

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第5296136号  
(P5296136)

(45) 発行日 平成25年9月25日 (2013.9.25)

(24) 登録日 平成25年6月21日 (2013.6.21)

(51) Int. Cl.

F I

G 0 6 F 1/26 (2006.01)

G 0 6 F 1/00 3 3 0 D

H 0 1 L 21/822 (2006.01)

H 0 1 L 27/04 F

H 0 1 L 27/04 (2006.01)

G 0 6 F 1/00 3 3 4

H 0 2 J 1/00 (2006.01)

H 0 2 J 1/00 3 0 7 F

請求項の数 3 (全 10 頁)

(21) 出願番号 特願2011-87431 (P2011-87431)  
 (22) 出願日 平成23年4月11日 (2011.4.11)  
 (65) 公開番号 特開2012-221301 (P2012-221301A)  
 (43) 公開日 平成24年11月12日 (2012.11.12)  
 審査請求日 平成25年1月21日 (2013.1.21)

早期審査対象出願

(73) 特許権者 310021766  
 株式会社ソニー・コンピュータエンタテインメント  
 東京都港区港南1丁目7番1号  
 (74) 代理人 110000154  
 特許業務法人はるか国際特許事務所  
 (72) 発明者 井上 武  
 東京都港区港南1丁目7番1号 株式会社  
 ソニー・コンピュータエンタテインメント  
 内  
 (72) 発明者 高嶋 伸次  
 東京都港区港南1丁目7番1号 株式会社  
 ソニー・コンピュータエンタテインメント  
 内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 電子機器、その制御方法、及び半導体集積回路

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

電源回路と、

前記電源回路から供給される供給電圧により動作し、安定的に動作するために必要な下限電圧が温度の上昇に応じて低下する特性を備える半導体集積回路と、

前記半導体集積回路の温度を計測する温度センサと、

を含み、

前記電源回路は、前記計測される温度が所定の閾値以上になった後、前記半導体集積回路の処理負荷に応じて決まるタイミングで、前記計測される温度の上昇に応じて低下する前記半導体集積回路の下限電圧に合わせて、前記供給電圧を下げる

ことを特徴とする電子機器。

【請求項 2】

電源回路と、

前記電源回路から供給される供給電圧により動作し、安定的に動作するために必要な下限電圧が温度の上昇に応じて低下する特性を備える半導体集積回路と、

前記半導体集積回路の温度を計測する温度センサと、

を含む電子機器の制御方法であって、

前記計測される温度を取得するステップと、

前記取得した温度が所定の閾値以上になった後、前記半導体集積回路の処理負荷に応じて決まるタイミングで、前記取得した温度の上昇に応じて低下する前記半導体集積回路の

下限電圧に合わせて、前記電源回路が前記半導体集積回路に供給する供給電圧を下げるステップと、

を含むことを特徴とする電子機器の制御方法。

【請求項 3】

電源回路から供給される供給電圧により動作し、安定的に動作するために必要な下限電圧が温度の上昇に応じて低下する特性を備える半導体集積回路であって、

当該半導体集積回路の温度を計測する温度センサと、

前記計測される温度が所定の閾値以上になった後、当該半導体集積回路の処理負荷に応じて決まるタイミングで、前記計測される温度の上昇に応じて低下する当該半導体集積回路の下限電圧に合わせて、前記供給電圧を下げるよう前記電源回路に要求する手段と、

を含むことを特徴とする半導体集積回路。

10

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、CMOSを内蔵する半導体集積回路、当該半導体集積回路を備える電子機器、及びその制御方法に関する。

【背景技術】

【0002】

例えば中央処理装置(CPU)やSOC(System-on-a-chip)等、CMOSを備える半導体集積回路が電子機器の部品として広く用いられている(例えば特許文献1参照)。

20

【先行技術文献】

【特許文献】

【0003】

【特許文献1】米国特許第6518823号明細書

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

近年、CMOSの微細化に伴って、その性能の温度依存性に従来品とは異なる傾向が現れるようになってきている。しかしながら、このような特徴に応じて半導体集積回路を効率的に使用する方法については、未だ十分考慮されていない。

30

【0005】

本発明は上記実情を考慮してなされたものであって、その目的の一つは、動作電圧を低く抑えることのできる半導体集積回路、当該半導体集積回路を備える電子機器、及びその制御方法を提供することにある。

