

(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2017-517873

(P2017-517873A)

(43) 公表日 平成29年6月29日(2017.6.29)

(51) Int.Cl.

**H01L 21/822 (2006.01)**  
**H01L 27/04 (2006.01)**  
**H03K 3/011 (2006.01)**

F 1

H01L 27/04  
H03K 3/011

T

テーマコード(参考)

5FO38  
5JO43

審査請求 未請求 予備審査請求 有 (全 39 頁)

(21) 出願番号 特願2016-560003 (P2016-560003)  
 (86) (22) 出願日 平成27年3月4日 (2015.3.4)  
 (85) 翻訳文提出日 平成28年10月31日 (2016.10.31)  
 (86) 國際出願番号 PCT/US2015/018785  
 (87) 國際公開番号 WO2015/153048  
 (87) 國際公開日 平成27年10月8日 (2015.10.8)  
 (31) 優先権主張番号 61/973,765  
 (32) 優先日 平成26年4月1日 (2014.4.1)  
 (33) 優先権主張国 米国(US)  
 (31) 優先権主張番号 14/507,679  
 (32) 優先日 平成26年10月6日 (2014.10.6)  
 (33) 優先権主張国 米国(US)

(71) 出願人 595020643  
 クアアルコム・インコーポレイテッド  
 QUALCOMM INCORPORATED  
 アメリカ合衆国、カリフォルニア州 92121-1714、サン・ディエゴ、モアハウス・ドライブ 5775  
 (74) 代理人 100108855  
 弁理士 蔡田 昌俊  
 (74) 代理人 100109830  
 弁理士 福原 淑弘  
 (74) 代理人 100158805  
 弁理士 井関 守三  
 (74) 代理人 100112807  
 弁理士 岡田 貴志

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】集積回路の動的な経年変化除去

## (57) 【要約】

集積回路は、経年変化センサで経年変化を測定することにより回路の経年変化に対して動的に補償する。経年変化センサは、経年変化した及び経年変化していない両方の条件において回路の速度を図るために同じ回路を使用する。例示的な経年変化センサは、2つのディレイラインを含む。ディレイラインは、静的な経年変化状態にあるように制御され、あるいは、ディレイラインは、経年変化によって周波数が遅くされた経年変化した状態において、又は経年変化によって周波数が遅くされない経年変化していない状態において、動作できるリングオフシレータを形成するために結合される。集積回路は、動的な電圧及び周波数調整のために経年変化の測定を使用する。動的な電圧及び周波数調整は、経年変化の測定に基づいて周期的に更新される動作周波数及び対応する電圧のテーブルを使用する。集積回路は、テーブルを更新するために、経年変化の測定と回路性能との間の関係についての情報を使用する。

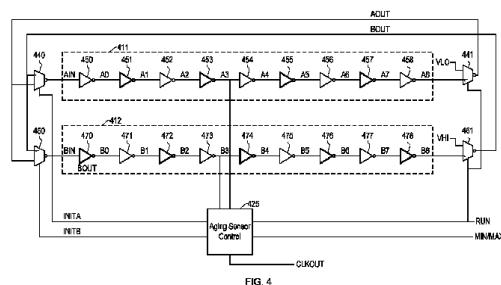


FIG. 4

**【特許請求の範囲】****【請求項 1】**

集積回路の経年変化を感知するための回路であって、前記回路は下記を備える、  
 第1の入力と第1の出力とを有する第1のディレイチェーンと、  
 第2の入力と第2の出力とを有する第2のディレイチェーンと、  
 前記第1のディレイチェーンと前記第2のディレイチェーンとを、経年変化している状態、経年変化した発振状態、又は経年変化していない発振状態におくように構成された制御モジュール。

**【請求項 2】**

請求項1に記載の回路であって、前記第1のディレイチェーンは、前記第1の入力と前記第1の出力との間に結合された遅延要素の第1のチェーンを含み、前記第2のディレイチェーンは、前記第2の入力と前記第2の出力との間に結合された遅延要素の第2のチェーンを含む、前記回路。 10

**【請求項 3】**

請求項2に記載の回路であって、前記遅延要素の各々はインバータを含む、前記回路。

**【請求項 4】**

請求項3に記載の回路であって、各々のインバータは、直列の複数のpチャネルトランジスタ、及び直列の複数のnチャネルトランジスタを含む、前記回路。

**【請求項 5】**

請求項1に記載の回路であって、前記経年変化している状態は、前記第1のディレイチェーンと前記第2のディレイチェーンとに動作電圧を供給することを含む、前記回路。 20

**【請求項 6】**

請求項5に記載の回路であって、前記経年変化している状態は、前記第1の入力に第1の論理値を、前期第2の入力に第2の論理値を供給することをさらに含み、ここにおいて、前記第1の論理値は、前記第2の論理値の相補的なものである、前記回路。

