



(19)
Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 698 18 468 T2** 2004.07.22

(12)

Übersetzung der europäischen Patentschrift

(97) **EP 0 994 645 B1**

(21) Deutsches Aktenzeichen: **698 18 468.8**

(96) Europäisches Aktenzeichen: **99 124 050.8**

(96) Europäischer Anmeldetag: **03.04.1998**

(97) Erstveröffentlichung durch das EPA: **19.04.2000**

(97) Veröffentlichungstag

der Patenterteilung beim EPA: **24.09.2003**

(47) Veröffentlichungstag im Patentblatt: **22.07.2004**

(51) Int Cl.7: **H05K 7/20**

H01L 21/66, G05D 23/19, G01R 31/316,

G05D 23/24, G05B 13/04

(30) Unionspriorität:

833273 04.04.1997 US

833368 04.04.1997 US

833369 04.04.1997 US

(73) Patentinhaber:

Unisys Corp., Blue Bell, Pa., US

(74) Vertreter:

Schieber und Kollegen, 80469 München

(84) Benannte Vertragsstaaten:

DE, FR, GB

(72) Erfinder:

Babcock, James Wittman, Escondido, US;

Tustaniwskyj, Jerry Ihor, Mission Viejo, US

(54) Bezeichnung: **Temperatur-Regelungssystem für eine elektronische Schaltung bei welcher die Temperatur über die Temperaturen einer Wärmequelle und einer Wärmesenke geschätzt wird**

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

HINTERGRUND DER ERFINDUNG

[0001] Diese Erfindung betrifft Temperatur-Steuersysteme, die die Temperatur einer elektronischen Vorrichtung in der Nähe einer konstanten Sollwert-Temperatur halten, während die Vorrichtung geprüft wird; und sie betrifft Untergruppen, die Schlüsselabschnitte dieser Temperatur-Steuersysteme umfassen.

[0002] Zwei spezifische Beispiele für elektronische Vorrichtungen, die in der Nähe einer konstanten Temperatur geprüft werden müssen, sind auf Platten montierte integrierte Chips oder freiliegende Chips, die nicht auf Platten montiert sind. In den Chips kann jede Art von Schaltung wie beispielsweise eine Digitallogik-Schaltung oder Speicher-Schaltung oder Analog-Schaltung integriert sein. Die Schaltung in den Chips kann sich auch aus irgendeiner Transistor-Art wie beispielsweise Feldeffekt-Transistoren oder bipolaren Transistoren zusammensetzen.

[0003] Ein Grund dafür zu versuchen, die Temperatur eines Chips konstant zu halten, während er geprüft wird, liegt darin, dass die Geschwindigkeit, mit der der Chip arbeitet, Temperatur-abhängig sein kann. Ein Chip, der z. B. aus komplementären Feldeffekt-Transistoren (CMOS-Transistoren) besteht, erhöht für gewöhnlich seine Betriebsgeschwindigkeit um etwa 0,3% je °C-Abnahme in der Chip-Temperatur.

[0004] Eine übliche Praxis in der Chip-Industrie ist es, eine besondere Chip-Art in Massenfertigung herzustellen und sie dann nach der Geschwindigkeit zu sortieren und die schneller arbeitenden Chips zu einem höheren Preis zu verkaufen. CMOS-Speicherchips und CMOS-Mikroprozessorchips werden auf diese Weise verarbeitet. Um die Geschwindigkeit dieser Chips richtig zu bestimmen, muss die Temperatur eines jeden Chips etwa konstant gehalten werden, während der Geschwindigkeitstest durchgeführt wird.

[0005] Das Halten der Chiptemperatur in der Nähe eines konstanten Sollwerts ist relativ einfach, wenn die Augenblicks-Verlustleistung des Chips konstant gehalten wird oder in einem kleinen Bereich variiert, während der Geschwindigkeitstest durchgeführt wird. In diesem Fall ist es lediglich nötig, den Chip mittels eines festgelegten thermische Widerstands an eine thermische Masse zu koppeln, die bei einer festen Temperatur liegt. Wenn z. B. die maximale Chip-Leistungsänderung 10 Watt beträgt und die Kopplung zwischen dem Chip und der thermischen Masse 0,2°C/Watt ist, dann wird die Chiptemperatur höchstens um 2°C variieren.

[0006] Wenn jedoch die Augenblicks-Verlustleistung des Chips in einem weiten Bereich nach oben und unten variiert, während der Geschwindigkeitstest durchgeführt wird, dann ist es sehr schwer, die Chiptemperatur nahe am konstanten Sollwert zu halten. Jedesmal, wenn die Vorrichtungs-Verlustleistung eine große Änderung durchmacht, werden auch seine Temperatur und Geschwindigkeit eine große Änderung durchmachen.

[0007] Das obige Problem ist vor allem in CMOS-Chips heftig, da ihre Augenblicks-Verlustleistungen zunehmen, wenn die Zahl der CMOS-Transistoren, die EIN- oder AUS-Schalten, zunimmt. Während des Geschwindigkeitstests eines CMOS-Chips ändert sich die Zahl der Transistoren, die schalten, ständig; solchermassen ändern sich die Verlustleistung der Chips und die Temperatur und die Geschwindigkeit unaufhörlich. Auch ändert sich die Größe dieser Änderungen, wenn mehrere Transistoren in einem einzelnen Chip integriert sind, da die Zahl der Transistoren, die in irgendeinem besonderen Moment schalten, von Null bis zu allen Transistoren auf dem Chip wechseln kann.

[0008] Im Stand der Technik wurden mehrere Temperatur-Steuersysteme für Chips von integrierten Schaltungen von den folgenden US-Patenten offenbart:

5.420.521; 5.297.621; 5.104.661;

5.315.240; 5.205.132; 5.125.656;

5.309.090; 5.172.049; 4.734.872.

[0009] Jedoch ist keines der Temperatur-Steuersysteme, die in den obigen Patenten offenbart werden, dazu in der Lage, dass Geschwindigkeitstests an Chips ablaufen, deren Verlustleistung während des Tests stark variiert. Dies geschieht, da die obigen Temperatur-Steuersysteme nicht schnell genug reagieren können, um diese Augenblicks-Leistungsänderungen ausgleichen zu können.

[0010] Im obigen Patent '656 und '661 und '090 und '240 werden keine Mittel bereitgestellt, um Wärme vom Chip zu entfernen; sie schließen bloß verschiedene Heizer ein, um Wärme an den Chip hinzuzufügen. Diese Steuersysteme sind nur für den Anstieg der Chiptemperatur auf höhere Grade wie beispielsweise über 200°C geeignet, bei der "Einbrenn-Tests" durchgeführt werden. Bei jeder höheren Temperatur wird der Ausfall schwacher oder fehlerhafter Komponenten in einem Chip beschleunigt, und der "Einbrenn-Test" bewirkt, dass diese Komponenten nach mehreren Stunden versagen.

[0011] In den obigen Patenten '872, '132 und '621 wird die Chiptemperatur erhöht oder gesenkt, indem ein Temperatur-geregelter Gas-Strahl auf den Chip gerichtet oder der Chip in eine Temperaturgeregelter Flüssigkeit getaucht wird. Jedoch werden diese Steuersysteme durch die Geschwindigkeit begrenzt, bei der die Temperatur des Gasstrahls bzw. der Flüssigkeit erhöht oder gesenkt werden kann.

[0012] Im Patent '521 wird in **Fig. 7** ein Steuersystem offenbart, das sowohl einen Heizer zum Erwärmen des Chips als auch einen Flüssigkeits-gekühlten Aluminiumblock zum Kühlen des Chips einschließt. Dennoch ist

das Steuersystem der **Fig. 7** nicht in der Lage zu ermöglichen, dass Tests an den Chips ablaufen, die während des Tests ihre Verlustleistung stark ändern, da es nicht schnell genug reagieren kann, um diese Leistungsänderungen zu kompensieren. Warum diese Unzulänglichkeiten auftreten, wird hierin detailliert in Verbindung mit den **Fig. 8, 9 und 10** erklärt.

[0013] Entsprechend liegt eine Hauptaufgabe der hierin offenbarten Erfindungen darin, neuartige Temperatur-Steuersysteme und neuartige Untergruppen für diese Systeme bereitzustellen, die schnell auf große Schwankungen in der Verlustleistung innerhalb einer elektronischen Vorrichtung reagieren und dadurch die Vorrichtungstemperatur in der Nähe einer konstanten Sollwert-Temperatur halten, während die Vorrichtung geprüft wird.

KURZE ZUSAMMENFASSUNG DER ERFINDUNG

[0014] In Übereinstimmung mit der Erfindung der Akte 550.577 umfasst ein Temperatur-Steuersystem, das die Temperatur einer elektronischen Vorrichtung etwa am Sollwert hält: einen elektrischen Heizer, der eine erste Oberfläche hat, die mit der elektronischen Vorrichtung einen Kontakt herstellt, und eine zweite Oberfläche, die der ersten Oberfläche gegenüberliegt; einen Kühlkörper, der an die zweite Oberfläche des Heizers gekoppelt wird, der die Hitze von der elektronischen Vorrichtung durch die zweiten Oberfläche des Heizers absorbiert; einen Temperatursensor, der an die elektronische Vorrichtung gekoppelt ist und der die Vorrichtungstemperatur T_d abtastet; und eine am Temperatursensor und am Heizer gekoppelte Steuerschaltung, die die Leistung für den Heizer verringert, wenn die abgetastete Temperatur der elektronischen Vorrichtung über den Sollwert liegt, und umgekehrt. Wenn die Heizertemperatur T_h unter T_d liegt, dann strömt die Hitze von der elektronischen Vorrichtung durch den Heizer zum Kühlkörper; und die Rate des Wärmestroms erhöht sich, wenn $T_d - T_h$ steigt. Wenn T_h über T_d liegt, dann strömt die Wärme vom Heizer zur elektronischen Vorrichtung; und die Rate des Wärmestroms steigt, wenn $T_h - T_d$ steigt. Indem elektrisch nur die Heizleistung gesteuert wird, wird der Wärmestrom an die/von der elektronischen Vorrichtung schnell geregelt; und dies regelt wiederum schnell die Vorrichtungstemperatur.

KURZE BESCHREIBUNG DER ZEICHNUNGEN

[0015] **Fig. 1** zeigt ein Temperatur-Steuersystem, das eine bevorzugte Ausführungsform der Erfindung bildet, die die Akte Nr. 550.577 hat.

[0016] **Fig. 2** ist ein schematisches Diagramm, das den Betrieb des Temperatursteuersystems der **Fig. 1** zu erklären hilft.

[0017] **Fig. 3** bildet das schematische Diagramm der **Fig. 2** nach und schildert den Betrieb des Steuersystems der **Fig. 1** für den Fall, dass sich die Verlustleistung in der elektronischen Vorrichtung erhöht.

[0018] **Fig. 4** bildet das schematische Diagramm der **Fig. 2** nach und schildert den Betrieb des Steuersystems der **Fig. 1** für den Fall, dass die Verlustleistung in der elektronischen Vorrichtung abnimmt.

[0019] **Fig. 5** ist eine Reihe von Differentialgleichungen, die das Verhalten des Steuersystems der **Fig. 1** genau definieren.

[0020] **Fig. 6** zeigt, wie mehrere Parameter im Steuersystem der **Fig. 1** variieren, wenn dieses System mithilfe der Gleichungen der **Fig. 5** simuliert wird.

[0021] **Fig. 7** zeigt, wie mehrere zusätzliche Parameter im Steuersystem der **Fig. 1** variieren, wenn dieses System mithilfe der Gleichungen der **Fig. 5** simuliert wird.

[0022] **Fig. 8** ist ein dem schematischen Diagramm der **Fig. 2** ähnliches schematisches Diagramm, das den Betrieb eines Temperatur-Steuersystems aus dem Stand der Technik, das im US-Patent 5.420.521 beschrieben wird, zu erklären hilft.

[0023] **Fig. 9** ist eine Reihe von Differentialgleichungen, die das Verhalten des Temperatur-Steuersystems aus der **Fig. 8** genau definieren und ein Unterscheidungsmerkmal zwischen dem Betrieb der Steuersysteme der **Fig. 1** und 8 zu erklären helfen.

[0024] **Fig. 10** ist eine Reihe von Differentialgleichungen, die ein weiteres Unterscheidungsmerkmal zwischen dem Betrieb der Steuersysteme der **Fig. 1** und 8 zu erklären helfen.

[0025] **Fig. 11** ist eine Reihe von Differentialgleichungen, die die Grundlage des Temperatur-Steuersystems bilden, das das Aktenzeichen 550.578 hat.

[0026] **Fig. 12** zeigt eine bevorzugte Ausführungsform des Temperatur-Steuersystems, das auf die Gleichungen der **Fig. 11** basiert.

[0027] **Fig. 13** ist eine Anordnung von Kurven, die durch eine Simulation des Temperatur-Steuersystems der **Fig. 12** erhalten wird.

[0028] **Fig. 14** ist eine andere Anordnung von Kurven, die durch eine zweite Simulation des Temperatur-Steuersystems der **Fig. 12** erhalten wird, in der ein besonderer Parameter mit einem Fehler injiziert wird.

[0029] **Fig. 15** listet die Schritte für ein Verfahren auf, durch das der Fehler im Parameter der **Fig. 14** erfasst

und berichtigt werden kann.

[0030] **Fig. 16** veranschaulicht, wie das Verfahren der **Fig. 15** durchgeführt wird.

[0031] **Fig. 17** zeigt ein Anfangsstadium der Herstellung einer Untergruppe, die die Erfindung bildet, die das Aktenzeichen 550.579 hat.

[0032] **Fig. 18** zeigt, wie die Untergruppe der **Fig. 17** vervollständigt und in den Temperatur-Steuersystemen der **Fig. 1** und **12** eingeschlossen wird.

[0033] **Fig. 19** zeigt, wie ein Film auf einer elektronischen Vorrichtung in der Untergruppe der **Fig. 18** entfernt wird.

[0034] **Fig. 20** zeigt eine Modifikation für eine Heizerkomponente innerhalb der Temperatur-Steuersysteme der **Fig. 1** und **12**.

[0035] **Fig. 21** zeigt eine Modifikation für die Untergruppe der **Fig. 18**.

DETAILLIERTE BESCHREIBUNG

[0036] In **Fig. 1** bezeichnet die Bezugsziffer **11** eine elektronische Vorrichtung, die geprüft werden soll, während ihre Temperatur in der Nähe eines konstanten Sollwerts gehalten wird. Zwei spezifische Beispiele für diese elektronische Vorrichtung **11** sind ein integrierter Chip, der in Keramik oder Kunststoff verpackt wird, oder ein unbedeckter Chip, der nicht verpackt ist. Jede Schaltung, die geprüft werden muss, kann in der elektronischen Vorrichtung **11** integriert sein; z. B. eine Digitallogik-Schaltung oder Speicher-Schaltung oder Analog-Schaltung und diese Schaltung kann sich aus irgendeiner Transistor-Art wie beispielsweise N-Kanal-Feldeffekttransistoren oder P-Kanal-Feldeffekttransistoren oder komplementären Feldeffekttransistoren oder bipolaren Transistoren zusammensetzen.