【課題を解決するための手段】

【0006】

本発明に係る電子機器は、電源回路と、前記電源回路から供給される供給電圧により動作する半導体集積回路と、前記半導体集積回路の温度を計測する温度センサと、を含み、前記電源回路は、前記計測される温度の上昇に応じて、前記供給電圧を下げることを特徴とする。

40

【0007】

前記電子機器において、前記電源回路は、前記計測される温度が所定の閾値以上になったときに、所定の下げ幅だけ前記供給電圧を下げることもよい。

【0008】

また、本発明に係る電子機器の制御方法は、電源回路と、前記電源回路から供給される供給電圧により動作する半導体集積回路と、前記半導体集積回路の温度を計測する温度センサと、を含む電子機器の制御方法であって、前記計測される温度を取得するステップと、前記取得した温度の上昇に応じて、前記電源回路が前記半導体集積回路に供給する供給電圧を下げるステップと、を含むことを特徴とする。

50

## 【 0 0 0 9 】

また、本発明に係る半導体集積回路は、電源回路から供給される供給電圧により動作する半導体集積回路であって、当該半導体集積回路の温度を計測する温度センサと、前記計測される温度の上昇に応じて、前記供給電圧を下げるよう前記電源回路に要求する手段と、を含むことを特徴とする。

## 【図面の簡単な説明】

## 【 0 0 1 0 】

【図 1】本発明の実施の形態に係る半導体集積回路を備える電子機器の概略構成図である。

【図 2 A】従来例における動作周波数  $f$  変更時の動作周波数  $f$  及び供給電圧  $V_p$  の時間変化を模式的に示す図である。

10

【図 2 B】本実施形態における動作周波数  $f$  変更時の動作周波数  $f$  及び供給電圧  $V_p$  の時間変化を模式的に示す図である。

【図 3】動作周波数  $f$  変更時における変更回数  $N$  と、当該変更に要する所要時間  $R$ 、及び目標電圧  $V_{p2}$  との関係を示すグラフである。

【図 4】動作周波数  $f$  の下限電圧  $V_l$  と温度  $T$  との関係を模式的に示すグラフである。

【図 5】温度に応じた電圧制御を行う場合と行わない場合の消費電力を比較するグラフである。

## 【発明を実施するための形態】

## 【 0 0 1 1 】

20

以下、本発明の実施の形態について、図面に基づき詳細に説明する。

## 【 0 0 1 2 】

## 〔電子機器の構成〕

図 1 は、本発明の一実施形態に係る半導体集積回路 10 を備える電子機器 1 の概略の回路構成を示す構成図である。電子機器 1 は、半導体集積回路 10 と、温度センサ 11 と、温度コントローラ 12 と、電源回路 13 と、電源制御回路 14 と、を含んで構成されている。

## 【 0 0 1 3 】

半導体集積回路 10 は、C M O S (Complementary Metal Oxide Semiconductor) を含んで構成される集積回路であって、例えば C P U や S O C 等であってよい。半導体集積回路 10 は、電源回路 13 から供給される供給電圧  $V_p$  により動作する。以下では半導体集積回路 10 は、内蔵メモリ又は外部メモリに格納されるプログラムに従って各種の情報処理を行う演算装置であるものとする。半導体集積回路 10 は、その動作内容（ここでは実行するプログラムの内容）に応じて、自身の動作周波数  $f$  を内部的に変更可能になっている。自身の動作周波数  $f$  を変更する際には、半導体集積回路 10 は、当該変更に応じて供給電圧  $V_p$  を変化させるための指示を電源制御回路 14 に対して出力する。

30

## 【 0 0 1 4 】

また、半導体集積回路 10 には温度センサ 11 が内蔵されている。温度センサ 11 は、半導体集積回路 10 の温度を計測し、その結果を示す電気信号を温度コントローラ 12 に対して出力する。

40

## 【 0 0 1 5 】

温度コントローラ 12 は、温度センサ 11 が出力する信号を受け付けて、当該受け付けた信号に応じて求められる半導体集積回路 10 の温度  $T$  を表す情報を電源制御回路 14 に対して出力する。

## 【 0 0 1 6 】

電源回路 13 は、例えばスイッチングレギュレータとして機能する電源用 I C 等を含んで構成され、電子機器 1 外部の電力供給源（例えば商用の交流電源や U S B ホスト機器）や、電子機器 1 に内蔵される電池などが供給する電力を、所与の電圧に変換して電子機器 1 の各部に供給する。特に電源回路 13 は、電源制御回路 14 から入力される指示に応じた供給電圧  $V_p$  で、半導体集積回路 10 に対する電力供給を行う。

