



Wirtschaftspatent

Erteilt gemäß § 5 Absatz 1 des Änderungsgesetzes zum Patentgesetz

ISSN 0433-6461

(11)

2008 235

Int.Cl.³

3(51) G 01 N 21/74

AMT FUER ERFINDUNGS- UND PATENTWESEN

In der vom Anmelder eingereichten Fassung veröffentlicht

(21) WP G 01 N/ 2324 004

(22) 05.08.81

(44) 15.06.83

(71) ADW DER DDR; DD;

(72) FALK, HEINZ, PROF. DR. SC., DIPL.-PHYS.; HAUSFELD, LOTHAR, DR.-ING.; SCHMELOVSKY, KARL-HEINZ, PROF. DR. RER. NAT. HABIL. DIPL.-PHYS., DD

(73) siehe (72)

(74) ADW DER DDR ZI F. OPTIK/U. SPEKTROS/KOPIE PATENTBUERO 1199 BERLIN RUDOWER CHAUSSEE 5

(54) **VERFAHREN UND ANORDNUNG ZUR REALISIERUNG EINES VORGEGEBENEN TEMPERATURVERLAUFS**

(57) Ziel und Aufgabe der Erfindung bestehen darin, die in einem elektrothermischen System auftretenden Änderungen derart zu korrigieren, daß eine Temperatursteuerung entlang einer vorgegebenen Zeitfunktion ohne ständige Temperaturmessung im Temperaturbereich von 20°C bis 3000°C schnell und genau realisiert werden kann. Das Verfahren ist dadurch gekennzeichnet, daß an dem elektrothermischen System eine Meßgröße gemessen wird, daß mit der Meßgröße Korrekturfunktionen gebildet werden, daß in jedem Zeitintervall Δt ein der Momentantemperatur T entsprechender Wert der Wärmekapazität $C(T)$ einem Speicher entnommen und multiplikativ mit einer der Korrekturfunktionen sowie dem momentan geforderten Gradienten $\frac{\Delta T}{\Delta t}$ verknüpft wird, daß einem weiteren Speicher ein Wert der Leistung $F(T)$, der dem thermischen Gleichgewicht bei der Temperatur T entspricht, entnommen und mit einer zweiten Korrekturfunktion multiplikativ verknüpft wird, daß beide Werte weiterverarbeitet und schließlich einer Steuervorrichtung zugeführt werden und der Inhalt des Speichers für die Momentantemperatur um den Wert ΔT erhöht wird. Fig. 1

Charakteristik der bekannten technischen Lösungen

In derartigen elektrothermischen Systemen gibt es stets einen determinierten nichtlinearen Zusammenhang zwischen der elektrischen Energie und der Temperatur des Heizelementes, derart, daß sich die Temperatur bei Anlegen einer konstanten Leistung mit stetig fallendem Gradienten kontinuierlich einem Gleichgewichtswert nähert.

Die häufig gestellte Aufgabe, frei wählbare Temperaturverläufe, insbesondere lineare Temperaturverläufe, zu erzeugen, wird bei bekannten technischen Lösungen dadurch zu erfüllen versucht, daß auf eine den Strom, die Spannung oder die Leistung regelnde Vorrichtung eine Folge von Sollwerten gegeben wird, die der dem gewünschten Temperaturverlauf entsprechenden Folge der Gleichgewichtswerte entspricht.

Mit diesen Lösungen werden aber nur unbefriedigende Ergebnisse erreicht, insbesondere bei schnellen Temperaturänderungen und bei höheren Temperaturen, da dann die Ansprechverzögerungszeiten der Regelvorrichtung größer sind als die zeitlichen Abstände zwischen den einzelnen Werten der Folge von Sollwerten.

Eine bekannte technische Lösung (DE-OS 2657309, GO1N 21/54) sieht zur Erreichung eines Temperaturprofils bestimmter Form vor, zwischen einem Atomisierer und einer Steuereinrichtung zur Änderung der Eingangsleistung, die dem Atomisierer zugeführt wird, einen Rückkopplungskreis zu schalten, der eine Einrichtung aufweist, um ein elektrisches Analogon zu erzeugen, das die Erhitzungsansprecheigenschaften, d.h. die Ansprechverzögerung und die Nichtlinearität des Temperatur-Zeitprofils, des Atomisierers wenigstens annähert, und der die Eingangsleistung durch Anwendung

des Analogons derart ändert, daß die Erhitzungsansprech-eigenschaften kompensiert werden. Für die Realisierung dieser Lösung wird ein als Integrator wirkender Gegen-kopplungskreis verwendet, dessen Zeitkonstante durch einen Widerstand und einen Kondensator bestimmt ist.

Mit dieser Lösung ist es jedoch schwierig, eine abso-lute Anpassung der Zeitkonstante zu erreichen, wie es allgemein kaum möglich erscheint, die Erhitzungsansprech-eigenschaften eines Systems über den gesamten Temperatur-bereich mit Hilfe einer derartigen analogen Schaltung exakt nachzubilden. Außerdem bleiben Exemplarstreuun-gen des Heizelementes sowie sich ändernde Systemeigen-schaften außer Betracht.

Eine andere bekannte Lösung sieht vor, zum Zweck der Verminderung der Abweichung vom vorgegebenen Tempera-turverlauf, zur adaptiven Steuerung eine Linearkombi-nation aus den gemessenen Werten von Heizstrom und Heizspannung zu benutzen (DE-OS 2807622, G01N, 21/54). Die Koeffizienten dieser Linearkombination werden mit Hilfe von elektrischen Schaltelementen realisiert und aus ihrem bekannten Zusammenhang mit der Änderung der Heizereigenschaften bestimmt. Ein wesentlicher Nachteil einer solchen Anordnung besteht darin, daß nur dann eine geringe Temperaturabweichung erreichbar ist, wenn die Übergangswiderstände zwischen Heizelement und Stromzu-führungen vernachlässigbare Differenzen gegenüber dem Verhalten zeigen, für welches die erwähnten Koeffizien-ten ermittelt wurden. Fehler durch veränderliche Über-gangswiderstände sind immer dann zu erwarten, wenn die einschließlich der Übergangswiderstände gemessene Span-nung in die adaptive Steuerung eingeht. Ein weiterer Nachteil der genannten Korrekturvorrichtung besteht darin, daß diese nur für eine bestimmte Klasse von funktionalen Zusammenhängen von Temperatur und Heizer-

parametern anwendbar ist.