[0037] An der elektronischen Vorrichtung **11** sind Dutzende von Eingabe/Ausgabeklemmen **11a** eingeschlossen; jedoch werden um der Einfachheit willen in der **Fig. 1** nur ein paar dieser Klemmen gezeigt. Diese Klemmen **11a** werden an drei Gruppen von Signalleitungen **12a**, **12b** und **12c** angekoppelt. An diesen Signalleitungen **12a** werden Eingabesignale "TEST-IN" empfangen, die die elektronische Vorrichtung **11** prüfen; und auf den Signalleitungen **12b** werden Ausgabesignale "TEST-OUT" von der elektronischen Vorrichtung **11** als eine Antwort auf die Prüfung ausgesandt. Eine herkömmliche Testausstattung (nicht gezeigt) ist an die Signalleitungen **12a** und **12b** gekoppelt, um jeweils die Signale auf diesen Leitungen zu senden und zu empfangen. Auf den Signalleitungen **12c** werden Ausgabesignale "TEMP" von der elektronischen Vorrichtung **11** übertragen, die ihre Temperatur anzeigen. Diese TEMP-Signale stammen von einem Temperatursensor wie beispielsweise einem/r Temperatur-empfindlichen Widerstand bzw. Diode her, die in der elektronischen Vorrichtung integriert ist.

[0038] Alle übrigen Komponenten **12–17** in der **Fig. 1** bilden ein Temperatur-Steuersystem, das die Temperatur der elektronischen Vorrichtung **11** in der Nähe des Sollwerts hält, während diese Vorrichtung geprüft wird. Jede Komponente in diesem Steuersystem wird unten in der TABELLE 1 beschrieben.

TABELLE 1

KOMPONENTE BESCHREIBUNG

12 ... Komponente **12** ist eine Leiterplatte, die physisch die Komponenten **11**, **16**, **17** und **18** hält. Die Leiterplatte **12** enthält auch mehrere Gruppen von Signal- und Stromleitungen **12a–12g**.

13 ... Komponente **13** ist ein dünner, flacher, elektrischer Heizer, der zwei Hauptoberflächen **13a** und **13b** hat, die jeweils gegen die Komponenten **11** und **19** aufliegen. Eine variable Menge der elektrischen Strom P_h wird dem Heizer **13** über zwei Drähte **13c** zugeführt, und dieser Strom (Leistung) wird innerhalb des Heizers als Wärme zerstreut. Eine Ausführungsform des Heizers **13** setzt sich aus Aluminiumnitrid-Keramik zusammen, in dem elektrische Widerstände (nicht gezeigt) einheitlich integriert sind, um den Strom von den Leitern **13c** in Wärme umzuwandeln.

14 ... Komponente **14** ist ein mit einer Flüssigkeit gekühlter Kühlkörper, der eine hohle Basis **14a** hat, in der Kühlrippen (nicht gezeigt) angeordnet sind. Ein flüssiges Kühlmittel **14b** dringt aus einer Röhre **14c** in die Basis **14a**, und dieses flüssige Kühlmittel tritt über eine andere Röhre **14d** aus der Basis aus. Dieses Kühlmittel **14b** wird von einer Pumpe (nicht gezeigt) bei einer konstanten Flussrate in der Basis **14a** umgewälzt und bei einer konstanten Temperatur T_L gehalten.

15 ... Komponente **15** ist eine elektrische Steuerschaltung, die die variable Größe des elektrischen Stroms P_h an den elektrischen Heizer **13** leitet. Diese Steuerschaltung **15** besteht aus einem Stromregler **16** und einer variablen Stromquelle **17**.

16 ... Komponente **16** ist ein Stromregler, der an drei Gruppen von Signalleitungen **12c**, **12d** und **12e** gekoppelt ist. Die TEMP-Signale, die die vorhandene Temperatur T_0 der elektronischen Vorrichtung **11** anzeigen, werden auf den Signalleitungen **12c** empfangen, und die SETPOINT-Signale, die die Sollwert-Tempe-

ratur für die Vorrichtung **11** anzeigen, werden auf den Signalleitungen **12d** empfangen. Auf der Grundlage dieser zwei Temperaturen und ihrer Änderungsrate erzeugt der Stromregler **16** Steuersignale CTL auf den Signalleitungen **12e**, die die Leistungsmenge anzeigen, die an den Heizer **13** geleitet werden sollte, so dass die Temperatur der Vorrichtung **11** in der Nähe des Sollwerts bleibt.

17 ... Komponente **17** ist eine variable Stromversorgung, die an die Signalleitungen **12e** und zwei Gruppen an Stromleitungen **12f** und **12g** gekoppelt ist. Auf den Signalleitungen **12e** werden die Steuersignale CTL vom Stromregler **16** empfangen, und auf den Stromleitungen **12f** werden eine Netzspannung +V und Masse empfangen. Als Reaktion auf die CTL-Signale sendet die Stromversorgung **17** die variable Leistungsmenge P_h auf den Stromleitungen **12g** als ein Teil des Stroms, der von der Netzspannung +V erhältlich ist.

18 ... Komponente **18** ist ein Verbindungsglied, das die Heizerdrähte **13c** mit der variablen Stromversorgung zusammenschaltet.

[0039] Während des Betriebs schwankt die Verlustleistung der elektronischen Vorrichtung **11**, wenn sie von den TEST-IN-Signalen geprüft wird, die sie auf den Signalleitungen **12a** empfängt. Diese Änderungen in der Leistung treten auf, da die Transistoren in der elektronischen Vorrichtung **11** als Reaktion auf die TEST-IN-Signale ein- und ausschalten und dadurch in ihrer Verlustleistung variieren. Folglich neigt die Temperatur der elektronischen Vorrichtung **11** dazu zu steigen, wenn sich ihre Verlustleistung erhöht; und umgekehrt.

[0040] Innerhalb der elektronischen Vorrichtung **11** erzeugt ein Temperatursensor die TEMP-Signale auf den Signalleitungen **12c**, die die gegenwärtige Temperatur der Vorrichtung anzeigen. Diese TEMP-Signale werden an den Stromregler **16** gesandt, wo sie mit den SETPOINT-Signalen auf den Signalleitungen **12d** verglichen werden. Wenn die Temperatur der Vorrichtung **11** kleiner ist als die Sollwert-Temperatur, dann erzeugt der Regler **16** die Steuersignale CTL derart, dass die variable Leistung P_h an den Heizer **13** erhöht wird. Wenn umgekehrt die Temperatur der Vorrichtung **11** höher als die Sollwert-Temperatur ist, dann erzeugt der Regler **16** die Steuersignale CTL derart, dass die variable Leistung PWR an den Heizer **13** vermindert wird.

[0041] Kehrt man nun auf die **Fig. 2, 3 und 4** zurück, wird der Betrieb des Steuersystems der **Fig. 1** detaillierter beschrieben. Diese Figuren sind schematische Diagramme des Steuersystems der **Fig. 1**, worin die elektronische Vorrichtung **11** durch einen thermischen Widerstand θ_{d-h} an den elektrischen Heizer **13** gekoppelt wird; der Heizer **13** wird durch einen thermischen Widerstand θ_{h-s} an die Kühlkörperbasis **14a** gekoppelt; und die Kühlkörperbasis wird durch einen thermischen Widerstand θ_{s-l} mit dem flüssigen Kühlmittel verbunden. Auch empfängt die elektronische Vorrichtung **11** in den **Fig. 2–4** eine variable Leistungsmenge P_d und zerstreut sie, und der elektrische Heizer empfängt und zerstreut eine variable Leistungsmenge P_h .

[0042] In den **Fig. 2–4** verfügt die elektronische Vorrichtung **11** weiterhin über eine Temperatur T_d und eine thermische Masse M_d ; der Heizer **13** hat eine Temperatur T_h und eine thermische Masse M_h ; und die Kühlkörperbasis **14a** hat eine Temperatur T_s und eine thermische Masse M_s .

[0043] Vorzugsweise wird die thermische Masse M_h des Heizers so klein gemacht, wie es praktisch anwendbar ist. Diese Bedingung unterstützt, wie unten gezeigt werden wird, die Verbesserung der Geschwindigkeit, mit der der Heizer **13** seine Temperatur erhöhen oder senken und dadurch die Temperatur T_d der elektronischen Vorrichtung in der Nähe des Sollwerts halten kann. Eine geeignete obere Grenze für die thermische Masse M_h ist, dass sie nicht größer sein darf als dreimal die thermische Masse M_d der elektronischen Vorrichtung; und vorzugsweise ist M_h kleiner als M_d .

[0044] Vorzugsweise ist auch der thermische Widerstand θ_{d-h} des Heizers so klein gemacht, wie es praktisch anwendbar ist. Diese Bedingung unterstützt, wie unten gezeigt werden wird, den Anstieg der Wärmemenge, die vom Heizer **13** an die elektronische Vorrichtung **11** überführt wird, und zwar in Bezug auf die Wärmemenge, die vom Heizer **13** an den Kühlkörper **14** überführt wird. Eine geeignete obere Grenze für den thermischen Widerstand θ_{d-h} ist, dass er nicht größer als dreimal der thermische Widerstand θ_{h-s} zwischen dem Heizer und der Kühlkörperbasis sein darf; und vorzugsweise ist θ_{d-h} kleiner als θ_{h-s} .

[0045] Unter Gleichgewichtszuständen strömt die Wärme von der Vorrichtung **11**, wie in **Fig. 2** gezeigt, an einem Wärmepfad **21** entlang zum flüssigen Kühlmittel, und Wärme strömt, wie in der **Fig. 2** gezeigt, vom Heizer **13** an einem Wärmepfad **22** entlang zum flüssigen Kühlmittel. Unter Dauerzuständen kommt die Vorrichtungstemperatur auch der Sollwert-Temperatur gleich, und die Heizertemperatur gleicht der Vorrichtungstemperatur minus $P_d\theta_{d-h}$. Wenn die Verlustleistung der Vorrichtung Null ist, dann ist der Wärmestrom auf dem Pfad **21** Null und T_d gleicht T_h .

[0046] Es sei jetzt angenommen, dass die elektronische Vorrichtung **11** ihre Verlustleistung P_d steigert und dadurch bewirkt, dass ihre Temperatur T_d über den Sollwert steigt. Dies wird in **Fig. 3** gezeigt, wie es zu den Zeitpunkten t_1 und t_2 erfolgt. Als Reaktion auf den Anstieg in der Vorrichtungstemperatur T_d über den Sollwert, wird die Leistung P_h an den Heizer **13** durch den Regler **16** reduziert; und dies wird in **Fig. 3** als zum Zeitpunkt t_3 erfolgreich gezeigt. Der Heizer **13** hat eine geringe thermische Masse M_h ; und folglich fällt die Temperatur T_h des Heizers schnell, wenn die Leistung des Heizers reduziert wird, wie es zum Zeitpunkt t_4 angezeigt wird.

[0047] Wenn die Heizertemperatur gesenkt wird, steigt die Wärmemenge, die von der Vorrichtung **11** am Wärmepfad **21** entlang an das flüssige Kühlmittel überführt wird. Solchermaßen beginnt die Vorrichtungstempera-

tur T_d damit, abzukühlen, wie es am Zeitpunkt t_5 angezeigt wird. Wenn sich die Vorrichtungstemperatur T_d dem Sollwert annähert, erhöht sich die Heizerleistung P_h , wie am Zeitpunkt t_6 angezeigt wird. Solchermaßen steigt die Heizertemperatur T_h und dadurch sinkt der Wärmestrom von der Vorrichtung **11** am Wärmepfad **21** entlang. Durch die Erhöhung der Heizerleistung P_h auf den richtigen Pegel stellt sich wieder ein Gleichgewichtszustand ein, worin der Wärmestrom wie in **Fig. 2** gezeigt ist und sich die Vorrichtungstemperatur T_d am Sollwert befindet.

[0048] Umgekehrt sei angenommen, dass die elektronische Vorrichtung **11** ihre Verlustleistung P_d vermindert und dadurch bewirkt, dass ihre Temperatur T_d unter den Sollwert fällt. Dies wird in **Fig. 4** als zu den Zeitpunkten t_1 und t_2 erfolgend gezeigt. Als Reaktion auf den Abfall in der Vorrichtungstemperatur T_d unter den Sollwert wird die Leistung P_h an den Heizer **13** vom Regler **16** erhöht; und dies wird in **Fig. 4** wie im Zeitpunkt t_3 erfolgend gezeigt. Der Heizer **13** hat eine geringe thermische Masse M_h ; und folglich steigt die Temperatur T_h des Heizers schnell, wenn die Leistung des Heizers wie zum Zeitpunkt t_4 angezeigt erhöht wird.

[0049] Wenn die Heizertemperatur T_h so hoch steigt, dass sie die Vorrichtungstemperatur T_d übersteigt, wandert ein Teil der Wärme vom Heizer am Wärmepfad **22a** in **Fig. 4** entlang zur elektronischen Vorrichtung **11** und ein anderer Teil der Wärme vom Heizer wandert am Wärmepfad **22b** entlang zum flüssigen Kühlmittel. Auch die Wärmemenge, die auf dem Pfad **22a** zur elektronischen Vorrichtung **11** wandert, steigt, wenn θ_{d-h} in Bezug auf θ_{h-s} abnimmt.

[0050] Als Reaktion auf den Anstieg in der Heizertemperatur zum Zeitpunkt t_4 beginnt die Vorrichtungstemperatur T_d zu steigen, wie es zum Zeitpunkt t_5 angezeigt wird. Wenn sich die Vorrichtungstemperatur T_d dem Sollwert annähert, flacht die Heizerleistung P_h ab, wie es zum Zeitpunkt t_6 angezeigt wird. Solchermaßen sinkt die Heizertemperatur T_h und dadurch der Wärmestrom vom Heizer am Wärmepfad **22a** entlang zur Vorrichtung **11**. Durch den Abfall der Heizerleistung P_h auf den richtigen Pegel, stellt sich wieder ein Gleichgewichtszustand ein, in dem der Wärmestrom wie in **Fig. 2** gezeigt ist und die Temperatur T_d befindet sich an der Sollwert-Temperatur.

[0051] Aus der obigen Beschreibung der **Fig. 2–4** ist zu sehen, dass der Heizer **13** die Wärmemenge steuert, die auf den Pfaden **21** und **22a** strömt. Wenn T_h mit T_d gleich ist, strömt keine Wärme auf den Pfaden **21** und **22a**. Wenn T_h kleiner ist als T_d , dann strömt die Wärme auf dem Pfad **21** von der elektronischen Vorrichtung durch den Heizer **13** an den Kühlkörper; und die Rate des Wärmestroms steigt, wenn $T_d - T_h$ steigt. Wenn T_h über T_d liegt, dann strömt die Wärme auf dem Pfad **22a** vom Heizer **13** an die elektronische Vorrichtung; und die Rate des Wärmestroms steigt, wenn $T_h - T_d$ steigt. Durch das Steuern der Heizerleistung P_h wird der Wärmestrom an die elektrische Vorrichtung und davon geregelt; und dies regelt wiederum die Vorrichtungstemperatur.

[0052] Um weiterhin die Geschwindigkeit zu erläutern, mit der das Steuersystem der **Fig. 1** arbeitet, sollte jetzt auf die **Fig. 5, 6** und **7** Bezug genommen werden. In der **Fig. 5** werden drei Differentialgleichungen bereitgestellt, die die markierte Gleichung 1, Gleichung 2 und Gleichung 3 sind. Diesen Gleichungen liegt der Grundsatz zugrunde, dass die Summe der Wärmeleistung, die von einem Körper empfangen wird, gleich der thermischen Masse des Körpers mal die Änderungsrate der Körpertemperatur ist.

