

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公表特許公報(A)

(11) 特許出願公表番号

特表2004-511754

(P2004-511754A)

(43) 公表日 平成16年4月15日(2004.4.15)

(51) Int. Cl.⁷

G01R 31/30

G01R 31/26

F I

G01R 31/30

G01R 31/26

テーマコード (参考)

2G003

2G132

審査請求 未請求 予備審査請求 有 (全 58 頁)

(21) 出願番号 特願2001-586479 (P2001-586479)
 (86) (22) 出願日 平成13年4月30日 (2001.4.30)
 (85) 翻訳文提出日 平成14年11月13日 (2002.11.13)
 (86) 国際出願番号 PCT/US2001/013718
 (87) 国際公開番号 W02001/090766
 (87) 国際公開日 平成13年11月29日 (2001.11.29)
 (31) 優先権主張番号 09/574,784
 (32) 優先日 平成12年5月19日 (2000.5.19)
 (33) 優先権主張国 米国 (US)
 (81) 指定国 EP (AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE, TR), JP

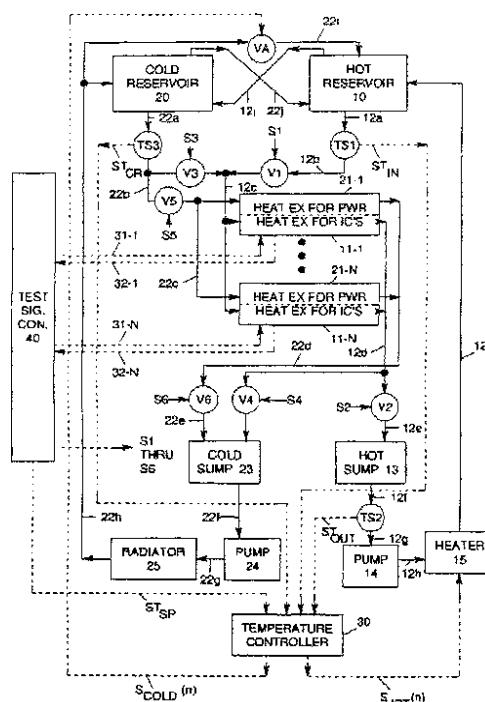
(71) 出願人 591067923
 ユニシス コーポレーション
 UNISYS CORPORATION
 アメリカ合衆国 ペンシルバニア州 19
 424 ブルーベル, ピー. オー. ボ
 ックス 500 タウンシップ ライン
 アンド ユニオン ミーティング ローズ
 (番地なし)
 (74) 代理人 100064746
 弁理士 深見 久郎
 (74) 代理人 100085132
 弁理士 森田 俊雄
 (74) 代理人 100083703
 弁理士 仲村 義平

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 ICチップのための熱交換器への流体温度および熱交換器からの流体温度の関数として、ICチップの温度を加熱および冷却される流体で調整するためのシステム

(57) 【要約】

チップバーンインシステムは、テスト時にICチップが電力消費の大きなステップ増加および大きなステップ減少を付与されている間、ICチップの温度をセットポイント付近で維持する。それらのテスト時には、システムの電力消費は減少する。システムは高温側流体回路を含み、ここでは、高温側流体がリザーバから熱交換器を通じて循環し、リザーバへと戻り、さらには熱交換器は高温側流体とICチップとの間で伝導によって熱を交換する。ある動作モードでは、ヒータが、「冷たすぎるルックアヘッド」フィーチャに基づいて、リザーバに戻る流体に熱を加える。別の動作モードでは、アナログバルブが、「熱すぎるルックアヘッド」フィーチャに基づいて、リザーバに低温側流体を加える。



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

セットポイント付近で電子構成要素の温度を維持するためのシステムであって、高温側流体がリザーバから熱交換器を通して循環し、前記リザーバへと戻され、さらには前記熱交換器が前記高温側流体と前記電子構成要素との間で伝導によって熱を伝達する、高温側流体回路と、

前記熱交換器へと流れ込む流体の温度を示す入力温度信号を生成する第 1 のセンサと、前記熱交換器から流れ出る流体の温度を示す出力温度信号を生成する第 2 のセンサと、前記入力温度信号と出力温度信号との両者の関数として前記リザーバに戻る流体に熱を加えるヒータ手段と、

10

前記入力温度信号と出力温度信号との両者の関数として前記リザーバに低温側流体を加える冷却手段とを含む、システム。

【請求項 2】

前記ヒータ手段は、前記セットポイントが前記熱交換器へと流れ込む前記流体の前記温度を超える場合、さらには前記セットポイントが前記熱交換器から流れ出る前記流体の前記温度を超える場合、前記リザーバに戻る前記流体に前記熱を加える、請求項 1 に記載のシステム。

【請求項 3】

前記冷却手段は、前記熱交換器へと流れ込む前記流体の前記温度が前記セットポイントを超える場合、さらには前記熱交換器から流れ出る前記流体の前記温度が前記熱交換器へと流れ込む前記流体の前記温度を超える場合、前記リザーバに前記低温側流体を加える、請求項 1 に記載のシステム。

20

【請求項 4】

前記冷却手段は、前記熱交換器へと流れ込む前記流体の前記温度が前記セットポイントを超える場合、さらには前記熱交換器から流れ出る前記流体の前記温度が前記セットポイントを超える場合、前記リザーバに前記低温側流体を加える、請求項 1 に記載のシステム。

【請求項 5】

前記セットポイントに関連して、前記熱交換器へと流れ込む前記流体の前記温度の値に基づいて選択される 3 つの動作モードにおいて、前記ヒータ手段は前記リザーバに戻る前記流体に前記熱を加え、前記冷却手段は前記リザーバに前記低温側流体を加える、請求項 1 に記載のシステム。

30

【請求項 6】

前記加熱手段は、

【数 1】

$$K_1 e_{OUT1} + K_2 e_{IN} + K_3 d(e_{IN})/dt + K_4 f e_{IN}$$

の大きさに比例して前記リザーバに戻る前記流体に前記熱を加え、前記冷却手段は、

【数 2】

$$K_5 e_{OUT2} + K_6 e_{IN} + K_7 d(e_{IN})/dt + K_8 f e_{IN}$$

40

の大きさに比例して前記リザーバに前記低温側流体を加え、 e_{IN} は前記入力温度内の誤差であり、 e_{OUT1} および e_{OUT2} は前記出力温度におけるそれぞれの誤差であり、 K_1 から K_8 は定数である、請求項 1 に記載のシステム。

【請求項 7】

急速冷却手段をさらに含み、前記急速冷却手段は、前記高温側流体回路に結合され、電氣的制御信号を受取り、応答として、a) 前記熱交換器への、および前記熱交換器から前記リザーバへと戻る前記高温側流体の流れをブロックし、b) 前記高温側流体の流れがブロックされている間に、前記低温側流体を前記熱交換器に通す、請求項 1 に記載のシステム

50

。

【請求項 8】

前記冷却手段は、前記高温側流体回路と平行して動作して前記低温側流体を低温側の温度で維持する低温側流体回路を含む、請求項 1 に記載のシステム。

【請求項 9】

前記ヒータ手段は速い応答時間でもって前記リザーバに戻る前記流体に前記熱を加え、前記冷却手段は遅い応答時間でもって前記リザーバに前記低温側流体を加え、前記遅い応答時間を補償するために、前記冷却手段は、前記ヒータ手段が前記リザーバに戻る前記流体に異なる量の熱を並行して加える間に、前記リザーバに前記低温側流体を加える、請求項 1 に記載のシステム。

10

【請求項 10】

前記電子構成要素はパッケージングされた集積回路チップである、請求項 1 に記載のシステム。

【請求項 11】

前記電子構成要素はパッケージングされていない集積回路チップである、請求項 1 に記載のシステム。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の背景】

この発明は、集積回路チップ（ＩＣチップ）のための温度制御システムに関する。より具体的には、この発明は、ＩＣチップがテスト時に電力消費の大きなステップ増加および大きなステップ減少を付与される間にＩＣチップの温度が選択可能なセットポイントの数度以内にとどまるように、ＩＣチップに結合された熱交換器を通して流体を循環させる温度制御システムに関する。

20

【0002】

ＩＣチップが最初に製造された後、ＩＣチップ内にあるすべての回路が適切に動作するかを確認するために、テストが行なわれなければならない。このテストは、通常「バーンイン」テストを介して行なわれ、ここでは、ＩＣチップに一連のテスト信号が送られる間、ＩＣチップはその通常の動作温度を超えて維持される。このようなバーンインテストが行なわれる理由は、これにより、仮にもある特定の種類の欠陥が生じる場合にそれらがＩＣチップ内で生じる期間が非常に短くされるためである。

30

【0003】

先行技術では、バーンインテストは通常、以下のステップによって行なわれる。すなわち、１）いくつかのプリント回路基板上にソケットに入った多数のＩＣチップを置くステップと、２）ＩＣチップを保持するプリント回路基板を、ヒータを有する密封されたテストへと移動させるステップと、３）ファンを用いてヒータから熱風を送り、ＩＣチップにテスト信号が送られている間にＩＣチップ中に熱風が流れるようにするステップとによって行なわれる。そのヒータおよびファンを備えるこのような密封されたテストは比較的安価であるが、それにはいくつかの主な限界がある。

【0004】

たとえば、単一のＩＣチップ内のトランジスタ数が増加するにつれて、ＩＣチップが消費する電力の最大量も増加する。したがって、いくつかのプリント回路基板上の多数のＩＣチップの電力消費の最大のばらつきが、空気を用いた対流によって調整されるには大きすぎるという段階に最終的に到達することとなる。

40

【0005】

また、すべてのＩＣチップを同じ時にテストするよりも、プリント回路基板上に保持される異なったサブセットのＩＣチップを順次テストすることが時には望ましい。しかし、テストされているＩＣチップの数が小さなサブセットから大きなサブセットへと変化すると、それらの全電力消費において大きなステップ増加が生じる。このステップ増加が起こる理由は、テスト信号が送られているＩＣチップは、テスト信号を送られていないＩＣチッ

50

ブよりもずっと大きな量の電力を消費するためである。同様に、テストされているＩＣチップの数が大きなサブセットから小さなサブセットへと変化する場合、それらの全電力消費において大きなステップ減少が生じる。

【 0 0 0 6 】

上述の電力消費におけるステップ増加およびステップ減少は、特に困難な問題を提示する。なぜならば、テストが行なわれている間、ＩＣチップの温度はセットポイント温度のわずかに数度以内で厳密に維持される必要があるためである。しかし、ＩＣチップの電力消費が増加すると、その温度を一定に保つためにＩＣチップから除去されなければならない熱の量が急速に増加する。同様に、ＩＣチップの電力消費が減少すると、その温度を一定に保つためにＩＣチップに加えられなければならない熱の量が急速に減少する。

10

【 0 0 0 7 】

集積回路産業界では現在、ＩＣチップの全電力消費が、２０キロワットを超えるステップ増加およびステップ減少を付与されている間、多数のＩＣチップの温度をセットポイント温度の数度以内に維持できる温度制御システムが必要とされている。したがって、この発明の主な目的は、このようなシステムを提供することである。

【 0 0 0 8 】

【 発明の簡単な概要 】

この発明に従うと、テスト時にＩＣチップが電力消費の大きなステップ増加および大きなステップ減少を付与される間、ＩＣチップの温度をセットポイント付近で維持するためのシステムは、以下の構造を有する。

20

【 0 0 0 9 】

- １） 高温側流体がリザーバから熱交換器を通して循環してリザーバへと戻り、さらには熱交換器が高温側流体とＩＣチップとの間で伝導によって熱を伝達する、高温側流体回路と、
- ２） 熱交換器へと流れ込む流体の温度を示す入力温度信号を生成する入力温度センサと、
- ３） 熱交換器から流れ出る流体の温度を示す出力温度信号を生成する出力温度センサと、
- ４） 入力温度信号と出力温度信号との両者の関数として、リザーバへと戻る流体に熱を加える電気ヒータと、
- ５） 入力温度信号と出力温度信号との両者の関数として、低温側流体をリザーバに加えるアナログバルブとを有する。

30

【 0 0 1 0 】

ある動作モードでは、２つの条件のうちのいずれか一方が起こる場合に、ヒータは、リザーバに戻る流体に熱を加える。第１の条件は、入力温度が選択可能なセットポイント温度よりも低いことであり、第２の条件は、出力温度がセットポイント温度よりも低いことである。上述の、第２の条件による出力温度に基づいての熱の追加によって、「冷たすぎるルックアヘッド」フィーチャが提供され、これは、熱交換器内で冷たくなりすぎた流体がリザーバに戻されるのを防ぐ。冷たすぎる流体がリザーバに戻されると、リザーバ内のすべての流体の温度を訂正する必要がある。しかし、リザーバ内の流体は大きな熱質量を有するため、これは遅いプロセスである。

40

【 0 0 1 1 】

別の動作モードでは、２つの条件のうちのいずれか一方が起こる場合に、アナログバルブは低温側流体をリザーバに加える。第１の条件は、入力温度がセットポイント温度を超えることであり、第２の条件は、出力温度が入力温度を超えることである。第２の条件による出力温度に基づいての低温側流体の追加によって、「熱すぎるルックアヘッド」フィーチャが提供され、これは、熱交換器内で熱くなりすぎた流体がそれ自身でリザーバへと戻ることを防ぐ。したがって、リザーバ内のすべての流体の冷却という遅いプロセスが回避される。

【 0 0 1 2 】

50

上述の「冷たすぎるルックアヘッド」フィーチャおよび「熱すぎるルックアヘッド」フィーチャにより、ＩＣチップの温度が非常に正確に制御される。ある特定の実施例では、熱交換器へと流れ込む流体の温度は、選択可能なセットポイント温度 T_{SP} の ± 1 以内に保持される。さらに、すべてのＩＣチップの電力消費が２０キロワットを超える分だけ増加および／または減少している間に、流体温度のこの小さな変動が達成される。

【００１３】

【詳細な説明】

図１を参照して、この発明の好ましい実施例の詳細が説明される。この図１の実施例は、高温側流体がリザーバ１０からＮ組の熱交換器１１－１～１１－Ｎへと循環し、リザーバへと戻される高温側流体回路を含む。熱交換器１１－１～１１－Ｎの各々は、対応する組のＩＣチップに押圧されるように設計され、これによって、高温側流体とＩＣチップとの間で伝導によって熱が伝達される。結果として、ＩＣチップの温度は、高温側流体の温度とほぼ等しくなる。