Andere bekannte Lösungen verwenden Temperaturmeßvorrichtungen zur Kontrolle der Einhaltung des Sollwertes bzw. zur Ausregelung der Sollwertabweichung.

Eine derartige Lösung betrifft ein Verfahren und eine Vorrichtung zur pyrometrischen Messung der Graphitrohrtemperatur in einer Graphitrohrküvette für die flammenlose Atomabsorptionsspektroskopie über einen ausgedehnten Temperaturbereich hinweg, unter Verwendung eines von der Strahlung des Graphitrohres beaufschlagten Strahlungsempfängers zur Erzeugung eines temperaturabhängigen Signals und eines diesem Strahlungsempfänger nachgeschalteten Verstärkers mit einstellbarem Verstärkungsgrad, wobei jeder Ausgangsspannung des Verstärkers ein Temperaturwert zugeordnet ist (DE-AS 2710669, G01N, 21/54). Dabei wird das Graphitrohr zunächst auf eine Temperatur gebracht, bei welcher eine Messung mit zwei verschiedenen Temperaturmeßeinrichtungen, nämlich einmal mittels des Strahlungsempfängers eines Pyrometers und zum anderen mittels einer Temperaturmeßeinrichtung möglich ist, die einen vom Emissionsfaktor des Graphitrohres unabhängigen Temperaturmeßwert liefert. Durch Veränderung des Verstärkungsgrades wird dafür gesorgt, daß beide Temperaturmeßeinrichtungen^{en} bei dieser Temperatur die gleiche "Anzeige" liefern.

In einem Zusatzpatent (DE-AS 2903328, G01N, 21/54) zu dieser Lösung wird vorgeschlagen, daß durch die zweite Temperaturmeßeinrichtung, einem im Bereich kurzer Wellenlängen empfindlichen photoelektrischen Detektor mit vorgeschaltetem, geeignetem Filter, als Maß für die Temperatur des Graphitrohres die Strahlung aus einem begrenzten Wellenlängenbereich gemessen wird, dessen Schwerpunktwellenlänge relativ zu der von dem

Graphitrohr emittierten Strahlung kurzwellig ist.

Die letztgenannten Lösungen berücksichtigen zwar die schwankenden Emissionsfaktoren der Graphitrohre, jedoch ist der Einsatz einer zweiten Temperaturmeßeinrichtung in jedem Fall sehr aufwendig.

Ziel der Erfindung

Das Ziel der Erfindung besteht darin, in einem elektrothermischen System in einfacher Weise einen beliebigen Temperaturverlauf in einem großen Temperaturbereich, d. h. etwa von 20°C bis 3000°C , schnell und genau realisieren zu können.

Darlegung des Wesens der Erfindung

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, das Verfahren und die Anordnung so auszugestalten, daß die an einem elektrothermischen System auftretenden Änderungen derart korrigiert werden, daß eine Temperatursteuerung entlang einer vorgegebenen Zeitfunktion ohne ständige Temperaturmessung im betrachteten Temperaturbereich mit vorgegebener Genauigkeit realisiert werden kann.

Diese Aufgabe wird bei einem Verfahren zur Realisierung eines vorgegebenen Temperaturverlaufes, wobei der Effektivwert einer einem elektrothermischen System zugeführten elektrischen Größe gesteuert wird, erfindungsgemäß dadurch gelöst, daß mit der Meßgröße Korrekturfunktionen gebildet werden, daß in jedem Zeitintervall Δt ein der Momentantemperatur T ent-

sprechender Wert eines die thermodynamischen Materialeigenschaften des elektrothermischen Systems beschreibenden Parameters $C(T) = \frac{N-F(t)}{\Delta T/\Delta t}$, wobei $F(T)$ die elektrische Leistung ist, die dem Gleichgewichtszustand bei bestimmten Temperaturen T entspricht, und N die in dem Zeitintervall Δt zugeführte elektrische Leistung darstellt, einem Speicher entnommen und multiplikativ mit einer der Korrekturfunktionen sowie mit dem momentan geforderten Gradienten $\frac{\Delta T}{\Delta t}$ verknüpft wird, daß einem weiteren Speicher ein Wert der Leistung $F(T)$, der dem thermischen Gleichgewicht bei der Temperatur T entspricht, entnommen und mit einer zweiten Korrekturfunktion multiplikativ verknüpft wird, daß die Summe aus dem Produkt der Werte des thermodynamischen Parameters $C(T)$ und des Gradienten und aus dem dem thermischen Gleichgewicht entsprechenden Wert der Leistung $F(T)$ einer Steuervorrichtung zugeführt wird und daß anschließend der Inhalt des Speichers für die Momentantemperatur T um den Wert ΔT erhöht wird.

Es besteht auch die Möglichkeit, daß der die thermodynamischen Materialeigenschaften des elektrothermischen Systems beschreibende Parameter durch die Größe $\frac{C(T)}{R}$ gegeben ist, wobei R der elektrische Widerstand des elektrothermischen Systems ist, und daß die der Steuervorrichtung zugeführte Summe aus dem Produkt der Werte des Parameters $\frac{C(T)}{R}$ und des Gradienten $\Delta T/\Delta t$ und aus dem dem thermischen Gleichgewicht entsprechenden und durch den elektrischen Widerstand des elektrothermischen Systems dividierten Wert der Leistung $F(T)$ gebildet wird.

Eine weitere Variante besteht darin, daß der die thermodynamischen Materialeigenschaften des elektrothermischen Systems beschreibende Parameter durch

die Größe $C(T) \cdot R$ gegeben ist, wobei R der elektrische Widerstand des elektrothermischen Systems ist, und daß die der Steuervorrichtung zugeführte Summe aus dem Produkt der Werte des Parameters $C(T) \cdot R$ und des Gradienten $\Delta T / \Delta t$ und aus dem dem thermischen Gleichgewicht entsprechenden und mit dem elektrischen Widerstand des elektrothermischen Systems multiplizierten Wert der Leistung $F(T)$ gebildet wird.