50

## 【 0 0 1 7 】

電源制御回路 1 4 は、電源回路 1 3 の動作を制御する回路であって、マイクロコンピュータ等により構成される。本実施形態において電源制御回路 1 4 は、半導体集積回路 1 0 から入力される動作周波数  $f$  の変更に応じた指示、及びノ又は温度コントローラ 1 2 から入力される半導体集積回路 1 0 の温度  $T$  を表す情報に基づいて供給電圧  $V_p$  を決定し、当該決定した供給電圧  $V_p$  で半導体集積回路 1 0 への電力供給を行うよう電源回路 1 3 に指示する。

## 【 0 0 1 8 】

## [ 動作周波数の変更 ]

次に、本実施形態において半導体集積回路 1 0 が動作周波数  $f$  を変更する際の制御について、説明する。

## 【 0 0 1 9 】

一般的に、半導体集積回路 1 0 に供給すべき供給電圧  $V_p$  の下限値（半導体集積回路 1 0 を正常に動作させるために最低限必要な電圧の値）は、動作周波数  $f$  に応じて変化する。すなわち、動作周波数  $f$  が高くなればなるほど、必要な供給電圧  $V_p$  の値も大きくなる。そこで、半導体集積回路 1 0 の消費電力を抑えるために、動作周波数  $f$  を動的に変更する場合には、それに合わせて供給電圧  $V_p$  も変更して、動作周波数  $f$  の変更前後にわたって、できる限り下限値に近い供給電圧  $V_p$  を半導体集積回路 1 0 に供給することが望ましい。具体的に、半導体集積回路 1 0 が動作周波数  $f$  を初期周波数  $f_1$  から目標周波数  $f_2$  ( $> f_1$ ) に変更する場合、供給電圧  $V_p$  も、初期周波数  $f_1$  に対応する初期電圧  $V_{p1}$  から目標周波数  $f_2$  に対応する目標電圧  $V_{p2}$  ( $> V_{p1}$ ) に変更する。なお、以下では目標周波数  $f_2$  で半導体集積回路 1 0 が安定的に動作するために最低限必要な電圧の下限値を下限電圧  $V_l$  とする。

## 【 0 0 2 0 】

ここで、目標電圧  $V_{p2}$  を下限電圧  $V_l$  とほぼ等しい値に設定してしまうと、動作周波数  $f$  の変更に伴って半導体集積回路 1 0 内に生じるノイズにより、半導体集積回路 1 0 内に流れる電流が変動し、供給電圧  $V_p$  が下限電圧  $V_l$  を下回ってしまうおそれがある。そのため電源制御回路 1 4 は、目標電圧  $V_{p2}$  を下限電圧  $V_l$  よりも大きな値に設定する。

すなわち、目標電圧  $V_{p2}$  は、

$$V_{p2} = V_l +$$

で表される値に設定する必要がある。ここで、 $\Delta V$  の値はノイズによる供給電圧  $V_p$  の変動分を考慮して決定される。しかしながら、このように下限電圧  $V_l$  よりも大きな供給電圧  $V_p$  を半導体集積回路 1 0 に供給することとすると、その分だけ半導体集積回路 1 0 の消費電力は増大してしまう。

## 【 0 0 2 1 】

そこで本実施形態においては、半導体集積回路 1 0 は、初期周波数  $f_1$  から目標周波数  $f_2$  への変更を複数回に分けて、1 又は複数の中間周波数  $f_m$  ( $f_1 < f_m < f_2$ ) を経て段階的に動作周波数  $f$  を変更する。こうすれば、ノイズによって生じる電圧の変動を小さくすることができるので、初期周波数  $f_1$  から目標周波数  $f_2$  への変更を一度に行う場合と比較して、 $\Delta V$  の値を小さくすることができる。

