten an, wenn sich ein oder mehrere Teile des Sensors verschlechtern. Aus dieser Verifikation berechnet der Computer ein Vertrauensniveau des Primärsensors. Dieses Vertrauensniveau wird ebenfalls auf der Anzeige des Computergärts angezeigt.

[0025] Ein technischer Vorteil der vorliegenden Erfindung ist, dass sie die Nachteile des Standes der Technik durch Bereitstellen eines selbstüberprüfenden Temperatursensors umgeht, der mindestens zwei Temperaturmessvorrichtungen aus verschiedenen Sensorfamilien verwendet und davon eine Datensignatur erlangt, die analysiert werden kann, um eine verifizierte Systemtemperatur zu bestimmen.

[0026] Ein weiterer technischer Vorteil der vorliegenden Erfindung ist, dass die Vorrichtung in situ rekalibriert werden kann, wobei die Notwendigkeit beseitigt ist, den Sensor von dem System, in dem die Temperatur gemessen wird, zu entfernen.

[0027] Ein weiterer technischer Vorteil der vorliegenden Erfindung ist, dass der Temperatursensor eine Datensignatur erzeugt, die ein primäres Datenpaket und ein oder mehrere Backupoder Sicherungsdatenpakete umfasst, die mit dem primären Datenpaket verglichen werden können, um die Systemtemperatur zu verifizieren.

[0028] Ein weiterer technischer Vorteil der vorliegenden Erfindung ist, dass sie den Grad der Verschlechterung, der im Sensor aufgetreten ist, messen und anzeigen kann.

[0029] Das voranstehende hat ziemlich allgemein die Merkmale und technischen Vorteile der vorliegenden Erfindung hervorgehoben, damit die detaillierte Beschreibung der Erfindung, die folgt, besser verstanden werden kann. Zusätzliche Merkmale und Vorteile der Erfindung werden nachstehend beschrieben, die den Gegenstand der Ansprüche der Erfindung ausbilden. Es soll durch den Fachmann verstanden werden, dass das Konzept und die beschriebene spezifische Ausführungsform einfach als eine Basis zum Modifizieren oder Entwerfen anderer Strukturen zum Ausführen desselben Zwecks der vorliegenden Erfindung verwendet werden kann. Es soll ebenfalls durch den Fachmann erkannt werden, dass solche äquivalenten Konstruktionen sich nicht von dem Geist und dem Geltungsbereich der Erfindung, wie sie in den angefügten Ansprüchen darge-

legt ist, entfernen.

Kurze Beschreibung der Zeichnung

[0030] Für ein vollständigeres Verständnis der vorliegenden Erfindung und der Vorteile davon wird nun auf die folgenden Beschreibungen zusammen mit der anliegenden Zeichnung bezuggenommen.

[0031] [Fig. 1](#) zeigt ein Blockdiagramm des selbstprüfenden Temperatursensors der vorliegenden Erfindung auf oberer Ebene.

[0032] [Fig. 2](#) zeigt eine Explosionsansicht eines Sensors der vorliegenden Erfindung.

[0033] [Fig. 3](#) zeigt eine detailliertere Ansicht einer bevorzugten Ausführungsform eines Sensorelements der vorliegenden Erfindung.

[0034] [Fig. 4](#) zeigt ein funktionales Blockdiagramm der Messelektronik.

[0035] [Fig. 5](#) zeigt die von einem Computersystem durchgeführten Schritte, das dazu angepasst ist, die vorliegende Erfindung auszuführen.

Beschreibung der bevorzugten Ausführungsformen

[0036] Bei der Beschreibung der vorliegende Erfindung zeichnet der Begriff "System" jeden thermodynamischen Körper, für den es gewünscht ist, eine verifizierte wahre Temperatur zu erlangen. Zum Beispiel kann die vorliegende Erfindung dazu verwendet werden, eine verifizierte wahre Systemtemperatur für irgendeinen industriellen Prozess zu erlangen, der die genaue Messung von Temperatur benötigt, wie etwa solche, die in der Metall-, Keramik-, Glas-, Energieerzeugungs- und Petrochemie-Industrie zu finden sind. Weiterhin kann die vorliegende Erfindung dazu verwendet werden, eine verifizierte wahre Systemtemperatur für jede Art eines gegenwärtig verwendeten Motors oder einer gegenwärtig verwendeten Energie- bzw. Leistungs-Erzeugungsquelle verwendet werden. Es soll verstanden werden, dass die vorliegende Erfindung dazu verwendet werden kann, Temperaturen in allen Temperaturbereichen von dem Cryogenbereich bis zu extrem hohen Temperaturen zu messen.

[0037] Der Begriff "Impedanzelement", wie er hier verwendet wird, soll jegliche Art von impedanzbasierten Thermometrievorrichtungen bedeuten, einschl. Widerstandsthermometrievorrichtungen, Impedanzthermometrievorrichtungen, Kondensatorthermometrievorrichtungen, Halbleitervorrichtungen und Kristallvorrichtungen.