[0053] Gleichung 1 enthält drei Glieder, die durch die Bezugsziffern **31a**, **31b** und **31c** bezeichnet werden. Glied **31a** ist die Leistung, die die elektronische Vorrichtung **11** empfängt und als Reaktion auf die TEST-IN-Signale ausstrahlt; Glied **31b** ist die Leistung, die durch den thermischen Widerstand θ_{d-h} an die elektronische Vorrichtung überführt wird; und Glied **31c** ist die thermische Masse der elektronischen Vorrichtung **11** mal die Änderungsrate ihrer Temperatur.

[0054] Auf ähnliche Weise enthält die Gleichung 2 vier Glieder, die durch die Bezugsziffern **32a**, **32b**, **32c** und **32d** bezeichnet werden. Glied **32a** ist die Leistung, die von der variablen Stromversorgung **17** dem elektrischen Heizer **13** zugeführt wird; Glied **32b** ist die Leistung, die durch den thermischen Widerstand θ_{h-s} an den elektrischen Heizer **13** überführt wird; Glied **32c** ist die Leistung, die durch den thermischen Widerstand θ_{d-h} an den Heizer **13** überführt wird; und Glied **32d** ist die thermische Masse des Heizers mal die Änderungsrate der Temperatur des Heizers.

[0055] Gleichermaßen enthält die Gleichung 3 drei Glieder, die durch die Bezugsziffern **33a**, **33b** und **33c** bezeichnet sind. Glied **33a** ist die Leistung, die durch den thermischen Widerstand θ_{s-L} an die Kühlkörperbasis **14a** überführt wird; Glied **33b** ist die Leistung, die durch den thermischen Widerstand θ_{h-s} an die Kühlkörperbasis überführt wird; und Glied **33c** ist die Masse der Kühlkörperbasis mal die Änderungsrate seiner Temperatur.

[0056] Mittels der Verwendung der drei Gleichungen der **Fig. 5** wurde eine Simulation an einem Digitalrechner durchgeführt; und die Ergebnisse dieser Simulation werden in den **Fig. 6** und **7** gezeigt. Beim Durchführen dieser Simulation hatten die verschiedenen Parameter in den Gleichungen der **Fig. 5** die Werte, die unten in der TABELLE 2 gezeigt werden.

TABELLE 2

$\theta_{d-h} = 0,1^\circ\text{C je Watt}$	$M_d = 0,478 \text{ Joules je } ^\circ\text{C}$
$\theta_{h-s} = 0,05^\circ\text{C je Watt}$	$M_h = 0,80 \text{ Joules je } ^\circ\text{C}$
$\theta_{s-L} = 0,1^\circ\text{C je Watt}$	$M_s = 5,60 \text{ Joules je } ^\circ\text{C}$
Maximum $P_h = 500 \text{ Watt}$	
$T_L = 40^\circ\text{C unter Sollwert}$	

[0057] Die Simulation setzte auch voraus, dass sich die elektronische Vorrichtung **11** anfangs an der Sollwert-Temperatur befand und keine Leistung verlor. Danach wurde in einer Zeitspanne, die zwei Sekunden wehrte, die Verlustleistung der elektronischen Vorrichtung **11** als Reaktion auf die TEST-IN-Signale auf eine Leistung von 100 Watt gesenkt. Diese Verlustleistung blieb in der elektronischen Vorrichtung **11** drei Sekunden lang konstant, wobei zu diesem Zeitpunkt die Verlustleistung in der Vorrichtung **11** auf Null zurückging.

[0058] Durch das Ändern der Verlustleistung der elektronischen Vorrichtung **11** mit einem Paar von 100 Watt-Stufen, wie oben beschrieben, wird die Fähigkeit des Steuersystems aus der **Fig. 1** zum Beibehalten der Vorrichtungstemperatur in der Nähe des Sollwerts unter einer schlechtesten Bedingung geprüft. Auch ist die thermische Masse M_d in der TABELLE 2 die thermische Masse eines freiliegenden integrierten Schaltchips; und solchermaßen bildet dies eine weitere schlechteste Prüfbedingung, da sich ihre Temperatur schneller ändern wird als die Temperatur eines verpackten Chips (der inhärent über eine größere thermische Masse verfügt).

[0059] Die Kurve **41** in **Fig. 6** zeigt, wie sich die Verlustleistung in der elektronischen Vorrichtung **11**, wie oben beschrieben, mit der Zeit ändert. Auch zeigt die Kurve **42** in den **Fig. 6** und **7**, wie sich die Temperatur der elektronischen Vorrichtung **11** mit der Zeit ändert; die Kurve **43** zeigt, wie sich die Heizerleistung mit der Zeit ändert; die Kurve **44** zeigt, wie sich die Temperatur des Heizers mit der Zeit ändert; und die Kurve **45** zeigt, wie sich die Temperatur der Kühlkörperbasis mit der Zeit ändert.

[0060] Die Untersuchung der Kurve **42** in Zeitspannen, die zwei Sekunden betragen, zeigt, dass die maximale Abweichung in der Temperatur der elektronischen Vorrichtung **11** infolge des Stufenanstiegs in der Verlustleistung innerhalb dieser Vorrichtung etwa 4°C ist. Nach dem Erreichen dieser maximalen Temperaturabweichung sinkt dann die Temperatur der elektronischen Vorrichtung **11** und fällt innerhalb von etwa 0,4 Sekunden auf den Sollwert zurück.

[0061] Auf ähnliche Weise zeigt die Untersuchung der Kurve **42** in einer Zeitspanne, die fünf Sekunden wehrt, dass die maximale Abweichung in der Temperatur der elektronischen Vorrichtung **11** infolge der negativen Stufe in der Verlustleistung innerhalb dieser Vorrichtung etwa $3,6^\circ\text{C}$ ist. Nach dem Erreichen dieser maximalen Temperaturabweichung steigt die Temperatur der elektronischen Vorrichtung **11** und stellt sich innerhalb von 0,3 Sekunden wieder auf den Sollwert ein.

[0062] Ein Hauptmerkmal des oben beschriebenen Steuersystems ist die Geschwindigkeit, mit der das Steuersystem eine Abweichung in der Vorrichtungstemperatur vom Sollwert berichtigt und solchermaßen die maximale Abweichung relativ klein gehalten wird. Wie diese Betriebsgeschwindigkeit erreicht wird, kann man aus den Gleichungen in **Fig. 5** wie folgt sehen.

[0063] Jede Abweichung in der Temperatur der Vorrichtung vom Sollwert wird durch eine Änderung in der Heizerleistung P_h berichtigt, wie durch das Glied **32a** in der Gleichung 2 gegeben. Wenn sich das Glied **32a** ändert, ändert sich die Temperatur des Heizers, wie durch das Glied **32d** in der Gleichung 2 angezeigt. Eine Änderung in der Temperatur des Heizers bewirkt dann, dass sich das Glied **31b** in der Gleichung 1 ändert. Dann bewirkt die Änderung im Glied **31b**, dass sich die Temperatur der Vorrichtung ändert, wie durch das Glied **31c** in der Gleichung 1 angezeigt. In **Fig. 5** wird die obige Ereigniskette durch die gestrichelte Linie **51** angezeigt.

[0064] Zum Vergleich ist die Ereigniskette im Patent 5.420.521 aus dem Stand der Technik, die zwischen einer Änderung in der Heizerleistung und einer daraus hervorgehenden Änderung in der Vorrichtungstemperatur erfolgt, viel länger; und dies wird durch die **Fig. 8** und **9** gezeigt. **Fig. 8** ist ein schematisches Diagramm für das Steuersystem, das in den **Fig. 7** und **8** des Patents '521 aus dem Stand der Technik erscheint. In diesem schematischen Diagramm sind die Bezugsziffern **140**, **116**, **124**, **126** und **82** dieselben Bezugsziffern, die in der **Fig. 7** des Patents '521 erscheinen.

[0065] Die Komponente **140** ist ein Heizerblock, der mit der elektronischen Vorrichtung **11** in Kontakt steht, die gekühlt werden soll; die Komponente **116** ist ein Aluminiumblock, der mit dem Heizerblock in Kontakt steht; die Komponente **82** ist eine Kühlmittellöhre, die ein flüssiges Kühlmittel bei einer Temperatur T_L mit sich führt; die Komponente **124** ist ein Heizeraufbau, der mit dem Aluminiumblock **116** in Kontakt steht; und die Komponente **126** ist ein Heizelement im Heizeraufbau. Jede Komponente in der **Fig. 8** hat eine jeweilige thermische Masse M und eine jeweilige Temperatur T , wie in der Figur gezeigt. Auch sind alle Komponenten in der **Fig. 8** mittels jeweiliger thermischer Widerstände θ wie gezeigt miteinander verbunden.

[0066] Aus dem schematischen Diagramm der **Fig. 8** kann eine Reihe von sechs Differentialgleichungen **11–15** hergeleitet werden, wie in **Fig. 9** gezeigt. Diese Gleichungen der **Fig. 9** ähneln den Gleichungen der

Fig. 5 darin, dass ihnen der Grundsatz zugrunde liegt, dass die Summe der von einem Körper empfangenen thermischen Leistung gleich der thermischen Masse des Körpers mal die Änderungsrate der Temperatur des Körpers ist.

[0067] Wenn sich die Heizerleistung P_h in der Gleichung 15 ändert, bewirkt dies, dass sich die Temperatur T_3 , wie durch das Glied **61** in der Gleichung 15 angezeigt, ändert. Eine Änderung in der Temperatur T_3 bewirkt dann, dass sich das Glied **62** in der Gleichung 14 ändert. Dann bewirkt die Änderung im Glied **62**, dass sich die Temperatur T_2 , wie durch das Glied **63** der Gleichung 14 angezeigt, ändert. Eine Änderung in der Temperatur T_2 bewirkt dann, dass das Glied **64** die Gleichung 13 ändert. Dann bewirkt die Änderung im Glied **64**, dass sie die Temperatur T_1 , wie durch das Glied **65** der Gleichung 13 angezeigt, ändert. Eine Änderung in der Temperatur T_1 bewirkt dann, dass sich das Glied **66** in der Gleichung 12 ändert. Dann bewirkt die Änderung im Glied **66**, dass sich die Temperatur T_h , wie vom Glied **67** der Gleichung 12 angezeigt, ändert. Eine Änderung in der Temperatur T_h bewirkt, dass sich das Glied **68** in der Gleichung 11 ändert. Dann bewirkt die Änderung im Glied **68**, dass sich die Temperatur T_d der Vorrichtung, wie vom Glied **69** der Gleichung 11 angezeigt, ändert.

[0068] In der **Fig. 9** wird die obige Ereigniskette mit der Bezugsziffer **51'** versehen. In dieser Ereigniskette **51'** muss sich jede der Temperaturen T_3 , T_2 , T_1 , T_h und T_d sequentiell ändern, um die Temperatur der Vorrichtung mittels Änderung der Heizerleistung P_h zu regeln. Folglich bringt das lediglich indirekte Ändern der Heizerleistung Änderungen der Vorrichtungstemperatur mit sich. Zum Vergleich müssen sich in der Ereigniskette **51** in der **Fig. 5** nur die Temperaturen T_h und T_d sequentiell ändern, um die Vorrichtungstemperatur zu regeln, indem die Heizerleistung geändert wird. Dementsprechend beeinflusst das Ändern der Heizerleistung im Steuersystem der **Fig. 1** die Vorrichtungstemperatur direkter und solchermaßen schneller als sie es im Patent '521 tut.

[0069] Ein weiterer Grund dafür, dass das Ändern der Heizerleistung im Steuersystem der **Fig. 1** die Temperatur der Vorrichtung schneller beeinflusst als sie es im Patent '521 tut, kann man den Gleichungen **20** und **21** in der **Fig. 10** entnehmen. Die Gleichung 20 wird gebildet, indem die Gleichungen **2** und **3** der **Fig. 5** zusammen addiert und die daraus hervorgehenden Glieder so neu angeordnet werden, dass nur das Glied **32d** links vom Gleich-Zeichen liegt. Auf eine ähnliche Art und Weise wird die Gleichung 21 erhalten, indem die Gleichungen **12-16** der **Fig. 9** zusammen addiert und die daraus hervorgehenden Glieder so neu angeordnet werden, dass nur das Glied **67** links vom Gleich-Zeichen liegt.

[0070] Im Glied **32d** der Gleichung 20 ist die thermische Masse M_h die thermische Masse des Heizers **13** aus der **Fig. 1**, der sich in unmittelbarem Kontakt mit der elektronischen Vorrichtung **11** befindet, die zu kühlen ist. Auf ähnliche Weise ist im Glied **67** der Gleichung 21 die thermische Masse M_h die thermische Masse des Heizerblocks **140** der **Fig. 8**, der sich in unmittelbarem Kontakt mit der elektronischen Vorrichtung **11** befindet, die gekühlt werden soll. Um die Temperatur der elektronischen Vorrichtung **11** schnell zu regeln, ist es solchermaßen kritisch, dass die Temperatur T_h der Masse M_h schnell geändert werden kann, indem die Heizerleistung P_h geändert wird.

[0071] Wenn die Heizerleistung P_h in der Gleichung 20 zunimmt, wird die Auswirkung dieses Leistungsanstiegs auf die Temperatur T_h der Masse M_h durch den negativen Glied **33c** vermindert, der auf der rechten Seite der Gleichung 20 auftritt. Wenn vergleichsweise die Heizerleistung P_h in der Gleichung 21 erhöht wird, wird die Auswirkung dieses Leistungsanstiegs auf die Temperatur T_h der Masse durch vier negative Glieder **60**, **61**, **63** und **65** auf der rechten Seite der Gleichung 21 vermindert.

[0072] Das Glied **60** in der Gleichung 21 ähnelt dem Glied **33c** in der Gleichung 20; und solchermaßen sind ihre negativen Auswirkungen auf das Ändern der Temperatur T_h mittels Änderung der Heizerleistung P_h ähnlich. Jedoch werden die verbliebenen negativen Glieder **61**, **63** und **65** in der Gleichung 21 in der Gleichung 20 vollständig beseitigt. Solchermaßen hat das Ändern der Heizerleistung P_h eine viel größere Auswirkung auf die Änderungsrate der Temperatur T_h im Steuersystem der **Fig. 1**, als es im Patent '521 der Fall ist.

[0073] Kehrt man jetzt auf die **Fig. 11** und **12** zurück, wird ein zweites Temperatur-Steuersystem beschrieben. Ein Hauptunterscheidungsmerkmal in diesem zweiten Temperatur-Steuersystem gegenüber dem System der **Fig. 1** liegt darin, dass es die Temperatur einer elektronischen Vorrichtung **11'** regelt, die keinen Temperatursensor einschließt. Folglich ist die elektronische Vorrichtung **11'** in der Lage, die Temperatursignale TEMP zu erzeugen, die anzeigen, wie sich ihre Temperatur als Reaktion auf die TEST-IN-Signale auf den Signalleitungen **12a** ändert. Dieser Unterscheidungspunkt ist sehr bedeutend, da viele – wenn nicht die meisten – integrieren Schaltchips im Stand der Technik keinen Temperatursensor einschließen.

[0074] Gleichung 2 stellt, wie zuvor beschrieben, den Grundsatz bereit, der diesem zweiten Temperatur-Steuersystem zugrunde liegt; und aus Gründen der Annehmlichkeit wird die Gleichung 2 in der **Fig. 11** reproduziert. Durch die algebraische Neuordnung der Glieder der Gleichung 2 wird eine andere Gleichung 31 erhalten, worin die Vorrichtungstemperatur T_d in Gliedern mehrerer Parameter ausgedrückt wird, die sich rechts vom Gleich-Zeichen befinden.