**【請求項 7】**

請求項6に記載の回路であって、前記経年変化した発振状態は、経年変化によって遅くされた周波数で発振するように、前記第1のディレイチェーンと前記第2のディレイチェーンを結合することを含む、前記回路。

**【請求項 8】**

請求項7に記載の回路であって、前記経年変化していない発振状態は、経年変化によって遅くされていない周波数で発振するように、前記第1のディレイチェーンと前記第2のディレイチェーンを結合することを含む、前記回路。 30

**【請求項 9】**

請求項7に記載の回路であって、前記経年変化した発振状態は、前記第1の出力と第2の出力との間で選択することと、前記選択された信号を前記第1の入力と前記第2の入力とに結合することとを含み、ここにおいて、前記第1の入力が前記第1の論理値に遷移した後に、前記第1の出力が選択され、前記第2の入力が前記第2の論理値に遷移した後に、前記第2の出力が選択される、前記回路。

**【請求項 10】**

請求項7に記載の回路であって、前記経年変化していない発振状態は、前記第1の出力と第2の出力との間で選択することと、前記選択された信号を前記第1の入力と前記第2の入力とに結合することとを含み、ここにおいて、前記第1の入力が前記第2の論理値に遷移した後に、前記第1の出力が選択され、前記第2の入力が前記第1の論理値に遷移した後に、前記第2の出力が選択される、前記回路。 40

**【請求項 11】**

集積回路の経年変化除去のための方法であって、前記方法は下記を備える、  
 安全な電圧及び周波数で前記集積回路の動作を初期化することと、  
 複数の動作周波数に関する目標性能センサの測定値を含む係数テーブルにおける初期値を使用して、前記集積回路の動的な電圧及び周波数の調整を可能にすることと、 50

前記集積回路の経年変化を感知することと、  
前記感知された経年変化に基づいて前記係数テーブルを更新することと、  
前記更新された係数テーブルを使用して動的な電圧及び周波数の調整を継続すること。

#### 【請求項 1 2】

請求項 1 1 に記載の方法であって、前記集積回路の経年変化を感知することは、経年変化によって遅くされたリングオッシャレータの周波数を測定することと、経年変化によって遅くされない前記リングオッシャレータの周波数を測定することとを含む、前記方法。

#### 【請求項 1 3】

請求項 1 1 に記載の方法であって、前記感知された経年変化に基づいて前記係数テーブルを更新することは、経年変化ガードバンドを決定するために、前記感知された経年変化に、センサの経年変化と動作回路の経年変化との間の関係を示す経年変化調整レシオと、前記動作回路の最大動作周波数と電圧との間の関係を示す周波数対電圧調整ファクタとを乗じることを含む、前記方法。

10

#### 【請求項 1 4】

請求項 1 3 に記載の方法であって、前記感知された経年変化に基づいて前記係数テーブルを更新することは、経年変化によるセンサの発振周波数におけるパーセンテージの変化として表現される前記感知された経年変化を使用する、前記方法。

#### 【請求項 1 5】

請求項 1 4 に記載の方法であって、前記集積回路の経年変化を感知することは、複数の経年変化センサを測定することを含み、経年変化によるセンサの発振周波数における前記パーセンテージの変化は、前記複数の経年変化センサの測定におけるシステムティックなランダムばらつきを示す経年変化誤差分布を含む、前記方法。

20

#### 【請求項 1 6】

請求項 1 3 に記載の方法であって、前記感知された経年変化に基づいて前記係数テーブルを更新することは、供給電圧と性能センサの測定との間の関係を使用して、前記経年変化ガードバンドを前記係数テーブルの中の値に関連付けることをさらに含む、前記方法。

#### 【請求項 1 7】

請求項 1 1 に記載の方法は、さらに下記を備える、  
前記集積回路の経年変化を周期的に感知することと、  
前記周期的に感知された経年変化に基づいて前記係数テーブルをさらに更新することと、  
前記さらに更新された係数テーブルを使用して動的な電圧及び周波数の調整を継続すること。

30

#### 【請求項 1 8】

請求項 1 1 に記載の方法であって、前記安全な電圧及び周波数は、ワーストケースの経年変化に対する前記集積回路の信頼できる動作を可能にする、前記方法。

#### 【請求項 1 9】

集積回路であって、前記集積回路は下記を備える、  
前記集積回路において回路要素の経年変化を感知するように構成される経年変化センサ、ここにおいて、前記経年変化センサは、経年変化した及び経年変化していない両方の条件において回路の速度を測定するために前記同じ回路を使用する、と、

40

前記集積回路において使用される供給電圧を制御するように構成されたコア電力低減制御モジュール、ここにおいて、前記供給電圧は、前記経年変化センサによって感知される経年変化に少なくとも部分的に基づく。