[0038] Der Begriff "temperaturabhängiges Element", wie er hier verwendet wird, soll jegliche Art

von Sensorelement bedeuten, das eine charakteristische und messbare Änderung in einer oder mehreren physikalischen Eigenschaften in Antwort auf eine Änderung der Temperatur zeigt. Solche Sensorelemente können umfassen: (1) irgend eine Vorrichtung, die eine charakteristische Änderung in Spannung oder Impedanz in Antwort auf eine Temperaturänderung zeigt, einschl. Impedanz bzw. Spulenelementen, und (2) Thermoelemente und Thermopaare. Da diese Änderungen in Antwort auf die Temperatur für jede dieser Vorrichtungen gut verstanden sind, kann eine Temperatur einer Vorrichtung durch Untersuchen seiner Eigenschaften bestimmt werden.

[0039] Mit Bezug auf die Zeichnung und insbesondere auf [Fig. 1](#), ist nun ein funktionales Blockdiagramm eines selbstprüfenden Temperatursensors **100** ("SVTS": self-verifying temperature sensor) dargestellt. SVTS **100** umfasst einen Sensor **110**, der über ein Verbindungskabel **112** mit einer Messelektronik **114** gekoppelt ist. Die Messelektronik **114** ist mit einem Computer **118** gekoppelt. Der Computer **118** führt eine Software **120** aus und gibt Daten auf einer Anzeige **122** aus, die eine thermodynamische Temperatur des durch den Sensor **110** gemessenen Systems und ein Zufriedenheitsniveau bzw. Vertrauensniveau anzeigen.

[0040] Eine bevorzugte Ausführungsform des Sensors **110** ist in [Fig. 2](#) dargestellt. Der Sensor **110** umfasst eine Schutzhülse (PT: protectoin tube) **210**. Innerhalb PT **210** befinden sich ein Abstandshalter **212**, ein mehrdrahtiger Sensor **214**, ein Thermoelementisolator **216** und ein elektrischer Anschluss **218**.

[0041] Das PT **210** kann aus jeglichem Material gefertigt sein, das dazu in der Lage ist, den Anforderung des Systems standzuhalten, in dem der Sensor **110** installiert ist. Eine bevorzugte Ausführungsform des PT **210** ist aus rostfreiem Stahl hergestellt, obwohl das PT **210** auch jegliches hitzebeständiges Material sein könnte.

[0042] Der keramische Abstandshalter **212** passt in das PT **210** und hält den mehrdrahtigen Sensor **214** in der geeigneten Position. Der primäre Zweck des Abstandshalters **212** ist, den mehrdrahtigen Sensor **214** von anderen leitenden Elementen in dem PT **210** zu isolieren. Demgemäß kann der Abstandshalter **212** aus jeglichem dielektrischen bzw. nicht leitenden Material hergestellt sein. Zusätzlich ist eine wichtige Funktion des PT **210** und des Abstandshalters **212**, den vihdrahtigen Sensor **214** in einem isothermen Zustand zu halten.

[0043] [Fig. 3](#) zeigt eine detailliertere Darstellung einer bevorzugten Ausführungsform des mehrdrahtigen Sensors **214**. Der Sensor **214** umfasst zwei verschiedene Thermopaare **310**, **312**, die jeweils zwei Thermoelemente **314**, **316**, **318**, **320** umfassen. Die

Thermoelemente **314** und **316** sind an der Verbindung **322** verbunden. In ähnlicher Weise sind die Thermoelemente **318** und **320** an der Verbindung **324** verbunden. Die Verbindungen **322** und **324** sind mit entgegengesetzten Seiten des temperaturabhängigen Elements **326** gekoppelt. Ein anderes Thermoelement **328** erstreckt sich von der Mitte des temperaturabhängigen Elements **326**.

[0044] Jedes Thermoelement von jedem Thermopaar ist aus einem unterschiedlichen temperaturabhängigen Material hergestellt. Zum Beispiel ist das Thermoelement **314** aus einem anderen Material als das Thermoelement **316** hergestellt. Weiterhin sind in der bevorzugten Ausführungsform die Thermopaare **310**, **312** aus denselben Materialien hergestellt. Das heißt die Thermoelemente **314** und **318** sind wie die Thermoelemente **316** und **320** aus demselben Material hergestellt.

[0045] Die Thermoelemente **314**, **316**, **318**, **320**, **328** sind Drähte, die sich in Länge und Durchmesser abhängig von den Systemparametern variieren. In der bevorzugten Ausführungsform sind die Thermoelemente **314** und **318** aus CHROMEL™ hergestellt. Die Thermoelemente **316** und **320** sind vorzugsweise aus ALUMEL™ hergestellt. Das Thermoelement **328** kann aus jedem geeigneten Material hergestellt sein und braucht nicht aus demselben Material wie die anderen Thermoelemente **314**, **316**, **318**, **320** zu sein. Natürlich können die Thermoelemente **314**, **316**, **318**, **320**, **328** aus anderen Materialien hergestellt sein. Thermoelemente, die aus Materialien wie Platin/Rhodium, Wolfram/Rhenium, Kupfer, Eisen und Konstantan hergestellt sind, sind in der Technik allgemein bekannt und können ersatzweise verwendet werden.