Es ist vorgesehen, daß als Meßgröße der elektrische Widerstand $R(T)$ gemessen wird und die Korrekturfunktion $f_1(R)$ für den zur Aufrechterhaltung der Solltemperatur erforderlichen Wert der Leistung $F(t)$, der dem thermischen Gleichgewicht bei der Temperatur T entspricht, und die Korrekturfunktion $f_2(R)$ für den die thermodynamischen Materialeigenschaften des elektrothermischen Systems beschreibenden Parameter $C(t)$ mit einem Wert des elektrischen Widerstandes aus einem weitgehend temperaturunabhängigen Bereich gebildet werden.

Mit Vorteil kann das Verfahren auch so ausgestaltet sein, daß als Meßgröße die Temperatur aus der Strahlungsemission des elektrothermischen Systems gemessen wird, daß für mindestens eine Solltemperatur der zu einem gespeicherten Wert der zur Aufrechterhaltung der Solltemperatur erforderlichen Leistung gehörige Heizstrom eingestellt und die Gleichgewichtstemperatur T gemessen wird, daß der Quotient K_n der zur Aufrechterhaltung der Solltemperatur und der Gleichgewichtstemperatur erforderlichen Leistungen und dann die Korrekturfunktion $f_3(K_n, T)$ für die zur Aufrechterhaltung der Solltemperatur erforderlichen Leistung gebildet wird, daß ferner ein in der Zeiteinheit zu durchlaufendes Temperaturintervall vorgegeben wird, daß die Zeit zum Durchlaufen einer im vorgegebenen Temperaturintervall

liegenden Temperaturdifferenz sowie die Temperaturen selbst ermittelt werden, wobei die Ausgangstemperatur die Solltemperatur und die zu erreichende Temperatur die Gleichgewichtstemperatur ist, und daß ein Quotient K_c aus dem Produkt aus dem in der Zeiteinheit zu durchlaufenden Temperaturintervall und der Zeit zum Durchlaufen der Temperaturdifferenz und aus der Temperaturdifferenz und dann die Korrekturfunktion $f_4(K_c, T)$ für den die thermodynamischen Materialeigenschaften des elektrothermischen Systems beschreibenden Parameter $C(T)$ gebildet wird.

Ein weiteres Merkmal der Erfindung ist dadurch gegeben, daß die zur Aufrechterhaltung der Solltemperatur erforderliche Leistung und der die thermodynamischen Materialeigenschaften des elektrothermischen Systems beschreibende Parameter in separaten Schritten korrigiert werden.

Die Aufgabe der Erfindung wird bei einer Anordnung zur Durchführung des Verfahrens, wobei das elektrothermische System an eine elektrische Energiequelle anschließbar ist, erfindungsgemäß dadurch gelöst, daß eine Eingabevorrichtung vorgesehen ist, die zwei Ausgänge aufweist, von denen der erste Ausgang, der das in der Mikrozeit Δt zu erreichende positive oder negative Temperaturinkrement darstellt, mit einem ersten Eingang einer Summierschaltung verbunden ist, daß ein zweiter Eingang der Summierschaltung mit dem Ausgang eines die Momentantemperatur T enthaltenden Operativspeichers und der Ausgang der Summierschaltung mit dem Eingang des Operativspeichers verbunden ist, daß der Ausgang des Operativspeichers gleichfalls mit Adressiereingängen von

Festwertspeichern verbunden ist, wovon der eine die Werte des die thermodynamischen Eigenschaften des elektrothermischen Systems beschreibenden Parameters und der andere die Werte der dem thermischen Gleichgewicht bei der Temperatur T entsprechenden Leistung enthält, daß sowohl der Ausgang des die Werte des thermodynamischen Parameters enthaltenden Festwertspeichers als auch der zweite Ausgang der Eingabevorrichtung, der den Quotienten $\frac{\Delta T}{\Delta t}$ darstellt, mit einer Multiplizierschaltung verbunden sind, daß der Ausgang der Multiplizierschaltung und der Ausgang des die Werte, die der Leistung im thermischen Gleichgewicht bei der Temperatur T entsprechen, enthaltenden Festwertspeichers mit einer Summierschaltung verbunden sind, daß der Ausgang der Summierschaltung mit einer Leistungssteuereinrichtung verbunden ist und daß die Leistungssteuervorrichtung zwischen die elektrische Energiequelle und das elektrothermische System geschaltet ist.

Eine andere Ausführungsform ist dadurch gegeben, daß der eine der Festwertspeicher die Werte $\frac{C(T)}{R}$ und der andere Festwertspeicher die Werte $\frac{F(T)}{R}$ enthält und daß der Ausgang der Summierschaltung mit einer Vorrichtung zur Steuerung des Quadrates der Spannung verbunden ist.

Bei einer weiteren Ausführungsform ist vorgesehen, daß der eine der Festwertspeicher die Werte $C(T) \cdot R$ und der andere Festwertspeicher die Werte $F(T) \cdot R$ enthält und daß der Ausgang der Summierschaltung mit einer Vorrichtung zur Steuerung des Quadrates des Stromes verbunden ist.