## 【 0 0 2 2 】

図 2 A 及び図 2 B は、動作周波数  $f$  の変更時における従来例の電圧制御と本実施形態の電圧制御とを比較するための図であって、図 2 A は従来例における動作周波数  $f$  及び供給電圧  $V_p$  の時間変化を、図 2 B は本実施形態における動作周波数  $f$  及び供給電圧  $V_p$  の時間変化を、それぞれ模式的に示している。いずれの図においても、横軸は時間であって、時刻  $t_0$  は初期電圧  $V_{p1}$  から目標電圧  $V_{p2}$  への変更タイミングを示している。また、縦軸は供給電圧  $V_p$  及び動作周波数  $f$  の大きさを示している。図 2 A に示すように、初期周波数  $f_1$  から目標周波数  $f_2$  への変更を一度に行っている場合には、周波数変更後、ノイズにより供給電圧  $V_p$  が比較的大きく変動しており、そのため目標電圧  $V_{p2}$  は、このような変動後の供給電圧  $V_p$  が下限電圧  $V_l$  を下回らないように、比較的大きな値となっ

10

20

30

40

50

ている。一方図 2 B では、初期周波数  $f_1$  から目標周波数  $f_2$  への変更を 3 回に分けて実施している。すなわち、まず初期周波数  $f_1$  から第 1 中間周波数  $f_{m1}$  へ、次に第 1 中間周波数  $f_{m1}$  から第 2 中間周波数  $f_{m2}$  へ、さらに第 2 中間周波数  $f_{m2}$  から目標周波数  $f_2$  へと段階的に動作周波数  $f$  が変更される。こうすれば、複数回の変更のそれぞれにおいて、変更前の周波数に対する変更後の周波数の比が一度に変更してしまう場合と比較して相対的に小さくなるので、その分ノイズにより発生する供給電圧  $V_p$  の変動も小さくなる。そのため、図 2 A の例と比較して目標電圧  $V_{p2}$  を低くしても、供給電圧  $V_p$  が下限電圧  $V_l$  を下回らないようにすることができる。

#### 【0023】

図 2 B から明らかなように、本実施形態ではまず一度だけ供給電圧  $V_p$  を変更し、その後複数回にわたって動作周波数  $f$  を変更することとしている。一般的に、供給電圧  $V_p$  の変更は半導体集積回路 10 外部の電源回路 13 を制御して行うため、時間を要する。一方、動作周波数  $f$  の変更は、半導体集積回路 10 自身で内部的に行われるので、それほど時間を要しない。本実施形態では、動作周波数  $f$  の変更回数が従来例と比較して増えるものの、供給電圧  $V_p$  の変更回数は 1 回で従来と変わらないため、初期周波数  $f_1$  から目標周波数  $f_2$  への変更に必要な時間は、従来と比べてほとんど変わらない。なお、供給電圧  $V_p$  の変更にもそれほど時間を要しない場合には、動作周波数  $f$  を段階的に変更するのに合わせて供給電圧  $V_p$  も複数回に分けて段階的に変更してもよい。

#### 【0024】

ここで、初期周波数  $f_1$  から目標周波数  $f_2$  への変更を行う際に、動作周波数  $f$  の変更を何回に分けて行うべきか、また 1 又は複数の中間周波数  $f_m$  のそれぞれをどのように決定すべきか、について説明する。

#### 【0025】

ある初期周波数  $f_1$  からある目標周波数  $f_2$  への変更を行う際の動作周波数  $f$  の変更回数を仮に  $N$  回とすると、半導体集積回路 10 は、 $(N - 1)$  個の中間周波数  $f_m$  を経て動作周波数  $f$  の変更を行うことになる。この場合の中間周波数  $f_m$  は、各回の変更により発生するノイズの大きさのばらつきができる限り小さくなるように決定すべきである。ここで、1 回の変更に起因して生じるノイズの大きさは、変更前後の動作周波数  $f$  の比に応じて決まる。そのため、 $n$  回目 ( $n$  は 1 から  $N - 1$  までの自然数) の変更で設定すべき中間周波数  $f_m$  を  $f_m(n)$  と表記すると、中間周波数  $f_m(n)$  は、理想的には以下の計算式により求められる。

#### 【数 1】

$$f_m(n) = f_1 \cdot \left( \frac{f_2}{f_1} \right)^{\frac{n}{N}}$$

このような計算式によれば、半導体集積回路 10 の動作周波数  $f$  は、初期周波数  $f_1$  から始まって  $(N - 1)$  個の中間周波数  $f_m(n)$  を経て目標周波数  $f_2$  まで等比数列的に増加することになる。なお、実際には半導体集積回路 10 で変更可能な動作周波数  $f$  の値には制約がある場合もあるが、そのときには変更可能な動作周波数  $f$  のうち上述した計算式で求められる値に近い値を設定すればよい。