[0046] In einer bevorzugten Ausführungsform ist das temperaturabhängige Element **326** ein Widerstandselement. Es kann jedoch ersatzweise jedes Impedanzelement, das allgemein bekannte Ausfallarten aufweist, verwendet werden. Deswegen kann das temperaturabhängige Element **326** z.B. ein Induktor bzw. eine Spule, ein Kondensator, eine Diode, eine Halbleitervorrichtung oder eine Kristallvorrichtung sein.

[0047] Weiterhin ist es sehr wichtig zu bemerken, dass [Fig. 3](#) nur eine Ausführungsform eines mehrdrahtigen Sensors **214** beschreibt. Mögliche alternative Ausführungsformen umfassen mehrdrahtige Sensoren, die ein oder mehrere temperaturabhängige Elemente innerhalb irgendeines der Temperaturelementdrähte **314**, **316**, **318**, **320**, **328** aufweisen. Zusätzlich kann der mehrdrahtige Sensor **214** eine unterschiedliche Anzahl von Thermoelementdrähten als die in [Fig. 3](#) gezeigten aufweisen. Solche alternativen Ausführungsformen sind einfach ersichtlich und deutlich innerhalb der vorliegenden Erfindung.

[0048] Im Betrieb erzeugt jedes individuelle Thermoelement **314**, **316**, **318**; **320**, **328** eine elektromotorische Kraft (EMF: electromotive force), die in einer konsistenten Weise mit einer Temperatur über einen verwendbaren Temperaturbereich korreliert. Impedanz und/oder Spannung wird gemessen, indem ein bekannter Strom in ein erstes Paar von Thermoelementen gegeben und die über ein zweites Paar erzeugte Spannung gemessen wird. Jedes Paar kann aus jeglichen zwei Thermoelementen **314**, **316**, **318**, **320**, **328**, die nicht in dem anderen Paar sind, ausgewählt sein. Die Messungen werden sowohl in der "Vorwärts" – als auch in der "Rückwärts" – Richtung genommen und die resultierenden Messungen gemittelt, um die Spannung und/oder Impedanz, die durch die Thermoelemente **314**, **316**, **318**, **320**, **328** erzeugt ist, zu kompensieren. Da die elektrischen Charakteristiken der Thermoelemente **314**, **316**, **318**, **320**, **328** und des temperaturabhängigen Elements **326** bei bestimmten Temperaturen allgemein bekannt sind, kann die Temperatur des Systems aus den von dem mehrdrahtigen Sensor **214** gemessenen elektrischen Signalen bestimmt werden.

[0049] Um die Temperatur zu messen, wird eine Kombination von Thermoelementen dazu ausgewählt, ein primärer Sensor zu sein, während die übrigen Thermoelemente einen sekundären Sensor ausbilden. Zum Beispiel kann das Thermopaar **310** als der primäre Sensor ausgebildet sein, während die von den anderen Thermoelementen **318**, **320**, **328** (und verschiedene Kombinationen von den Thermoelementen **314** und **316**) genommenen Messungen den sekundären Sensor ausbilden. Die weiteren Details der Temperaturmessung und des Verifikationsvorgangs sind nachstehend beschrieben.

[0050] Mit Rückblick auf [Fig. 2](#) ist ebenfalls ein Thermoelementisolator **216** dargestellt. In der bevorzugten Ausführungsform ist der Thermoelementisolator aus Keramik oder einem anderen dielektrischen bzw. nicht leitenden Material hergestellt. Der Thermoelementisolator **216** enthält fünf Löcher **222**, wobei jedes Loch eine Aufnahme für ein Thermoelement **314**, **316**, **318**, **320**, **328** ausbildet. Jedes Loch weist solch einen Durchmesser auf, wie er benötigt wird, um zu dem Verhältnis zwischen dem Thermoelement und dem Innendurchmesser des Sensors zu passen.

[0051] Letztendlich ist ein elektrischer Anschluss **218** an den Thermoelementisolator **216** angeschlossen, so dass seine leitenden Zacken **220** in elektrischer Verbindung mit jedem Thermoelement **314**, **316**, **318**, **320**, **328** sind. Der elektrische Anschluss **218** ist mit einem Anschlusskabel **112** angeschlossen, um elektrische Signale von dem Sensor **110** zur Messelektronik **114** zu übertragen.