10

【００１４】

高温側流体を熱交換器１１－１～１１－Ｎへと運び、さらにはリザーバに戻すために、高温側流体回路は、図示されるように相互結合された複数の配管１２ａ－１２ｉを含む。配管１２ａと１２ｂとの間には、温度センサ T_{S1} が結合され、これは、熱交換器１１－１～１１－Ｎへと流れ込む流体の温度を示す温度信号 S_{TIN} を生成する。

【００１５】

配管１２ｂと１２ｃの間にはバルブ V_1 が結合され、これは、デジタル制御信号 S_1 の「１」および「０」状態にそれぞれ応答して開閉する。同様に、配管１２ｄと１２ｅの間にはバルブ V_2 が結合され、これは、デジタル制御信号 S_2 の「１」および「０」状態にそれぞれ応答して開閉する。

20

【００１６】

バルブ V_2 の出力にはホットサンプ１３が結合され、ホットサンプの出力には温度センサ T_{S2} が結合される。このセンサ T_{S2} は出力信号 S_{TOT} を生成し、これは、熱交換器１１－１～１１－Ｎから流れ出る流体の温度を示す。

【００１７】

温度センサ T_{S2} の出力にはポンプ１４が結合される。ポンプの出力には電気ヒータ１５が結合される。ポンプ１４は、リザーバ１０から、負の圧力で熱交換器１１－１～１１－Ｎを通して高温側流体を吸引する。次に、ポンプ１４からの流体は、正の圧力でヒータ１５を通して流され、気圧と同じホットリザーバ１０に戻される。

30

【００１８】

図１の実施例には、低温側流体回路も含まれ、これは、低温側流体をリザーバ２０からＮ組の熱交換器２１－１～２１－Ｎへと循環させ、リザーバへと返す。熱交換器２１－１～２１－Ｎの各々は、ＩＣチップにＤＣ電力を供給する、対応する組の電源を冷却する。

【００１９】

低温側流体を熱交換器２１－１～２１－Ｎへと運び、さらにはリザーバへと返すために、低温側流体回路は、図示されるように相互結合された複数の配管２２ａ－２２ｈを含む。配管２２ａと２２ｂの間には温度センサ T_{S3} が結合され、これは、コールドリザーバ２０から流れ出る流体の温度を示す信号 S_{TCR} を生成する。

40

【００２０】

配管２２ｂと２２ｃの間にはバルブ V_5 が結合され、これは、デジタル制御信号 S_5 の「１」および「０」状態にそれぞれ応答して開閉する。同様に、配管２２ｄと２２ｅの間にはバルブ V_6 が結合され、これは、デジタル制御信号 S_6 の「１」および「０」状態にそれぞれ応答して開閉する。

【００２１】

バルブ V_6 の出力には、コールドサンプ２３が結合される。コールドサンプの出力には、ポンプ２４が結合される。ポンプ２４は、リザーバ２０から負の圧力で熱交換器２１－１～２１－Ｎを通して低温側流体を吸引する。次に、ポンプ２４からの流体は、正の圧力で

50

ラジエータ 25 を通して流され、コールドリザーバ 20 へと戻される。

【0022】

低温側流体回路では、電源の温度をそれほど精密に制御する必要がない。代わりに、電源の温度は、ある特定の最大動作温度よりも下に維持されてさえいればよい。この要件は、単純に低温側流体をラジエータ 25 に通すことによって満たされ得る。

【0023】

比較すると、高温側流体回路では、ICチップの温度を非常に精密に制御しなければならない。たとえば、ある特定の実施例でICチップの温度を制御するためには、熱交換器 11 - 1 ~ 11 - N へと流れる流体の温度は、選択可能なセットポイント温度 T_{SP} の ± 1 以内で保持されなければならない。さらに、 ± 1 という上述の要件は、すべての IC チップの電力消費が 20 キロワットを超える分だけ増加および/または減少する間に、満たされなければならない。

10

【0024】

熱交換器へと流れ込む流体の温度をセットポイント温度の ± 1 以内に保つために、図 1 の実施例は、温度コントローラ 30 を含む。この温度コントローラは、4 つの入力信号を受取り、応答で、それは 2 つの出力信号を生成する。

【0025】

温度コントローラ 30 への入力の中の 3 つは、温度センサ T_{S1} からの信号 S_{TIN} 、温度センサ T_{S2} からの信号 S_{TOT} 、および温度センサ T_{S3} からの信号 S_{TCR} である。第 4 の入力は、セットポイント温度を示す信号 S_{TSP} である。

20

【0026】

温度コントローラ 30 からの 2 つの出力は、信号 $S_{HOT}(n)$ および信号 $S_{COLD}(n)$ である。間もなく説明される図 3 は、温度コントローラ 30 のある好ましい実施例において、どのように出力信号が入力信号の関数として生成されるのかを詳細に表す 1 組の式を示す。

【0027】

温度コントローラ 30 からの出力信号 $S_{HOT}(n)$ はヒータ 15 へと送られる。その出力信号の大きさは、0 ボルトから 10 ボルトで変化し、ヒータ 15 がそこを通る流体に加える熱の量は、信号の大きさに比例する。

【0028】

30

出力信号 $S_{COLD}(n)$ は、低温側流体配管 22 h に結合されるアナログバルブ VA に送られる。その出力信号の大きさは、0 ボルトから 10 ボルトで変化し、バルブ VA が通す低温側流体の量は、信号の大きさに比例する。バルブ VA が通す低温側流体のすべてが、配管 22 i を通してホットリザーバ 10 へと送られる。

【0029】

ヒータ 15 は動かない部分を備えた電氣的な構成要素であるため、信号 $S_{HOT}(n)$ に対するその応答時間は比較的速い。比べてみると、バルブ VA は、バルブを開閉するために動く機械的な部分を有するため、信号 $S_{COLD}(n)$ に対するその応答時間は比較的遅い。しかし、バルブ VA の遅い応答は、図 3 に関連して詳細に説明される状態で、図 1 のシステム内で補償される。

40

【0030】

高温側流体が熱交換器 11 - 1 ~ 11 - N を通るとき、ICチップが消費している電力量が増加するにつれて、その流体の温度も上昇する。したがって、ICチップがそれらの最大電力を消費するとき、熱交換器 11 - 1 ~ 11 - N から出る高温側流体の温度は、セットポイント温度より上の最大量の分だけ上昇する。

【0031】

逆に、ICチップが電力をほとんど消費しないか、または全く消費しない場合、熱交換器 11 - 1 ~ 11 - N から出る高温側流体の温度は、セットポイント温度よりも低くなり得る。これは、セットポイントが周囲温度を超え、さらには循環している流体内で熱が損失された場合に、起こる。

50

【 0 0 3 2 】

しかし、信号 $S_{HOT}(n)$ および $S_{COLD}(n)$ を適切に生成することによって、ホットリザーバ 10 から熱交換器 11 - 1 ~ 11 - N へと流れる高温側流体の温度が制御されてセットポイント温度の ± 1 以内に維持される。熱交換器 11 - 1 ~ 11 - N から出る高温側流体の温度がセットポイントよりも下ならば、出力信号 $S_{HOT}(n)$ に応答してヒータ 15 によって熱がその高温側流体に加えられる。逆に、熱交換器 11 - 1 ~ 11 - N から出る高温側流体の温度がセットポイント温度よりも上ならば、出力信号 $S_{COLD}(n)$ に応答して低温側流体がホットリザーバ 10 に加えられる。

【 0 0 3 3 】

バルブ VA からの低温側流体用にホットリザーバ 10 内にゆとりを作るために、ホットリザーバ 10 の上部をコールドリザーバ 20 に結合するオーバーフロー配管 12 j が設けられる。配管 12 j を通るいずれの高温側流体も、最終的にはラジエータ 25 を通り、これによって、IC チップが生成した余分な熱が除去される。同様に、別のオーバーフロー配管 22 j が設けられ、これは、コールドリザーバ 20 の上部をホットリザーバ 10 に結合する。

【 0 0 3 4 】

図 1 の実施例には、テスト信号コントローラ 40 も含まれる。動作において、テスト信号コントローラ 40 は、信号線 31 - 1 ~ 31 - N 上で IC チップをテストするテスト信号を送る。加えて、テスト信号コントローラ 40 は、テストされている IC チップからの応答として信号線 32 - 1 ~ 32 - N 上で出力信号を受取る。

【 0 0 3 5 】

また、テスト信号コントローラ 40 は、バルブ V1 から V6 を開閉する信号 S1 から S6 を生成する。加えて、テスト信号コントローラ 40 は、チップがテストされるべきセットポイント温度を特定する信号 S_{TSP} を生成する。

【 0 0 3 6 】

この発明の目的のためには、テスト信号コントローラ 40 のいかなる内部構造も用いられ得る。したがって、テスト信号コントローラ 40 は、汎用デジタルコンピュータ等の、上述の目標を実行できるいずれのコントローラであってもよい。

【 0 0 3 7 】

図 2 を参照して、図 1 のシステムが動作する全時間シーケンスを例示するある例が説明される。まず、時間 t_0 から時間 t_1 では、テストされるべき IC チップが、図 1 のシステムに挿入され、熱交換器 11 - 1 ~ 11 - N に接触して置かれる。

【 0 0 3 8 】

次に、時間 t_1 では、バルブ V1、V2、V5、および V6 が開けられる。これによって、高温側流体が熱交換器 11 - 1 ~ 11 - N を通って流され、これによって、低温側流体が熱交換器 21 - 1 ~ 21 - N を通って流される。

【 0 0 3 9 】

時間 t_1 から時間 t_2 では、信号線 31 - 1 ~ 31 - N を介して IC チップにテスト信号は送られない。したがって、時間 t_1 から時間 t_2 では、すべての IC チップの全電力消費はほぼ 0 であり、IC チップは、高温側流体によってセットポイント温度にまで加熱される。

【 0 0 4 0 】

その後、 t_2 から時間 t_3 では、ある特定のシーケンスのテスト信号を信号線 31 - 1 ~ 31 - N 上で送ることによって、3 組の IC チップが「テスト A」を受ける。次に、時間 t_3 から時間 t_4 では、信号線 31 - 1 ~ 31 - N 上で第 2 のシーケンスのテスト信号を送ることにより、14 組の IC チップが「テスト B」を受ける。時間 t_4 から時間 t_5 では、信号線 31 - 1 ~ 31 - N 上で第 3 のシーケンスのテスト信号を送ることによって、8 組の IC チップが「テスト C」を受ける。

【 0 0 4 1 】

テストされている IC チップ数が増加するたびに、IC チップが消費する全電力のステッ

ブ増加が生じる。したがって、全 IC チップ電力消費のステップ増加は、時間 t_2 と時間 t_3 とで生じる。

【0042】

逆に、テストされている IC チップ数が減少するたびに、IC チップが消費する全電力のステップ減少が生じる。したがって、ステップ減少は、時間 t_4 と時間 t_5 とで生じる。

【0043】

時間 t_2 から時間 t_5 で起こるチップテストシーケンスを通して、ホットリザーバ 10 内の流体の温度は、セットポイント温度の ± 1 以内に維持されなければならない。これは、2つの出力信号 $S_{HOT}(n)$ および $S_{COLD}(n)$ を変化させることによって温度コントローラ 30 を介して図 1 のシステム内で達成され、これは、参照番号 30a によって図 2 内で示される。 10

【0044】

IC チップのテストが完了すると、それらは時間 t_5 から時間 t_6 で急速に冷却され、熱交換器 11-1 ~ 11-N から除去され、他の IC チップと取換えられ得る。この急速な冷却は、バルブ V3 および V4 を開け、バルブ V1 および V2 を閉じることによって達成される。結果として、低温側流体がコールドリザーバ 20 から、熱交換器 11-1 ~ 11-N を通って流れる。その後、時間 t_6 から時間 t_7 で、IC チップは除去され、全時間シーケンスが時間 t_0 から始まって繰返され得る。

【0045】

次に、図 3 を参照して、温度コントローラ 30 のある好ましい実施例の内部詳細が説明される。この温度コントローラ 30 は、4つの入力信号 S_{TIN} 、 S_{TOUT} 、 S_{TCR} 、および S_{TSP} を受取り、応答で、それは2つの出力信号 $S_{HOT}(n)$ および $S_{COLD}(n)$ を生成し、これらは図 3 の式 1 から式 6 で示される。 20

【0046】

式 1 は、熱交換器 11-1 ~ 11-N へと流れ込む流体の温度内の誤差 $e_{IN}(n)$ を特定する。この誤差 $e_{IN}(n)$ は温度コントローラ 30 の内部で計算されるが、これは、信号 S_{TIN} をサンプリングし、さらには低域フィルタリングして結果値 $T_{IN}(n)$ を得て、次に $T_{IN}(n)$ からセットポイント温度 T_{SP} を減じることによって、計算される。ここで、フィルタリングによって、温度センサ TS1 が生成し得るいずれの高周波ノイズも除去される。 30

【0047】

式 2 は、熱交換器 11-1 ~ 11-N より流れ出る流体の温度内の誤差 $e_{OUT1}(n)$ を特定する。この誤差 $e_{OUT1}(n)$ は温度コントローラ 30 の内部で計算されるが、これは、信号 S_{TOUT} をサンプリングし、さらには低域フィルタリングして結果値 $T_{OUT}(n)$ を得て、次に $T_{OUT}(n)$ からセットポイント温度 T_{SP} を減じることによって、計算される。ここで、フィルタリングによって、温度センサ TS2 が生成し得るいずれの高周波ノイズも除去される。

【0048】

式 3 は、熱交換器 11-1 ~ 11-N から流れ出る流体の温度内の別の誤差 $e_{OUT2}(n)$ を特定する。この誤差 $e_{OUT2}(n)$ は、 $T_{OUT}(n)$ から $T_{IN}(n)$ を減じ、さらにはオフセット T_{OFF} を結果値に加えることによって、温度コントローラ 30 の内部で計算される。 40

【0049】

誤差 $e_{IN}(n)$ が負であり、さらには絶対値において 3 よりも大きい場合、ヒータ 15 はその最大電力で熱を生成し、バルブ VA が閉じられる。この動作モードは、式 4 によって表わされ、ここでは、出力信号 $S_{HOT}(n)$ は 10 ボルトとして生成され、出力信号 $S_{COLD}(n)$ は 0 ボルトとして生成される。