[0075] In der Gleichung 31 variieren die Parameter T_h , T_h , P_h und T_s mit der Zeit, wenn jede besondere Vorrichtung **11'** geprüft wird; und die übrigen Parameter θ_{d-h} , M_h und θ_{h-s} sind allgemein konstant. Solchermaßen kann aus der Gleichung 31 die Vorrichtungstemperatur T_d ausgewertet werden, indem die konstanten Para-

meter θ_{d-h} , M_h und θ_{h-s} gemessen werden, bevor die Vorrichtung **11'** geprüft wird, und indem die Parameter T_h , T_d , P_h und T_s abgetastet werden, während die Vorrichtung **11** geprüft wird. Wenn die geschätzte Vorrichtungstemperatur über dem Sollwert liegt, dann wird die Heizertemperatur gesenkt; und umgekehrt.

[0076] **Fig. 12** zeigt alle Komponenten eines Temperatur-Steuersystems, dem der obige Grundsatz zugrunde liegt. In der **Fig. 12** ist der Heizer **13'** derselbe wie der Heizer **13** der **Fig. 1**, wenn man davon absieht, dass er einen Sensor **13d** einschließt, der die Heizertemperatur T_h abtastet. Auf eine ähnliche Art und Weise ist in der **Fig. 12** der Kühlkörper **14'** derselbe wie der Kühlkörper **14** der **Fig. 1**, wenn man davon absieht, dass er einen Sensor **14f** einschließt, der die Kühlkörpertemperatur T_s abtastet.

[0077] Die Komponente **12'** in der **Fig. 12** ist dieselbe wie die Leiterplatte **12** in der **Fig. 1**, wenn man davon absieht, dass sie fünf unterschiedliche Gruppen von Signalleitungen **12c'**, **12e'**, **12h**, **12i** und **12j** plus zwei Verbindungsglieder **71** und **72** einschließt. Die Signalleitungen **12h** tragen die abgetastete Heizertemperatur T_h ; die Signalleitungen **12i** tragen die abgetastete Kühlkörpertemperatur T_s ; die Signalleitungen **12j** tragen die gemessenen Parameter θ_{d-h} , M_h und θ_{h-s} ; die Signalleitungen **12e'** tragen die Steuersignale CTL, die die Heizleistung P_h anzeigen; und die Signalleitungen **12c'** tragen die geschätzte Vorrichtungstemperatur T_d .

[0078] Die Komponente **73** in der **Fig. 12** wertet die Vorrichtungstemperatur auf der Grundlage der Gleichung 31 und aller Parameter aus, die sie auf den Signalleitungen **12e'**, **12i**, **12j** und **12h** empfängt. Die Komponente **73** kann ein digitaler Mikroprozessorchip sein, der digital die Vorrichtungstemperatur aus der Gleichung 31 berechnet; oder alternativ kann die Komponente **71** eine Anlogschaltung sein, die die Vorrichtungstemperatur auf eine analoge Weise aus der Gleichung 31 berechnet.

[0079] Die Komponenten **16**, **17** und **18** sind mit denjenigen Komponenten in der **Fig. 1** identisch, die dieselbe Bezugsziffer haben. Die Komponenten **16**, **17** und **18** bilden zusammen eine Steuerschaltung **15'**, die auf den Signalleitungen **12c'** eine geschätzte Vorrichtungstemperatur empfängt und auf den Signalleitungen **12d** die Sollwert-Temperatur empfängt. Wenn die geschätzte Vorrichtungstemperatur die Sollwert-Temperatur übersteigt, reduziert die Steuerschaltung **15'** die Leistung P_h an den Heizer **13'**; und umgekehrt.

[0080] Eine digitale Simulation des Temperatur-Steuersystems der **Fig. 12** wird in **Fig. 13** gezeigt. In dieser Simulation hatte die elektronische Vorrichtung **11'** einen Stufenanstieg in der Leistung, wenn die Simulationszeit drei Sekunden betrug, und sie hatte eine Stufenabnahme in der Leistung, wenn die Simulationszeit sechs Sekunden betrug. Die Kurve **91** in **Fig. 13** (die aus einer Reihe kleiner Kreise besteht) zeigt, wie die geschätzte Vorrichtungstemperatur während der Simulation in Zusammenhang mit der Zeit variierte; und die Kurve **92** in **Fig. 13** (die die durchgezogene Linie ist) zeigt, wie die tatsächliche Vorrichtungstemperatur abgetastet werden würde, wenn die Vorrichtung einen Temperatursensor hätte.

[0081] Wenn die obige Simulation der **Fig. 13** durchgeführt war, wurde angenommen, dass alle Parameter auf der rechten Seite der Gleichung 31 mit keinen Fehlern abgetastet oder gemessen wurden. Dies ist eine gültige Annahme für θ_{h-s} und M_h , da sie allgemein festgesetzt sind und genau gemessen werden können. Auch können T_h und T_s so genau wie erwünscht gemacht werden, indem die richtigen Temperatursensoren verwendet werden, und P_h ist aus dem Steuersignal CTL bekannt. Jedoch kann in einer Massenproduktionsumgebung, wo viele elektronische Vorrichtung nacheinander geprüft werden, der Parameter θ_{d-h} innerhalb eines Bereichs von einem Mittelwert infolge mikroskopischer Änderungen im physikalischen Kontakt zwischen dem Heizer **13'** und jeder Vorrichtung **11'** variieren.

[0082] Wenn ein Mittelwert von θ_{d-h} an die Schätzfunktion-Komponente **73** gesandt wird, aber der tatsächliche Wert von θ_{d-h} von diesem Mittelwert abweicht, dann wird ein Fehler in der geschätzten Vorrichtungstemperatur auftreten. Als Ergebnis wird zwischen der eigentlichen Temperatur der Vorrichtung **11'**, wie sie vom Steuersystem der **Fig. 12** geregelt wird, und der Sollwert-Temperatur ein Offset erfolgen. Dies geht klar aus der **Fig. 14** hervor, worin eine Kurve **91'** (die aus einer Reihe an kleinen Kreisen besteht) zeigt, wie die geschätzte Vorrichtungstemperatur mit der Zeit variiert, wenn der tatsächliche θ_{d-h} 20% kleiner ist als der mittlere θ_{d-h} ; und eine Kurve **92'** (die eine durchgezogene Linie ist) zeigt, wie die tatsächliche Vorrichtungstemperatur mit der Zeit variierte.

[0083] Wenn gewisse Arten von Vorrichtungen **11'** geprüft werden, kann ein geringes Offset zwischen der tatsächlichen Vorrichtungstemperatur und der Sollwert-Temperatur akzeptiert werden, wobei es in diesem Fall ausreicht, den mittleren Wert von θ_{d-h} an die Schätzfunktion **73** zu senden. Wenn jedoch die Offsetgröße nicht akzeptabel ist, dann kann das Offset reduziert werden, indem der tatsächliche θ_{d-h} für jede Vorrichtung gemessen wird, die geprüft wird.

[0084] Ein bevorzugtes Verfahren, durch das der tatsächliche θ_{d-h} für jede Vorrichtung gemessen werden kann, wird in den **Fig. 15** und **16** gezeigt. Dieses Verfahren, das die Schritte 1–3 einschließt, basiert auf der Gleichung 2, die wiederum in **Fig. 15** reproduziert wird. Wenn θ_{d-h} kleiner ist als sein Mittelwert, dann wird $T_d - T_h$ abnehmen. Solchermaßen wird das Glied **32c** abnehmen, und somit wird die Änderungsrate der Heizertemperatur im Glied **32d** verringert. Wenn θ_{d-h} größer als sein Mittelwert ist, dann wird umgekehrt die Änderungsrate der Heizertemperatur im Glied **32d** zunehmen.

[0085] Im Schritt 1 des Verfahrens aus **Fig. 15** wird die Verlustleistung der Vorrichtung **11'** auf Null eingestellt. Dann wird im Schritt 2 die Heizleistung P_h auf irgendeine vorbestimmte Weise geändert. Geeigneter Weise

wird die Heizerleistung erhöht, gesenkt oder als eine Sinuswelle geändert. Als nächstes wird im Schritt 3 abgetastet, welche Wirkung das Ändern der Heizerleistung auf T_h hat, und mit θ_{d-h} in Wechselbeziehung gebracht.

[0086] Wenn T_h schneller als im Durchschnitt variiert, dann ist der tatsächliche θ_{d-h} größer als sein Mittelwert; wohingegen θ_{d-h} kleiner als sein Mittelwert ist, wenn T_h langsamer als im Durchschnitt variiert. Dies wird in der **Fig. 16** von den Kurven **93**, **94** und **95** bezeichnet. Die Kurve **93** wurde erhalten, indem θ_{d-h} auf seinen Mittelwert eingestellt wurde, wobei P_h auf den Sollwert angehoben wurde, und indem darauf gewartet wurde, bis die Vorrichtungstemperatur den Sollwert erreichte, und dann P_h auf Null fiel. Die Kurven **94** und **95** wurden auf eine ähnliche Art und Weise erhalten, aber der tatsächliche θ_{d-h} wich um 20% vom mittleren θ_{d-h} ab.

[0087] Um den tatsächlichen Wert von θ_{d-h} für irgendeine Abweichung vom Mittelwert zu messen, wird die Heizertemperatur zu einem Zeitpunkt, nachdem P_h auf Null fällt, abgetastet, und zwar zu einem Zeitpunkt, der 0,04 Sekunden beträgt. Dann erhält man durch die Extrapolation aus den Kurven **93**, **94** und **95** den tatsächlichen θ_{d-h} .

[0088] Als nächstes wird mit Bezug auf die **Fig. 17–19** ein bevorzugtes Verfahren zum Minimieren des thermischen Widerstandes θ_{d-h} in den Temperatur-Steuersystemen der **Fig. 1** und **12** beschrieben. Dieses Verfahren ist bedeutend, da, wenn θ_{d-h} reduziert wird, die Wärmemenge, die vom Heizer auf die elektronische Vorrichtung überführt wird, in Bezug auf die Wärmemenge, die vom Heizer auf den Kühlkörper überführt wird, steigt. Solche Wärmeüberführungen erfolgen, wenn die Heizertemperatur die Vorrichtungstemperatur übersteigt, wie zuvor in Verbindung mit der **Fig. 4** erläutert wurde.

[0089] Wenn zwischen der elektronischen Vorrichtung **11** (oder **11'**) und dem Heizer **13** (oder **13'**) ein Trockenkontakt hergestellt wird und die Kontaktflächen sehr flach sind (d. h. kleiner als 5 μm Abweichung von einer perfekten Ebene), dann ist der typische spezifische Widerstand, der zwischen den Kontaktflächen erhalten werden kann, etwa 1,3°C cm²/Watt. Dieser spezifische Widerstand wird größer, wenn die Kontaktflächen weniger flach sind. Das Setzen eines thermischen Pads zwischen zwei nicht-flache Oberflächen reduziert den spezifischen Widerstand zwischen ihnen; jedoch ist ein normaler spezifischer Widerstand, der mittels eines thermischen Pads erhalten werden kann, etwa 1,0°C cm²/Watt. Vergleichsweise wurde in Zusammenhang mit dem Verfahren der **Fig. 17–19** der spezifische Widerstand von der elektronischen Vorrichtung zum Heizer auf 0,07°C cm²/Watt reduziert. Dies ist eine Verbesserung von 1,0 + 0,07, was mehr als 1000 bedeutet.

[0090] Anfänglich wird im Verfahren der **Fig. 17–19** ein Tropfen einer besonderen Art an Flüssigkeit **101** auf die Oberfläche der elektronischen Vorrichtung **11** (oder **11'**) ausgegeben, die mit dem Heizer **13** (oder **13'**) in Kontakt treten soll. Dieser Schritt wird in **Fig. 17** gezeigt. Zwei einschränkende Merkmale der Flüssigkeit **101** sind: a) dass sie ein guter thermischer Leiter in Bezug auf Luft ist, und b) dass sie bei einer Temperatur, die zu niedrig ist, um die elektronische Vorrichtung zu beschädigen, verdampft, ohne irgendwelche Reste zurückzulassen. Vorzugsweise verdampft die Flüssigkeit **101** bei einer Temperatur von weniger als 200°C.

[0091] Eine bevorzugte Ausführungsform der Flüssigkeit **101** ist Wasser. Eine zweite Ausführungsform der Flüssigkeit **101** ist eine Mischung aus Wasser und einem flüchtigen Stoff (z. B. Ethylenglykol), der den Siedepunkt der Mischung auf über den Siedepunkt von Wasser erhöht. Eine dritte Ausführungsform der Flüssigkeit **101** ist eine Mischung aus Wasser und einem flüchtigen Stoff (z. B. Methanol), der den Gefrierpunkt der Mischung unter dem Gefrierpunkt von Wasser drückt. Eine vierte Ausführungsform der Flüssigkeit **101** ist eine Mischung aus Wasser und einem flüchtigen Stoff (z. B. Ethanol), der die Benetzbarkeit der Mischung über der Benetzbarkeit von Wasser verbessert.

[0092] Nachdem die Flüssigkeit **101**, wie oben beschrieben, auf die elektronische Vorrichtung ausgegeben wird, wird die Oberfläche **13a** des Heizers gegen diese Flüssigkeit gepresst. Dieser Schritt wird in **Fig. 18** gezeigt. Als Ergebnis wird einiges der ursprünglich verteilten Flüssigkeit **101** herausgequetscht, und die übrige Flüssigkeit **101'** füllt die mikroskopischen Lücken, die inhärent zwischen der elektronischen Vorrichtung und dem Heizer existieren. Diese Lücken treten auf, da die Oberfläche **13a** des Heizers und die zusammenpassende Oberfläche der elektronischen Vorrichtung nicht vollkommen flach sind.

[0093] Infolge des Vorliegens der Flüssigkeit **101'** wird der thermische Widerstand vom Heizer **13** (oder **13'**) auf die elektronische Vorrichtung **11** (oder **11'**) allgemein reduziert, wenn man es damit vergleicht, wie es wäre, wenn keine Flüssigkeit vorläge. Wenn die Flüssigkeit **101'** Wasser ist und die Flachheit der zusammenpassenden Oberflächen kleiner als 5 μm ist, dann erhält man den oben beschriebenen spezifischen Widerstand von etwa 0,07°C cm²/Watt.

[0094] Ein Weg zum Reduzieren der Größe der Lücken zwischen den zusammenpassenden Oberflächen der elektronischen Vorrichtung und des Heizers ist der Druckanstieg, mit dem diese beiden Oberflächen zusammengeschoben werden; und dies wird wiederum dazu führen, dass θ_{d-h} abnimmt. Wenn jedoch zu viel Druck angelegt wird, kann die elektronische Vorrichtung oder eine Verbindung dazu reißen. Solchermaßen ist der Druck zwischen der Vorrichtung und dem Heizer für den Fall vorzugsweise kleiner als 10 psi, wenn die elektronische Vorrichtung eine unverkleidete integrierte Schalldruckplatte ist.