#### 【請求項 2 0】

請求項 1 9 に記載の集積回路であって、前記経年変化センサが、  
第 1 の入力と第 1 の出力とを有する第 1 のディレイチェーンと、  
第 2 の入力と第 2 の出力とを有する第 2 のディレイチェーンと、  
前記第 1 のディレイチェーンと前記第 2 のディレイチェーンとを、経年変化している状態、経年変化した発振状態、又は経年変化していない発振状態におくように構成される制

50

御モジュールと、  
を備える、前記集積回路。

**【請求項 2 1】**

請求項 2 0 に記載の集積回路であって、

前記経年変化している状態は、前記第 1 のディレイチェーンと前記第 2 のディレイチェーンとに動作電圧を供給することと、前記第 1 の入力に第 1 の論理値を、前期第 2 の入力に第 2 の論理値を供給すること、ここにおいて、前記第 1 の論理値は、前記第 2 の論理値の相補的なものである、とを含み、

前記経年変化した発振状態は、経年変化によって遅くされた周波数で発振するように、前記第 1 のディレイチェーンと前記第 2 のディレイチェーンを結合することを含み、

前記経年変化していない発振状態は、経年変化によって遅くされていない周波数で発振するように、前記第 1 のディレイチェーンと前記第 2 のディレイチェーンを結合することを含む、

前記集積回路。

**【請求項 2 2】**

請求項 1 9 に記載の集積回路であって、前記コア電力低減制御モジュールが、  
安全な電圧及び周波数で前記集積回路の動作を初期化し、

複数の動作周波数に関する目標性能センサの測定値を含む係数テーブルにおける初期値を使用して、前記集積回路の動的な電圧及び周波数の調整を可能にし、

前記経年変化センサを使用して前記集積回路の経年変化を感知し、

前記感知された経年変化に基づいて前記係数テーブルを更新し、

前記更新された係数テーブルを使用して動的な電圧及び周波数の調整を継続する、  
ようさらに構成される、前記集積回路。

**【請求項 2 3】**

請求項 2 2 に記載の集積回路であって、前記コア電力低減制御モジュールは、経年変化ガードバンドを決定するために、前記感知された経年変化に、センサの経年変化と動作回路の経年変化との間の関係を示す経年変化調整レシオと、前記動作回路の最大動作周波数と電圧との間の関係を示す周波数対電圧調整ファクタとを乗じることによって、前記感知された経年変化に基づいて前記係数テーブルを更新するように構成される、前記集積回路。

**【請求項 2 4】**

請求項 2 3 に記載の集積回路であって、前記感知された経年変化に基づいて前記係数テーブルを更新することは、経年変化によるセンサの発振周波数におけるパーセンテージの変化として表現される前記感知された経年変化を使用し、ここにおいて、前記集積回路の経年変化を感知することは、複数の経年変化センサを測定することを含み、経年変化によるセンサの発振周波数における前記パーセンテージの変化は、前記複数の経年変化センサの測定におけるシステムティックなランダムばらつきを示す経年変化誤差分布を含む、前記集積回路。

**【請求項 2 5】**

集積回路であって、前記集積回路は下記を備える、

経年変化した及び経年変化していない両方の条件において回路の速度を測定するために前記同じ回路を使用して前記集積回路において回路要素の経年変化を感知するための手段と、

前記集積回路において使用される供給電圧を制御するように構成された前記集積回路の経年変化除去のための手段、ここにおいて、前記供給電圧は、前記集積回路によって感知される経年変化に少なくとも部分的に基づく。

**【請求項 2 6】**

請求項 2 5 に記載の集積回路であって、経年変化を感知するための前記手段が、  
第 1 の入力と第 1 の出力とを有する第 1 のディレイチェーンと、  
第 2 の入力と第 2 の出力とを有する第 2 のディレイチェーンと、

10

20

30

40

50

前記第1のディレイチェーンと前記第2のディレイチェーンとを、経年変化している状態、経年変化した発振状態、又は経年変化していない発振状態におくように構成される制御モジュールと、

を備える、前記集積回路。

#### 【請求項27】

請求項26に記載の集積回路であって、

前記経年変化している状態は、前記第1のディレイチェーンと前記第2のディレイチェーンとに動作電圧を供給することと、前記第1の入力に第1の論理値を、前期第2の入力に第2の論理値を供給すること、ここにおいて、前記第1の論理値は、前記第2の論理値の相補的なものである、とを含み、

前記経年変化した発振状態は、経年変化によって遅くされた周波数で発振するよう、前記第1のディレイチェーンと前記第2のディレイチェーンを結合することを含み、

前記経年変化していない発振状態は、経年変化によって遅くされていない周波数で発振するよう、前記第1のディレイチェーンと前記第2のディレイチェーンを結合することを含む、