【0050】

誤差信号 $e_{IN}(n)$ が正であり、さらには絶対値において 3 よりも大きい場合、バルブ VA が完全に開かれ、ヒータ 15 はオフにされる。この動作モードは式 5 によって表わ 50

され、ここでは、出力信号 $S_{COLD}(n)$ は 10 ボルトとして生成され、出力信号 $S_{HOT}(n)$ は 0 ボルトとして生成される。

【0051】

誤差 $e_{IN}(n)$ が -3 から +3 である場合、出力信号 $S_{HOT}(n)$ および $S_{COLD}(n)$ は、式 6 によって表わされるように生成される。ここで、出力信号は、3つの誤差項 $e_{IN}(n)$ 、 $e_{OUT1}(n)$ 、および $e_{OUT2}(n)$ 、および以下の表 1 で定義されるいくつかのパラメータの関数である。

【0052】

表 1

q_{max} - 最大ヒータ電力 (kW)
 QC_{max} - ホットタンクへの最大の低温側流れ (gpm)
 Q_{max} - 最大の高温側 (hot side) 流量 (gpm)
 T_{sp} - セットポイント温度 ()
 K_p - 比例ゲイン (kW /)
 K_d - 微分ゲイン比 (s)
 K_i - 積分ゲイン比 (1 / s)
 - 流体密度 (kg / m³)
 C_p - 流体に特有の熱 (J / kg /)
 t - 2つの連続するサンプル間の時間 (s)

10

【0053】

式 6 では、出力信号 $S_{HOT}(n)$ および $S_{COLD}(n)$ の各々は、最小値 0 ボルトおよび最大値 10 ボルトに限定される。したがって、信号 $S_{HOT}(n)$ のための数式 51 内のすべての項の和が負の数ならば、信号 $S_{HOT}(n)$ の実際の値は 0 ボルトである。同様に、信号 $S_{COLD}(n)$ のための数式 52 が負ならば、信号 $S_{COLD}(n)$ の実際の値は 0 ボルトである。同様に、数式 51 または 52 が 10 を超えるならば、対応する信号の実際の値は 10 ボルトである。

20

【0054】

数式 51 は、項 $K_p(e_{IN}(n))$ および項 $C_p Q_{max}(e_{OUT1}(n))$ を含む。上述の第 1 の項のために、セットポイント温度が熱交換器 11-1 ~ 11-N へと流れている流体の温度を超える場合、ヒータ 15 はリザーバ 10 に戻る流体に熱を加える。上述の第 2 の項のために、セットポイント温度が熱交換器 11-1 ~ 11-N から流れ出る流体の温度を超える場合、ヒータ 15 はリザーバ 10 に戻る流体に熱を加える。

30

【0055】

上述の第 2 の項は、「冷たすぎるルックアヘッド」フィーチャを提供する。このフィーチャは非常に有用である。なぜならば、これによって、冷たすぎる流体がホットリザーバ 10 に戻されることが妨げられるためである。冷たすぎる流体がホットリザーバ 10 に入ると、リザーバ 10 内のすべての流体の温度を訂正する必要がある。しかし、ホットリザーバ 10 内のすべての流体の温度を訂正することは、その流体が大きな熱質量を有するため、遅いプロセスである。

【0056】

好ましくは、ホットリザーバ 10 内の流体の量は、熱交換器 11-1 ~ 11-N が接触する 50 の IC チップごとに少なくとも 1 リットルである。また、ある好ましい流体はシリコン油である。したがって、たとえば、30 リットルのシリコン油のシステムでは、リザーバ 10 内の流体の熱質量は、40 キロジュール / を超える。

40

【0057】

同様に、数式 52 は項 $K_p(e_{IN}(n))$ および項 $C_p Q_{max}(e_{OUT2}(n))$ を含む。上述の第 1 の項のために、熱交換器 10-1 ~ 10-N へと流れ込む流体の温度がセットポイント温度を超える場合、バルブ VA は低温側流体をリザーバ 10 に加える。上述の第 2 の項のために、熱交換器 11-1 ~ 11-N から流れ出る流体の温度が熱交換器へと流れ込む流体の温度を超える場合、バルブ VA は低温側流体をホットリザーバ 1

50

0に加える。

【0058】

上述の第2の項は「熱すぎるルックアヘッド」フィーチャを提供し、これは、熱すぎる流体がホットリザーバ10に戻されることを防ぐ。熱すぎる流体がホットリザーバ10に入ると、ホットリザーバ内のすべての流体の温度を冷却する必要がある、これは、ホットリザーバ内の流体は大きな熱質量を有するため、遅いプロセスである。

【0059】

また、式6内の数式51および52のため、信号 $S_{HOT}(n)$ および $S_{COLD}(n)$ の両者は同時に正の値を有し得る。これが起こると、ヒータ15はホットリザーバ10に戻る流体に熱を加え、低温側流体が同時にバルブVAを介してホットリザーバ10へと通される。ヒータ15によって熱が加えられている間に、バルブVAを通る低温側流体の量を増加させるために、式3内のオフセット項 T_{OFF} が増大される。

【0060】

上述の同時の動作モードの1つの特徴は、バルブVAが出力信号 $S_{COLD}(n)$ に対してゆっくりと反応し得て、同時に、バルブVAおよびヒータ15からホットリザーバ10に入る高温側流体と低温側流体との和によって、急速な冷却効果が達成され得ることである。この急速な冷却を達成するために、バルブVAを通る低温側流体の流れがゆっくりと増加するか、または一定にとどまる間に、ヒータ15の加熱電力は出力信号 $S_{HOT}(n)$ を介して急速に減じられる。

【0061】

急速な冷却効果のこの特徴は、望ましいものである。なぜならば、バルブVAは機械的な構成要素であって、その動作速度は本来、機械的慣性によって制限されるためである。最低でも、ヒータ15の応答時間は、バルブVAの応答時間の少なくとも2倍の速さであり、典型的には、ヒータ15はバルブVAよりも少なくとも10倍早く動作する。この急速な冷却効果は、以下のような場合に用いられる。すなわち、テストされているICチップが、電力消費の大きなステップ増加を付与され、熱交換器11-1~11-Nからの流体の温度の急速な上昇を引起す場合に、用いられる。

【0062】

次に、図4Aから図4Cを参照して、図1から図3のシステムのコンピュータシミュレーションが示される。このシミュレーションでは、熱交換器11-1~11-Nの各々は、それぞれの、6つのICチップの組と接触し、各熱交換器は、ホットリザーバ10から、そのそれぞれの直列の6つのICチップを通して流体を運んだ。

【0063】

また、このシミュレーションでは、乱数発生を用いて温度センサTS1-TS3からの信号にノイズを導入し、デジタル低域フィルタを用いてノイズを除去した。このシミュレーション内で用いられたすべてのパラメータが以下の表2で示される。

【0064】

表2

$q_{max} = 24 \text{ kW}$
 $Q_{C_{max}} = 8 \text{ gpm}$
 $Q_{m_{ax}} = 67 \text{ gpm}$
 $T_{sp} = 110$
 $t = 0.025 \text{ 秒}$
 $= 8 \text{ 秒}$
 $K_p = 4 \text{ kW/}$
 $K_d = 12 \text{ 秒}$
 $K_i = 0.4 / \text{秒}$
 $= 1700 \text{ kg/m}^3$
 $C_p = 855 \text{ J/kg/}$
 $N = 140$

10

20

30

40

50

【 0 0 6 5 】

上述のシミュレーションでの時間 $t = 0$ から $t = 150$ 秒では、すべてのチップの電力消費は0であった。次に、時間 $t = 150$ 秒では、各 IC チップの電力消費は、0 ワットから 30 ワットへとステップ増加を付与された。その後、IC チップの電力消費は時間 $t = 350$ 秒までは変化せず、この時間で、それは0 ワットへとステップ減少を付与された。

【 0 0 6 6 】

図 4 A では、熱交換器 11 - 1 ~ 11 - N へと流れ込む流体の温度は、 T_{IN} のプロットによって図示される。図 4 A ではまた、熱交換器 11 - 1 ~ 11 - N から流れ出る流体の温度は、 T_{OUT} のプロットによって図示される。

【 0 0 6 7 】

図 4 B では、バルブ VA が開かれている量が、全開率として示される。同様に、図 4 C では、ヒータ 15 がオンにされる量が、完全にオンである状態のパーセンテージとして示される。図 4 B と図 4 C との両者は、図 3 の式 1 - 6 から作られる。

【 0 0 6 8 】

$t = 150$ 秒で起こる電力増加のために、熱交換器 11 - 1 ~ 11 - N から流れ出る流体の温度は急速に上昇し、これは、図 4 A の T_{OUT} のプロットによって示される。しかし、熱交換器 11 - 1 ~ 11 - N から流れ出る流体の温度が急速に上昇している間、熱交換器へと流れ込む流体の温度は、図 4 A の T_{IN} のプロットが示すように、本質的に一定にとどまる。この結果は、時間 $t = 150$ 秒から $t = 350$ 秒において図 4 B および図 4 C で示されるように、バルブ VA を通る低温側流体を変化させ、さらにはヒータ 15 からの熱を変化させることによって、達成される。

【 0 0 6 9 】

$t = 350$ 秒で起こる電力減少のために、熱交換器 11 - 1 ~ 11 - N から流れ出る流体の温度は急速に低下し、これは T_{OUT} のプロットによって示される。しかし、熱交換器 11 - 1 ~ 11 - N から流れ出る流体の温度が急速に低下している間、熱交換器へと流れ込む流体の温度は、図 4 A の T_{IN} のプロットで示されるように、本質的に一定にとどまる。この結果は、時間 $t = 350$ 秒から時間 $t = 450$ 秒において図 4 B および図 4 C で示されるように、バルブ VA を通る低温側流体を変化させ、ヒータ 15 からの熱を変化させることによって、達成される。

【 0 0 7 0 】

図 5 を参照して、これは、実際に構築された図 1 から図 3 のシステムから得られた温度測定値を示す。このシステムでは、熱交換器 11 - 1 ~ 11 - N の各々は、それぞれの、6 つの IC チップの組と接触し、各熱交換器は、ホットリザーバ 10 から、そのそれぞれの直列の 6 つのチップを通して流体を運んだ。この実際のシステムのためのすべてのパラメータは、 T_{SP} が 110 ではなく 105 に等しいこと以外は、表 2 で示されるものと同じである。

【 0 0 7 1 】

図 5 では、熱交換器 11 - 1 ~ 11 - N へと流れ込む流体の温度は、 T_{IN} で示される曲線によって図示される。図 5 ではまた、熱交換器 11 - 1 ~ 11 - N から流れ出る流体の温度は、 T_{OUT} で表わされる曲線によって図示される。

【 0 0 7 2 】

図 5 の時間 $t = 0$ 秒から $t = 150$ 秒では、すべての IC チップの全電力消費は 0 ワットである。次に、時間 $t = 150$ 秒では、すべての IC チップの全電力消費は 0 キロワットから 26.2 キロワットへとステップ増加を付与される。その後、すべての IC チップの全電力消費は、時間 $t = 500$ 秒までは 26.2 キロワットにとどまり、この時間で、それは 0 ワットへとステップ減少を付与される。

【 0 0 7 3 】

図 5 の曲線 T_{IN} を観察すると、熱交換器 11 - 1 ~ 11 - N へと流れ込む流体の温度は、時間 $t = 0$ 秒から $t = 700$ 秒ではわずかに ± 0.2 だけ変化することが示される。これは驚くべき結果である。なぜならば、図 5 ではまた、温度 T_{OUT} が、時間 $t = 150$

10

20

30

40

50

0 秒で 4 を超える分だけ急速に上昇し、時間 $t = 500$ 秒で 4 を超える分だけ急速に低下することが示されているためである。

【0074】

次に、図 6 を参照して、温度コントローラ 30 のある好ましい内部構造が説明される。このある特定の内部構造は、以下のように識別されるいくつかの構成要素 51a - 55 を含む。

【0075】

構成要素 51a - 51c はサンプルアンドホールド回路である。構成要素 52a - 52c はアナログ - デジタルコンバータである。構成要素 53a - 53c はデジタル低域フィルタである。構成要素 54a - 54c はデジタル減算器である。構成要素 55 は、上で説明された図 3 の式 4 - 6 によって規定される算術演算を行なうデジタル回路である。 10

【0076】

動作において、温度信号 ST_{IN} 、 ST_{OUT} 、および ST_{CR} が、それぞれ構成要素 51a、51b、および 51c によってサンプリングされる。次に、これらのサンプルは、アナログサンプルからデジタルサンプルへと構成要素 52a、52b、および 52c によって変換される。その後、デジタルサンプルは、低域フィルタ 53a、53b、および 53c を通して送られて、サンプリングされ、かつフィルタリングされた温度信号 $T_{IN}(n)$ 、 $T_{OUT}(n)$ 、および $T_{CR}(n)$ が生成される。

【0077】

構成要素 54a、54b、および 54c は、それぞれ誤差信号 $e_{IN}(n)$ 、 $e_{OUT1}(n)$ 、および $e_{OUT2}(n)$ を生成する。これは、図 3 の式 1、2、および 3 に従って行なわれる。次に、誤差信号はデジタル演算回路 55 によって操作されて図 3 の式 4 - 6 に従ってヒータ制御信号 $S_{HOT}(n)$ およびアナログバルブ制御信号 $S_{COLD}(n)$ が生成される。 20

【0078】

次に、図 7 の式 10 を参照して、低域フィルタ 53a - 53c の、ある実施例が説明される。式 10 では、デジタル方式でサンプリングされるいずれかの信号 “A” を低域フィルタリングするために、ある数式が = 記号の右側に与えられている。式 10 では、項 $A(n)$ 、 $A(n-1)$ 等が、信号 “A” の連続的なサンプルを表し、項 $A_F(n)$ がフィルタリングされた結果を表す。式 10 ではまた、項 “t” が連続的なサンプル間の時間間隔であり、項 “ ” がフィルタの時間定数である。 30

【0079】

図 7 はさらに式 11 および式 12 を示し、これらがそれぞれ用いられて図 6 のデジタル演算回路 55 内の微分関数およびインターバル関数を実現される。式 11 および式 12 では、項 $e_{IN}(n)$ 、 $e_{IN}(n-1)$ 等は、信号 “ e_{IN} ” であってその微分および積分が生成されるべき信号 “ e_{IN} ” の連続的なサンプルを表す。式 11 および式 12 ではまた、項 “t” が連続的なサンプル間の時間であり、項 “ ” が、長期の積分誤差を除去するために用いられる指数関数的減衰定数である。