[0052] Die Messelektronik **114** ist mit dem An-

schlusskabel **112** gekoppelt und sammelt und bereitet eine Datensignatur auf, die durch den Sensor **110** erzeugt ist. Die Datensignatur umfasst elektrische, von dem Sensor **110** empfangene Signale. Die Messelektronik **114** überwacht den Sensor **110** unter Verwendung einer Anschluss-Zu-Anschluss- bzw. Ader-Zu-Ader-Messung der Impedanz und der Spannung, die über verschiedene Kombinationen von Anschlüssen unter Verwendung von AC- und/oder DC-Techniken gemessen werden. Solche Techniken sind einem Durchschnittsfachmann allgemein bekannt. Diese Messungen werden dann korreliert und analysiert, um die notwendigen Daten für die Temperatur und den Sensorzustand herauszuziehen. In einer alternativen Ausführungsform kann die Messelektronik **114** mit mehreren Sensoren **110** gekoppelt sein. Solch eine Konfiguration würde Modifikationen erfordern, die dem Fachmann einfach ersichtlich sind.

[0053] [Fig. 4](#) zeigt ein funktionales Blockdiagramm, das die Messelektronik **114** und mit dieser zusammenhängende Komponenten darstellt. Innerhalb der Messelektronik **114** befinden sich ein Multiplexer (MUX) **410**, ein Filter und Dämpfer **412**, und ein Analog-Zu-Digital-Konverter (A/D) **414**.

[0054] Der MUX **410** arbeitet unter Kontrolle des Computers **118**, um bestimmte Signale von den Thermoelementen auszuwählen und gibt diese Signale an den Filter und Entkoppler **412** weiter. Der MUX **410** ermöglicht ebenfalls das Eingeben eines bekannten Stroms in den Sensor **110** zur Impedanzmessung. Zusätzlich ermöglicht der MUX **410** die Auswahl eines Vorwärtsoder Rückwärtslesens des Sensors **110**.

[0055] Der Filter und Dämpfer **412** empfängt die ausgewählten Signale von dem MUX **410**. Der Filter führt Antialisierung durch, um die Störgeräuschleistung des A/D-Konverters **414** zu verbessern. Ein Dämpferverstärker stellt eine hohe Eingabeimpedanz bereit, um den Effekt des Widerstands der Schalter des MUX **410** zu verringern.

[0056] Der A/D-Konverter **414** ist ein hoch auflösender Sigma-Delta A/D-Konverter. Der A/D-Konverter **414** wandelt die Datensignatur, die von dem Sensor **110** empfangen wurde, in einen oder mehrere digitale Werte um, die die Datensignatur wiedergeben. Diese digitalen Werte werden dann dem Computer **118** zur weiteren Verarbeitung übermittelt.

[0057] Eine bevorzugte Ausführungsform des A/D-Konverters **414** besteht aus einem primären und einem sekundären A/D-Konverter. Signale von dem primären Sensorelement umgehen den MUX **410** und den Filter und Dämpfer **412** und werden stattdessen direkt von dem Sensor **110** zu dem primären A/D-Konverter übermittelt. Der primäre A/D-Konver-

ter ließt kontinuierlich diese Signale. Der sekundäre A/D-Konverter ist mit dem Sensor **110** über den MUX **410** verbunden und kann die primären Abtastelemente oder jegliche andere Abtastelemente in irgendeiner Kombination lesen. Zusätzlich kann ein Temperatursensor an den sekundären A/D-Konverter angeschlossen sein, um zu ermöglichen, Kaltstellenberechnungen durchzuführen.

[0058] Der Computer **118** empfängt die digitale Signalausgabe von dem A/D-Konverter **414**. Der Computer **118** ist vorzugsweise ein Standardmikrocomputer, der eine zentrale Verarbeitungseinheit (CPU), einen Direktzugriffsspeicher (RAM: Random Access Memory) und einer Anzeige **122** umfasst. Die vorliegende Erfindung ist jedoch nicht durch den Aufbau des Computers **118** beschränkt. Wie durch den Durchschnittsfachmann gut verstanden wird, führt der Computer **118** eine Software **120** aus, die in dem RAM auf der CPU gespeichert ist, um die gewünschten Funktionen durchzuführen. Weiterhin versteht der Fachmann, dass die Messelektronik **114** in den Computer **118** integriert sein kann.

[0059] [Fig. 5](#) zeigt ein Flussdiagramm, das die durch den Computer **118** durchgeführten Primärschritte darstellt. In Schritt **510** liest der Computer **118** den Primärsensor aus. Das Digitalsignal wird von einem Impedanzwert in einen primären Temperaturwert umgewandelt. Dieser primäre Temperaturwert wird auf der Anzeige **122** angezeigt.