前記集積回路。

#### 【請求項28】

請求項25に記載の集積回路であって、経年変化除去のための前記手段が、

安全な電圧及び周波数で前記集積回路の動作を初期化し、

複数の動作周波数に関する目標性能センサの測定値を含む係数テーブルにおける初期値を使用して、前記集積回路の動的な電圧及び周波数の調整を可能にし、

経年変化を感知するための前記手段を使用して前記集積回路の経年変化を感知し、前記感知された経年変化に基づいて前記係数テーブルを更新し、

前記更新された係数テーブルを使用して動的な電圧及び周波数の調整を継続する、  
ようさらに構成される、前記集積回路。

#### 【請求項29】

請求項28に記載の集積回路であって、経年変化除去のための前記手段は、経年変化ガードバンドを決定するために、前記感知された経年変化に、センサの経年変化と動作回路の経年変化との間の関係を示す経年変化調整レシオと、前記動作回路の最大動作周波数と電圧との間の関係を示す周波数対電圧調整ファクタとを乗じることによって、前記感知された経年変化に基づいて前記係数テーブルを更新するように構成される、前記集積回路。

#### 【請求項30】

請求項29に記載の集積回路であって、前記感知された経年変化に基づいて前記係数テーブルを更新することは、経年変化によるセンサの発振周波数におけるパーセンテージの変化として表現される、前記感知された経年変化を使用し、ここにおいて、前記集積回路の経年変化を感知することは、前記複数の経年変化センサを測定することを含み、経年変化によるセンサの発振周波数における前記パーセンテージの変化は、複数の経年変化センサの測定におけるシステムティックなランダムばらつきを示す経年変化誤差分布を含む、前記集積回路。

#### 【発明の詳細な説明】

#### 【技術分野】

#### 【0001】

[0001]本願発明は集積回路に関する、さらに詳細には、集積回路の性能の経年変化を動的に除去するための方法及びシステムに関する。

#### 【背景技術】

#### 【0002】

[0002]集積回路はますます複雑に発展してきた。性能と電力と間のトレードオフを改善するために、集積回路は、異なる時間で異なる周波数及び異なる電圧で動作し得る。例えば、集積回路は、高性能モード及び低電力モードを含む様々な周波数・電圧モードにおいて動作し得る。高性能モードは、高いクロック周波数及び高い供給電源を使用し、従って

高性能を与えるが、また、高い電力消費を有する。低電力モードは、低いクロック周波数及び低い供給電圧を使用し、従って低い電力消費を与えるが、また、低い性能を有する。加えて、集積回路の内部の様々なブロックは、異なった周波数及び異なった電圧で動作しうる。

#### 【0003】

[0003]与えられたクロック周波数をまかぬ特定の供給電圧は、様々な条件に基づいて変化することができる。例えば、製造ばらつきによって、同じ設計に従って製造された異なる集積回路が、電圧と周波数との間で異なった関係を有する結果となり得る。加えて、集積回路内の回路の特性におけるばらつきによって、集積回路の異なった区分が、電圧と周波数との間で異なった関係を有する結果となり得る。温度もまた、電圧と周波数との間の関係に影響を及ぼす。さらに、集積回路の中の様々なモジュールの動作に依存して変化する供給電圧の降下も存在し得る。適応型電圧制御（AVS）は、集積回路の感知された性能測定量に基づいて供給電圧を制御するために使用されることができる。

10

#### 【0004】

[0004]デバイスの経年変化は、とりわけナノメータ・テクノロジにおいて、集積回路の電気的パラメータにおける変化をもたらす。例えば、トランジスタのしきい値電圧は、正バイアス温度不安定性（PBTI）及び負バイアス温度不安定性（NBTI）のような効果によって増加され得る。回路は、一般に経年変化に伴いより遅く動作する。これは、さらに、供給電圧とクロック周波数との間の関係に影響を及ぼす。経年変化の速さ及び量は、集積回路の利用で変化し得る。例えば、携帯電話は、ユーザーが一日中、テキスト、電話をかける、ストリーミングビデオ、そしてゲームをすること、のような複数のタスクのために電話を利用しているときは、一日のほとんどが待機にある電話のユーザーと比較して、より経年変化し得る。

20

#### 【0005】

[0005]事前の経年変化補償スキームは、デバイスの経年変化の影響を事前に推定する。次に、ワースト・コーナーのシナリオに基づいて、経年変化の影響のまるまる全部が、デバイスの期待される動作寿命の終わり近くに現れるとして、デバイスがその設計要求を満たすような、大きなガードバンドを含めることによって、デバイスの経年変化の影響が説明される。これは、保守的な設計となり、著しい性能の損失となり得る。