【0080】

この発明のある好ましい実施例が、図 1 から図 7 とともに詳細に説明されてきた。しかし、加えて、この好ましい実施例には種々の変更および変形が可能であり、これらの変更のうちのいくつかが図 8 に関連して説明される。 40

【0081】

ある変形例として、図 3 の式 3 は、項 $T_{IN}(n)$ が項 T_{SP} によって置き換えられるように、変更され得る。この変更は、図 8 で Mod 1 として識別される。

【0082】

別の変形例として、図 3 の式 6 が変更されて、信号 $S_{HOT}(n)$ のための数式が誤差 $e_{OUT1}(n)$ の微分および / または積分である項を含むようにされてもよい。この変更は、図 8 で Mod 2 として示される。

【0083】

同様に、図3の式6に対する別の変更として、信号 $S_{COLD}(n)$ のための数式は、誤差 $e_{OUT2}(n)$ の微分および/または積分である項を含むように変更され得る。この変更は、図8でMod 3として識別される。

【0084】

また、別の変形例として、図3の式6が変更されて、信号 $S_{COLD}(n)$ のための数式で、分母項 $T_{SP} - T_{CR}(n)$ が T_{SP} -定数で置き換えられるようにされてもよい。図8では、この変更はMod 4として示される。

【0085】

さらなる変形例として、図3の式3および式4は、 -3 および $+3$ の限界値が他のいかなる所望の限界値になるように、変更され得る。図8では、この変更はMod 5として示される。 10

【0086】

別の変形例として、パージングメカニズムが、図1の高温側流体回路および/または低温側流体回路に加えられ得る。このようなパージングメカニズムは、(高温側流体回路または低温側流体回路によって空気の漏れができる場合に生じる)気泡を流体から除去するであろう。このようなパージングメカニズムの一例は、本発明の譲受人に譲渡された米国特許第5,048,599号で説明されている。図8では、この変更はMod 6として示される。

【0087】

別の変形例として、図1のシステムの高温側流体回路および/または低温側流体回路は、正の圧力でのみ実行され得る。これは、ポンプ14の位置をホットリザーバ10の出力に移動させることによって、および/またはポンプ24の位置を低温側流体リザーバ20の出力に移動させることによって、達成される。図8では、この変更はMod 7として示される。 20

【0088】

さらなる別の変形例として、温度センサ T_{S1} 、 T_{S2} 、および T_{S3} のうちの1つ以上の位置を変更してもよい。たとえば、センサ T_{S1} をバルブ $V1$ の出力に移動させてもよく、センサ T_{S2} をバルブ $V2$ の入力に移動させてもよく、さらにはセンサ T_{S3} をコールドリザーバ20の入力に移動させてもよい。図8では、この変更はMod 8として示される。 30

【0089】

さらなる別の変形例として、熱交換器 $11-1 \sim 11-N$ を用いて、ICチップだけではなくいかなる種類の電氣的構成要素の温度も調整することができる。さらに、熱交換器 $11-1 \sim 11-N$ がICチップの温度を実際に調整する場合には、これらのICチップはいずれかの種類のICパッケージに組込まれ得るか、またはそれらはパッケージ内に全く入っていないくてもよい。図8では、この変更はMod 9として示される。

【0090】

同様に、図1のシステムでは、熱交換器 $21-1 \sim 21-N$ を用いて、電源だけではなくいかなる種類の電氣的構成要素も冷却することができる。図8では、この変更はMod 10として識別される。 40

【0091】

さらに図1のシステムでは、ラジエータ25は、熱を低温側流体から抽出するいかなるメカニズムで置換されてもよい。たとえば、ラジエータ25は、液体から液体の($liquid-to-liquid$)熱交換器で置換され得る。図8では、この変更はMod 11として示される。

【0092】

さらなる別の変形例では、ICチップに接触する熱交換器 $11-1 \sim 11-N$ は、所望のいかなる構造も有し得る。好ましくは、接触する各ICチップに対して、熱交換器 $11-1 \sim 11-N$ は、ICチップの配向が変わった場合でさえもICチップ上の対応する面と噛み合うように動く面を有する別個のジャケットを含む。このような構造の一例は、米国 50

特許第 4, 809, 134 号で示されており、ここでは、アイテム 12a の各々は別個の IC チップのための可動ジャケットである。同様に、熱交換器 21-1 ~ 21-N の各々も、所望のいかなる構造も有し得る。

【0093】

さらなる別の変形例として、テストされている IC チップの電力消費におけるステップ変化は、図 2 で例示されるもの以外の多くのシーケンスにおいて起こり得る。たとえば、電力消費のステップ増加は、テストされている IC チップの数は一定のままで、テスト “X” からテスト “Y” への変化によっても起こされ得る。同様に、電力消費のステップ減少は、テストされている IC チップの数は一定のままで、テスト “Y” からテスト “Z” への変化によっても起こされ得る。

10

【0094】

さらに、別の変形例として、遅い応答時間を有するバルブ VA と速い応答時間を有するヒータ 15 とを用いて急速な冷却効果を得るという特徴は、単一の温度のみが図 1 の高温側流体回路内で検出される場合でさえも、達成され得る。たとえば、この急速な冷却効果は、図 1 内の温度センサ TS2 を取除き、さらには図 3 の式 2 が式 3 と等しくなるようにそれを変化させることによって、達成され得る。この変形例では、バルブ VA を通る低温側流体の流れがゆっくりと変化しながら、または一定のままで、ヒータ 15 の加熱電力は依然として出力信号 $S_{HOT}(n)$ によって急速に減じられる。

【0095】

上述の変形例のすべてに関して、この発明は、図 1 から図 7 の好ましい実施例の詳細に限定されず、添付の請求項によって規定されることが理解されるべきである。

20

【図面の簡単な説明】

【図 1】この発明に従った、流体を用いて IC チップの温度を調整するためのシステムの好ましい実施例を示す図である。

【図 2】図 1 のシステムが動作する全時間シーケンスの例を示す図である。

【図 3】図 1 のシステム内にある温度コントローラのある好ましい実施例の内部の詳細を特定する 1 組の式を示す図である。

【図 4A】図 1 のシステムがどのように動作するのかのコンピュータシミュレーションの結果を示す図である。

【図 4B】図 1 のシステムがどのように動作するのかのコンピュータシミュレーションの結果を示す図である。

30

【図 4C】図 1 のシステムがどのように動作するのかのコンピュータシミュレーションの結果を示す図である。

【図 5】実際に構築された図 1 から図 3 のシステムから得られたある特定の温度測定値を例示する 1 組の曲線を示す図である。

【図 6】図 1 のシステム内にある温度コントローラのある好ましい実施例の内部構造を示す図である。

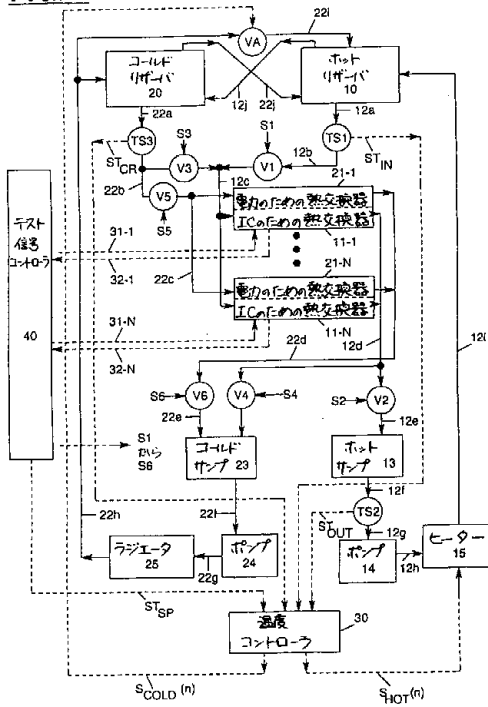
【図 7】どのようにして図 6 の温度コントローラが低域フィルタ関数、微分関数、および積分関数をデジタル方式で実行して図 3 の式を実現し得るのかを示す図である。

【図 8】図 1 から図 7 で示される IC チップの温度を調整するためのシステムの好ましい実施例に可能であり得る種々の変更および変形を識別する図である。

40

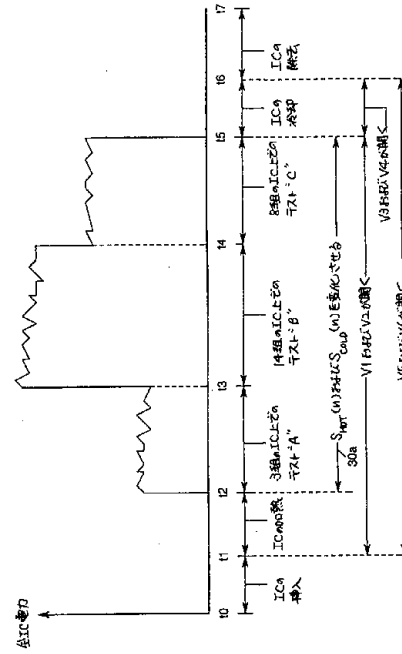
【図 1】

FIG. 1



【図 2】

FIG. 2



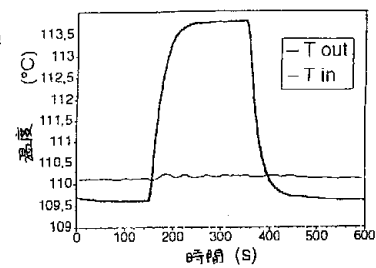
【図 3】

FIG. 3

$$\begin{aligned}
 \text{式 1} \rightarrow e_{IN}(n) &= T_{IN}(n) - T_{sp} \\
 \text{式 2} \rightarrow e_{OUT1}(n) &= T_{OUT}(n) - T_{sp} \\
 \text{式 3} \rightarrow e_{OUT2}(n) &= T_{OUT}(n) - T_{IN}(n) \cdot T_{OFF} \\
 \text{式 4} \rightarrow e_{IN}(n) &< -3.0^\circ\text{C} \cdot T_{sp} \cdot S_{HOT}(n) = 10V \text{ 以上 } S_{COLD}(n) = 0V \\
 \text{式 5} \rightarrow e_{IN}(n) &> 3.0^\circ\text{C} \cdot T_{sp} \cdot S_{HOT}(n) = 0V \text{ 以上 } S_{COLD}(n) = 10V \\
 \text{式 6} \rightarrow \text{ICa 動作} &\text{は、} \Delta T_{sp} \text{ が } 0V \text{ 以上 } S_{HOT}(n) \text{ と } S_{COLD}(n) \text{ とを比較して決定される} \\
 S_{HOT}(n) &= \frac{-10V}{q_{max}} \left[\rho C_p Q_{max} e_{OUT1}(n) + K_d \frac{d}{dt} e_{IN}(n) + K_i \int e_{IN}(n) dt \right] \leftarrow S1 \\
 S_{COLD}(n) &= \frac{10V}{Q_{cmax}} \left[\rho C_p Q_{max} e_{OUT2}(n) + K_d \frac{d}{dt} e_{IN}(n) + K_i \int e_{IN}(n) dt \right] \leftarrow S2
 \end{aligned}$$

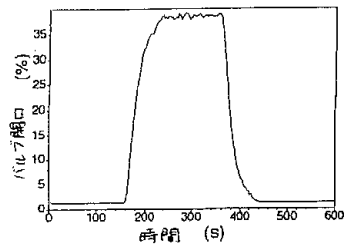
【図 4 A】

FIG. 4A



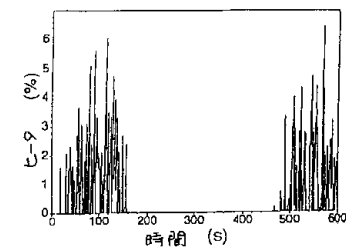
【図 4 B】

FIG. 4B



【図 4 C】

FIG. 4C



【国際公開パンフレット】

(12) INTERNATIONAL APPLICATION PUBLISHED UNDER THE PATENT COOPERATION TREATY (PCT)

(19) World Intellectual Property Organization
International Bureau(43) International Publication Date
29 November 2001 (29.11.2001)

PCT

(10) International Publication Number
WO 01/90766 A2

- (51) International Patent Classification: G01R 31/00 BABCOCK, James, Wiltman; 1248 Via Souders Vista, Redondo, CA 92629 (US).
- (21) International Application Number: PCT/US01/13718
- (22) International Filing Date: 30 April 2001 (30.04.2001) (74) Agent: STARR, Mark, T.; Unisys Corporation, Township Line and Union Meeting Roads, P.O. Box 500, Blue Bell, PA 19424-0001 (US).
- (25) Filing Language: English (81) Designated State (national): JP.
- (26) Publication Language: English (84) Designated States (regional): European patent (AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE, TR).
- (30) Priority Data: 09/574,784 19 May 2000 (19.05.2000) US
- (71) Applicant: UNISYS CORPORATION [US/US]; Township Line and Union Meeting Roads, P.O. Box 500, Blue Bell, PA 19424-0001 (US).
- Published:
— without international search report and to be republished upon receipt of that report
- (72) Inventors: TUSTANIWSKYJ, Jerry, Thor; 26822 Avocado Domingo, Mission Viejo, CA 92691 (US).
- For two-letter codes and other abbreviations, refer to the "Guidance Notes on Codes and Abbreviations" appearing at the beginning of each regular issue of the PCT Gazette.



WO 01/90766 A2

- (54) Title: SYSTEM FOR REGULATING THE TEMPERATURE OF IC-CHIPS WITH A FLUID WHICH IS HEATED AND COOLED AS A FUNCTION OF THE FLUID TEMPERATURES TO AND FROM HEAT EXCHANGERS FOR THE IC-CHIPS
- (57) Abstract: A chip burn-in system maintains the temperature of IC-chips near a set point, while the IC-chips undergo large step increases and large step decreases in power dissipation as they are tested. The system includes a hot fluid circuit in which a hot fluid circulates from a reservoir through heat exchangers and back to the reservoir, and in which the heat exchangers exchange heat by conduction between the hot fluid and the IC-chips. In one mode of operation, a heater adds heat to the fluid that is returning to the reservoir based on a "too cold look ahead" feature. In another mode of operation, an analog valve adds cold fluid to the reservoir based on a "too hot look ahead" feature. Due to these "too cold look ahead" and "too hot look ahead" features, the temperature of the fluid which flows into the heat exchangers is held within $\pm 1^\circ\text{C}$ of the set point while the power dissipation of the IC-chips steps up and/or steps down by over twenty kilowatts.