#### 【0026】

中間周波数  $f_m(n)$  が決定されると、これに応じて目標電圧  $V_{p2}$  として設定すべき値も決定される。上述した計算式によれば、1 回あたりの変更において、動作周波数  $f$  は変更前の  $(f_2 / f_1)^{(1 / N)}$  倍に増えることになる。電子機器 1 の製造者は、例えば事前にプロトタイプを用いて測定するなどの方法で、このような動作周波数  $f$  の変更に伴ってどの程度の大きさの電圧低下が生じるかに関する情報を取得することができる。そして、この情報を用いて  $V_{p2}$  の値を決定することにより、目標電圧  $V_{p2}$  を決定できる。

#### 【0027】

さらに、初期周波数  $f_1$  から目標周波数  $f_2$  への変更を何回に分けて行うべきかは、以

下のようにして決定できる。図 3 は、初期周波数  $f_1$  から目標周波数  $f_2$  へと動作周波数  $f$  を変更する際における変更回数  $N$  と、当該変更に必要な所要時間  $R$ 、及び目標電圧  $V_{p2}$  との関係を示すグラフである。この図に示されるように、変更回数  $N$  を増やせば増やすほど、動作周波数  $f$  の変更に必要な全体の所要時間  $R$  は延びることになる。一方で、変更回数  $N$  を増やせば 1 回あたりの動作周波数  $f$  の変更幅を小さくすることができるため、それだけ目標電圧  $V_{p2}$  を下げることができる。ただし、図から分かるように、変更回数  $N$  がある程度以上になると、それ以上変更回数  $N$  を増やしても目標電圧  $V_{p2}$  の低下率はそれほど大きくならない。そこで、変更回数  $N$  は、目標電圧  $V_{p2}$  をどの程度低く抑えたいか、及び変更に必要な所要時間  $R$  をどの程度の範囲に収めたいか、の兼ね合いにより決定する必要がある。図 3 の例では、変更回数  $N$  と所要時間  $R$  の間の関係を示す曲線と、変更回数  $N$  と目標電圧  $V_{p2}$  の間の関係を示す曲線とが、変更回数 = 3 の近傍で交差している。そのため、短い所要時間  $R$  と低い目標電圧  $V_{p2}$  とを両立させたい場合、変更回数  $N$  を 3 回にすればよい。あるいは、所要時間  $R$  及び目標電圧  $V_{p2}$  のいずれかをより重視して他の変更回数を採用してもよい。

10

#### 【0028】

目標電圧  $V_{p2}$  及び中間周波数  $f_m$  として設定すべき値は、初期周波数  $f_1$  と目標周波数  $f_2$  の組み合わせごとに決定される必要がある。これらの値は、予め電子機器 1 の工場出荷時に半導体集積回路 10 内に記録されることとしてもよい。半導体集積回路 10 は、動作周波数  $f$  をある初期周波数  $f_1$  からある目標周波数  $f_2$  に変更する際には、この初期周波数  $f_1$  と目標周波数  $f_2$  の組み合わせに関連づけられて記録されている目標電圧  $V_{p2}$  の値を電源制御回路 14 に出力することによって、当該目標電圧  $V_{p2}$  での電力供給を電源回路 13 に要求する。その後半導体集積回路 10 は、この初期周波数  $f_1$  と目標周波数  $f_2$  の組み合わせに関連づけられて記録されている  $(N - 1)$  個の中間周波数  $f_m$  を経由するように、 $N$  回に分けて動作周波数  $f$  の変更を行う。こうすれば、動作周波数  $f$  の変更に伴うノイズの発生を抑えて、目標電圧  $V_{p2}$  を低くすることができる。

20

#### 【0029】

これまで、特に動作周波数  $f$  を上げる変更を行う場合の制御について説明した。消費電力を抑えるために供給電圧  $V_p$  を下げるという観点からは、動作周波数  $f$  を下げる変更を行う場合には、以上説明したように複数回に分けて動作周波数  $f$  を変更する必要は必ずしもない。しかしながら、半導体集積回路 10 には、下限電圧  $V_l$  だけでなく、動作周波数  $f$  に応じた上限電圧  $V_u$  が設定されている場合もある。この場合、半導体集積回路 10 を正常に動作させるために、この上限電圧  $V_u$  を超える電圧が印加されないようにする必要があるが、動作周波数  $f$  を一度に大きく変更させると、動作周波数  $f$  の変更に伴って生じるノイズにより、供給電圧  $V_p$  が一時的に上限電圧  $V_u$  を超えてしまうおそれがある。上限電圧  $V_u$  が動作周波数  $f$  に応じて変化する値である場合、動作周波数  $f$  を下げる変更を行う場合にも、変更後の供給電圧  $V_p$  が上限電圧  $V_u$  を超えてしまうことが考えられる。そこで半導体集積回路 10 は、動作周波数  $f$  を下げる変更を行う場合にも、目標周波数  $f_2$  への変更を複数回に分けて行ってよい。この場合の変更回数  $N$ 、及び中間周波数  $f_m$  は、いずれも前述した動作周波数  $f$  を上げる場合と同様にして決定されてよい。また、変更後の目標電圧  $V_{p2}$  は、上限電圧  $V_u$  からノイズによる変動として予想される値以上低い値に設定される。