30

#### 【発明の概要】

#### 【0006】

[0006]一態様では、集積回路の経年変化を感知するための回路が与えられる。回路は、第1の入力と第1の出力とを有する第1のディレイチェーン（delay chain）と、第2の入力と第2の出力とを有する第2のディレイチェーンと、及び、第1のディレイチェーンと第2のディレイチェーンとを経年変化している状態、経年変化した発振状態、又は経年変化していない発振状態におくように構成された制御モジュールと、を含む。

#### 【0007】

[0007]一態様では、集積回路の経年変化除去のための方法が与えられる。方法は、安全な電圧及び周波数で集積回路の動作を初期化することと、複数の動作周波数のための目標性能センサの測定値を含む係数テーブルにおける初期値を使用して集積回路の動的な電圧及び周波数の調整を可能にすることと、集積回路の経年変化を感知することと、感知された経年変化に基づいて係数テーブルを更新することと、更新された係数テーブルを使用して動的な電圧及び周波数の調整を継続することと、を含む。

40

#### 【0008】

[0008]一態様では、集積回路の中の回路要素の経年変化を感知するように構成された経年変化センサ、ここにおいて、経年変化センサは、経年変化した及び経年変化していない両方の条件において回路の速度を測定するために同じ回路を使用する、と、及び、集積回路の中で使用される供給電圧を制御するように構成されたコア電力低減制御モジュール、ここにおいて、供給電圧は、経年変化センサによって感知される経年変化に少なくとも部分的に基づく、と、を含む集積回路が与えられる。

50

## 【0009】

[0009]一態様では、経年変化した及び経年変化していない両方の条件における回路の速度を測定するために同じ回路を使用して集積回路の中の回路要素の経年変化を感知するための手段と、及び、集積回路の中で使用される供給電圧を制御するように構成された、集積回路の経年変化を除去する手段、ここにおいて、供給電圧は、集積回路によって感知された経年変化に少なくとも部分的に基づく、と、を含む集積回路を与える。

## 【0010】

[0010]本願発明の他の機能及び利点は、発明の態様を例示として示す以下の説明により明らかになる。

## 【図面の簡単な説明】

10

## 【0011】

[0011]本発明の詳細は、その構造及び動作の両方に関して、一部は、同様の参照番号が同様の部分を指す添付図面の検討することで収集される。

【図1】[0012]図1は、本願で開示される実施例に従う動的な経年変化除去を有する電子システムの機能ブロック図である。

【図2】[0013]図2は、本願で開示される実施例に従う動的な経年変化除去を有する集積回路のレイアウトを示す図である。

【図3】[0014]図3は、本願で開示される実施例に従う性能センサの機能ブロック図である。

20

【図4】[0015]図4は、本願で開示される実施例に従う経年変化センサの概略図である。

【図5】[0016]図5、本願で開示される実施例に従う遅延要素の概略図である。

【図6】[0017]図6は、本願で開示される実施例に従う経年変化センサ制御モジュールの概略図である。

【図7】[0018]図7は、図4の経年変化センサの動作を示す波形の概略図である。

【図8】図8は、図4の経年変化センサの動作を示す波形の概略図である。

【図9】[0019]図9は、本願で開示される実施例に従う動的な経年変化除去のための処理のフローチャートである。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0012】

30

[0020]添付された図面に関連して以下に記載の詳細な説明は、様々な構成の説明として意図されるものであり、本明細書において説明される概念が実施されうる唯一の構成を表すように意図されるものではない。詳細な説明は、様々な概念の完全な理解を提供する目的のために具体的な詳細を含む。しかしながら、これらの概念がこれらの特定の詳細なしに実施されうることは当業者にとって明らかであろう。いくつかの例において、そのような概念をあいまいにすることを避けるために、よく知られた構造及びコンポーネントがブロック図形式で示される。

## 【0013】

[0021]図1は、本願で開示される実施例に従う動的な経年変化除去を有する電子システムの機能ブロック図である。システムは、1つ又は複数の集積回路を使用して実施され得る。システムは、例えば、携帯電話において使用され得る。

40

## 【0014】

[0022]システムは、システムのための動作機能を遂行する様々なモジュールを含む。動作という用語は、電子システムの主要な効用を与えるとみなされ得る機能を、補助的と見なされ得る機能から区別するために用いられる。図1に示される例示的なシステムは、プロセッサモジュール120、画像処理ユニット(GPU)130、モデムモジュール140、及びコアモジュール150を含む。プロセッサモジュール120は、一般的なプログラム可能な機能を与えることができ、画像処理ユニット130は、画像の機能を与えることができ、モデムモジュール140は、通信機能、例えば、ロングタームエボリューション(LTE(登録商標))又は符号分割多元接続(CDMA)プロトコルに従う無線通信、を与えることができ、及び、コアモジュール150は、他のモジュールによって与えら