Vorteilhaft erfolgt bei der erfinderischen Lösung die Temperatursteuerung über einen elektronischen Rechner ausreichender Operationsgeschwindigkeit, dessen Rechenprogramm ein mathematisches Modell des thermischen Systems enthält. Auf dieser Basis werden die erforder-

lichen Eingangsgrößen des thermischen Systems ausgehend vom aktuellen Zustand zum Zeitpunkt t für den nächstfolgenden Zeitpunkt $t + \Delta t$ berechnet. Dabei ist Δt ein für den betrachteten Temperaturänderungsvorgang hinreichend kleines Zeitintervall. Die Temperaturänderung ΔT des Systems wird durch folgende Gleichung beschrieben:

$$\frac{\Delta T}{\Delta t} = \frac{N(t) - F(T)}{C(T)}$$

wobei $N(t)$ die im Zeitintervall Δt zugeführte Leistung, $F(T)$ die zur Aufrechterhaltung der Temperatur T erforderliche Leistung, also die Leistung, die dem Gleichgewichtszustand bei der Temperatur T entspricht, und $C(T)$ ein die thermodynamischen Materialeigenschaften des elektrothermischen Systems beschreibender Parameter, z.B. die temperaturabhängige Funktion der Wärmekapazität des Systems bedeuten. Die Größen $F(T)$ und $C(T)$ müssen für den betrachteten Temperaturbereich im Rechner gespeichert sein. Die am Heizelement gemessenen Meßgrößen gestatten eine Änderung der gespeicherten Werte der Leistung $F(T)$ und $C(T)$, so daß Abweichungen von der Solltemperatur in vorgegebenen Grenzen gehalten werden können. Die oben beschriebenen Korrekturverfahren sind vor dem Temperatursteuervorgang durchzuführen. Als am Heizsystem einzustellende Sollgröße wird vorzugsweise aus der berechneten Leistung $N(t)$ über den Rechner der zugehörige Heizstrom bestimmt und mit dem im Heizkreis vorhandenen Regelement eingestellt. Der Heizstrom wird vorteilhaft deshalb als Sollgröße gewählt, weil er im Gegensatz zur Heizspannung unabhängig von den möglicherweise veränderlichen Übergangswiderständen zwischen Heizelement und Heizstromquelle gemessen werden kann.

Ausführungsbeispiele

Die Erfindung soll nachstehend an mehreren Ausführungsbeispielen näher erläutert werden. In der zugehörigen Zeichnung zeigen:

- Fig. 1: ein Blockschaltbild der erfindungsgemäßen Anordnung zur Leistungssteuerung
- Fig. 2: eine Anordnung zur Messung der an dem elektrothermischen System anliegenden Heizspannung für einen vorgegebenen Heizstrom
- Fig. 3: eine Anordnung zur Messung der Temperatur des elektrothermischen Systems in einem Teilintervall des interessierenden Temperaturbereiches.

Die in Fig. 1 dargestellte Anordnung weist die Eingabevorrichtung 1 mit zwei Ausgängen auf, von denen der erste das in der Zeiteinheit Δt zu erreichende positive oder negative Temperaturinkrement ΔT darstellt und mit einem der beiden Eingänge der Summierschaltung 2 verbunden ist, während deren anderer Eingang mit dem Ausgang des die Werte der Momentantemperatur T enthaltenden Operativspeichers 3 verbunden ist. Der Ausgang der Summierschaltung 2 ist zum Zwecke der Aktualisierung während jeden Zeitintervalls mit dem Eingang des Operativspeichers 3 verbunden. Gleichzeitig besteht eine Verbindung zwischen dem Ausgang des Operativspeichers 3 und den Adressiereingängen der Festwertspeicher 4 und 5. Weiterhin sind sowohl der Ausgang des die Werte der thermodynamischen Materialkonstanten $C(T)$ enthaltenden Festwertspeichers 4 als auch der den Quotienten $\frac{\Delta T}{\Delta t}$ darstellende zweite Ausgang der Eingabevorrichtung 1 zum Zwecke der Multiplikation mit der Operationsschaltung 6 verbunden, deren Ausgang gemeinsam mit dem Ausgang des die Werte

der Gleichgewichtsleistungen $F(T)$ enthaltenden Festwertspeichers 5 mit der Summierschaltung 7 zum Zwecke der Addition verbunden ist. Letztgenannte Summe stellt den Sollwert für die Leistungssteuervorrichtung 8 dar.

Die Anordnung arbeitet zeit- und amplitudendiskret. In jedem Zeitintervall Δt werden von der Eingabevorrichtung 1 entsprechend dem gewünschten Temperaturverlauf zwei Werte ausgegeben, von denen der erste das Temperaturdekrement oder -inkrement ΔT darstellt, das in der Summierschaltung 2 mit dem die momentane Temperatur T darstellenden Inhalt des Operativspeichers 3 verknüpft wird. Der Ausgang der Summierschaltung aktualisiert den Operativspeicher. Der zweite von der Eingabevorrichtung 1 bereitgestellte Wert stellt den Quotienten $\frac{\Delta T}{\Delta t}$ dar und wird in der Operationschaltung 6 mit dem der Temperatur T entsprechenden Inhalt $C(T)$ des Festwertspeichers 4 multiplikativ verknüpft und anschließend in der Summierschaltung 7 mit dem ebenfalls der Temperatur T entsprechenden Inhalt $F(T)$ des Festwertspeichers 5 verknüpft. Der Ausgang dieser Schaltungsanordnung stellt die während des folgenden Zeitintervalls Δt in dem Atomisator umzusetzende Leistung dar.

Die erfindungsgemäße Anordnung kann auch mit Hilfe eines Mikrorechners auf der Basis der Zentraleinheit U 880 realisiert werden.

Die Zentraleinheit ist in bekannter Weise mit den Festwertspeichern für die Konstanten $F(T)$ und $C(T)$ und dem Programm sowie mit einem Operativspeicher und einer Eingabetastatur verbunden. Desweiteren besteht eine Verbindung zu einem Zähler/Zeitgeber-Baustein, mit dessen Hilfe sowohl die Nulldurchgänge des Versorgungsnetzes an die Zentraleinheit gemeldet werden, um so

das Zeitintervall Δt zu markieren, als auch die momentane Netzfrequenz gemessen wird, um eine Kompensation von Fehlern, die aus Abweichungen des Zeitintervalles Δt von einem Normwert resultieren, zu ermöglichen. Über die Tastatur werden vor Beginn eines Heizvorganges für einen aus linearen Teilstücken zusammengesetzten Temperaturverlauf die jeweiligen Gradienten

$\frac{T_{\text{Anf.}} - T_{\text{Ende}}}{\text{Zeitdauer}}$ und die Werte für die entsprechende Zeit-

dauer eingegeben. Anschließend wird im Mikrorechner überprüft, ob in den Eckpunkten des Temperaturverlaufs die Forderung $0 \leq N \leq N_{\text{max}}$ erfüllt wird und anderenfalls eine Fehlermeldung gegeben.