30

40

#### 【0030】

なお、以上の説明においては電源制御回路 14 が電源回路 13 の供給電圧  $V_p$  を制御することとしたが、半導体集積回路 10 が直接電源回路 13 の供給電圧  $V_p$  を制御してもよい。また、以上説明した動作周波数  $f$  の変更制御を行うためだけであれば、温度センサ 11 及び温度コントローラ 12 は必ずしも必要ない。

#### 【0031】

##### [ 温度に応じた電圧制御 ]

電源制御回路 14 は、温度センサ 11 によって測定される半導体集積回路 10 の温度変化に応じて、電源回路 13 が半導体集積回路 10 に供給する供給電圧  $V_p$  を変化させても

50

よい。特に本実施形態では、半導体集積回路 10 の温度上昇に応じて供給電圧  $V_p$  を下げる制御を行う。これについて、以下に説明する。

#### 【0032】

半導体集積回路 10 に使用される CMOS の特性により、前述した動作周波数  $f$  に対応する下限電圧  $V_l$  は、温度  $T$  に依存して変化する。図 4 は、この下限電圧  $V_l$  と温度  $T$  との関係を模式的に示すグラフであって、破線は従来のゲート長が 65 nm を超える CMOS の特性を、実線は近年のゲート長が 65 nm 以下の CMOS の特性を、それぞれ示している。具体的に、CMOS は、その性能を決定するパラメタである移動度及び閾値電圧に温度依存性があり、移動度については高温になるほど性能が劣化し、閾値電圧については高温になるほど性能が向上する。従来のゲート長が 65 nm を超える CMOS は、移動度の影響が支配的であったため、高温になると性能が劣化する傾向があった。すなわち、このような CMOS を備える半導体集積回路は、図 4 に示すように、同じ動作周波数で動作する場合であっても、温度が高くなったときには温度が低いときよりも下限電圧  $V_l$  が上昇する。それゆえ、温度が高い環境下でこのような CMOS を備える半導体集積回路を使用する場合、比較的高い供給電圧  $V_p$  で動作させる必要があった。ところが近年、CMOS の微細化に伴って、CMOS の性能の温度依存性にもこれまでと異なる傾向が見られるようになった。すなわち、近年登場したゲート長が 65 nm 以下の CMOS は、高温になったときに閾値電圧の影響が支配的となり、高温になると性能が向上する傾向が見られるようになった。そのため、このようなゲート長の短い CMOS を備える半導体集積回路は、図 4 に示すように、温度が高くなるほど下限電圧  $V_l$  が低くなる傾向にある。

#### 【0033】

そこで本実施形態に係る電子機器 1 は、半導体集積回路 10 の温度上昇に応じて、半導体集積回路 10 に供給する供給電圧  $V_p$  を下げることとしている。具体的に、例えば電源制御回路 14 は、温度コントローラ 12 が出力する情報が示す半導体集積回路 10 の温度  $T$  が所定の閾値  $T_{th}$  以上になったときには、所定の下げ幅だけ供給電圧  $V_p$  を下げるよう電源回路 13 に指示する。なお、この場合の の値は予め電源制御回路 14 に記録されているものとする。また、電源制御回路 14 は、温度  $T$  が所定の閾値  $T_{th}$  未満になったときには、供給電圧  $V_p$  を下げる前の値に戻すこととする（つまり、供給電圧  $V_p$  をだけ上昇させる）。