WO 01/90766

PCT/US01/13718

1

5

10

TITLE: SYSTEM FOR REGULATING THE TEMPERATURE OF IC-CHIPS
WITH A FLUID WHICH IS HEATED AND COOLED AS A
FUNCTION OF THE FLUID TEMPERATURES TO AND FROM
HEAT EXCHANGERS FOR THE IC-CHIPS

20

BACKGROUND OF THE INVENTION:

25

The present invention relates to temperature control systems for integrated circuit chips (IC-chips). More particularly, the present invention relates to temperature control systems which circulate a fluid thru heat exchangers that are coupled to the IC-chips such that the temperature of the IC-chips stays within a few degrees of a selectable set point while the IC-chips undergo large step increases and large step decreases in power dissipation as they are tested.

35

SUBSTITUTE SHEET (RULE 26)

WO 01/90766

PCT/US01/13718

2

After an IC-chip is initially fabricated, it must be tested in order to determine if all of the circuitry which is in the IC-chip operates properly. This testing is often done via a "burn-in" test wherein the IC-chip is kept above its normal operating temperature while it is sent a series of test signals. Such a burn-in test is performed because it greatly shortens the time period during which certain types of failures will occur within the IC-chip, if those failures are going to occur at all.

In the prior art, the burn-in test usually is performed by the steps of- 1) placing multiple IC-chips in sockets on several printed circuit boards, 2) moving the printed circuit boards that are holding the IC-chips into an enclosed tester which has a heater, and 3), blowing hot air from the heater with fans such that the hot air flows across the IC-chips while they are sent the test signals. Such an enclosed tester, with its heater and fans, is relatively inexpensive; however, it has several major limitations.

For example, as the number of transistors within a single IC-chip increases, the maximum amount of electrical power which the IC-chip dissipates also increases. Thus, a point is eventually reached where the maximum variation in power dissipation of multiple

30

SUBSTITUTE SHEET (RULE 26)

WO 01/90766

PCT/US01/13718

3

IC-chips on several printed circuit boards is simply too large to be regulated by convection with air.

Also, it sometimes is desirable to sequentially test different subsets of the IC-chips which are held on the printed circuit boards; rather than test all of the IC-chips at the same time. But when the number of IC-chips that are being tested changes from a small subset to a large subset, then a large step increase will occur in their total power dissipation. This step increase occurs because the IC-chips that are being sent the test signals dissipate a much larger amount of power than the IC-chips that are not being sent the test signals. Similarly, when the number of IC-chips that are being tested changes from a large subset to a small subset, then a large step decrease in their total power dissipation will occur.

The above step increase and step decrease in power dissipation presents a particularly difficult problem because while the testing occurs, the temperature of the IC-chips needs to be precisely maintained within just a few degrees of a set point temperature. However, when power dissipation of the IC-chips takes a step up, the amount of heat which must be removed from the IC-chips in order to keep their temperature constant increases rapidly. Likewise, when the power dissipation of the IC-chips takes a step down, the amount of heat which must be added to the IC-chips in order to keep their temperature constant decreases rapidly.

Currently in the integrated circuit industry, there is a need for a temperature control system which can maintain the temperature of multiple IC-chips within a few degrees of a set point temperature while their total power dissipation undergoes step increases and step decreases of over twenty-kilowatts. Accordingly, a primary object of the present invention is to provide such a system.

BRIEF SUMMARY OF THE INVENTION:

In accordance with the present invention, a system for maintaining the temperature of IC-chips near a set point, while the IC-chips undergo large step increases and large step decreases in power dissipation as they are tested, has the following structure:

- 1) a hot fluid circuit in which a hot fluid circulates from a reservoir through heat exchangers and back to the reservoir, and in which the heat exchangers transfer heat by conduction between the hot fluid and the IC-chips;
- 2) an input temperature sensor which generates an input temperature signal that indicates the temperature of the fluid flowing into the heat exchangers;
- 3) an output temperature sensor which generates an output temperature signal that indicates the temperature of the fluid flowing out of the heat exchangers;
- 4) an electric heater which adds heat to the fluid returning to the reservoir as a function of both the input temperature signal and the output temperature signal; and,
- 5) an analog valve which adds a cold fluid to the reservoir as a function of both the input temperature signal and the output temperature signal.

In one mode of operation, the heater adds heat to the fluid that is returning to the reservoir when either one of two conditions occur. The first condition is that the input temperature is less than a selectable set point temperature; and the second condition is that the output temperature is less than the set point temperature. The above addition of heat based on output

temperature via the second condition provides a "too cold look ahead" feature which prevents fluid that gets too cold in the heat exchangers from being put back into the reservoir. If fluid which is too cold is put into
5 the reservoir, then the temperature of all of the fluid in the reservoir will need to be corrected; but that is a slow process because the fluid in the reservoir has a large thermal mass.

In another mode of operation, the analog valve
10 adds cold fluid to the reservoir when either one of two conditions occur. The first condition is that the input temperature exceeds the set point temperature; and the second condition is that the output temperature exceeds the input temperature. The addition of cold fluid based
15 on output temperature via the second condition provides a "too hot look ahead" feature which prevents fluid that gets too hot in the heat exchangers from being put back into the reservoir by itself. Thus, the slow process of cooling all of the fluid in the reservoir is avoided.

20 Due to the above "too cold look ahead" and "too hot look ahead" features, the temperature of the IC-chips is controlled extremely accurately. In one particular embodiment, the temperature of the fluid which flows into the heat exchangers is held within $\pm 1^\circ\text{C}$ of a
25 selectable set point temperature T_{sp} . Further, this small variation in fluid temperature is achieved while the power dissipation of all of the IC-chips steps up and/or steps down by over twenty-kilowatts.

BRIEF DESCRIPTION OF THE DRAWINGS:

Fig. 1 shows a preferred embodiment of a system for regulating the temperature of IC-chips with a fluid in accordance with the present invention.

5 Fig. 2 shows an example of the overall time sequence by which the system of Fig. 1 operates.

Fig. 3 shows a set of equations which specify the internal details of one preferred embodiment of a temperature controller which is in the system of Fig. 1.

10 Figs. 4A-4C show the results of a computer simulation of how the system of Fig. 1 operates.

Fig. 5 shows a set of curves which illustrate certain temperature measurements that were obtained from the system of Figs. 1-3 which was actually built.

15 Fig. 6 shows the internal structure of one preferred embodiment of a temperature controller which is in the system of Fig. 1;

Fig. 7 shows how the temperature controller of Fig. 6 can digitally perform a low pass filter function, a derivative function, and an integral function to implement the equations of Fig. 3.

20 Fig. 8 identifies various changes and modifications that can be made to the preferred embodiment of the system for regulating the temperature of IC-chips which is shown in Figs. 1-7.

25

WO 01/90766

PCT/US01/13718

7

DETAILED DESCRIPTION:

With reference now to Fig. 1, the details of a preferred embodiment of the present invention will be described. This Fig. 1 embodiment includes a hot fluid circuit in which a hot fluid circulates from a reservoir 10 into N sets of heat exchangers 11-1 thru 11-N and back to the reservoir. Each of the heat exchangers 11-1 thru 11-N is designed to press against a corresponding set of IC-chips; and that causes heat to be transferred by conduction between the hot fluid and the IC-chips. Consequently, the temperature of the IC-chips becomes approximately equal to the temperature of the hot fluid.

To carry the hot fluid to the heat exchangers 11-1 thru 11-N and back to the reservoir, the hot fluid circuit includes a plurality of conduits 12a-12i which are intercoupled as shown. Coupled between the conduits 12a and 12b is a temperature sensor TS1 that generates a temperature signal ST_{IN} which indicates the temperature of the fluid that is flowing into the heat exchangers 11-1 thru 11-N.

Coupled between the conduits 12b and 12c is a valve V1 which opens and closes respectively in response to the "1" and "0" state of a digital control signal S1. Similarly, coupled between the conduits 12d and 12e is a valve V2 which opens and closes respectively in response to the "1" and "0" state of a digital control signal S2.

Coupled to the output of the valve V2 is a hot sump 13, and coupled to the output of the hot sump is a temperature sensor TS2. This sensor TS2 generates an output signal ST_{OUT} which indicates the temperature of the fluid that is flowing out of the heat exchangers 11-1 thru 11-N.

WO 01/90766

PCT/US01/13718

8

Coupled to the output of the temperature sensor TS2 is a pump 14, and coupled to the output of the pump is an electric heater 15. The pump 14 sucks the hot fluid from the reservoir 10 through the heat exchangers 11-1 thru 11-N at a negative pressure. Then, the fluid from the pump 14 is forced thru the heater 15 at a positive pressure and returned back to the hot reservoir 10 which is at atmospheric pressure.

Also included in the Fig. 1 embodiment is a cold fluid circuit which circulates a cold fluid from a reservoir 20 into N sets of heat exchangers 21-1 thru 21-N and back to the reservoir. Each of the heat exchangers 21-1 thru 21-N cool a corresponding set of power supplies which supply DC electrical power to the IC-chips.

To carry the cold fluid to the heat exchangers 21-1 thru 21-N and back to the reservoir, the cold fluid circuit includes a plurality of conduits 22a-22h which are intercoupled as shown. Coupled between the conduits 22a and 22b is a temperature sensor TS3 that generates a signal ST_{CR} which indicates the temperature of the fluid that flows out of the cold reservoir 20.

Coupled between the conduits 22b and 22c is a valve V5 which opens and closes respectively in response to the "1" and "0" state of a digital control signal S5. Similarly, coupled between the conduits 22d and 22e is a valve V6 which opens and closes respectively in response to the "1" and "0" state of a digital control signal S6.

Coupled to the output of the valve V6 is a cold sump 23, and coupled to the output of the cold sump is a pump 24. The pump 24 sucks the cold fluid from the reservoir 20 thru the heat exchangers 21-1 thru 21-N at a negative pressure; and then the fluid from the pump 24 is

WO 01/90766

PCT/US01/13718

9

forced through a radiator 25 at a positive pressure and returned back to the cold reservoir 20.

With the cold fluid circuit, the temperature of the power supplies does not need to be controlled very accurately. Instead, the temperature of the power supplies only needs to be kept below a certain maximum operating temperature. This requirement can be met by simply passing the cold fluid thru the radiator 25.

By comparison, with the hot fluid circuit, the temperature of the IC-chips must be controlled extremely accurately. For example, to control the temperature of the IC-chips in one particular embodiment, the temperature of the fluid which flows into the heat exchangers 11-1 thru 11-N must be held within $\pm 1^\circ\text{C}$ of a selectable set point temperature T_{sp} . Further, the above requirement of $\pm 1^\circ\text{C}$ must be met while the power dissipation of all of the IC-chips steps up and/or steps down by over twenty-kilowatts.

In order to keep the temperature of the fluid which flows into the heat exchangers within $\pm 1^\circ\text{C}$ of the set point temperature, the Fig. 1 embodiment includes a temperature controller 30. This temperature controller receives four input signals; and in response, it generates two output signals.

Three of the inputs to the temperature controller 30 are the signal ST_{IN} from the temperature sensor TS1, the signal ST_{OUT} from the temperature sensor TS2, and the signal ST_{CP} from the temperature sensor TS3. The fourth input is a signal ST_{SP} which indicates the set point temperature.

The two outputs from the temperature controller 30 are a signal $S_{HOT}(n)$ and a signal $S_{COLD}(n)$. Figure 3, which will be described shortly, shows a set of equations which state in detail how the output signals are

WO 01/90766

PCT/US01/13718

10

generated as a function of the input signals, in one preferred embodiment of the temperature controller 30.

Output signal $S_{HOT}(n)$ from the temperature controller 30 is sent to the heater 15. That output signal has a magnitude which varies from 0 to 10 volts, and the amount of heat which the heater 15 adds to the fluid that it is passing is proportional to the magnitude of the signal.

Output signal $S_{COLD}(n)$ is sent to an analog valve VA which is coupled to the cold fluid conduit 22h. That output signal has a magnitude which varies from 0 to 10 volts, and the amount of cold fluid which the valve VA passes is proportional to the magnitude of the signal. All of the cold fluid which the valve VA passes is sent through a conduit 22i to the hot reservoir 10.

Since the heater 15 is an electric component with no moving parts, its response time to the signal $S_{HOT}(n)$ is relatively fast. By comparison, since the valve VA has a mechanical part that moves to open and close the valve, its response time to the signal $S_{COLD}(n)$ is relatively slow. However, the slow response of the valve VA is compensated for within the Fig. 1 system in a manner which will be described in detail in conjunction with Fig. 3.

When the hot fluid passes through the heat exchangers 11-1 thru 11-N, the temperature of that fluid increases as the amount of power that is being dissipated by the IC-chips increases. Thus, when the IC-chips dissipate their maximum power, then the temperature of the hot fluid which exits the heat exchangers 11-1 thru 11-N will be raised by a maximum amount above the set point temperature.

Conversely, when the IC-chips dissipate little or no power, then the temperature of the hot fluid which

WO 01/90766

PCT/US01/13718

11

exits the heat exchangers 11-1 thru 11-N can be below the set point temperature. This will occur if the set point exceeds the ambient air temperature and heat is lost in the circulating fluid.

5 However, by properly generating the signals $S_{HOT}(n)$ and $S_{COLD}(n)$, the temperature of the hot fluid which flows from the hot reservoir 10 into the heat exchangers 11-1 thru 11-N is controlled to stay within $\pm 1^\circ\text{C}$ of the set point temperature. If the temperature of
10 the hot fluid which exits the heat exchangers 11-1 thru 11-N is below the set point, then heat is added to that hot fluid by the heater 15 in response to the output signal $S_{HOT}(n)$. Conversely, if the temperature of the
15 hot fluid which exits the heat exchangers 11-1 thru 11-N is above the set point temperature, then cold fluid is added to the hot reservoir 10 in response to the output signal $S_{COLD}(n)$.

 In order to make room in the hot reservoir 10 for the cold fluid from the valve VA, an overflow conduit
20 12j is provided which couples the top of the hot reservoir 10 to the cold reservoir 20. Any hot fluid that passes through the conduit 12j eventually is passed through the radiator 25; and that removes the excess heat that was generated by the IC-chips. Similarly, another
25 overflow conduit 22j is provided which couples the top of the cold reservoir 20 to the hot reservoir 10.