Alle weiteren Funktionen der Anordnung werden entsprechend obiger Darlegung vom Mikrorechner übernommen, wobei zusätzlich zum Zwecke einer feineren Temperaturentauflösung jeweils zwischen zwei Tabellenwerten interpoliert wird.

In Fig. 2 ist eine Anordnung zur Messung der an dem elektrothermischen System anliegenden Heizspannung für einen vorgegebenen Heizstrom zum Zwecke der Korrektur von Änderungen des Heizsystems dargestellt. Mittels der Strommeßeinrichtung 9 wird der durch das Heizelement 10 fließende Strom gemessen. Die an dem Heizelement liegende Spannung messende Spannungsmesseinrichtung 11 ist mit dem Mikrorechner 12 verbunden, wie auch die Strommeßeinrichtung. Der Mikrorechner ist mit der Steuereinrichtung 13 verbunden, die zwischen das Versorgungsnetz und den Transformator 14 geschaltet ist. Aus den bekannten Werten von Strom und Spannung wird der elektrische Widerstand $R(T)$ des Heizers für eine solche Temperatur T berechnet, bei welcher eine möglichst geringe Änderung des Widerstandes $R(T)$ mit der Temperatur T vorliegt. Mit diesem Widerstandswert $R(T)$ werden die Korrekturfunktionen $f_1(R)$ bzw. $f_2(R)$ gebildet, mit denen die im Rechner gespeicherten Werte 14

der zur Aufrechterhaltung der Temperatur T , die dem Gleichgewichtszustand entspricht, erforderlichen Leistung $F(T)$ bzw. der temperaturabhängigen Funktion der Wärmekapazität des elektrothermischen Systems $C_w(T)$ multipliziert werden. Die Funktionen $f_1(R)$ und $f_2(R)$ sind durch Temperaturmessungen am elektrothermischen System, d. h. am Heizelement, einmal derart bestimmt worden, daß im betrachteten Temperaturbereich der Temperaturfehler in vorgegebenen Grenzen bleibt. Falls notwendig können die Funktionen f_1 und f_2 neben dem Widerstand auch noch von der zugeführten Leistung abhängen.

In Fig. 3 ist eine Anordnung zur Messung der Temperatur des elektrothermischen Systems in einem Teilintervall des interessierenden Temperaturbereiches dargestellt. Mit der Strommeßeinrichtung wird wieder der durch das Heizelement 10 fließende Strom gemessen. Der Oberfläche des Heizelementes gegenüber ist der Strahlungsempfänger 15 mit der Übertragungsoptik 16 angeordnet, die für den infraroten Spektralbereich ausgelegt sind. Mit Hilfe der Strahlungsempfängeranordnung werden geeignete Funktionen f_3 und f_4 bestimmt, mit denen die gespeicherten Werte der zur Aufrechterhaltung der Temperatur T erforderlichen Leistung $F(T)$ bzw. die Wärmekapazität $c_w(T)$ zur Korrektur multipliziert werden.

Zunächst wird die Korrekturfunktion f_3 für die Leistung $F(T)$ bestimmt, indem für mindestens eine Temperatur der zu den entsprechend gespeicherten Werten der Leistung $F(T)$ zugehörige Heizstrom eingestellt und die Gleichgewichtstemperatur T_M gemessen wird. Im allgemeinen wird die Gleichgewichtstemperatur T_M von der eingestellten Solltemperatur T verschieden sein, so daß $F(T)/F(T_M) \equiv k_N \neq 1$ gilt. Mit k_N wird die Funktion $f_3(k_N, T)$ gebildet, wobei die Funktion f_3 aus dem

Systemverhalten durch Vorversuche bestimmt wurde. Um den Meßfehler der Gleichgewichtstemperatur T_M möglichst gering zu halten, muß bei der erfindungsgemäßen Anordnung $T_M \approx T_1$ gewählt werden, da auf Grund des Planckschen Strahlungsgesetzes der relative Temperaturfehler bei gegebener relativer Schwankung des Emissionsvermögens des Meßobjektes proportional zu dessen Temperatur ist. Weil der Temperaturfehler gleichzeitig proportional der Meßwellenlänge wächst, muß diese durch geeignete Auswahl von Strahlungsempfänger und Übertragungsoptik so klein als möglich gewählt werden.

Nach der Korrektur der Leistung $F(T)$ wird mit Hilfe des Mikrorechners eine lineare Temperaturänderung $\frac{dT}{dt} = g_s$ vorgewählt. Mit dem Mikrorechner 12 wird die zum Durchlaufen einer Temperaturdifferenz von T_2 bis T_3 benötigte Zeit Δt_{23} berechnet, wobei $T_1 < T_2 < T_3 < T_4$ gilt. Über die Rechnersteuerung wird die bei gewähltem g_s während der Zeit Δt_{23} ausgehend von T_2 erreichte Temperatur T_{3M} gemessen. Damit kann der gesuchte Korrekturfaktor k_c mit

$$k_c = \frac{g_s \Delta t_{23}}{T_{3M} - T_2}$$

welcher exakt für die Temperatur $(T_2 + T_3)/2$ gilt, berechnet werden. Wenn die Wärmekapazität c_w nur schwach von der Temperatur abhängt, kann die Korrektur der gespeicherten $c_w(T)$ -Werte durch Multiplikation mit k_c erfolgen. Andernfalls muß eine zweckmäßig gewählte Funktion $f(k_c, T)$ zur Multiplikation benutzt werden, wobei diese durch Messung des Temperaturverhaltens des Systems vorher bestimmt werden muß.