[0060] In Schritt **512** liest der Computer **118** die verbleibenden Sensorelemente aus. Die Datensignatur wird analysiert, um alle Impedanzen in den Thermoelementen **314**, **316**, **318**, **320**, **328** sowie in dem temperaturabhängigen Element **326** zu berechnen. Das Digitalsignal wird von den Impedanzwerten in Temperaturwerte umgewandelt. Daten, die außerhalb von vorbestimmten Grenzen liegen, werden verworfen. In verschiedenen alternativen Ausführungsformen kann der Computer **118** die Daten von sowohl dem primären Sensor als auch von den verbleibenden Sensorelementen entweder durch periodisches Abtasten der Sensorelemente oder durch fortwährende Überwachung der Sensorelemente auslesen. Der Computer **118** kann ebenfalls Daten von mehreren Sensoren zur selben Zeit oder von jedem Sensor aufeinanderfolgend auslesen, abhängig von spezifischen Systemerfordernissen.

[0061] In Schritt **514** werden die Daten in einer Datenmatrix angeordnet. Die Daten werden dahingehend klassifiziert, welches Sensorelement den jeweiligen Messwert erzeugt hat. Dann wird jeder Messwert in der Matrix an einem Ort angeordnet, der durch die Kategorie, in der sich der Messwert befindet, bestimmt ist.

[0062] In Schritt **516** wird eine Kalibrierungsreferenz

von den Sensordaten in der Datenmatrix ausgebildet. Die Kalibrierungsreferenz ist ein einzelner Temperaturwert, der dazu verwendet wird, die Unversehrtheit des Primärsensors zu verifizieren. Die Kalibrierungsreferenz muss Daten von mindestens drei verschiedenen Sensoren umfassen und aus mindestens zwei physikalisch verschiedenen temperaturabhängigen Elementen erzeugt sein. Die Kalibrierungsreferenz muss auf diese Weise ausgebildet sein, weil eine Ausfallart, die eine Art eines Abtastelements nachteilig beeinflussen oder verschlechtern kann, nicht einen ähnlichen Effekt auf eine gesonderte bzw. separate Sensorart haben sollte. Zum Beispiel werden Impedanzvorrichtungen und Thermoelementvorrichtung im allgemeinen durch verschiedene Mechanismen und in verschiedenen Mengen als Antwort auf feindliche Betriebsbedingungen verschlechtert. Deswegen kann die Kalibrierungsreferenz ausfallende Teile des Sensors **110** erkennen und ausweisen bzw. nachweisen.

[0063] In Schritt **518** vergleicht der Computer **118** die Kalibrierungsreferenztemperatur mit der Temperatur des Primärsensors. Dann bestimmt der Computer **118** das Niveau der Übereinstimmung der Temperaturen. Dieses Übereinstimmungsniveau gibt ein Vertrauensniveau wieder, dass der Sensor richtig arbeitet. Das Vertrauensniveau wird auf der Anzeige **122** angezeigt. Daten von sowohl dem Primärsensor als auch den verbleibenden Sensorelementen können ebenfalls in der Datenmatrix gespeichert und nachfolgend mit vor kürzerer Zeit erlangten Daten verglichen werden, um das Überwachen einer Sensoralterung und Funktionsfähigkeit, genauso wie Alarmbedingungen, zu ermöglichen.

[0064] Wie voranstehend diskutiert wurde, müssen der Primärsensor und die verbleibenden Sensorelemente in einem isothermen Zustand gehalten werden. Das Erhalten eines isothermen Zustands ist notwendig, um die Kalibrierung des Primärsensors gegenüber den verbleibenden Sensorelementen zu ermöglichen. Genauer gesagt und mit Hinblick auf [Fig. 3](#) ist es entscheidend, dass das temperaturabhängige Element **326** und die Verbindungen **322** und **324** durch das PT **210** in einem isothermen Zustand gehalten werden. Ein Fachmann erkennt, dass die Thermopaare **310** und **312**, während sie in dem PT **210** enthalten sind, einen Temperaturgradienten über die Länge der Thermopaare erfahren können.

[0065] Es soll weiterhin verstanden werden, dass eine alternative Ausführungsform der vorliegenden Erfindung das temperaturabhängige Element **326** umfassen kann, dass in einem isothermen Verhältnis mit den Verbindungen **322** und **324** gehalten ist, aber physisch bzw. physikalisch nicht mit den Thermopaaren **310** und **312** an den Verbindungen **322** und **324** verbunden ist. Solange das temperaturabhängige Element **326** thermisch mit den Thermopaaren **310**

und **312** durch das PT **210** und den Abstandshalter **212** gekoppelt ist, kann solch eine Ausführungsform die notwendigen Daten bereitstellen, um eine Primärsensortemperatur und eine Kalibrierungsreferenz zu erzeugen.

[0066] In dem Fall, dass der Sensor **110** ausgefallen ist, d.h. dass das Vertrauensniveau unter einem vorbestimmten Grenzwert liegt, kann der Sensor **110** "neu angeordnet" werden. Das heißt, dass die Auswahl des Primärsensors und die Datenmatrix geändert werden können, um die Temperatur von unterschiedlichen Teilen des Sensors **110** zu messen. Demgemäß stellt diese Option die volle Betriebsfähigkeit des SVTS **100** wieder her und stellt wieder eine verifizierte Temperatureingabe bereit. Der neue Anordnungsschritt ermöglicht das, was tatsächlich eine Rekalibrierung des Sensors in situ bzw. an Ort und Stelle ist. Falls sich der Sensor **110** zu dem Punkt verschlechtert, indem er keine verifizierte Temperatur erlangen kann, benachrichtigt der SVTS **100** den Benutzer entsprechend.