 Also included in the Fig. 1 embodiment is a test signal controller 40. In operation, the test signal controller 40 sends test signals on conductors 31-1 thru
30 31-N which test the IC-chips. In addition, the test signal controller 40 receives output signals on conductors 32-1 thru 32-N as a response from the IC-chips that are being tested.

WO 01/90766

PCT/US01/13718

12

Also the test signal controller 40 generates the signals S1 thru S6 which open and close the valves V1 thru V6. In addition, the test signal controller 40 generates the signal STsp which specifies the set point temperature at which the chips are to be tested.

For purposes of the present invention, any internal structure for the test signal controller 40 can be used. Thus the test signal controller 40 can be any controller which is capable of performing the above tasks, such as a general purpose digital computer.

Referring now to Fig. 2, an example will be described that illustrates the overall time sequence by which the Fig. 1 system operates. Initially, between time t0 and time t1, the IC-chips which are to be tested are inserted into the Fig. 1 system and placed in contact with the heat exchangers 11-1 thru 11-N.

Then, at time t1, the valves V1, V2, V5 and V6 are opened. This causes the hot fluid to flow through the heat exchangers 11-1 thru 11-N, and it causes the cold fluid to flow through the heat exchangers 21-1 thru 21-N.

From time t1 to time t2, no test signals are sent to the IC-chips via the conductors 31-1 thru 31-N. Thus, from time t1 to time t2, the total power dissipation of all of the IC-chips is approximately zero and the IC-chips are heated by the hot fluid to the set point temperature.

Thereafter, from t2 to time t3, three sets of the IC-chips are subjected to a "test A" by sending a particular sequence of test signals on the conductors 31-1 thru 31-N. Then from time t3 to time t4, fourteen sets of the IC-chips are subjected to a "test B" by sending a second sequence of test signals on the conductors 31-1 thru 31-N. Then from time t4 to time t5,

WO 01/90766

PCT/US01/13718

13

eight sets of the IC-chips are subjected to a test C_{test} by sending a third sequence of test signals on the conductors 31-1 thru 31-N.

Each time the number of IC-chips that are being tested increases, a step increase occurs in the total power which the IC-chips dissipate. Thus a step increase in the total IC-chip power dissipation occurs at time t_2 and at time t_3 .

Conversely, each time the number of IC-chips that are being tested decreases, a step decrease occurs in the total power which the IC-chips dissipate. Thus a step decrease occurs at time t_4 and at time t_5 .

Throughout the chip testing sequence which occurs from time t_2 to time t_5 , the temperature of the fluid in the hot reservoir 10 must be maintained within $\pm 1^\circ\text{C}$ of the set point temperature. This is achieved in the Fig. 1 system via the temperature controller 30 by varying the two output signals $S_{\text{HOT}}(n)$ and $S_{\text{COLD}}(n)$; and this is indicated in Fig. 2 by reference numeral 30a.

When the testing of the IC-chips is complete, they are rapidly cooled-down from time t_5 to time t_6 so that they can be removed from the heat exchangers 11-1 thru 11-N and replaced with other IC-chips. This rapid cool-down is achieved by opening the valves V3 and V4, and closing the valves V1 and V2. As a result, cold fluid is passed from the cold reservoir 20 through the heat exchangers 11-1 thru 11-N. Thereafter, from time t_6 to time t_7 , the IC-chips are removed and the entire time sequence can be repeated starting at time t_0 .

Next, with reference to Fig. 3, the internal details of one preferred embodiment of the temperature controller 30 will be described. This temperature controller 30 receives the four input signals ST_{IN} , ST_{OUT} , ST_{CR} , and ST_{GP} ; and in response, it generates the

WO 01/90766

PCT/US01/13718

14

two output signals $S_{HOT}(n)$ and $S_{COLD}(n)$ as stated by equation 1 thru equation 6 of Fig. 3.

Equation 1 specifies an error $e_{IN}(n)$ in the temperature of the fluid which flows into the heat exchangers 11-1 thru 11-M. This error $e_{IN}(n)$ is calculated internally within the temperature controller 30 by sampling and low-pass filtering the signal ST_{IN} , to obtain the result $T_{IN}(n)$; and then the set point temperature T_{sp} is subtracted from $T_{IN}(n)$. Here, the filtering removes any high frequency noise which may be generated by the temperature sensor TS1.

Equation 2 specifies an error $e_{OUT1}(n)$ in the temperature of the fluid which flows out of the heat exchangers 11-1 thru 11-N. This error $e_{OUT1}(n)$ is calculated internally within the temperature controller 30 by sampling and low-pass filtering the signal ST_{OUT} , to obtain the result $T_{OUT}(n)$; and then the set point temperature T_{sp} is subtracted from $T_{OUT}(n)$. Here, the filtering removes any high frequency noise which may be generated by the temperature sensor TS2.

Equation 3 specifies another error $e_{OUT2}(n)$ in the temperature of the fluid which flows out of the heat exchangers 11-1 thru 11-N. This error $e_{OUT2}(n)$ is calculated internally within the temperature controller 30 by subtracting $T_{IN}(n)$ from $T_{OUT}(n)$ and adding an offset T_{off} to the result.

When the error $e_{IN}(n)$ is negative and larger in magnitude than 3°C , then the heater 15 generates heat with its maximum power and the valve VA is closed. This mode of operation is stated by equation 4 where the output signal $S_{HOT}(n)$ is generated as ten volts and the output signal $S_{COLD}(n)$ is generated as zero volts.

When the error signal $e_{IN}(n)$ is positive and larger in magnitude than 3°C , then the valve VA is opened

WO 01/90766

PCT/US01/13718

15

fully and the heater 15 is turned off. This mode of operation is stated by equation 5 where the output signal $S_{COLD}(n)$ is generated as ten volts and the output signal $S_{HOT}(n)$ is generated as zero volts.

5 When the error $e_{IN}(n)$ is from -3°C to $+3^{\circ}\text{C}$, then the output signals $S_{HOT}(n)$ and $S_{COLD}(n)$ are generated as stated by equation 6. There, the output signals are functions of the three error terms $e_{IN}(n)$, $e_{OUT1}(n)$, and $e_{OUT2}(n)$ and several parameters which is defined below in
10 TABLE 1.

TABLE 1

	Q_{max} - maximum heater power (kW)
	QC_{max} - maximum cold flow into hot tanks (gpm)
	Q_{max} - maximum hot side flow rate (gpm)
	T_{sp} - set point temperature ($^{\circ}\text{C}$)
15	K_p - proportional gain (kW/ $^{\circ}\text{C}$)
	K_d - derivative gain ratio(s)
	K_i - integral gain ratio (1/s)
	ρ - fluid density (kg/m^3)
	C_p - fluid specific heat (J/kg/ $^{\circ}\text{C}$)
20	Δt - time between two successive samples(s)

With equation 6, each of the output signals $S_{HOT}(n)$ and $S_{COLD}(n)$ is limited to a minimum value of zero volts and a maximum value of ten volts. Thus, if the sum of all of the terms in the expression 51 for the signal
25 $S_{HOT}(n)$ is a negative number, then the actual value of the signal $S_{HOT}(n)$ is zero volts. Similarly, if the expression 52 for the signal $S_{COLD}(n)$ is negative, then the actual value of the signal $S_{COLD}(n)$ is zero volts. Likewise, if the expression 51 or 52 exceeds ten, then
30 the actual value of the corresponding signal is ten volts.

WO 01/90766

PCT/US01/13718

16

Expression 51 contains a term $Kp(e_{TN}(n))$ and a term $\rho C_p Q_{max}(e_{OUT1}(n))$. Due to the above first term, the heater 15 adds heat to the fluid that is returning to the reservoir 10 when the set point temperature exceeds the temperature of the fluid that is flowing into the heat exchangers 11-1 thru 11-N. Due to the above second term, the heater 15 adds heat to the fluid that is returning to the reservoir 10 when the set point temperature exceeds the temperature of the fluid that is flowing out of the heat exchangers 11-1 thru 11-N.

The above second term provides a "too cold look ahead" feature. This feature is very useful because it prevents fluid which is too cold from being put back into the hot reservoir 10. If fluid which is too cold is put into the hot reservoir 10, then the temperature of all of the fluid in the reservoir 10 will need to be corrected. But, correcting the temperature of all of the fluid in the hot reservoir 10 is a slow process because that fluid has a large thermal mass.

Preferably, the amount of fluid in the hot reservoir 10 is at least one liter for every fifty IC-chips that are contacted by the heat exchangers 11-1 thru 11-N. Also, one preferred fluid is a silicone oil. Thus, for example, with a thirty liter silicone oil system, the thermal mass of the fluid in the reservoir 10 is over forty kilojoules per °C.

Similarly, expression 52 contains a term $Kp(e_{TN}(n))$ and a term $\rho C_p Q_{max}(e_{OUT2}(n))$. Due to the above first term, the valve VA adds cold fluid to the reservoir 10 when the temperature of the fluid that is flowing into the heat exchangers 10-1 thru 10-N exceeds the set point temperature. Due to the above second term, the valve VA adds cold fluid to the hot reservoir 10 when the

WO 01/90766

PCT/US01/13718

17

temperature of the fluid that is flowing out of the heat exchangers 11-1 thru 11-N exceeds the temperature of the fluid that is flowing into the heat exchangers.

The above second term provides a "too hot look ahead" feature which prevents fluid that is too hot from being put back into the hot reservoir 10. If fluid which is too hot is put into the hot reservoir 10, then the temperature of all of the fluid in the hot reservoir will need to be cooled; and that is a slow process because the fluid in the hot reservoir has a large thermal mass.

Also due to expressions 51 and 52 in equation 6, both of the signals $S_{HOT}(n)$ and $S_{COLD}(n)$ can have positive values simultaneously. When that occurs, heat is added by the heater 15 to the fluid which is being returned to the hot reservoir 10; and, cold fluid is simultaneously passed through the valve VA into the hot reservoir 10. To increase the amount of cold fluid which passes thru the valve VA while heat is being added by the heater 15, the offset term T_{off} in equation 3 is increased.

One feature of the above simultaneous mode of operation is that the value VA can react slowly to the output signal $S_{COLD}(n)$; and at the same time, a rapid cooling effect can be achieved by the sum of the hot and cold fluid which enters the hot reservoir 10 from the value VA and the heater 15. To achieve this rapid cooling, the heating power of the heater 15 is reduced quickly via the output signal $S_{HOT}(n)$ while the flow of cold fluid through the value VA increases slowly or even stays constant.

This feature of a rapid cooling effect is desirable because the valve VA is a mechanical component whose speed of operation is inherently limited by mechanical inertia. As a minimum, the response time of

WO 01/90766

PCT/US01/13718

18

the heater 15 is at least twice as fast as the response time of the valve VA; and typically, the heater 15 operates at least ten times faster than the valve VA. This rapid cooling effect is used when the IC-chips that are being tested undergo a large step increase in power dissipation and thereby cause a rapid increase in the temperature of the fluid from the heat exchangers 11-1 thru 11-N.

Next, with reference to Figures 4A-4C, a computer simulation of the system of Figures 1-3 will be described. In this simulation, each of the heat exchangers 11-1 thru 11-N made contact with a respective set of six IC-chips; and, each heat exchanger carried fluid from the hot reservoir 10 past its respective six IC-chips in a series.

Also in this simulation, a random number generator was used to introduce noise into the signals from the temperature sensors TS1-TS3, and digital low-pass filters were used to remove the noise. All of the parameters which were used in this simulation are shown below in Table 2.

TABLE 2

25	$Q_{max} = 24 \text{ kW}$	$K_p = 4 \text{ kW/}^\circ\text{C}$
	$Q_{Cmax} = 8 \text{ gpm}$	$K_d = 12 \text{ sec.}$
	$Q_{max} = 67 \text{ gpm}$	$K_i = 0.4/\text{sec.}$
	$T_{sp} = 110 \text{ }^\circ\text{C}$	$\rho = 1700 \text{ kg/m}^3$
	$\Delta t = 0.025 \text{ sec.}$	$C_p = 855 \text{ J/kg/}^\circ\text{C}$
	$\lambda = 8 \text{ sec}$	$N = 140$

From time $t=0$ to $t=150$ seconds in the above simulation, the power dissipation of all of the chips was zero. Then at time $t=150$ seconds, the power dissipation of each IC-chip made a step increase from zero to thirty
5 watts. Thereafter, the power dissipation of the IC-chips then did not change until time $t=350$ seconds, at which time it made a step decrease back to zero watts.

In Fig. 4A, the temperature of the fluid which is flowing into the heat exchangers 11-1 thru 11-N is shown by the plot of T_{IN} . Also in Fig. 4A, the
10 temperature of the fluid that is flowing out of the heat exchangers 11-1 thru 11-N is shown by the plot of T_{OUT} .

In Fig. 4B, the amount by which the valve VA is open is shown as a percentage of being fully open.
15 Similarly in Fig. 4C, the amount by which the heater 15 is on is shown as a percentage of being fully on. Both of the Figures 4B and 4C are generated from equations 1-6 of Fig. 3.

Due to the power increase which occurs at $t=150$
20 seconds, the temperature of the fluid which flows out of the heat exchangers 11-1 thru 11-N rapidly increases, and this is shown by the plot of T_{OUT} in Fig. 4A. However, while the temperature of the fluid that is flowing out of the heat exchangers 11-1 thru 11-N is rapidly increasing,
25 the temperature of the fluid which is flowing into the heat exchangers stays essentially constant as is shown by the plot of T_{IN} in Fig. 4A. This result is achieved by varying the cold fluid through valve VA and varying the heat from the heater 15 as shown in Figs. 4B and 4C from
30 time $t=150$ seconds to $t=350$ seconds.

Due to the power decrease which occurs at $t=350$ seconds, the temperature of the fluid which flows out of the heat exchangers 11-1 thru 11-N rapidly decreases, and this is shown by the plot of T_{OUT} . However, while the

temperature of the fluid that is flowing out of the heat exchangers 11-1 thru 11-N is rapidly decreasing, the temperature of the fluid which is flowing into the heat exchangers stays essentially constant as is shown by the
 5 plot of T_{IN} in Fig. 4A. This result is achieved by varying the cold fluid through valve VA and varying the heat from the heater 15 as shown in Figs. 4B and 4C from time $t=350$ seconds to time $t=450$ seconds.

Referring now to Fig. 5, it shows the
 10 temperature measurements that were obtained from the system of Figs. 1-3 which was actually built. In this system, each of the heat exchangers 11-1 thru 11-N made contact with a respective set of six IC-chips; and, each heat exchanger carried fluid from the hot reservoir 10
 15 past its respective six chips in a series. All of the parameters for this actual system are the same as shown in Table 2 with the one exception that T_{sp} equals 105°C rather than 110°C .