Erfindungsanspruch

1. Verfahren zur Realisierung eines vorgegebenen Temperaturverlaufes, wobei der Effektivwert einer einem elektrothermischen System zugeführten elektrischen Größe gesteuert wird, gekennzeichnet dadurch, daß an dem elektrothermischen System eine Meßgröße gemessen wird, daß mit der Meßgröße Korrekturfunktionen gebildet werden, daß in jedem Zeitintervall Δt ein der Momentantemperatur T entsprechender Wert eines die thermodynamischen Materialeigenschaften des elektrothermischen Systems beschreibenden Parameters $C(T) = \frac{N-F(t)}{\Delta T / \Delta t}$, wobei $F(T)$ die elektrische Leistung ist, die dem Gleichgewichtszustand bei bestimmten Temperaturen T entspricht, und N die in dem Zeitintervall Δt zugeführte elektrische Leistung darstellt, einem Speicher entnommen und multiplikativ mit einer der Korrekturfunktionen sowie mit dem momentan geforderten Gradienten $\frac{\Delta T}{\Delta t}$ verknüpft wird, daß einem weiteren Speicher ein Wert der Leistung $F(T)$, der dem thermischen Gleichgewicht bei der Temperatur T entspricht, entnommen und mit einer zweiten Korrekturfunktion multiplikativ verknüpft wird, daß die Summe aus dem Produkt der Werte des thermodynamischen Parameters $C(T)$ und des Gradienten und aus dem dem thermischen Gleichgewicht entsprechenden Wert der Leistung $F(T)$ einer Steuervorrichtung zugeführt wird und daß anschließend der Inhalt des Speichers für die Momentantemperatur T um den Wert ΔT erhöht wird.

2. Verfahren nach Punkt 1, gekennzeichnet dadurch, daß der die thermodynamischen Materialeigenschaften des elektrothermischen Systems beschreibende Parameter durch die Größe $\frac{C(T)}{R}$ gegeben ist, wobei R der elektrische Widerstand des elektrothermischen Systems ist, und daß die der Steuervorrichtung zugeführte Summe aus dem Produkt der Werte des Parameters $\frac{C(T)}{R}$ und des Gradienten $\Delta T/\Delta t$ und aus dem dem thermischen Gleichgewicht entsprechenden und durch den elektrischen Widerstand des elektrothermischen Systems dividierten Wert der Leistung $F(T)$ gebildet wird.
3. Verfahren nach Punkt 1, gekennzeichnet dadurch, daß der die thermodynamischen Materialeigenschaften des elektrothermischen Systems beschreibende Parameter durch die Größe $C(T) \cdot R$ gegeben ist, wobei R der elektrische Widerstand des elektrothermischen Systems ist, und daß die der Steuervorrichtung zugeführte Summe aus dem Produkt der Werte des Parameters $C(T) \cdot R$ und des Gradienten $\Delta T/\Delta t$ und aus dem dem thermischen Gleichgewicht entsprechenden und mit dem elektrischen Widerstand des elektrothermischen Systems multiplizierten Wert der Leistung $F(T)$ gebildet wird.
4. Verfahren nach einem der Punkte 1 bis 3, gekennzeichnet dadurch, daß als Meßgröße der elektrische Widerstand $R(T)$ gemessen wird und die Korrekturfunktion $f_1(R)$ für den zur Aufrechterhaltung der Solltemperatur erforderlichen Wert der Leistung $F(t)$, der dem thermischen Gleichgewicht bei der Temperatur T entspricht, und die Korrekturfunktion $f_2(R)$ für den

die thermodynamischen Materialeigenschaften des elektrothermischen Systems beschreibenden Parameter $C(t)$ mit einem Wert des elektrischen Widerstandes aus einem weitgehend temperaturunabhängigen Bereich gebildet werden.

5. Verfahren nach einem der Punkte 1 bis 3, gekennzeichnet dadurch, daß als Meßgröße die Temperatur aus der Strahlungsemission des elektrothermischen Systems gemessen wird, daß für mindestens eine Solltemperatur der zu einem gespeicherten Wert der zur Aufrechterhaltung der Solltemperatur erforderlichen Leistung gehörige Heizstrom eingestellt und die Gleichgewichtstemperatur T gemessen wird, daß der Quotient K_n der zur Aufrechterhaltung der Solltemperatur und der Gleichgewichtstemperatur erforderlichen Leistungen und dann die Korrekturfunktion $f_3(K_n, T)$ für die zur Aufrechterhaltung der Solltemperatur erforderlichen Leistung gebildet wird, daß ferner ein in der Zeiteinheit zu durchlaufendes Temperaturintervall vorgegeben wird, daß die Zeit zum Durchlaufen einer im vorgegebenen Temperaturintervall liegenden Temperaturdifferenz sowie die Temperaturen selbst ermittelt werden, wobei die Ausgangstemperatur die Solltemperatur und die zu erreichende Temperatur die Gleichgewichtstemperatur ist, und daß ein Quotient K_c aus dem Produkt aus dem in der Zeiteinheit zu durchlaufenden Temperaturintervall und der Zeit zum Durchlaufen der Temperaturdifferenz und aus der Temperaturdifferenz und dann die Korrekturfunktion $f_4(K_c, T)$ für den die thermodynamischen Materialeigenschaften des elektrothermischen Systems beschreibenden Parameter $C(T)$ gebildet wird.

6. Verfahren nach einem der Punkte 1 bis 5, gekennzeichnet dadurch, daß die zur Aufrechterhaltung der Solltemperatur erforderliche Leistung und der die thermodynamischen Materialeigenschaften des elektrothermischen Systems beschreibende Parameter in separaten Schritten korrigiert werden.