[0095] **Fig. 18** zeigt auch, dass die zusammenpassenden Oberflächen zwischen dem Heizer und dem Kühlkörper nicht vollkommen flach sind. Jedoch werden diese zwei Oberflächen vorzugsweise auf dauerhafte Wei-

- se, z. B. mittels einer Schicht **102** aus einem wärmeleitenden Epoxid, zusammengefügt. Eine geeignete Dicke für die Schicht **102** ist 50–80 μm .
- [0096] Während die elektronische Vorrichtung und der Heizer und der Kühlkörper, wie in **Fig. 18** gezeigt, alle aneinander gekoppelt sind, wird die elektronische Vorrichtung geprüft und ihre Temperatur durch die Steuersysteme der **Fig. 1** oder **12** in der Nähe des Sollwerts gehalten. Wenn der Test vollständig ist, wird danach die elektronische Vorrichtung vom Heizer getrennt. Dann wird die Flüssigkeit **101'** durch Verdampfung von der elektronischen Vorrichtung entfernt; und dies wird durch die Pfeile **103** in **Fig. 19** angezeigt.
- [0097] Die Gesamtzeit, die sie benötigt, um die gesamte Flüssigkeit **101'** zu verdampfen, ist proportional zur Fläche der Flüssigkeit **101'**, die ausgesetzt ist. Wenn die elektronische Vorrichtung quadratisch mit einer Abmessung L auf jeder Seite ist, dann ist die ausgesetzte Fläche in **Fig. 19** L^2 . Wenn zum Vergleich die elektronische Vorrichtung im Aufbau der **Fig. 18** geprüft wird, wird die ausgesetzte Fläche der Flüssigkeit **101'** stark auf $(4L)$ ($5 \mu\text{m}$) reduziert.
- [0098] Wenn die elektronische Vorrichtung ein typischer Chip einer integrierten Schaltung ist, dann ist L kleiner als ein halber Zoll. In diesem Fall verdampft die Flüssigkeit **101'** im Aufbau der **Fig. 18** mehr als 500 Mal langsamer als in **Fig. 19**. Solchermaßen wird während kurzer Prüfungen (d. h. kürzer als eine Stunde) keine bedeutende Menge der Flüssigkeit **101'** infolge der Verdampfung aus dem Aufbau der **Fig. 18** verdampfen.
- [0099] Ein Merkmal des obigen Verfahrens liegt darin, dass kein Rest auf der elektronischen Vorrichtung bleibt, nachdem die Flüssigkeit **101'** verdampft ist. Folglich kann die elektronische Vorrichtung ohne irgendwelche zusätzlichen Reinigungsschritte in ein Endprodukt gesteckt werden.
- [0100] Ein anderes Merkmal des obigen Verfahrens liegt darin, dass es sehr einfach und billig durchzuführen ist. Nur ein Schritt ist nötig, um einen Tropfen der Flüssigkeit **101** auf die elektronische Vorrichtung auszugeben, wie in **Fig. 17** gezeigt wird, und nur ein Schritt ist nötig, um den Heizer gegen die elektronische Vorrichtung zu drücken, wie in **Fig. 18** gezeigt wird.
- [0101] Drei unabhängige, aber in Zusammenhang stehende Erfindungen werden jetzt jeweils in Verbindung mit den **Fig. 1–10**, **Fig. 11–16** und **Fig. 17–19** detailliert beschrieben. Zusätzlich können an den Details dieser Figuren verschiedene Änderungen und Modifikationen durchgeführt werden, ohne sich von der Natur und dem Geist der Erfindungen zu lösen.
- [0102] Zum Beispiel zeigt die **Fig. 20** eine Modifikation, worin die Temperatur der elektronischen Vorrichtung **11** (oder **11'**) mittels der Verwendung eines Lasers in der Nähe des Sollwerts gehalten wird. Diese Modifikation der **Fig. 20** kann in Temperatur-Steuersystemen der zuvor beschriebenen **Fig. 1**, **12** und **18** eingeschlossen sein.
- [0103] In **Fig. 20** bezeichnet die Bezugsziffer **13''** einen modifizierten elektrischen Heizer; und die Bezugsziffer **14''** bezeichnet einen modifizierten Kühlkörper. Im modifizierten Heizer **13''** ist ein Laser **13a''** eingeschlossen, der einen Infrarot-Laserstrahl **13b''** erzeugt, und ein dünnes, flaches Stück eines Infrarot-Laserstrahl-absorbierenden Materials **13c''**. Dieses Material **13c''** hat zwei Hauptoberflächen **13d''** und **13e''**, die jeweils gegen die elektronische Komponente **11** (oder **11'**) und den Kühlkörper **14''** aufliegen.
- [0104] Der modifizierte Kühlkörper **14''** ist derselbe wie die zuvor beschriebenen Kühlkörper der **Fig. 1** oder **12**, wenn man davon absieht, dass die Basis **14a''** zwei Fenster **14e''** und **14f''** einschließt und keine Kühlrippen in der Basis zwischen den Fenstern angeordnet sind. Das Fenster **14e''** ist für den Infrarot-Laserstrahl **13b''** durchsichtig und wärmeleitend. Das Fenster **14f''** ist ebenfalls für den Laserstrahl **13b''** durchsichtig, braucht aber nicht wärmeleitend zu sein. Geeigneter Weise werden die Fenster aus monokristallinem Silizium hergestellt.
- [0105] Während des Betriebs wird die Temperatur der elektronischen Vorrichtung **11** (oder **11'**) entweder direkt wie durch das Steuersystem der **Fig. 1** abgetastet oder wie durch das Steuersystem der **Fig. 12** ausgewertet. Wenn die Vorrichtungstemperatur T_d über dem Sollwert liegt, dann wird die Leistung P_h für den Laser auf den Leitungen **13f''** durch die Steuerschaltung **15** der **Fig. 1** oder durch die Steuerschaltung **15'** der **Fig. 12** reduziert. Wenn umgekehrt die Vorrichtungstemperatur unter dem Sollwert liegt, wird die Leistung P_h für den Laser angehoben.
- [0106] Als weitere Modifikation kann die verbesserte thermische Schnittstelle der **Fig. 18** in einem anderen Temperatur-Steuersystem als in dem der **Fig. 1** und **12** eingeschlossen sein. Ein Beispiel für diese Modifikation wird in der **Fig. 21** gezeigt. Im Steuersystem der **Fig. 1** wird der Heizer **13** (oder **13'** oder **13''**) und die entsprechende Schaltung zum Steuern der Heizerleistung P_h entfernt; und der Kühlkörper **14** (oder **14'**) wird mit dem dazwischen angeordneten Flüssigkeitsfilm **101'** gegen die elektronische Vorrichtung gepresst.
- [0107] In Zusammenhang mit der Modifikation der **Fig. 21** wird die Temperatur der elektronischen Vorrichtung **11** (oder **11'**) im wesentlichen stärker um den Sollwert herum variieren als wenn der Heizer **13** (oder **13'** oder **13''**) vorhanden ist. Andererseits wird die Temperatur der elektronischen Vorrichtung in Zusammenhang mit der Modifikation der **Fig. 21** im wesentlichen weniger variieren als sie variieren würde, wenn der Flüssigkeitsfilm **101'** nicht vorhanden wäre. Für besondere Tests an besonderen elektronischen Vorrichtungen wie beispielsweise Chips mit einer kleinen Variation in der Verlustleistung wird die Größe der Temperaturregelung, die mit der Modifikation der **Fig. 21** erreicht wird, ausreichen; und alle mit dem Heizer und seinen Steuerschaltun-

gen verknüpften Kosten werden beseitigt.

[0108] Als weitere Modifikation kann das Temperatur-Steuersystem der **Fig. 1** zu einem Steuersystem offenen Regelkreises geändert werden, in dem die elektronische Vorrichtung **11** keine TEMP-Signale an den Stromregler **16** überträgt. Mit dieser Modifikation überträgt das Prüfgerät sequentiell eine Reihe an vorhergesagten Temperaturen auf den Signalleitungen **12d** an den Stromregler **16**, und zwar für jedes besondere TEST-IN-Signal, das es an die elektronische Vorrichtung **11** überträgt. Als Reaktion darauf vergleicht der Stromregler **16** die vorhergesagte Temperatur der elektronischen Vorrichtung **11** mit der Sollwert-Temperatur. Wenn die vorhergesagte Temperatur kleiner als die Sollwert-Temperatur ist, dann erzeugt der Regler **16** die Steuersignale CTL derart, dass die variable Leistung P_h an den Heizer **13** erhöht wird. Wenn umgekehrt die vorhergesagte Temperatur höher als die Sollwert-Temperatur ist, dann erzeugt der Regler **16** die Steuersignale CTL derart, dass die variable Leistung P_h an den Heizer **13** gesenkt wird.

[0109] Als wiederum weitere Modifikation kann der elektrische Heizer **13''** der **Fig. 20** derart geändert werden, dass das Infrarot-Laserstrahl-absorbierende Material **13c''** beseitigt wird. Mit dieser Modifikation liegt das Fenster **14e''** gegen die elektronische Vorrichtung **11** (oder **11'**) auf; und der Laserstrahl **13b''** wird direkt von der elektronischen Vorrichtung absorbiert.

[0110] Als weitere Modifikation kann das Temperatur-Steuersystem der **Fig. 1** derart geändert werden, dass die TEMP-Signale auf den Signalleitungen **12c** aus einem Temperatursensor hervorgehen, der an der Außenfläche der elektronischen Vorrichtung **11** angebracht wird. Diese Modifikation ist nützlich, wenn ein Temperatursensor nicht in der elektronischen Vorrichtung **11** integriert ist.

[0111] Als weitere Modifikation können die Temperatur-Steuersysteme der **Fig. 1** und der **Fig. 12** so geändert werden, dass die Sollwert-Temperatur auf den Signalleitungen **12d** mit der Zeit variiert. Zum Beispiel kann die Sollwert-Temperatur von einer Ebene auf eine andere gestuft werden, oder sie kann kontinuierlich auf treppenartige oder sinusförmige Weise variieren.

[0112] Entsprechend ist es verständlich, dass die vorliegenden Erfindungen nicht auf die Details von irgendeiner Ausführungsform in irgendeiner Figur eingeschränkt sind, sondern von den anhängenden Ansprüchen definiert werden.

[0113] Gemäß einer bevorzugten Ausführungsform der Erfindung wird ein Temperatur-Steuersystem bereitgestellt, das die Temperatur einer elektronischen Vorrichtung (**11**) in der Nähe einer Sollwert-Temperatur hält; wobei das System folgendes umfasst: einen elektrischen Heizer (**13**), der zur Herstellung eines Kontakts mit der elektronischen Vorrichtung eine erste Oberfläche (**13a**) hat, und eine zweite Oberfläche (**13b**) hat, die der ersten Oberfläche (**13a**) gegenüberliegt; einen Kühlkörper (**14**), der an der zweiten Oberfläche (**13b**) des Heizers (**13**) angekoppelt wird und der die Wärme aus der elektronischen Vorrichtung (**11**) mittels der zweiten Oberfläche (**13b**) des Heizers (**13**) absorbiert; einen an der elektronischen Vorrichtung (**11**) gekoppelten Temperatursensor (**12c**); und eine Steuerschaltung (**15**), die mit dem Temperatursensor (**12c**) und dem Heizer (**13**) verbunden ist und die Leistung an den Heizer (**13**) senkt, wenn die abgetastete Temperatur der elektronischen Vorrichtung (**11**) über dem Sollwert liegt; und umgekehrt. Der Temperatursensor ist in die elektronische Vorrichtung integriert oder hängt an der Außenfläche der elektronischen Vorrichtung an. Der Heizer schließt vorzugsweise elektrische Widerstände zwischen der ersten und zweiten Oberfläche oder darauf ein, und die Steuerschaltung sendet Strom an die Widerstände. Alternativ schließt der Heizer ein Laser-absorbierendes Material zwischen der ersten und zweiten Oberfläche oder darauf ein, und die Steuerschaltung erwärmt das Material mit einem Laser. Vorteilhafterweise ist der Heizer in der Abmessung von der ersten Oberfläche zur zweiten Oberfläche dünn. Der Heizer kann flach und dünner als ein Viertel Zentimeter sein. Die thermische Masse des Heizers ist nicht mehr als dreimal die thermische Masse der elektronischen Vorrichtung. In einer alternativen Form ist die thermische Masse des Heizers geringer als die thermische Masse der elektronischen Vorrichtung. Der thermische Widerstand vom Heizer zur elektronischen Vorrichtung ist kleiner als dreimal der thermische Widerstand vom Heizer zum Kühlkörper. Gemäß einem weiteren vorteilhaften Merkmal der Erfindung ist der thermische Widerstand vom Heizer zur elektronischen Vorrichtung kleiner als der thermische Widerstand vom Heizer zum Kühlkörper. Die Verlustleistung der elektronischen Vorrichtung wird geändert, indem Eingangssignale an die elektronische Vorrichtung gesandt werden, die die Transistoren in der elektronischen Vorrichtung EIN- und AUS-schalten und gleichzeitig die elektronische Vorrichtung prüfen. In einem weiteren Aspekt der Erfindung liegt zwischen der ersten Oberfläche des Heizers und der elektronischen Vorrichtung ein Flüssigkeitsfilm, der bei einer Temperatur, die zu niedrig ist, um die elektronische Vorrichtung zu schädigen, verdampft, ohne irgendeinen Rückstand zurückzulassen.

[0114] Eine andere Ausführungsform der Erfindung betrifft eine Temperatur-Steueruntergruppe zur Verwendung in einem Temperatur-Steuersystem, die die Temperatur einer elektronischen Vorrichtung regelt; wobei die Untergruppe umfasst: einen elektrischen Heizer, der über eine erste Oberfläche zum Herstellen eines Kontakts mit der elektronischen Vorrichtung verfügt, und über eine zweite Oberfläche verfügt, die der ersten Oberfläche gegenüberliegt; und einen Kühlkörper, der mit der zweiten Oberfläche des Heizers verbunden ist und die elektronische Vorrichtung kühlt, indem die Wärme aus der elektronischen Vorrichtung mittels des Heizers absorbiert wird. Der Heizer schließt zwischen der ersten und zweiten Oberfläche oder darauf elektrische Widerstän-

de ein. Der Heizer kann alternativ auch ein Laserabsorbierendes Material zwischen der ersten und der zweiten Oberfläche einschließen.

[0115] Noch ein weiterer Aspekt der Erfindung betrifft eine Temperatur-Steueruntergruppe zur Verwendung in einem Temperatur-Steuersystem, die die Temperatur einer elektronischen Vorrichtung regelt; die Untergruppe umfasst: einen elektrischen Heizer, der einen Infrarot-Laserstrahl erzeugt; und einen Kühlkörper, der die elektronische Vorrichtung berührt und der Fenster hat, die den Laserstrahl durch den Kühlkörper auf die elektronische Vorrichtung führen.