50

れない様々な機能を与えることができる。

【0015】

[0023]クロック生成モジュール113は、参照クロック入力を受信し、他のモジュールに1つ又は複数のクロック信号を供給する。クロック生成モジュール113は、様々な周波数でクロック信号を供給するために、フェーズロッклープ及び分周器を含み得る。クロック生成モジュール113は、コア電力低減(CPR)制御モジュール111によって制御される周波数で他のモジュールにクロックを供給する。クロック生成モジュール113の全ての又は部分の機能は、クロック信号を使用する様々なモジュールの中に置かれ得る。

【0016】

[0024]電力管理集積回路(PMIC)115は、システムの中の他のモジュールに1つ又は複数の電圧を供給する。PMIC115は、スイッチング電圧レギュレータ及び低ドロップアウト・レギュレータを含み得る。PMIC115は、分離した集積回路であり得る。PMIC115によって供給される電圧は、また、コア電力低減制御モジュール111によって制御される。システムのモジュールは、1つの電圧供給又は複数の電圧供給を有し得、複数のモジュールは、共通の電圧供給で動作し得る。

【0017】

[0025]プロセッサモジュール120、画像処理ユニット130、モデムモジュール140、及びコアモジュール150は、性能センサを含み得る。図1の例示的なシステムにおいて、プロセッサモジュール120は、2つの性能センサ121、122を含み、画像処理ユニット130は、性能センサ131を含み、モデムモジュール140は、性能センサ141を含み、及び、コアモジュール150は、2つの性能センサ151、152を含む。性能センサの各々は回路の速度を測定するための回路要素を含む。例えば、性能センサは、リングオシレータの発振を数え得る。各々の性能センサは、また、経年変化センサを含み得る。経年変化センサは、回路の性能に関する経年変化の影響を測定する。性能センサは、センサ中の回路要素の性能の特性を測定する。集積回路の中の回路要素の性能は、位置、温度、電圧降下、及び他のパラメータで変化するが、性能センサによって測定された性能は、性能センサの近くの同様な回路要素の性能を推定するために使用することができる。経年変化センサは、実施例において、経年変化した、及び経年変化していない両方の条件において回路の速度を測定するために同じ回路を使用する。

【0018】

[0026]コア電力低減制御モジュール111は、システムの中のモジュールによって使用されるクロック周波数及び供給電圧を制御する。コア電力低減制御モジュール111は、例えば、プロセッサモジュール120によって選択された動作モードに基づいて、周波数及び電圧を制御しうる。1つの実施例において、プロセッサは、動作周波数を選択し、コア電力低減制御モジュール111は、供給電圧を決定する。コア電力低減制御モジュール111は、対応するモジュールの中の性能センサからの性能測定に基づいて、及び経年変化センサからの経年変化に基づいて供給電力を決定することができる。コア電力低減制御モジュール111は、選択された動作周波数のために必要とされる最小電圧と同じ又はわずかに超える(例えば10mV)ように、供給電圧を決定し得る。他の実施例において、コア電力低減制御モジュール111は、ただ、クロック周波数を制御し得る。システムは、代替として又は加えて、性能に影響を与える基板電圧のような、他のパラメータを制御し得る。コア電力低減制御モジュール111の例示的な機能は、図9で示される処理を参照してさらに説明される。

【0019】

[0027]動的な経年変化除去を含まない従来のシステムは、供給電圧を、ガードバンドの量によって必要とされる最小電圧をかなり超える値に設定する。ガードバンドの量(例えば、100mV)は、数ある中で、経年変化の影響(任意の所与の時間での大きさは知られていない)を補うために使用される。従来のシステムにおいて、経年変化のためのガードバンドの量は、固定され、全く経年変化が発生していないシステムの動作の始めにおいて

10

20

30

40

50

てさえ適用される。ガードバンドは、クロック周波数のような、他のパラメータでも使用されてきた。本開示で説明される経年変化除去システム及び方法は、ガードバンドに関する性能の損失を見積もり又は低減する。

#### 【0020】

[0028]図2は、本願で開示される実施例に従う動的な経年変化除去を有する集積回路のレイアウトを示す概略図である。集積回路は、図1の電子システムを実施するために使用され得る。集積回路は、例えば、相補型金属酸化膜半導体(CMOS)を使用して製造され得る。

#### 【0021】

[0029]図2の集積回路は、集積回路の縁に沿っておかれた4つの外周ブロック210(210a、210b、210c、及び210d)を含む。集積回路は、集積回路内部の大きなブロックである、プロセッサモジュール220、画像処理モジュール230、及びモデムモジュール240を含む。図1のシステムにおいてコアモジュール150によって与えられる機能のような、集積回路の他の機能は、集積回路の残りの領域250の全体に散らばり得る。図1のコア電力低減制御モジュール111は、また、集積回路の残りの領域250の中に実装され得る。