7. Anordnung zur Durchführung des Verfahrens nach Punkt 1, wobei das elektrothermische System an eine elektrische Energiequelle anschließbar ist, gekennzeichnet dadurch, daß eine Eingabevorrichtung (1) vorgesehen ist, die zwei Ausgänge aufweist, von denen der erste Ausgang, der das in der Mikrozeit Δt zu erreichende positive oder negative Temperaturinkrement darstellt, mit einem ersten Eingang einer Summierschaltung (2) verbunden ist, daß ein zweiter Eingang der Summierschaltung (2) mit dem Ausgang eines die Momentantemperatur T enthaltenden Operativspeichers (3) und der Ausgang der Summierschaltung (2) mit dem Eingang des Operativspeichers (3) verbunden ist, daß der Ausgang des Operativspeichers (3) gleichfalls mit Adressiereingängen von Festwertspeichern (4,5) verbunden ist, wovon der eine die Werte des die thermodynamischen Eigenschaften des elektrothermischen Systems beschreibenden Parameters und der andere die Werte der dem thermischen Gleichgewicht bei der Temperatur T entsprechenden Leistung enthält, daß sowohl der Ausgang des die Werte des thermodynamischen Parameters enthaltenden Festwertspeichers (4) als auch der zweite Ausgang der Eingabevorrichtung, der den Quotienten $\Delta T / \Delta t$ darstellt, mit einer Multiplizierschaltung

- (6) verbunden sind, daß der Ausgang der Multiplizierschaltung und der Ausgang des die Werte, die der Leistung im thermischen Gleichgewicht bei der Temperatur T entsprechen, enthaltenden Festwertspeichers (5) mit einer Summierschaltung (7) verbunden sind, daß der Ausgang der Summierschaltung (7) mit einer Leistungssteuereinrichtung (8) verbunden ist und daß die Leistungssteuervorrichtung zwischen die elektrische Energiequelle und das elektrothermische System geschaltet ist.
8. Anordnung nach Punkt 2 und 7, gekennzeichnet dadurch, daß der eine der Festwertspeicher (4) die Werte $\frac{C(T)}{R}$ und der andere Festwertspeicher (5) die Werte $\frac{F(T)}{R}$ enthält und daß der Ausgang der Summierschaltung (7) mit einer Vorrichtung zur Steuerung des Quadrates der Spannung verbunden ist.
9. Anordnung nach Punkt 3 und 7, gekennzeichnet dadurch, daß der eine der Festwertspeicher (4) die Werte $C(T) \cdot R$ und der andere Festwertspeicher (5) die Werte $F(T) \cdot R$ enthält und daß der Ausgang der Summierschaltung (7) mit einer Vorrichtung zur Steuerung des Quadrates des Stromes verbunden ist.

"Hierzu 2 Seiten Zeichnungen"