In Fig. 5, the temperature of the fluid which
 20 is flowing into the heat exchangers 11-1 thru 11-N is shown by a curve that is labeled T_{IN} . Also in Fig. 5, the temperature of the fluid that is flowing out of the heat exchangers 11-1 thru 11-N is shown by a curve that is labeled T_{OUT} .

From time $t=0$ to $t=150$ seconds in Fig. 5, the
 25 total power dissipation of all of the IC-chips is zero watts. Then at time $t=150$ seconds, the total power dissipation of all of the IC-chips makes a step increase from zero to 26.2 kilowatts. Thereafter, the total power
 30 dissipation of all of the IC-chips stays at 26.2 kilowatts until time $t=500$ seconds, at which time it makes a step decrease back to zero watts.

Inspection of the curve T_{IN} in Fig. 5 shows that the temperature of the fluid flowing into the heat

exchangers 11-1 thru 11-N varies from time $t=0$ to $t=700$ seconds by only $\pm 0.2^\circ\text{C}$. This is an amazing result since Fig. 5 also shows that the temperature T_{OUT} increases rapidly by over 4°C starting at time $t=150$ seconds, and
 5 decreases rapidly by over 4°C starting at time $t=500$ seconds.

Next, with reference to Fig. 6, one preferred internal structure of the temperature controller 30 will be described. This particular internal structure
 10 includes several components 51a-55 which are identified as follows.

Components 51a-51c are sample-and-hold circuits. Components 52a-52c are analog to digital converters. Components 53a-53c are digital low pass
 15 filters. Components 54a-54c are digital subtractors. Component 55 is a digital circuit which performs the arithmetic operations that are defined by the previously-described equations 4-6 of Fig. 3.

In operation, the temperature signals ST_{IN} , ST_{OUT} , and ST_{CR} are respectively sampled by the components 51a, 51b, and 51c. Those samples are then converted from analog samples to digital samples by the components 52a, 52b, and 52c. Thereafter, the digital
 20 samples are sent through the low pass filters 53a, 53b, and 53c to thereby generate the sampled and filtered temperature signals $T_{IN}(n)$, $T_{OUT}(n)$ and $T_{CR}(n)$.

Components 54a, 54b, and 54c respectively generate the error signals $e_{IN}(n)$, $e_{OUT1}(n)$ and $e_{OUT2}(n)$. This is done in accordance with equations 1, 2 and 3 of
 30 Fig. 3. Then, the error signals are operated on by the digital arithmetic circuit 55 to thereby generate the heater control signal $S_{HOT}(n)$ and the analog valve control signal $S_{COIL}(n)$ in accordance with equations 4-6 of Fig. 3.

Next, with reference to equation 10 of Fig. 7, one embodiment of the low pass filters 53a-53c will be described. In equation 10, an expression is given on the right-hand side of the equal sign for low pass filtering any signal "A" which is digitally sampled. In equation 10, the terms $A(n)$, $A(n-1)$, etc., represent successive samples of the signal "A"; and the term $A_f(n)$ represents the filtered result. Also in equation 10, the term " Δt " is the time interval between successive samples, and the term " τ " is the time constant of the filter.

Fig. 7 further shows an equation 11 and an equation 12 which respectively are used to implement the derivative function and the interval function within the digital arithmetic circuit 55 of Fig. 6. In equations 11 and 12, the terms $e_{IN}(n)$, $e_{IN}(n-1)$, etc., represent successive samples of the signal " e_{IN} " whose derivative and integral are to be generated. Also in equations 11 and 12, the term Δt is the time between successive samples, and the term " λ " is an exponential decay constant which is used to eliminate long term integral error.

One preferred embodiment of the present invention has now been described in detail in conjunction with Figs. 1-7. In addition however, various changes and modifications can be made to that preferred embodiment; and some of those changes will now be described in conjunction with Fig. 8.

As one modification, equation 3 of Fig. 3 can be changed such that the term $T_{IN}(n)$ is replaced with the term T_{sp} . This change is identified in Fig. 8 as Mod #1.

As another modification, equation 6 of Fig. 3 can be changed such that the expression for the signal $S_{HOT}(n)$ includes terms which are the derivative and/or

WO 01/90766

PCT/US01/13718

23

integral of the error $e_{OUT1}(n)$. This change is indicated in Fig. 8 as Mod #2.

Similarly, as another change to equation 6 of Fig. 3, the expression for the signal $SCOLD(n)$ can be
5 changed to include terms which are the derivative and/or integral of the error $e_{OUT2}(n)$. This change is identified in Fig. 8 as Mod #3.

Also, as another modification, equation 6 of Fig. 3 can be changed such that in the expression for the
10 signal $SCOLD(n)$, the denominator term of $T_{SP} - T_{CR}(n)$ is replaced with T_{SP} minus a constant. In Fig. 8, this change is indicated as Mod #4.

As a further modification, equations 3 and 4 of Fig. 3 can be changed such that the limits of -3°C and
15 $+3^{\circ}\text{C}$ are any other desired limits. In Fig. 8, this change is indicated as Mod #5.

As another modification, a purging mechanism can be added into the hot fluid circuit and/or into the cold fluid circuit of Fig. 1. Such a purging mechanism
20 would remove air bubbles from the fluid (which will occur if the hot fluid circuit or the cold fluid circuit somehow develops an air leak). One example of such a purging mechanism is described in U.S. Patent 5,048,599 which is assigned to the assignee of the present
25 invention. In Fig. 8, this change is indicated as Mod #6.

As another modification, the hot fluid circuit and/or the cold fluid circuit of the Fig. 1 system can be run only at a positive pressure. This is achieved by
30 moving the location of the pump 14 to the output of the hot reservoir 10, and/or moving the location of the pump 24 to the output of the cold fluid reservoir 20. In Fig. 8, this change is indicated as Mod #7.

As still another modification, the location of one or more of the temperature sensors TS1, TS2, and TS3 can be changed. For example, the sensor TS1 can be moved to the output of the valve V1; the sensor TS2 can be moved to the input of the valve V2; and the sensor TS3 can be moved to the input of the cold reservoir 20. In Fig. 8, this change is indicated as Mod #8.

As yet another modification, the heat exchangers 11-1 thru 11-N can be used to regulate the temperature of any type of electrical components, instead of only IC-chips. Further, when the heat exchangers 11-1 thru 11-N do regulate the temperature of IC-chips, those IC-chips can be incorporated into any type of IC-package or they can be in no package at all. In Fig. 8, this change is indicated as Mod #9.

Similarly, in the Fig. 1 system, the heat exchangers 21-1 thru 21-N can be used to cool any type of electrical components, and not just power supplies. In Fig. 8, this change is identified as Mod #10.

Further in the Fig. 1 system, the radiator 25 can be replaced with any mechanism that extracts heat from the cold fluid. For example, the radiator 25 can be replaced with a liquid-to-liquid heat exchanger. In Fig. 8, this change is indicated as Mod #11.

As still another modification, the heat exchangers 11-1 thru 11-N which contact the IC-chips can have any desired structure. Preferably, for each IC-chip that is contacted, the heat exchangers 11-1 thru 11-N include a separate jacket which has a face that moves such that it mates with a corresponding face on the IC-chip even when the orientation of the IC-chip varies. One example of such a structure is shown in U.S. Patent 4,809,134 where each of the items 12a is a moveable jacket for a separate IC-chip. Likewise, each of the

heat exchangers 21-1 thru 21-N can also have any desired structure.

As yet another modification, the step changes in power dissipation for the IC-chips that are being tested can occur in many sequences other than those which are illustrated in Fig. 2. For example, a step increase in power dissipation can be caused entirely by a change from a test "X" to a test "Y" while the number of IC-chips that are being tested remains constant. Similarly, a step decrease in power dissipation can be caused entirely by a change from a test "Y" to a test "Z" while the number of IC-chips that are being tested remains constant.

Further, as another modification, the feature of obtaining a rapid cooling effect with the valve VA which has the slow response time and the heater 15 which has the fast response time can be achieved even when only a single temperature is sensed in the hot fluid circuit of Fig. 1. For example, this rapid cooling effect can be achieved by eliminating the temperature sensor TS2 in Fig. 1 and changing equation 2 in Fig. 3 such that it equals equation 3. With this modification, the heating power of the heater 15 will still be reduced quickly by the output signal $S_{HOT}(n)$ while the flow of cold fluid through the valve VA varies slowly or stays constant.

In view of all of the above modifications, it is to be understood that the present invention is not limited to the details of the preferred embodiment of Figs. 1-7, but is defined by the appended claims.

WHAT IS CLAIMED IS:

1. A system for maintaining the temperature of electronic components near a set point, comprising:
 - a hot fluid circuit in which a hot fluid circulates from a reservoir through heat exchangers and
5 back to said reservoir, and in which said heat exchangers transfer heat by conduction between said hot fluid and said electronic components;
 - a first sensor which generates an input temperature signal that indicates the temperature of the
10 fluid flowing into said heat exchangers;
 - a second sensor which generates an output temperature signal that indicates the temperature of the fluid flowing out of said heat exchangers;
 - a heater means which adds heat to the fluid
15 returning to said reservoir as a function of both said input temperature and output temperature signals; and,
 - a cooling means which adds a cold fluid to said reservoir as a function of both said input temperature and output temperature signals.

2. A system according to claim 1 wherein said heater means adds said heat to said fluid returning to said reservoir when said set point exceeds said temperature of said fluid flowing into said heat exchangers, and when said set point exceeds said temperature of said fluid flowing out of said heat exchangers.

3. A system according to claim 1 wherein said cooling means adds said cold fluid to said reservoir when said temperature of said fluid flowing into said heat exchangers exceeds said set point, and when said temperature of said fluid flowing out of said heat exchanger exceeds said temperature of said fluid flowing into said heat exchangers.

4. A system according to claim 1 wherein said cooling means adds said cold fluid to said reservoir when said temperature of said fluid flowing into said heat exchangers exceeds said set point, and when said temperature of said fluid flowing out of said heat exchanger exceeds said set point.

5. A system according to claim 1 wherein said heater means adds said heat to said fluid returning to said reservoir, and said cooling means adds said cold fluid to said reservoir, in three operating modes which are selected based on the value of said temperature of said fluid flowing into said heat exchangers relative to said set point.

WO 01/90766

PCT/US01/13718

28

6. A system according to claim 1 wherein said heating means adds said heat to said fluid returning to said reservoir in proportion to the magnitude of $K_1 e_{OUT1}$ plus $K_2 e_{IN}$ plus $K_3 d(e_{IN})/dt$ plus $K_4 f e_{IN}$ and said cooling
5 means adds said cold fluid to said reservoir in proportion to the magnitude of $K_5 e_{OUT2}$ plus $K_6 e_{IN}$ plus $K_7 d(e_{IN})/dt$ plus $K_8 f e_{IN}$; where e_{IN} is an error in said input temperature, e_{OUT1} and e_{OUT2} are respective errors in said output temperatures, and K_1 thru K_8 are
10 constants.

7. A system according to claim 1 which further includes a rapid cool-down means, coupled to said hot fluid circuit, which receives electrical control signals and in response a) blocks the flow of said hot fluid into
5 said heat exchangers and from said heat exchangers back to said reservoir, and, b) passes said cold fluid through said heat exchangers while the flow of said hot fluid is blocked.

8. A system according to claim 1 wherein said cooling means includes a cold fluid circuit which operates in parallel with said hot fluid circuit to maintain said cold fluid at a cold temperature.

WO 01/90766

PCT/US01/13718

29

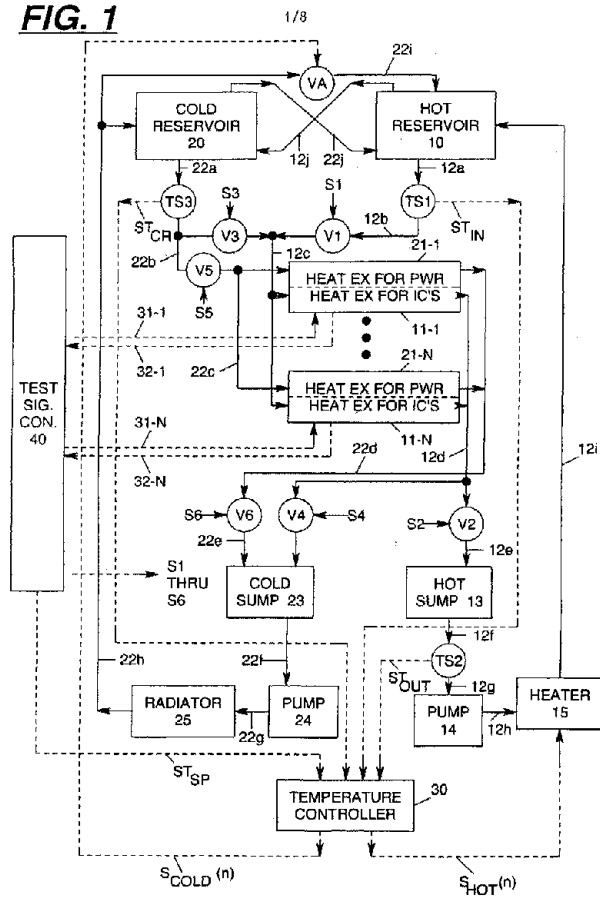
9. A system according to claim 1 wherein said heater means adds said heat to said fluid returning to said reservoir with a fast response time; said cooling means adds said cold fluid to said reservoir with a slow response time; and to compensate for said slow response time, said cooling means adds said cold fluid to said reservoir while said heater means concurrently adds varying amounts of heat to said fluid returning to said reservoir.