[0067] Obwohl die vorliegende Erfindung und ihre Vorteile im Detail beschrieben wurden, soll verstanden werden, dass verschiedene Änderungen, Ersetzungen und Abänderungen hierin durchgeführt werden können, und dass die Erfindung durch die angefügten Ansprüche definiert ist.

Patentansprüche

1. Selbstprüfender Sensor mit einem ersten Thermopaar (**310**) und einem zweiten Thermopaar (**312**), weiterhin gekennzeichnet durch: ein temperaturabhängiges Element (**326**) in der Form eines Impedanzelements, das ein erstes Ende und ein zweites Ende aufweist, wobei das erste Thermopaar mit dem ersten Ende gekoppelt ist und das zweite Thermopaar mit dem zweiten Ende gekoppelt ist, und ein Thermoelement (**328**), das mit dem temperaturabhängigen Element zwischen dem ersten und zweiten Ende gekoppelt ist.
2. Sensor nach Anspruch 1, der weiterhin aufweist: eine Schutzhülse (**210**), die das temperaturabhängige Element, das erste und zweite Thermopaar und das Thermoelement umgibt, und ein Abstandselement (**212**) innerhalb der Schutzhülse, das das temperaturabhängige Element, das erste und zweite Thermopaar und das Thermoelement in einer festen Position hält.
3. Sensor nach Anspruch 1 oder 2, bei dem das Impedanzelement aus einer Gruppe ausgewählt ist, die besteht aus: einem Widerstand, einem Kondensator, einem Induktor bzw. einer Spule, einer Diode, einem Kristall und

einem Halbleiter.

4. Sensor nach einem der vorstehenden Ansprüche, bei dem das Thermoelement (**328**) ein Draht ist.

5. Sensor nach einem der vorstehenden Ansprüche, bei dem das erste und das zweite Thermopaar jeweils aufweisen:

ein erstes Thermoelement (**314, 318**), das aus einem ersten temperaturabhängigen Material gefertigt ist, und

ein zweites Thermoelement (**316, 320**), das aus einem zweiten temperaturabhängigen Material gefertigt ist, wobei das zweite temperaturabhängige Material sich von dem ersten temperaturabhängigen Material unterscheidet.

6. Sensor nach Anspruch 5, bei dem das erste Thermoelement aus CHROMEL gefertigt ist.

7. Sensor nach Anspruch 5 oder 6, bei dem das zweite Thermoelement aus ALUMEL gefertigt ist.

8. Sensor nach einem der Ansprüche 5 bis 7, bei dem das jeweilige erste und zweite Thermoelement an einem Verbindungspunkt (**322, 324**) verbunden sind und der Verbindungspunkt mit dem temperaturabhängigen Element gekoppelt ist.

9. Sensor nach einem der vorstehenden Ansprüche, bei dem:

eine Kombination der Thermoelemente des ersten Thermopaars, der Thermoelemente des zweiten Thermopaars und des Thermoelements, das mit dem temperaturabhängigen Element gekoppelt ist, angeordnet ist, um einen ersten Sensor zu bilden, der ein Primärsignal ausgibt, und

eine verschiedene Kombination der Thermoelemente des ersten Thermopaars, der Thermoelemente des zweiten Thermopaars und des Thermoelements, das mit dem temperaturabhängigen Element gekoppelt ist, angeordnet ist, um einen zweiten Sensor zu bilden, der ein Sekundärsignal ausgibt, wobei der zweite Sensor das temperaturabhängige Impedanzelement umfasst, und

der selbstprüfende Sensor weiterhin einen Prozessor aufweist, der eine geprüfte bzw. verifizierte Temperatur anhand des Primärsignals und des Sekundärsignals bestimmt.

10. Sensor nach Anspruch 9, bei dem der Prozessor konfiguriert ist, um:

die Primärsignale in einen primären Temperaturwert zu wandeln,

die Sekundärsignale in eine Kalibrierungsreferenz zu wandeln, und

den primären Temperaturwert mit der Kalibrierungsreferenz zu vergleichen, um einen Konfidenzwert zu erzeugen.

11. Sensor nach Anspruch 10, bei dem der Prozessor weiterhin konfiguriert ist, um den Sensor nachzukalibrieren, wenn der Konfidenzwert unter einem vorgegebenen Niveau ist.