#### 【0034】

図 5 は、このような制御を行う場合と行わない場合の消費電力を比較するグラフであって、横軸は温度  $T$  を、縦軸は電力  $P$  を、それぞれ示している。また、実線は温度上昇に伴う供給電圧  $V_p$  の変更制御を行わない場合を、破線は変更制御を行う場合を、それぞれ示している。この図の例では、電源回路 13 は閾値  $T_{th}$  以上になると供給電圧  $V_p$  を 0.5 V 下げることとしており、その結果として温度  $T$  が閾値  $T_{th}$  以上の領域で半導体集積回路 10 の消費電力が大きく改善していることが分かる。

#### 【0035】

なお、図 5 の例では閾値  $T_{th}$  は 1 つだけであることとしたが、閾値  $T_{th}$  は複数あってもよい。例えば 20 度ごとに閾値  $T_{th}$  を設定する場合、電源制御回路 14 は、半導体集積回路 10 の温度が 20 度上昇するごとに段階的に供給電圧  $V_p$  を下げることになる。この場合、供給電圧  $V_p$  の下げ幅は複数の閾値  $T_{th}$  のそれぞれに対応して互いに異なる値であってもよい。こうすれば、温度  $T$  の上昇に対して下限電圧  $V_l$  が非線形に変化する場合であっても、温度  $T$  の上昇に伴って最適な値に供給電圧  $V_p$  を変更することができる。

#### 【0036】

また、供給電圧  $V_p$  を下げる際の の値は、余裕を持って設定されることが望ましい。例えば閾値  $T_{th}$  が 50 とすると、電源制御回路 14 は、温度  $T$  が 50 以上になった場合には、半導体集積回路 10 の温度が ( 50 - ) 度の場合の下限電圧  $V_l$  以上となるように供給電圧  $V_p$  を変更する。この の値は、例えば温度センサ 11 の測定誤差に応じて決定される。こうすれば、電源回路 13 は、温度センサ 11 の測定誤差などがあつたと

10

20

30

40

50

しても、半導体集積回路 10 の動作に必要な電圧を供給することができる。また、電源制御回路 14 は、温度  $T$  が閾値  $T_{th}$  以上となったことを検知したときに、直ちに供給電圧  $V_p$  を変更するのではなく、所定時間の経過を待ってから供給電圧  $V_p$  を変更してもよい。また、電源制御回路 14 は、半導体集積回路 10 の動作状況に応じて決まるタイミングで供給電圧  $V_p$  を変更してもよい。具体的には、半導体集積回路 10 の処理負荷が所定値未満のときには、温度  $T$  がそれほど上昇しない傾向にあるので、温度  $T$  が閾値  $T_{th}$  以上になっても直ちに供給電圧  $V_p$  を下げるのではなく、温度  $T$  が閾値  $T_{th}$  以上となる状態が所定時間以上続いてから供給電圧  $V_p$  を下げることにし、逆に温度  $T$  が閾値  $T_{th}$  以上となった時点で半導体集積回路 10 の処理負荷が所定値以上の場合には直ちに供給電圧  $V_p$  を下げることにしてもよい。

10

#### 【0037】

以上の説明では、温度センサ 11 が半導体集積回路 10 自身に内蔵されているものとしたが、温度センサ 11 は半導体集積回路 10 の外部に配置されてもよい。この場合、温度  $T$  の測定精度は温度センサ 11 が半導体集積回路 10 内部に配置されている場合よりも低くなる。しかしながら、事前に温度センサ 11 の測定結果と半導体集積回路 10 の実際の温度を調査し、その結果に応じて閾値  $T_{th}$  及び下げ幅 を決定すれば、温度センサ 11 が半導体集積回路 10 内部に配置されている場合と同様に、半導体集積回路 10 の温度上昇に応じて供給電圧  $V_p$  を下げる制御を実現できる。

#### 【0038】

また、以上の説明では、温度コントローラ 12 は温度  $T$  に関する情報を電源制御回路 14 に直接出力することとしたが、これに代えて、温度コントローラ 12 は温度  $T$  に関する情報を半導体集積回路 10 に対して出力することとしてもよい。この場合、半導体集積回路 10 自身が、温度  $T$  が閾値  $T_{th}$  以上となったか否かを判定し、当該判定結果に応じて供給電圧  $V_p$  変更の要求を電源制御回路 14 に出力する。

20

#### 【0039】

以上説明した動作周波数  $f$  変更時の制御、及び温度による供給電圧  $V_p$  の制御は、それぞれ単独で実施してもよいし、互いに組み合わせて実施してもよい。組み合わせる場合、動作周波数  $f$  の変更時には、変更後の目標周波数  $f_2$  に応じて決まる目標電圧  $V_{p2}$  から、当該時点の温度  $T$  に応じて決まる下げ幅 を減じることで、変更後の供給電圧  $V_p$  を決定できる。