[0116] Ein Temperatur-Steuersystem in Übereinstimmung mit weiteren Ausführungsformen der Erfindung, das die Temperatur einer elektronischen Vorrichtung in der Nähe einer Sollwert-Temperatur hält, umfasst: einen elektrischen Heizer, der eine erste Oberfläche zum Herstellen eines Kontakts mit der elektronischen Vorrichtung hat, und eine zweite Oberfläche hat, die der ersten Oberfläche gegenüberliegt; einen Kühlkörper, der mit der zweiten Oberfläche des Heizers verbunden ist und Wärme aus der elektronischen Vorrichtung mittels der zweiten Oberfläche des Heizers absorbiert; jeweilige Temperatursensoren, die mit dem Heizer und dem Kühlkörper verbunden sind; eine mit den Temperatursensoren verbundene Schätzfunktionsschaltung, die die Temperatur der elektronischen Vorrichtung als eine Funktion der abgetasteten Heizertemperatur und der abgetasteten Kühlkörpertemperatur auswertet; und eine an die Schätzfunktionsschaltung und an den Heizer gekoppelte Steuerschaltung, die den Strom zum Heizer senkt, wenn die geschätzte Temperatur der elektronischen Vorrichtung über dem Sollwert liegt, und umgekehrt. Die Funktion, durch die die Schätzfunktionsschaltung die Vorrichtungstemperatur T_d auswertet ist $T_d = T_h + \theta_{d-h} [M_h \dot{T}_h - P_h + (T_h - T_s) / (\theta_{h-s})]$ worin: T_h die abgetastete Heizertemperatur und \dot{T}_h die Änderungsrate von T_h ist; T_s die abgetastete Kühlkörpertemperatur ist; θ_{d-h} ein thermischer Widerstand zwischen der elektronischen Vorrichtung und dem Heizer ist; θ_{h-s} ein thermischer Widerstand zwischen dem Heizer und dem Kühlkörper ist; P_h die Leistung für den Heizer ist; und M_h die thermische Masse des Heizers ist. Die Schätzfunktionsschaltung wählt die Größe für einen thermischen Widerstand zwischen der elektronischen Vorrichtung und der ersten Oberfläche des Heizers auf der Grundlage der Rate aus, bei der sich die Temperatur des Heizers ändert, wenn eine Änderung in der Heizertemperatur erfolgt; und worin die Schätzfunktionsschaltung den ausgewählten thermischen Widerstand in der Funktion verwendet, um die Vorrichtungstemperatur auszuwerten. Die Schätzfunktionsschaltung kann auch einen Speicher einschließen, der die folgenden jeweiligen Werte speichert: a) einen thermischen Widerstand von der ersten Oberfläche des Heizers zur Vorrichtung, b) einen thermischen Widerstand von der zweiten Oberfläche des Heizers und des Kühlkörpers; und c) eine thermische Masse des Heizers, und worin die Schätzfunktionsschaltung die gespeicherten Werte in der Funktion verwendet, um die Vorrichtungstemperatur auszuwerten. Die Schätzfunktionsschaltung ist ein digitaler Mikroprozessor oder alternativ eine Anologschaltung: Der Kühlkörper wird mittels eines thermischen Widerstands, der größer als $0,1^\circ\text{C cm}^2/\text{Watt}$ ist, an die zweite Oberfläche des Heizers gekoppelt. Der Heizer schließt zwischen der ersten und zweiten Oberfläche oder darauf elektrische Widerstände ein, und worin die Steuerschaltung Strom an die Widerstände überträgt. In einer alternativen Form schließt der Heizer zwischen der ersten und zweiten Oberfläche oder darauf ein Laser-absorbierendes Material ein, und worin die Steuerschaltung das Material mit einem Laser erwärmt. Der thermische Widerstand vom Heizer zur elektronischen Vorrichtung ist kleiner als dreimal der thermische Widerstand vom Heizer zum Kühlkörper, und die thermische Masse des Heizers ist nicht größer als dreimal die thermische Masse der elektronischen Vorrichtung. Vorteilhafterweise ist der Heizer in der Abmessung von der ersten Oberfläche zur zweiten Oberfläche dünn. In einer anderen Variante der Erfindung liegt zwischen der ersten Oberfläche des Heizers und der elektronischen Vorrichtung ein Flüssigkeitsfilm, der ohne irgendwelche Rückstände zurückzulassen, bei einer Temperatur, die zu niedrig ist, um die elektronische Vorrichtung zu beschädigen, verdampft.

[0117] Ein weiterer Aspekt der Erfindung betrifft eine Temperatur-Steuer-Untergruppe zur Verwendung in einem Temperatursteuersystem, die die Temperatur einer elektronischen Vorrichtung regelt; wobei die Untergruppe umfasst: einen elektrischen Heizer, der einen Kontakt mit der elektronischen Vorrichtung herstellt, und einen Kühlkörper, der einen Kontakt mit dem Heizer herstellt; ein Paar an mit dem Heizer und dem Kühlkörper verbundenen Temperatursensoren; und eine mit den Temperatursensoren verbundene Schätzfunktionsschaltung, die die Temperatur der elektronischen Vorrichtung als eine Funktion der abgetasteten Heizertemperatur und der abgetasteten Kühlkörpertemperatur auswertet.

[0118] Eine erfinderische elektromechanische Untergruppe, die eine verbesserte thermische Schnittstelle hat, umfasst: eine elektronische Vorrichtung, die eine Oberfläche hat, die Wärme zerstreut; ein Wärmeaustauschglied, das eine Oberfläche hat, die sich der Oberfläche auf der elektronischen Vorrichtung anpasst; und ein zwischen den zusammenpassenden Oberflächen des Wärmeaustauschglieds und der elektronischen Vorrichtung liegender Flüssigkeitsfilm, der bei einer Temperatur, die zu niedrig ist, um die elektronische Vorrichtung zu beschädigen, verdampft, ohne Rückstände zu hinterlassen. Die Flüssigkeit ist Wasser; oder ein Gemisch aus Wasser und einem flüchtigen Material, das den Siedepunkt des Gemischs über dem Siedepunkt von Wasser hält; oder ein Gemisch aus Wasser und einem flüchtigen Material, das den Gefrierpunkt des Gemischs auf unter den Gefrierpunkt von Wasser drückt; oder ein Gemisch aus Wasser und einem flüchtigen Material, das die Benetzbarkeit des Gemischs über der Benetzbarkeit von Wasser hebt. Die Flüssigkeit verdampft bei

einer Temperatur von weniger als zweihundert Grad Celsius. Das Wärmeaustauschglied ist kühler als die elektronische Vorrichtung. Das Wärmeaustauschglied wird mit einer Flüssigkeit gekühlt. Alternativ ist das Wärmeaustauschglied heißer als die elektronische Vorrichtung. Das Wärmeaustauschglied ist ein elektronischer Heizer. Das Wärmeaustauschglied hat eine thermische Masse, die mindestens zehnmals größer ist als die thermische Masse der elektronischen Vorrichtung.

[0119] Weiterhin wird gemäß der vorliegenden Erfindung ein Verfahren bereitgestellt, um eine elektronische Vorrichtung an ein Wärmeaustauschglied zu koppeln; das Verfahren schließt folgende Schritte ein: das Bereitstellen des Wärmeaustauschglieds mit einer Oberfläche, die mit einer entsprechenden Oberfläche auf der elektronischen Vorrichtung übereinstimmt; und die Anordnung eines Flüssigkeitsfilms zwischen den zusammenpassenden Oberflächen des Wärmeaustauschglieds und der elektronischen Vorrichtung, der bei einer Temperatur, die zu niedrig ist, um die elektronische Vorrichtung zu beschädigen, verdampft, ohne irgendwelche Rückstände zu hinterlassen. Vorteilhafterweise kann der Schritt zum vollständigen Verdampfung der Flüssigkeit von der elektronischen Vorrichtung, nachdem die elektronische Vorrichtung über eine vorbestimmte Zeitspanne Leistung verloren hat, während sie am Wärmeaustauschglied angekoppelt ist, weiterhin eingeschlossen werden. Die vorbestimmte Zeitspanne ist kleiner als eine Stunde. Der Verdampfungsschritt wird von Unterschritten zum Trennen der zusammenpassenden Oberflächen und zum Temperatur-Aussetzen des Flüssigkeitsfilms durchgeführt, wobei die Temperatur zu niedrig ist, um die elektronische Vorrichtung zu beschädigen. Die Flüssigkeit ist Wasser oder ein flüchtiges Gemisch.

[0120] Wenn technische Merkmale in den Ansprüchen mit Bezugszeichen versehen sind, so sind diese Bezugszeichen lediglich zum besseren Verständnis der Ansprüche vorhanden. Dementsprechend stellen solche Bezugszeichen keine Einschränkungen des Schutzzumfangs solcher Elemente dar, die nur exemplarisch durch solche Bezugszeichen gekennzeichnet sind.

Patentansprüche

1. Eine Temperatur-Steuer-Untergruppe zur Verwendung in einem Temperatursteuersystem, das die Temperatur einer elektronischen Vorrichtung (**11**) regelt; wobei die Untergruppe folgendes umfasst: einen elektrischen Heizer (**13**), der mit der elektronischen Vorrichtung (**11**) in Kontakt steht, und einen Kühlkörper (**14**), der mit dem Heizer (**13**) in Kontakt steht; ein Paar von Temperatursensoren (**13d**, **14f**), die mit dem Heizer (**13**) und mit dem Kühlkörper (**14**) gekoppelt sind; und eine Schätzschaltung (**71**, **72**, **73**), die mit den Temperatursensoren (**13d**, **14f**) gekoppelt ist, die die Temperatur der elektronischen Vorrichtung (**11**) als eine Funktion der abgetasteten Temperatur des Heizers und der abgetasteten Temperatur des Kühlkörpers schätzt.

2. Ein Temperatursteuersystem, das die Temperatur einer elektronischen Vorrichtung (**11**) in der Nähe einer Sollwert-Temperatur hält und die Temperatur-Steuer-Untergruppe des Anspruchs 1 einschließt, worin der elektrische Heizer (**13**) eine erste Oberfläche (**13a**) hat, um den Kontakt mit der elektronischen Vorrichtung (**11**) herzustellen, und eine zweite Oberfläche (**13b**), die der ersten Oberfläche (**13a**) gegenüberliegt; der Kühlkörper (**14**) mit der zweiten Oberfläche (**13b**) des Heizers (**13**) gekoppelt ist, die die Hitze von der elektronischen Vorrichtung (**11**) durch die zweite Oberfläche (**13b**) des Heizers (**13**) absorbiert; wobei das System folgendes umfasst: jeweilige Temperatursensoren (**13d**, **14f**), die dem Heizer (**13**) und dem Kühlkörper (**14**) gekoppelt sind; und eine Steuerschaltung (**16**), die mit der Schätzschaltung (**71**, **72**, **73**) und dem Heizer (**13**) gekoppelt ist, die die Leistung des Heizers (**13**) verringert, wenn die geschätzte Temperatur der elektronischen Vorrichtung (**11**) über den Sollwert liegt und umgekehrt.

3. Das Temperatursteuersystem gemäß Anspruch 2, worin die Funktion, durch die die Schätzschaltung (**71**, **72**, **73**) die Temperatur T_d der Vorrichtung schätzt ist $T_d = T_h \theta_{d-h} [M_h T_h - P_h + (T_h - T_s) (\theta_{h-s})]$, worin T_h die abgetastete Temperatur des Heizers ist und T_h die Rate der Änderung von T_h ist; T_s die abgetastete Temperatur des Kühlkörpers ist; θ_{d-h} der thermische Widerstand zwischen der elektronischen Vorrichtung (**11**) und dem Heizer (**13**) ist; θ_{h-s} der thermische Widerstand zwischen dem Heizer (**13**) und dem Kühlkörper (**14**) ist; P_h die Leistung an den Heizer (**13**) ist; und M_h die thermische Masse des Heizers (**13**) ist.

4. Das Temperatursteuersystem gemäß Anspruch 2, worin die Schätzschaltung (**71**, **72**, **73**) eine Amplitude für einen thermischen Widerstand (θ_{d-h}) zwischen der elektronischen Vorrichtung (**11**) und der ersten Oberfläche (**13a**) des Heizers (**13**) auf der Grundlage der Rate wählt, bei der sich die Temperatur des Heizers (**13**) ändert, wenn eine Änderung in der Heizerleistung auftritt, und worin die Schätzschaltung (**71**, **72**, **73**) den ausgewählten thermischen Widerstand (θ_{d-h}) in der Funktion zur Schätzung der Temperatur der Vorrichtung verwendet.

5. Das Temperatursteuersystem gemäß Anspruch 2, worin die Schätzschaltung (**71**, **72**, **73**) einen Speicher einschließt, der jeweilige Werte von: a) einem thermischen Widerstand (θ_{d-h}) von der ersten Oberfläche (**13a**) des Heizers (**13**) zur Vorrichtung (**11**), b) einen thermischen Widerstand (θ_{h-s}) von der zweiten Oberfläche (**13b**) des Heizers (**13**) und dem Kühlkörper (**14**) und c) eine thermische Masse (M_h) des Heizers (**13**) speichert; und worin die Schätzschaltung (**71**, **72**, **73**) die gespeicherten Werte in der Funktion zur Schätzung der Temperatur der Vorrichtung verwendet.

6. Das Temperatursteuersystem gemäß einem oder mehreren der Ansprüche 2–5, worin die Schätzschaltung (**71**, **72**, **73**) ein digitaler Mikroprozessor (**73**) ist; oder worin die Schätzschaltung (**71**, **72**, **73**) eine analoge Schaltung (**71**) ist.

7. Das Temperatursteuersystem gemäß Anspruch 2, worin der Kühlkörper (**14**) durch einen thermischen Widerstand, der größer als $0,1^\circ\text{C cm}^2/\text{Watt}$ ist, mit der zweiten Oberfläche (**13b**) des Heizers (**13**) gekoppelt ist.

8. Das Temperatursteuersystem gemäß einem oder mehreren der Ansprüche 2–7, worin der Heizer (**13**) elektrische Widerstände zwischen oder auf der ersten und zweiten Oberfläche (**13a**, **13b**) einschließt, und worin die Steuerschaltung (**16**) Strom an die Widerstände sendet; oder worin der Heizer (**13**) ein Laser-absorbierendes Material zwischen oder auf der ersten und zweiten Oberfläche (**13a**, **13b**) einschließt, und worin die Steuerschaltung (**16**) das Material mit einem Laser heizt.

9. Das Temperatursteuersystem gemäß Anspruch 2, worin der thermische Widerstand (θ_{d-h}) vom Heizer (**13**) zur elektronischen Vorrichtung (**11**) geringer ist als dreimal der thermische Widerstand (θ_{h-s}) vom Heizer (**13**) zum Kühlkörper (**14**); oder worin die thermische Masse (M_h) des Heizers (**13**) nicht mehr als dreimal die thermische Masse (M_d) der elektronischen Vorrichtung (**11**) ist.

10. Das Temperatursteuersystem gemäß einem oder mehreren der Ansprüche 2–9, worin der Heizer (**13**) im Bereich von der ersten Oberfläche (**13a**) zur zweiten Oberfläche (**13b**) dünn ist.

11. Das Temperatursteuersystem gemäß einem oder mehreren der Ansprüche 2–10, worin ein Film einer Flüssigkeit (**101**) zwischen der ersten Oberfläche (**13a**) des Heizers (**13**) und der elektronischen Vorrichtung (**11**) liegt, die verdampft, ohne irgendeinen Rückstand zurückzulassen, bei einer Temperatur, die zu niedrig ist, um die elektronische Vorrichtung (**11**) zu beschädigen.