12. Verfahren zum Messen einer Systemtemperatur unter Verwendung eines selbstprüfenden Temperatursensors, wobei der Sensor aufweist:

ein erstes Thermopaar (**310**) und ein zweites Thermopaar (**312**), wobei jedes Thermopaar ein erstes Thermoelement (**314, 318**) und ein zweites Thermoelement (**316, 320**) aufweist,

ein temperaturabhängiges Element (**326**) in der Form eines Impedanzelements, das ein erstes Ende und ein zweites Ende aufweist, wobei das erste Thermopaar mit dem ersten Ende gekoppelt ist und das zweite Thermopaar mit dem zweiten Ende gekoppelt ist, und

ein Thermoelement (**328**), das mit dem thermoabhängigen Element zwischen dem ersten und dem zweiten Ende gekoppelt ist,

wobei das Verfahren folgende Schritte umfasst:

Erhalten einer primären Datensignatur von einem Primärsensor, der aus einer Kombination der ersten Thermoelemente des ersten Thermopaars, der Thermoelemente des zweiten Thermopaars und des Thermoelements, das mit dem temperaturabhängigen Element gekoppelt ist, gebildet ist, und

Erhalten einer sekundären Datensignatur von einem Sekundärsensor, der aus einer verschiedenen Kombination der Thermoelemente des ersten Thermopaars, der Thermoelemente des zweiten Thermopaars und des Thermoelements, das mit dem temperaturabhängigen Element gekoppelt ist, gebildet ist, wobei der Sekundärsensor das temperaturabhängige Impedanzelement umfasst,

Bestimmen einer primären Systemtemperatur anhand der primären Datensignatur,

Bestimmen einer Kalibrierungsreferenz anhand der sekundären Datensignatur, und

Vergleichen der primären Systemtemperatur mit der Kalibrierungsreferenz, um eine verifizierte Systemtemperatur zu erhalten.

13. Verfahren nach Anspruch 12, das weiterhin umfasst:

Bestimmen eines Degradationsniveaus des selbstprüfenden Temperatursensors anhand der primären Datensignatur und der sekundären Datensignatur, und

Nachkalibrieren des selbstprüfenden Temperatursensors, um das Degradationsniveau durch Auswählen eines neuen Primärsensors und Auswählen eines neuen Sekundärsensors zu kompensieren.

Es folgen 2 Blatt Zeichnungen

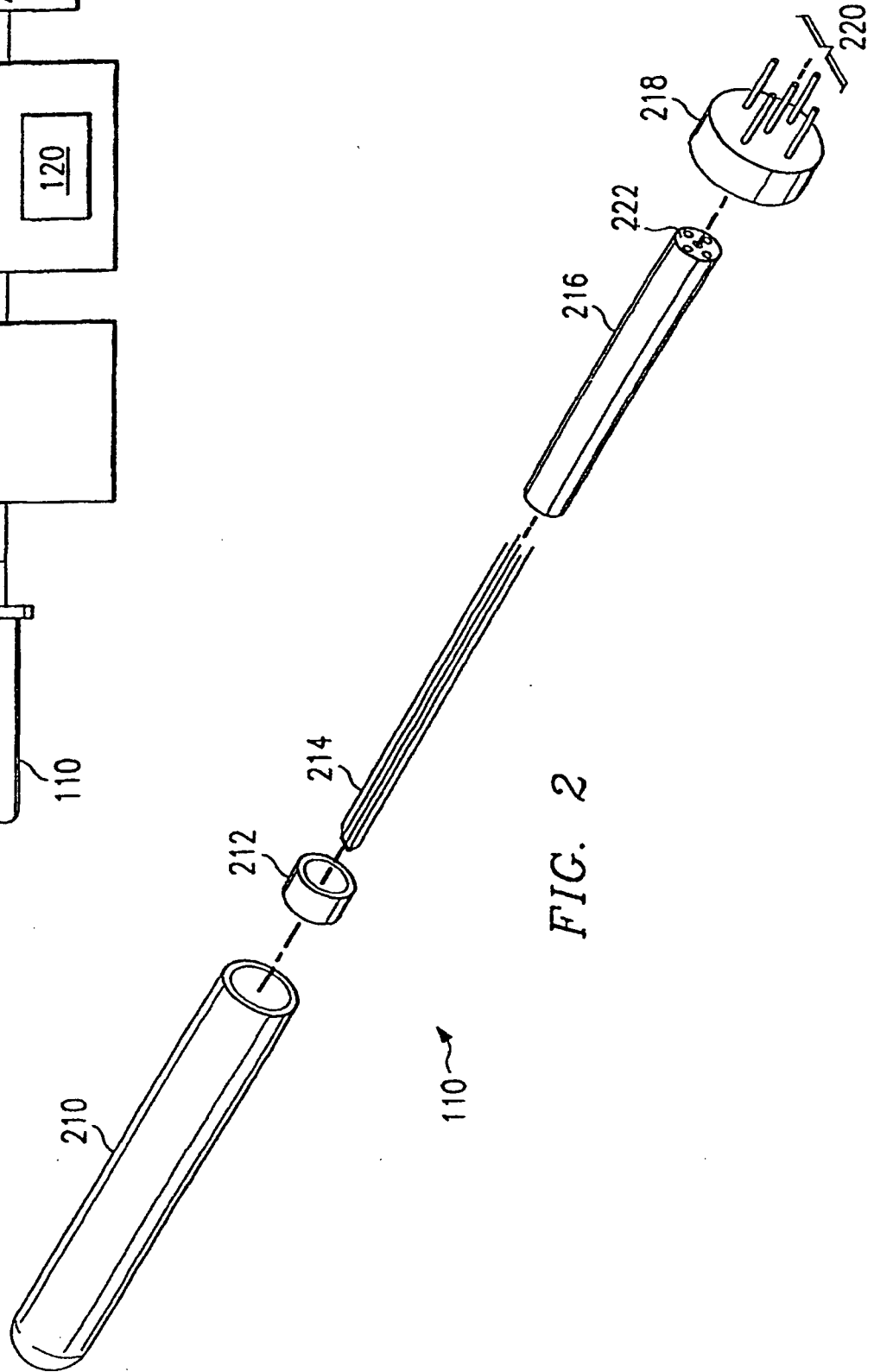
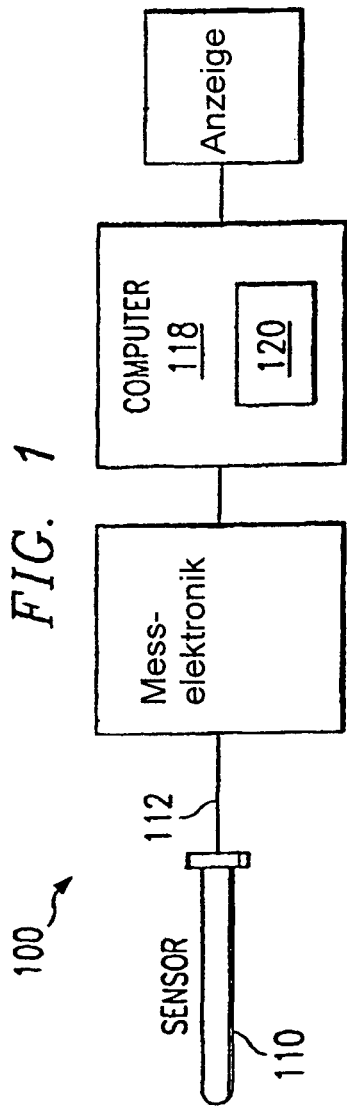