#### 【0022】

[0030]集積回路は、また、集積回路の領域全体に間隔を空けて置かれる性能センサ261を含み得る。図2は、20個の性能センサを示すが、集積回路の実装は、数百の性能センサを含み得る。性能センサは、例えば、コア電力低減制御モジュール111に直列に接続され得、又はバスによって接続され得る。

#### 【0023】

[0031]図3は、本願で開示される実施例に従う性能センサの機能ブロック図である。性能センサは、図1の性能センサ121、122、131、141、151、152、及び図2の性能センサ261を実装するために使用され得る。

#### 【0024】

[0032]図3の性能センサは、複数のPVTセンサ311-319を含む。PVTセンサ311-319の各々は、例えば、周波数が回路の性能を表す出力を作成するためのリングオッシャレータを動作させることによって、回路の性能を測定する。PVTセンサ311-319の異なるセンサは、回路の異なるタイプ、例えば、トランジスタの異なるタイプを有する回路、の性能を測定し得る。PVTという名称は、プロセス(process)、電圧(voltage)、温度(temperature)を示し、これらは、回路性能に主要な影響を及ぼす。

#### 【0025】

[0033]性能センサは、経年変化センサ330を含む。経年変化センサ330は、回路の経年変化の影響を測定することができる。経年変化センサ330は、経年変化している状態、経年変化した発振状態、又は経年変化していない発振状態にあるように、(例えば、コア電力低減制御モジュール111によって)制御されることができるディレイライン(delay line)を含む。1つの例示的な実施例においては、経年変化している状態において、ディレイラインは、静的な電力状態に保たれる。ディレイラインは、経年変化が経年変化センサによって感知されるための回路によって使用されるのと同じ供給電圧で電力供給される。経年変化した発振状態において、ディレイラインは、経年変化した回路要素の遅延に基づく周波数で発振するクロック出力を作成するために結合されている。経年変化していない発振状態において、ディレイラインは、経年変化していない回路要素の遅延に基づく周波数で発振するクロック出力を作成するために結合されている。同じトランジスタが、経年変化した発振状態と経年変化していない発振状態との両方において使用される。

#### 【0026】

[0034]性能センサは、制御モジュール320を含む。制御モジュール320は、他のモジュールへの、例えば、感知された性能測定を通信するためにコア電力低減制御モジュール111へのインターフェースを与える。制御モジュール320は、また、経年変化センサ330及びPVTセンサ311-319の発振を数えるためのカウンタを含み得る。カ

10

20

30

40

50

ウンタは、P V T センサ 3 1 1 - 3 1 9 又は経年変化センサ 3 3 0 の中のオッシレータの周波数を測定するために、知られた時間間隔にわたって数えることができる。制御モジュール 3 2 0 は、P V T センサ 3 1 1 - 3 1 9 が測定を遂行していない場合、P V T センサ 3 1 1 - 3 1 9 への電圧供給を止めさせ得る。経年変化センサ 3 3 0 は、しかしながら、経年変化している状態のあいだ電力供給されたままである。

#### 【 0 0 2 7 】

[0035]図 4 は、本願で開示される実施例に従う経年変化センサの概略図である。経年変化センサは、図 4 の経年変化センサ 3 3 0 を実装し得、それは、図 1 のシステム及び図 2 の集積回路において使用されることができる。

#### 【 0 0 2 8 】

[0036]図 4 の経年変化センサは、第 1 のディレイチェーン 4 1 1 及び第 2 のディレイチェーン 4 1 2 を含む。第 1 のディレイチェーン 4 1 1 は、第 1 の入力 A I N を受信し、第 1 の出力 A 8 を作成する。第 2 のディレイチェーン 4 1 2 は、第 2 の入力 B I N を受信し、第 2 の出力 B 8 を作成する。各々のディレイチェーンは、遅延要素のチェーン（第 1 のディレイチェーン 4 1 1 の中の遅延要素 4 5 0 - 4 5 8 、及び第 2 のディレイチェーン 4 1 2 の中の遅延要素 4 7 0 - 4 7 8 ）を含む。示された実施例において、各々のディレイチェーンは、9 個の遅延要素を含み、遅延要素はインバータである。