Es folgen 10 Blatt Zeichnungen

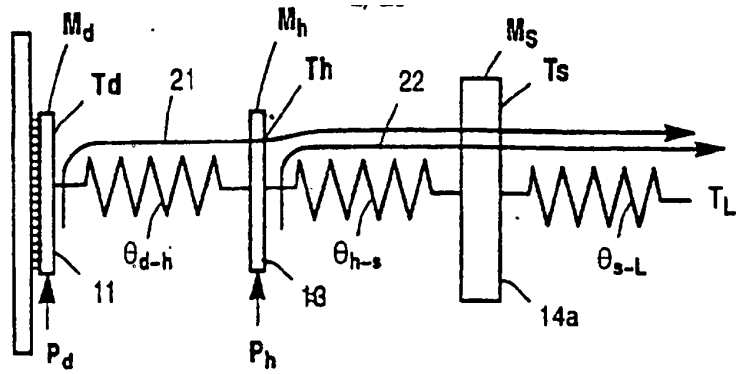


Figure 2

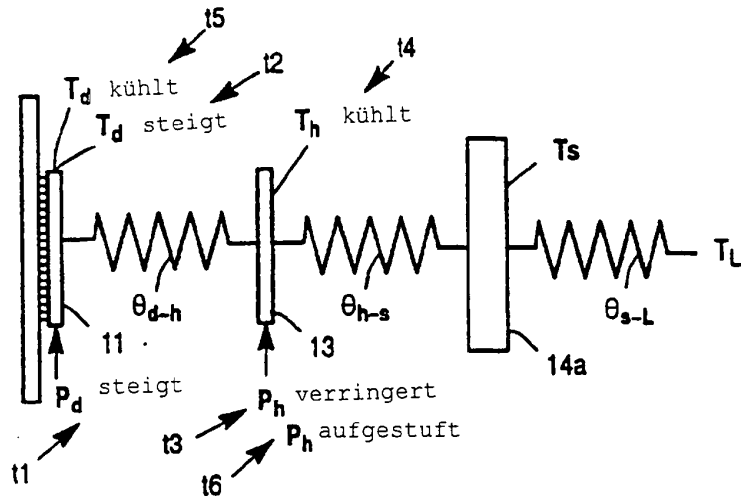


Figure 3

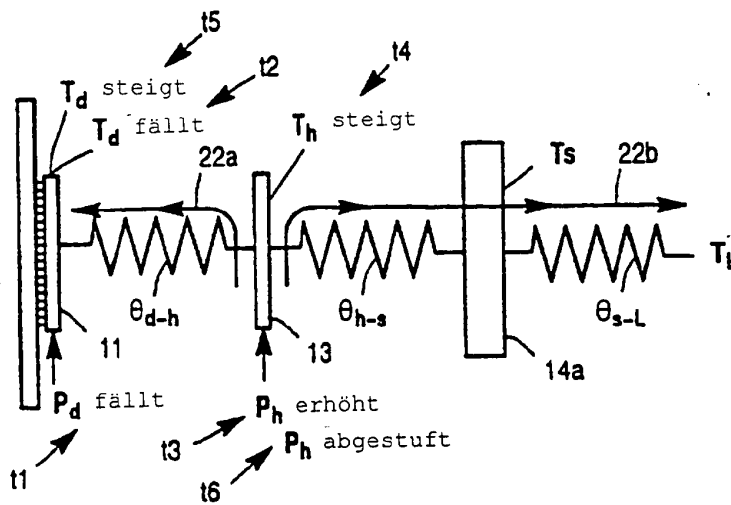


Figure 4

Gleichung 1
$$M_d \dot{T}_d = (T_h - T_d) / \theta_{d-h} + P_d$$

Gleichung 2
$$M_h \dot{T}_h = (T_d - T_h) / \theta_{d-h} + (T_s - T_h) / \theta_{h-s} + P_h$$

Gleichung 3
$$M_s \dot{T}_s = (T_h - T_s) / \theta_{h-s} + (T_L - T_s) / \theta_{s-L}$$

Figure 5

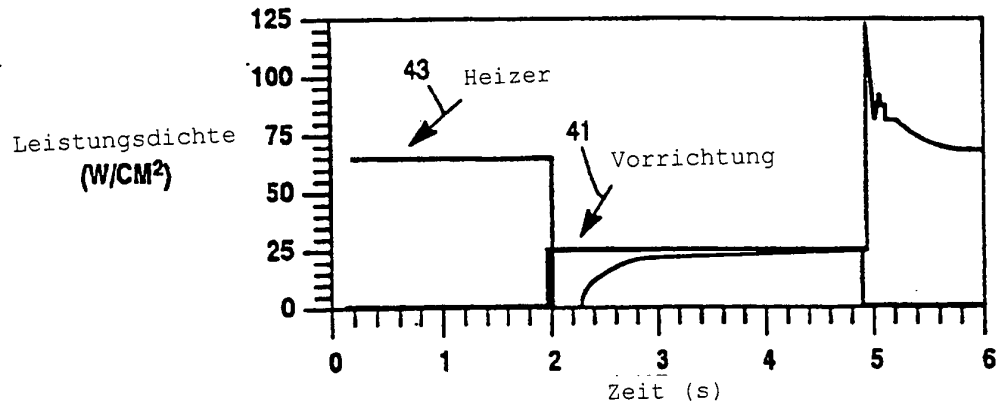


Figure 6

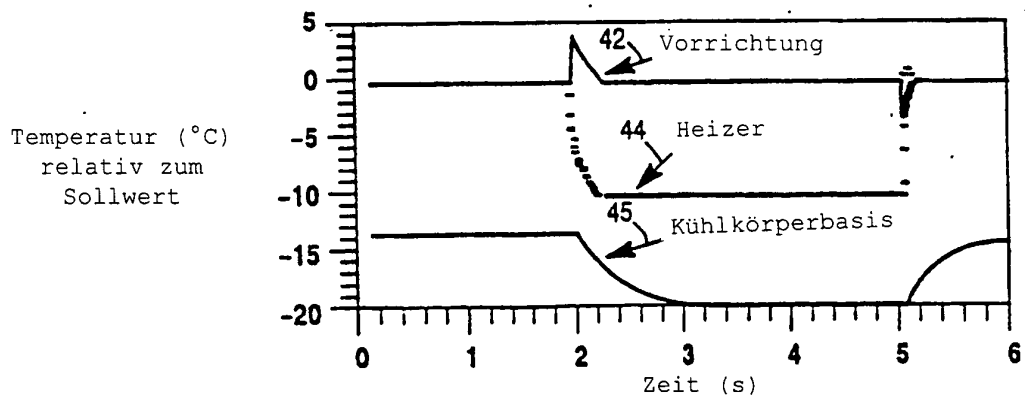


Figure 7

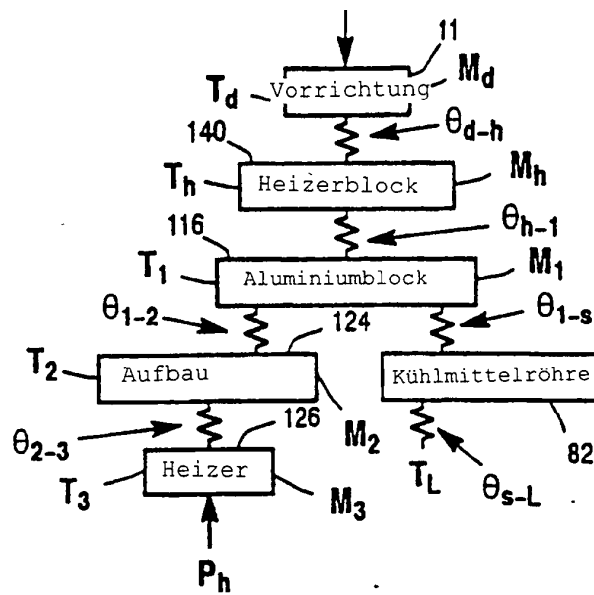


Figure 8

(Stand der Technik)

Gleichung 11 $M_d \dot{T}_d = (T_h - T_d) / \theta_{d-h} + P_d$

Gleichung 12 $M_h \dot{T}_h = (T_d - T_h) / \theta_{d-h} + (T_1 - T_h) / \theta_{h-1}$

Gleichung 13 $M_1 \dot{T}_1 = (T_h - T_1) / \theta_{h-1} + (T_2 - T_1) / \theta_{1-2} + (T_s - T_1) / \theta_{1-s}$

Gleichung 14 $M_2 \dot{T}_2 = (T_1 - T_2) / \theta_{2-1} + (T_3 - T_2) / \theta_{2-3}$

Gleichung 15 $M_3 \dot{T}_3 = (T_2 - T_3) / \theta_{2-3} + P_h$

Gleichung 16 $M_s \dot{T}_s = (T_1 - T_s) / \theta_{1-s} + (T_L - T_s) / \theta_{s-L}$

Figure 9

(Stand der Technik)

Gleichung 20 $M_h \dot{T}_h = - M_s \dot{T}_s + (T_d - T_h) / \theta_{d-h} + (T_L - T_s) / \theta_{s-L} + P_h$

32d
33c
32c
33a
32a

Gleichung 21 $M_h \dot{T}_h = - M_1 \dot{T}_1 - M_2 \dot{T}_2 - M_3 \dot{T}_3 - M_s \dot{T}_s + (T_d - T_h) / \theta_{d-h} + (T_L - T_s) / \theta_{s-L} + P_h$

67
65
63
61
60

Figure 10

Gleichung 2 $M_h \dot{T}_h = (T_d - T_h) / \theta_{d-h} + (T_s - T_h) / \theta_{h-s} + P_h$

Gleichung 31 $T_d = T_h + \theta_{d-h} [M_h \dot{T}_h - P_h + (T_h - T_s) \div (\theta_{h-s})]$