FIG. 3 214

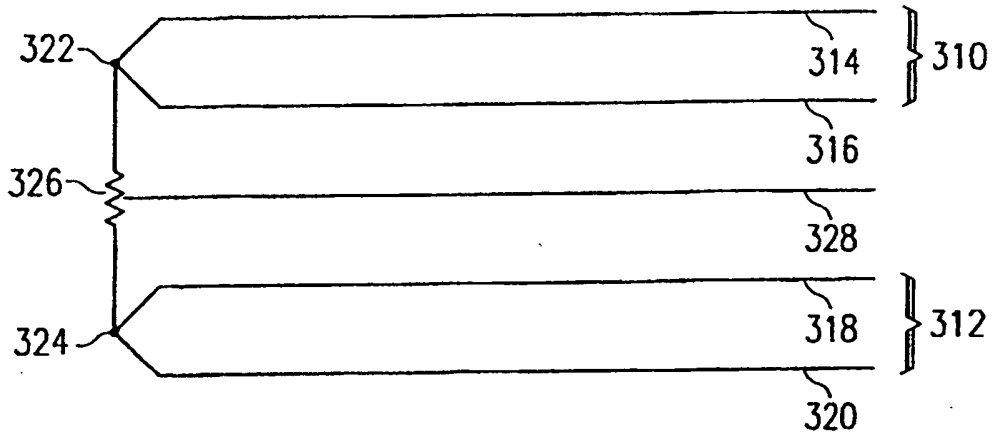


FIG. 4 114

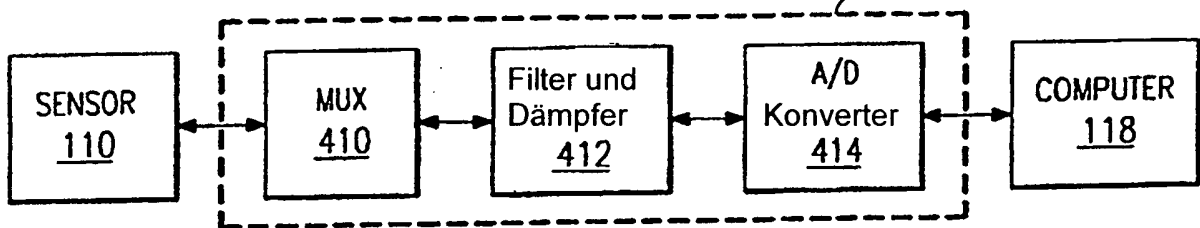


FIG. 5