30

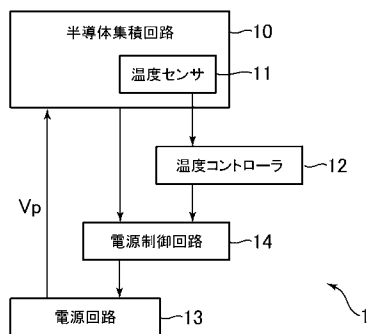
#### 【符号の説明】

#### 【0040】

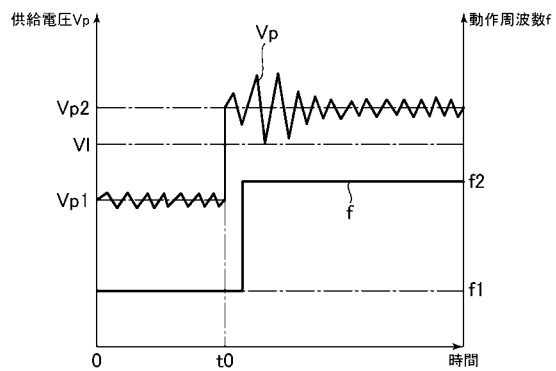
1 電子機器、10 半導体集積回路、11 温度センサ、12 温度コントローラ、13 電源回路、14 電源制御回路。



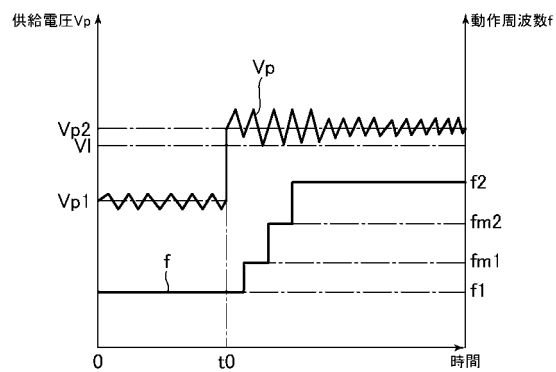
【図 1】



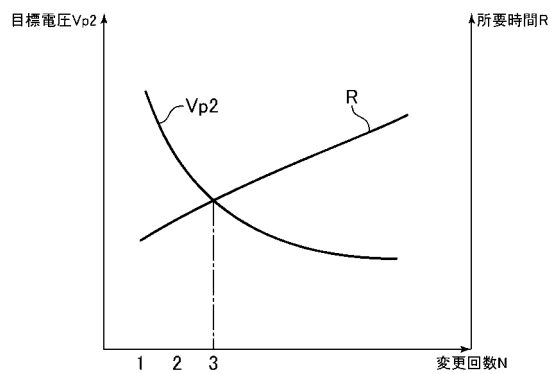
【図 2 A】



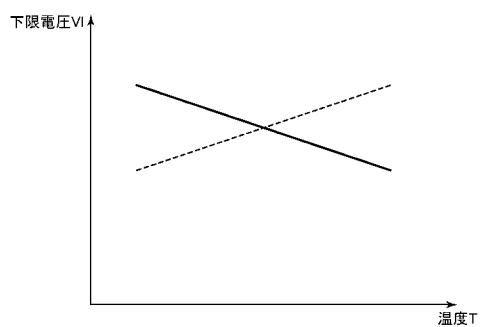
【図 2 B】



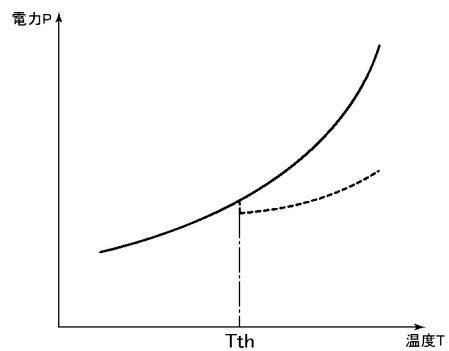
【図 3】



【図 4】



【図 5】



---

フロントページの続き

審査官 緑川 隆

(56)参考文献 特表2010-526380(JP,A)  
特開2007-165527(JP,A)  
特開2010-245117(JP,A)  
国際公開第2007/032119(WO,A1)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)  
G06F 1/26  
H01L 21/822  
H01L 27/04  
H02J 1/00