Figure 11

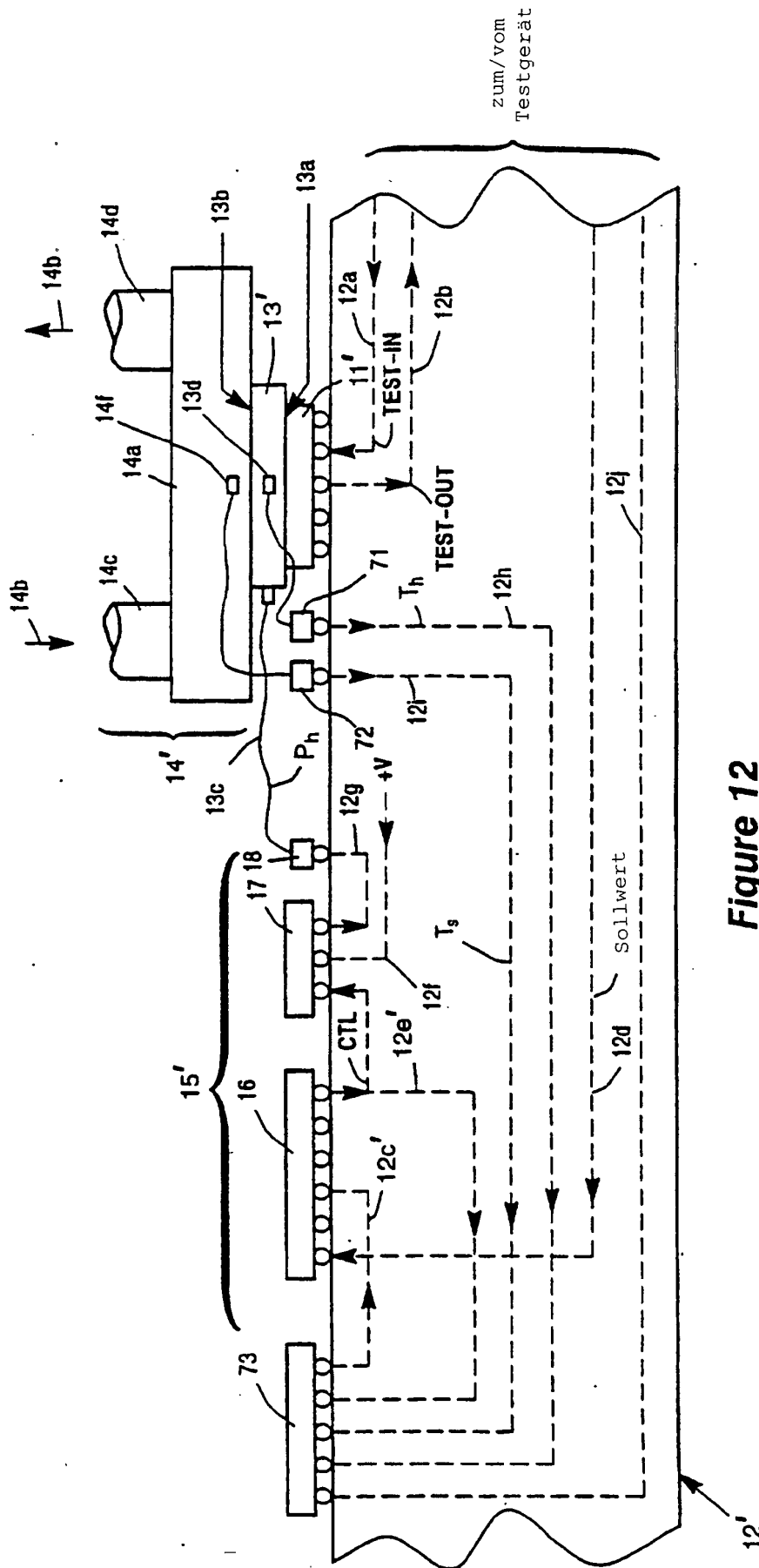


Figure 12

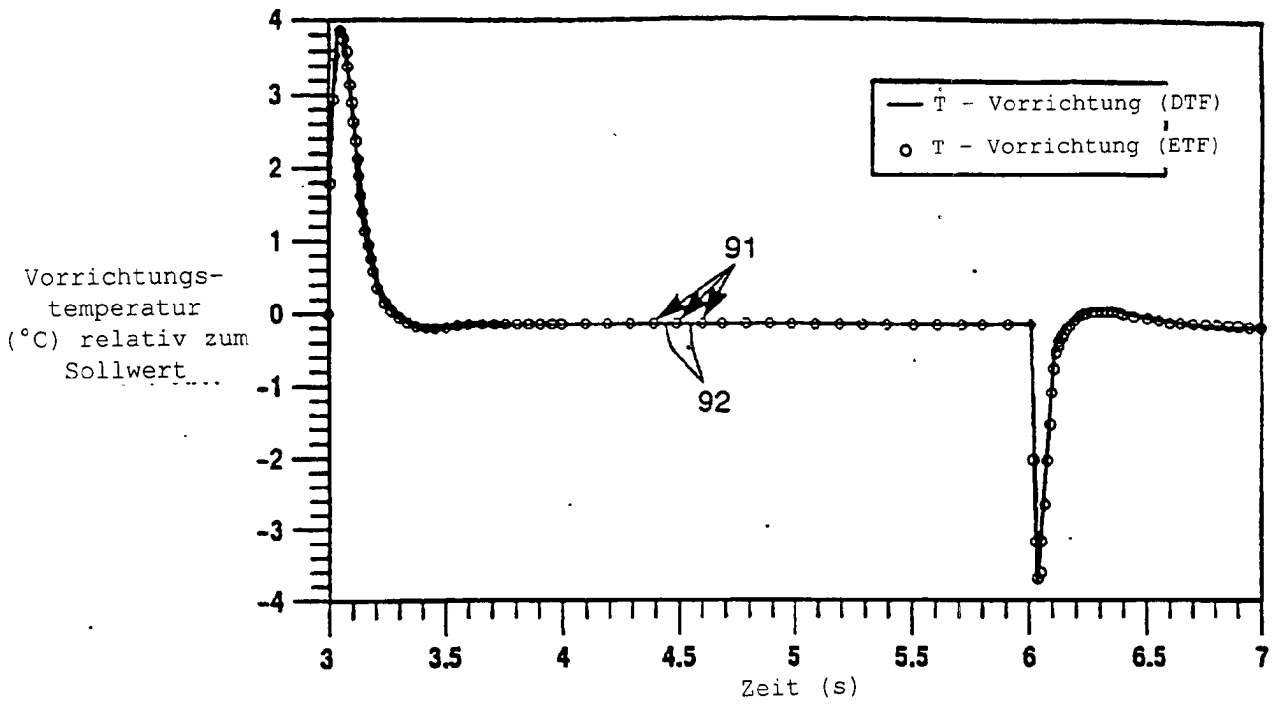


Figure 13

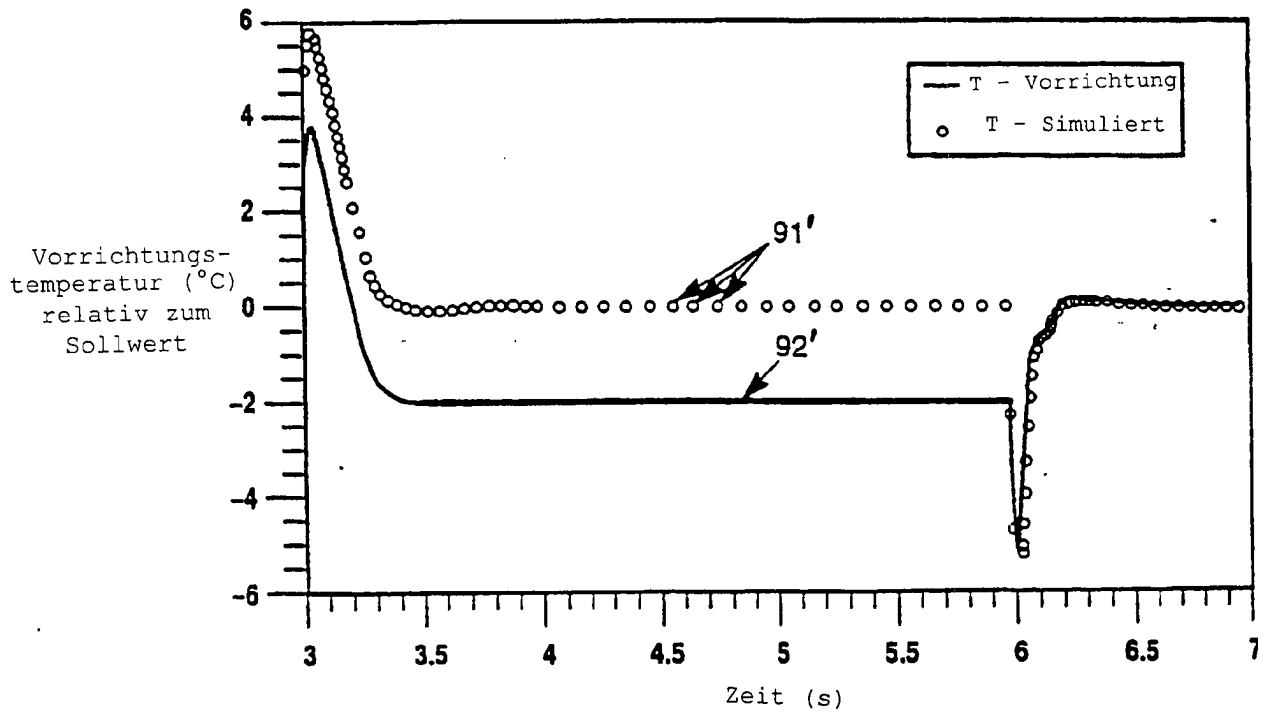


Figure 14

Gleichung 2 $\rightarrow M_h \dot{T}_h = (T_d - T_h) / \theta_{d-h} + (T_s - T_h) / \theta_{h-s} + P_h$

Schritt 1 \rightarrow lasse $P_b = 0$

Schritt 2 \rightarrow verändere P_h

Schritt 3 \rightarrow $\begin{cases} \dot{T}_h \text{ variiert "langsam" wenn } \theta_{d-h} \text{ ist "klein"} \\ \dot{T}_h \text{ variiert "schnell" wenn } \theta_{d-h} \text{ ist "groß"} \end{cases}$

Figure 15

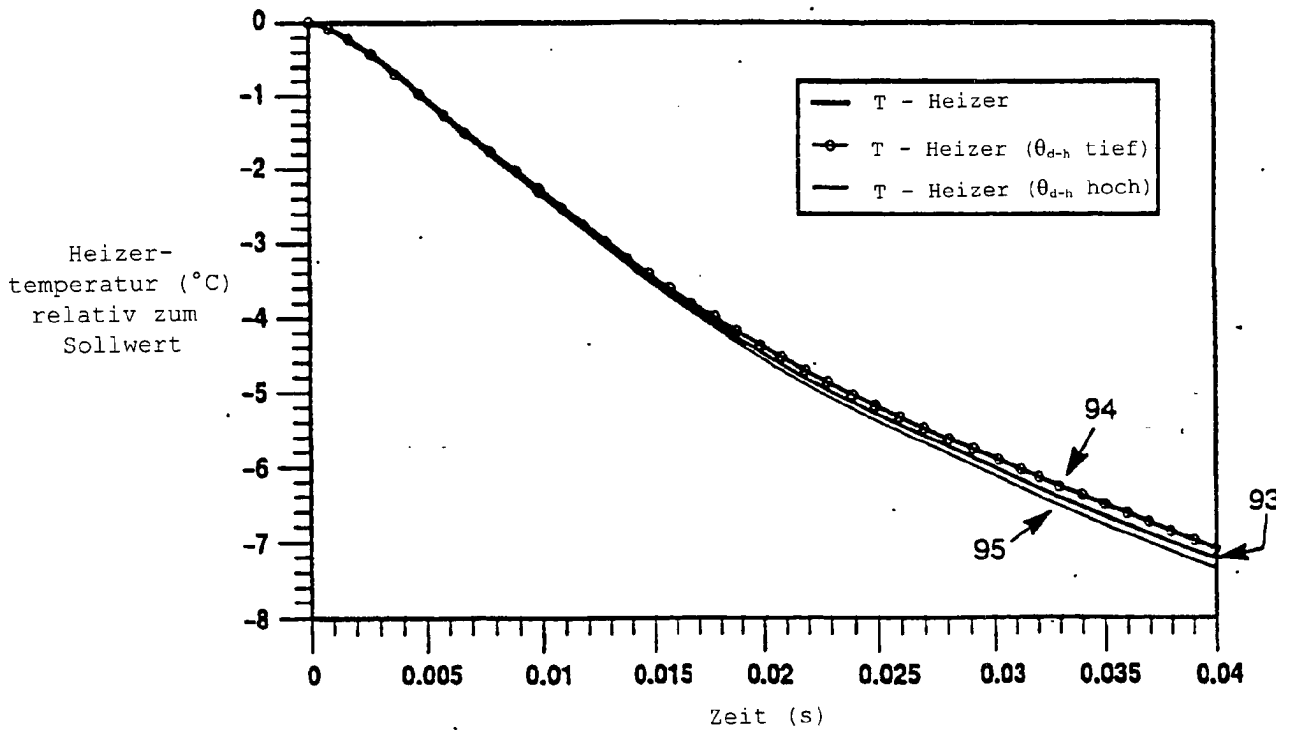


Figure 16

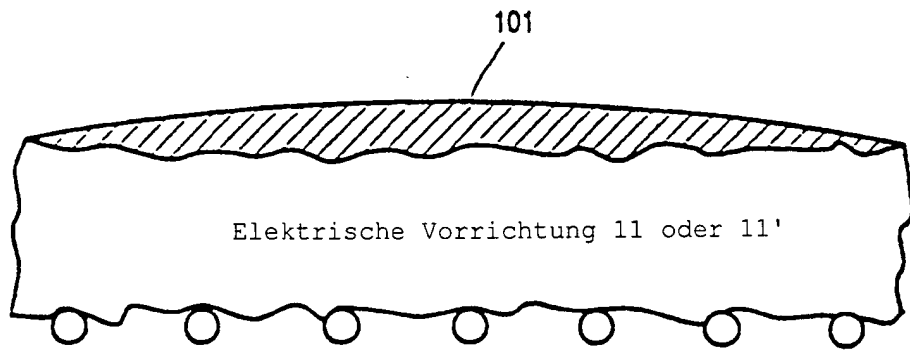


Figure 17

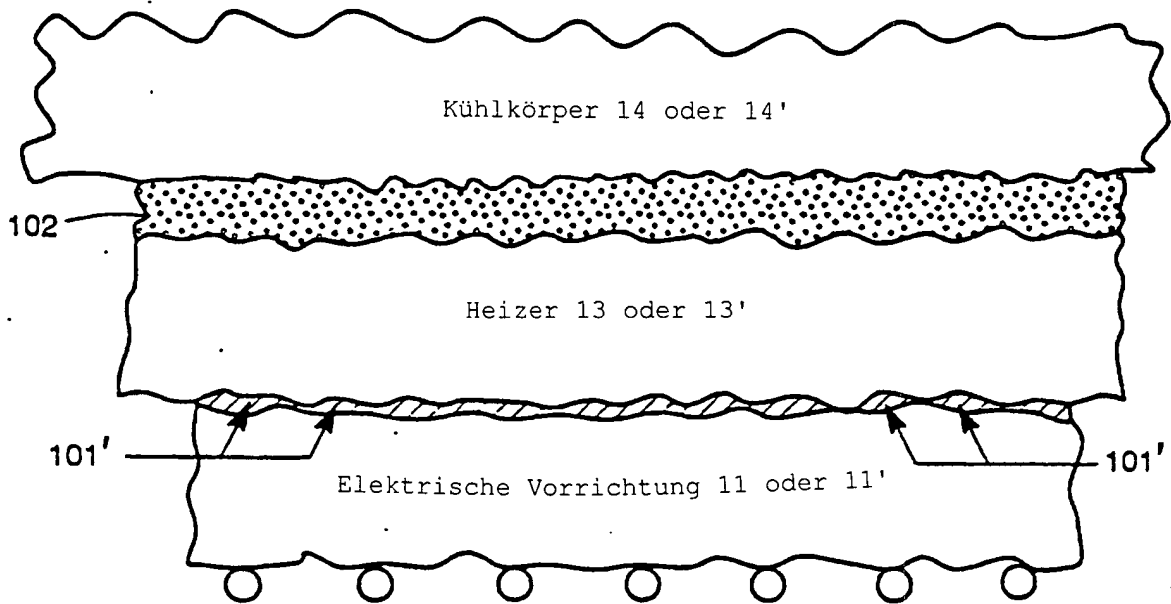


Figure 18

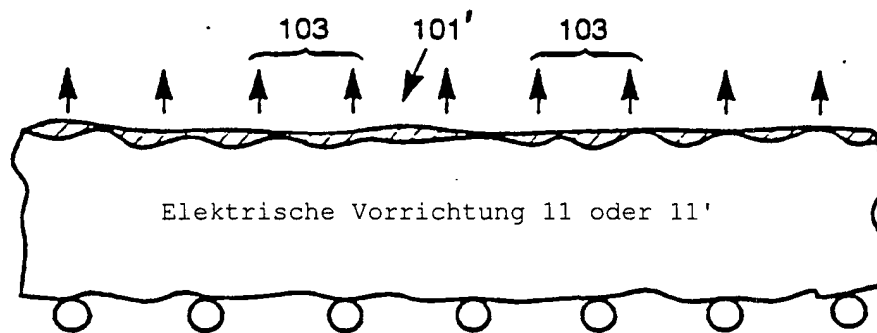


Figure 19

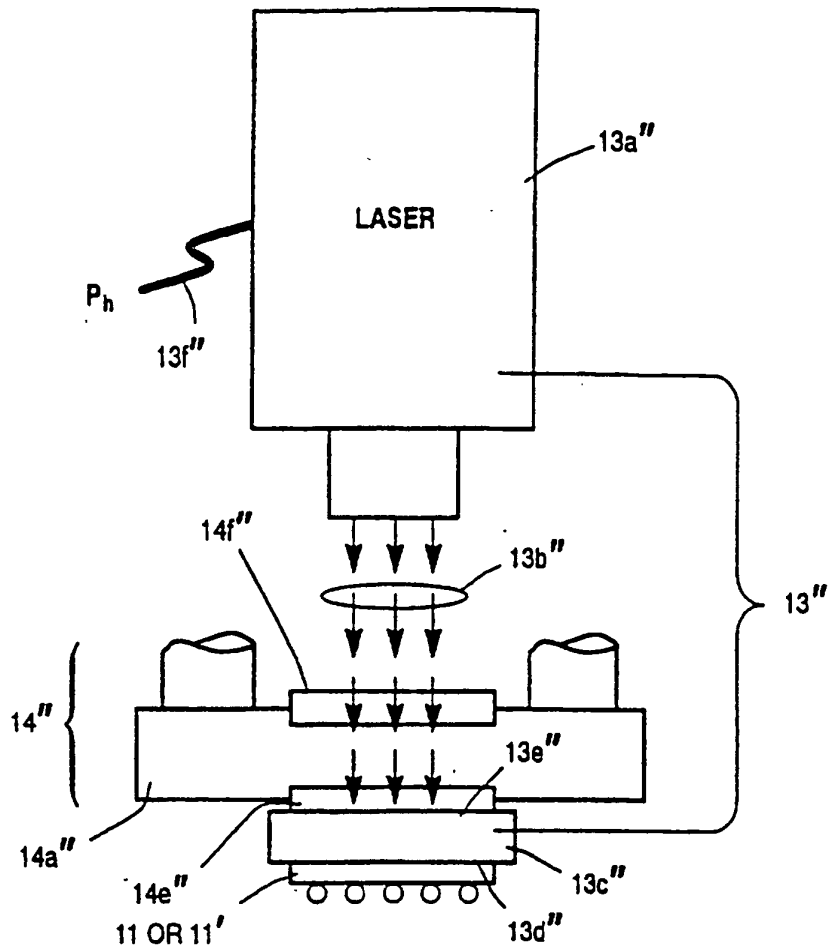


Figure 20

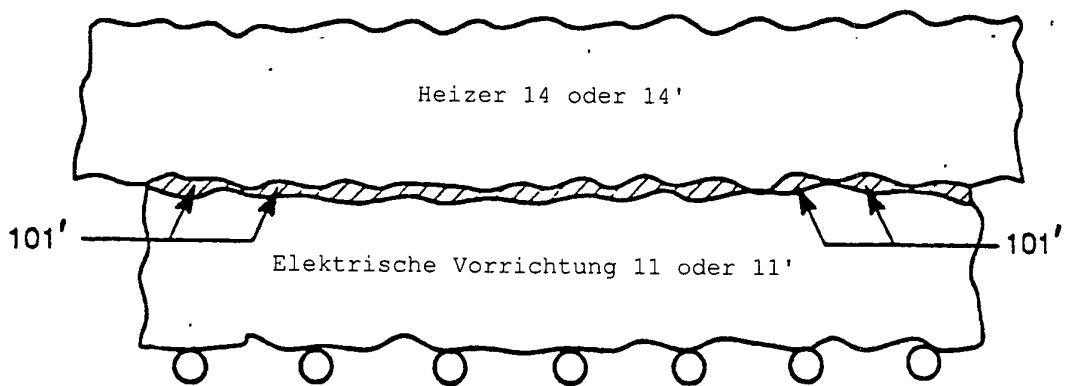


Figure 21