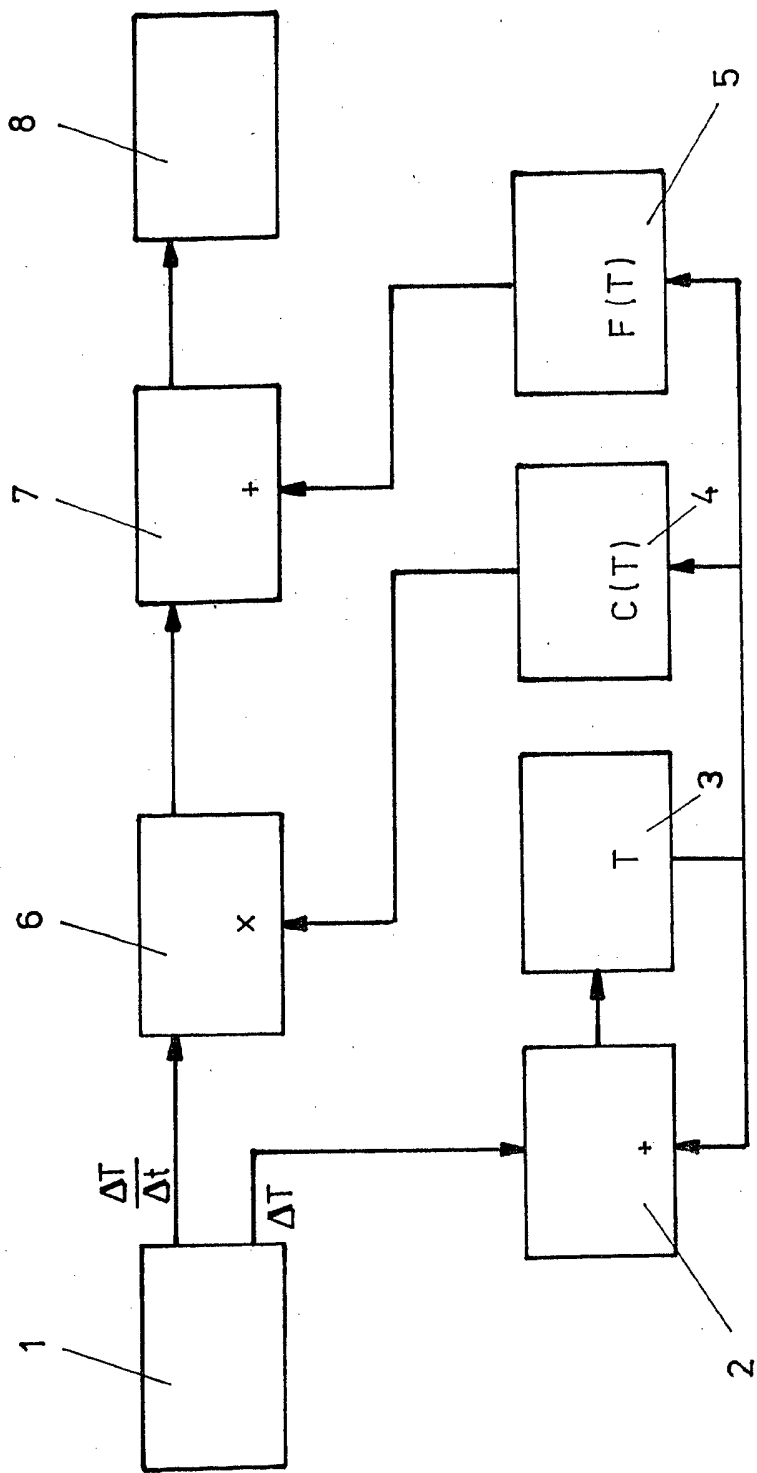


Fig. 1

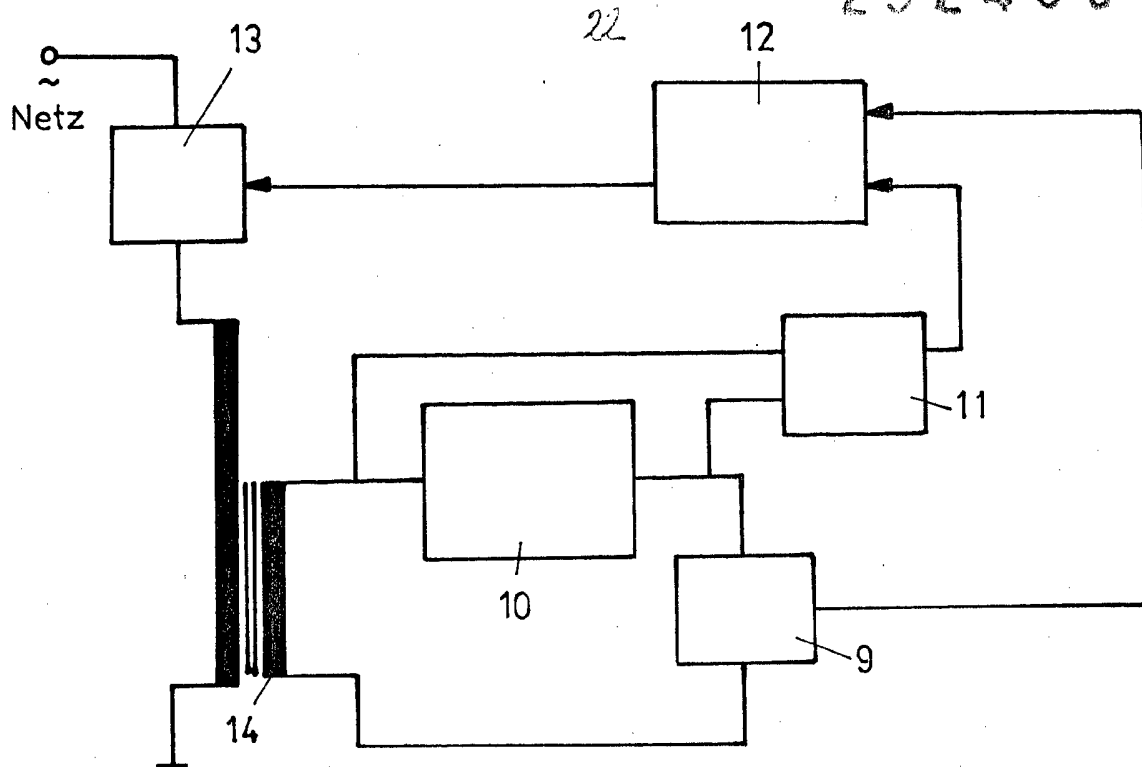


Fig. 2

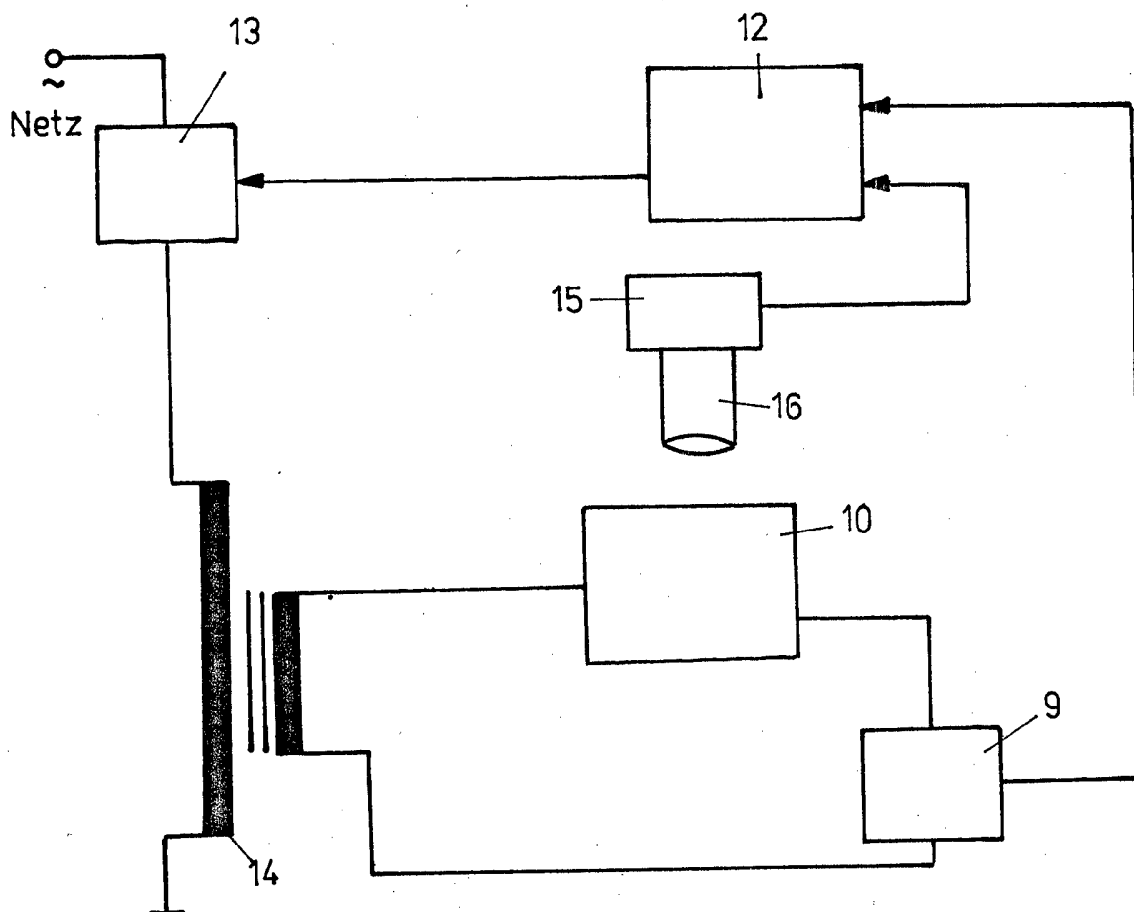


Fig. 3