10. A system according to claim 1 wherein said electronic components are packaged integrated circuit chips.

11. A system according to claim 1 wherein said electronic components are unpackaged integrated circuit chips.

WO 01/90766

PCT/US01/13718

FIG. 1

WO 01/90766

PCT/US01/13718

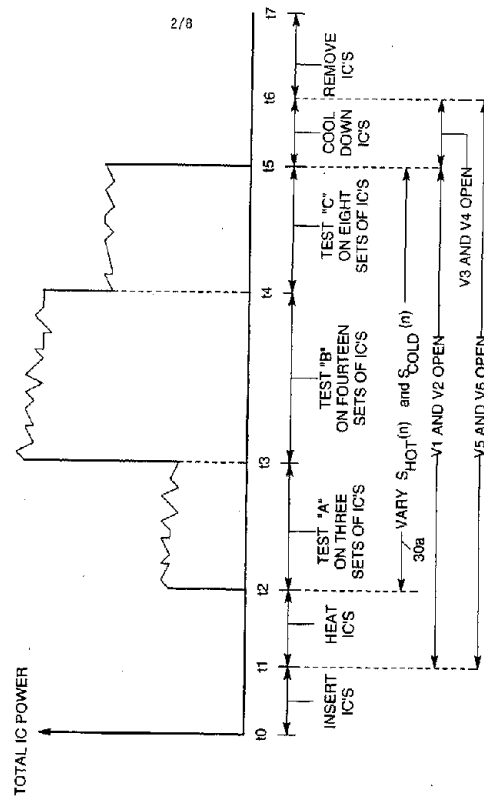
FIG. 2

FIG. 3

$$\text{eq.1} \rightarrow e_{IN}(n) = T_{IN}(n) - T_{sp}$$

$$\text{eq.2} \rightarrow e_{OUT1}(n) = T_{OUT}(n) - T_{sp}$$

$$\text{eq.3} \rightarrow e_{OUT2}(n) = T_{OUT}(n) - T_{IN}(n) \cdot T_{OFF}$$

$$\text{eq.4} \rightarrow \text{if } e_{IN}(n) < -3.0^\circ\text{C, then } S_{HOT}(n) = 10V \text{ and } S_{COLD}(n) = OV$$

$$\text{eq.5} \rightarrow \text{if } e_{IN}(n) > 3.0^\circ\text{C, then } S_{HOT}(n) = OV \text{ and } S_{COLD}(n) = 10V$$

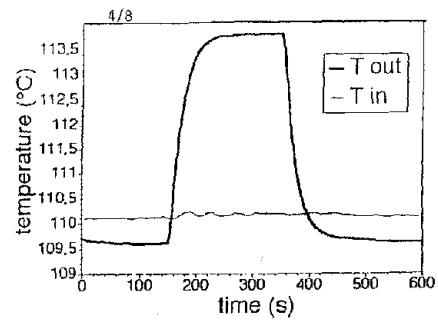
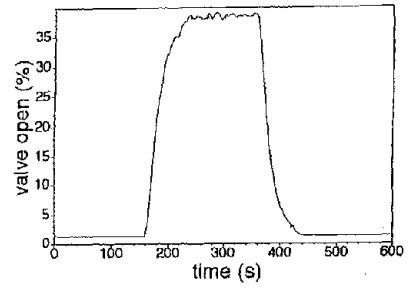
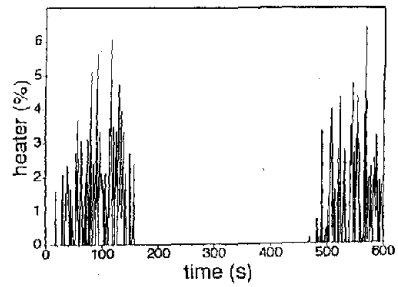
eq.6 \rightarrow else, vary $S_{HOT}(n)$ and $S_{COLD}(n)$ between OV and $10V$ as follows :

$$S_{HOT}(n) = \frac{-10V}{q_{\max}} \left\{ \rho C_p Q_{\max}(e_{OUT1}(n)) + Kp \left[e_{IN}(n) + Kd \frac{d}{dt} e_{IN}(n) + Ki | e_{IN}(n) | \right] \right\} \leftarrow 51$$

$$S_{COLD}(n) = \frac{10V}{Q_{c\max}} \left[\frac{\rho C_p Q_{\max}(e_{OUT2}(n)) + Kp \left[e_{IN}(n) + Kd \frac{d}{dt} e_{IN}(n) + Ki | e_{IN}(n) | \right]}{\rho C_p (T_{SP} - T_{CR}(n))} \right] \leftarrow 52$$

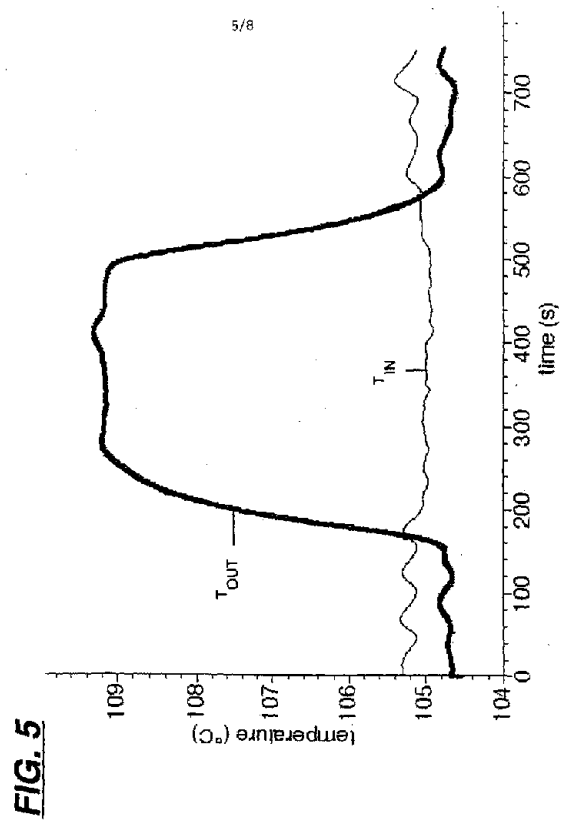
WO 01/90766

PCT/US01/13718

FIG. 4A**FIG. 4B****FIG. 4C**

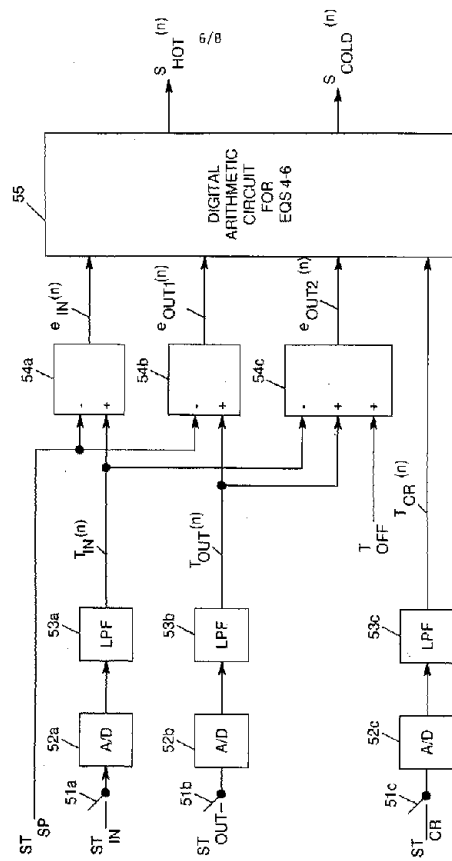
WO 01/90766

PCT/US01/13718



WO 01/90766

PCT/US01/13718

FIG. 6

WO 01/90766

PCT/US01/13718

7/8

FIG 7

$$eq. 10 \rightarrow A_F(n) = \frac{12(\Delta t) A(n) + \tau [48A(n-1) - 36A(n-2) + 16A(n-3) - 3A(n-4)]}{12(\Delta t) + 25\tau}$$

$$eq. 11 \rightarrow \frac{d}{dt} e_{IN}(n) = \frac{25e_{IN}(n) - 48e_{IN}(n-1) + 36e_{IN}(n-2) - 16e_{IN}(n-3) + 3e_{IN}(n-4)}{12(\Delta t)}$$

$$eq. 12 \rightarrow \int e_{IN}(n) = \left[e_{IN}(n-1) \right] \exp\left(\frac{-\Delta t}{\lambda}\right) + (\Delta t) e_{IN}(n)$$

WO 01/90766

PCT/US01/13718

8/8

FIG. 8

- MOD#1 \rightarrow in eq.3, change e_{OUT2} to $T_{OUT}(n) - T_{SP} + T_{OFF}$
- MOD#2 \rightarrow in $S_{HOT}(n)$, add derivative/intergal term to $e_{OUT1}(n)$
- MOD#3 \rightarrow in $S_{COLD}(n)$, add derivative/intergal term to $e_{OUT2}(n)$
- MOD#4 \rightarrow in $S_{COLD}(n)$, approximate $T_{SP} - T_{CR}(n) \approx T_{SP} - \text{constant}$
- MOD#5 \rightarrow change limits of $\pm 3^\circ\text{C}$ in eqs 4-5 to other limits
- MOD#6 \rightarrow add purge tank(s) to Fig.1
- MOD#7 \rightarrow run entire system at positive pressure
- MOD#8 \rightarrow move temperature sensors TS1, TS2, TS3
- MOD#9 \rightarrow heat exchangers 11-1 thru 11-N contact any type of electrical component
- MOD#10 \rightarrow heat exchangers 21-1 thru 21-N contact any type of electrical component
- MOD#11 \rightarrow change radiator 25 to liquid-liquid heat exchanger

(12) INTERNATIONAL APPLICATION PUBLISHED UNDER THE PATENT COOPERATION TREATY (PCT)



PCT

WO 01/90766 A3

BABCOCK, James, Wittman; 1248 Via Sendero Vista, Escondido, CA 92029 (US).

(74) Agent: STARR, Mark, T.; Unisys Corporation, Township Line and Union Meeting Roads, P.O. Box 500, Blue Bell, PA 19424-0001 (US).

(81) Designated State (national): JP.

(84) Designated States (regional): European patent (AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE, TR).

Published:
— with international search report

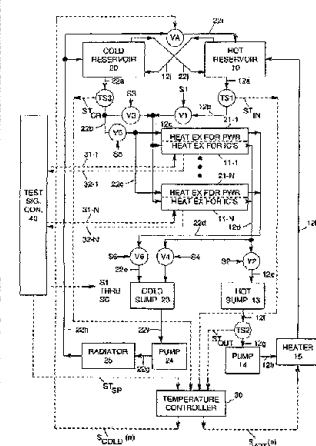
Published:
— with international search report

(58) Date of publication of the international search report: 23 May 2002

(58) Date of publication of the international search report:
23 May 2002

For two-letter codes and other abbreviations, refer to the "Guidance Notes on Codes and Abbreviations" appearing at the beginning of each regular issue of the PCT Gazette.

(54) Title: SYSTEM FOR REGULATING THE TEMPERATURE OF IC-CHIPS WITH A FLUID WHICH IS HEATED AND COOLED AS A FUNCTION OF THE FLUID TEMPERATURES TO AND FROM HEAT EXCHANGERS FOR THE IC-CHIPS



(57) **Abstract:** A chip burn-in system maintains the temperature of IC-chips near a set point, while the IC chips undergo large step increases and large step decreases in power dissipation as they are tested. The system decreases in power dissipation as they are tested. The system includes a hot fluid circuit in which a hot fluid circulates from a reservoir through heat exchangers and back to the reservoir, and in which the heat exchangers exchange heat by conduction between the hot fluid and the IC-chips. In one mode of operation, a heater adds heat to the fluid that is returning to the reservoir based on a "too cold look ahead" feature. In another mode of operation, an analog valve adds cold fluid to the reservoir based on a "too hot look ahead" feature.

WO 01/90766 A3

【国際調査報告】

INTERNATIONAL SEARCH REPORT		International Application No. PC1/US 01/13718
A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER IPC 7 605D23/19 605D23/13		
According to International Patent Classification (IPC) enter both national classification and IPC		
B. FIELDS SEARCHED Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols) IPC 7 605D		
Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched		
Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, accession forms add) EPO-Internal, PAJ		
C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	EP 0 363 098 A (CANON KK) 11 April 1990 (1990-04-11) the whole document	1
Y	-----	8,10
A	-----	2-7,9,11
Y	US 5 977 785 A (BURWARD-HOY TREVOR) 2 November 1999 (1999-11-02) the whole document	8
A	-----	1-7,9-11
Y	JP 11 345870 A (TOKYO ELECTRON LTD) 14 December 1999 (1999-12-14) & US6239602 the whole document	10
A	-----	1-9,11
A	US 4 060 997 A (SHULTZ GILBERT F ET AL) 6 December 1977 (1977-12-06) the whole document	1-11

<input type="checkbox"/> Further documents are cited in the continuation of box C. <input checked="" type="checkbox"/> Patent family members are listed in annex.		
* Special categories of cited documents: "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance "E" earlier document but published on or after the international filing date "L" document which may throw doubts on priority claims or which is cited to establish the publication date of another relevant or other special reason (see specification) "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed "T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an invention step when the document is taken alone "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an invention step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art "Z" document member of the same patent family		
Date of the actual completion of the international search 7 December 2001		Date of mailing of the international search report 14/12/2001
Name and mailing address of the ISA European Patent Office, P.O. Box 5816 Patenkamp 2 NL - 2260 HW Rijswijk Tel: (+31-70) 340-2040, Tx: 31 65 1 epo nl Fax: (+31-70) 240-3016		Authorized officer Philippot, B

Form PCT/ISA/210 (September 1997)

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International Application No.

PCT/US 01/13718

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
EP 0363098	A	11-04-1990	JP 2691454 B2 17-12-1997
		JP 3063485 A 19-03-1991	
		JP 2096812 A 09-04-1990	
		DE 68922061 D1 11-05-1995	
		DE 68922061 T2 31-08-1995	
		EP 0363098 A2 11-04-1990	
		US 5577552 A 26-11-1996	
US 5977785	A	02-11-1999	NONE
JP 11345870	A	14-12-1999	US 6239602 B1 29-05-2001
US 4060997	A	06-12-1977	NONE

Form PCT/ISA/210 (patent family annex) (July 1992)

フロントページの続き

(74)代理人 100096781

弁理士 堀井 豊

(74)代理人 100098316

弁理士 野田 久登

(74)代理人 100109162

弁理士 酒井 將行

(72)発明者 ツスタニウスキー, ジェリー・イオール

アメリカ合衆国、 9 2 6 9 1 カリフォルニア州、 ミッション・ピエホ、 アベニダ・ドミンゴ、 2
6 8 2 2

(72)発明者 パブコック, ジェームズ・ウィットマン

アメリカ合衆国、 9 2 0 2 9 カリフォルニア州、 エスコンディド、 ピア・センデロ・ビスタ、 1
2 4 8

Fターム(参考) 2G003 AA07 AC01 AD01 AH00 AH05

2G132 AA01 AB03 AB14 AL09