#### 【 0 0 2 9 】

[0037]経年変化センサは、経年変化センサの機能を制御する経年変化センサ制御モジュール 4 2 5 を含む。経年変化センサ制御モジュール 4 2 5 は、また、経年変化した回路及び経年変化していない回路の両方の性能を表すことができるクロック出力（ C L K O U T ）を作成する。経年変化センサ制御モジュール 4 2 5 は、実行制御入力（ R U N ）を受信する。実行制御入力がロー（ low ）の場合、経年変化センサは、動いておらず（経年変化している状態）、及びディレイチェーン（ディレイラインとも呼ばれる）は、遅延要素を経年変化させるように特定の状態に保持される。実行制御入力がハイ（ high ）の場合、ディレイチェーンは、経年変化によって遅くされた周波数のリングオッシレータを形成するように結合され（経年変化した発振状態）、又は経年変化によって遅くされていない周波数のリングオッシレータを形成するように結合される（経年変化していない発振状態）。経年変化した発振状態又は経年変化していない発振状態の選択は、 M I N / M A X 制御入力によって制御される。

#### 【 0 0 3 0 】

[0038]図 4 に示される実施例において、4 個のマルチプレクサが、ディレイチェーンを経年変化している状態、経年変化した状態、又は経年変化した状態におくために使用される。図 4 の経年変化センサにおいて、マルチプレクサは、入力から出力へ反転させる。他の実施例では、非反転マルチプレクサを使用し得る。

#### 【 0 0 3 1 】

[0039]マルチプレクサ 4 4 1 は、第 1 のディレイチェーンの出力（ A 8 ）（実行状態の場合）と、静的ロー電圧（実行状態ではない場合）とのいずれかを選択する。マルチプレクサ 4 6 1 は、第 2 のディレイチェーン（実行状態の場合）と、静的ハイ電圧（実行状態ではない場合）とのいずれかを選択する。

#### 【 0 0 3 2 】

[0040]マルチプレクサ 4 4 0 は、第 1 のディレイチェーン 4 1 1 の入力（ A I N ）を供給するために、マルチプレクサ 4 4 1 の出力（ A O U T ）と、マルチプレクサ 4 6 1 の出力（ B O U T ）とのいずれかを選択する。マルチプレクサ 4 6 0 は、第 2 のディレイチェーン 4 1 2 の入力（ B I N ）を供給するために、マルチプレクサ 4 4 1 の出力（ A O U T ）と、マルチプレクサ 4 6 1 の出力（ B O U T ）とのいずれかを選択する。マルチプレクサ 4 4 0 によって遂行される選択は、経年変化センサ制御モジュール 4 2 5 によって供給される第 1 の制御信号（ I N I T A ）によって制御され、マルチプレクサ 4 6 0 によって遂行される選択は、経年変化センサ制御モジュール 4 2 5 によって供給される第 2 の制御信号（ I N I T B ）によって制御される。

10

20

30

40

50

## 【0033】

[0041] 経年変化している状態において、第1のディレイチェーン411の入力は、第1の論理値を有し、第2のディレイチェーン412への入力は、第1の論理値の相補である第2の論理値を有す。図4の実施例において、第1の論理値はハイであり、第2の論理値はローである。

## 【0034】

[0042] 経年変化している状態において、マルチブレクサ441は、ロー電圧入力を選択し、A OUTはハイであり、マルチブレクサ461は、ハイ電圧を選択し、B OUTはローである。経年変化センサ制御モジュール425は、第1の制御信号(INITA)をハイになるように作成する。従って、マルチブレクサ440は、B OUT(これは、ローである)を選択し、マルチブレクサ出力(AIN)は、ハイになる。経年変化センサ制御モジュール425は、第2の制御信号(INITB)をローになるように作成する。従って、マルチブレクサ460は、A OUT(これは、ハイである)を選択し、マルチブレクサ出力(BIN)はローになる。これは、第1のディレイチェーン411及び第2のディレイチェーン412が、相補的な出力を有する互い違いになった遅延要素を有する相補的な状態に保たれる、という結果になる。詳細には、第1のディレイチェーン411において、第1の遅延要素450の出力(A0)はローであり、第2の遅延要素451の出力(A1)はハイであり、第3の遅延要素452の出力(A2)はローであり、ローである第9の遅延要素458の出力(A8)まで通して、そのようになる。及び、第2のディレイチェーン412において、第1の遅延要素470の出力(B0)はハイであり、第2の遅延要素471の出力(B1)はローであり、第3の遅延要素472の出力(B2)はハイであり、ハイである第9の遅延要素478の出力(B8)まで通して、そのようになる。

10

20

30

## 【0035】

[0043] 遅延要素上の静的な電圧は、経年変化した状態への遷移が遅くされるように、遅延要素を経年変化させる傾向がある。例えば、第1の遅延要素450の出力(A0)が、経年変化のあいだローであったならば、その出力での立ち下り遷移は、経年変化の影響により遅くされることになる。同様に、第2の遅延要素451の出力(A1)が、経年変化のあいだハイであったならば、その出力での立ち上がり遷移は、経年変化の影響により遅くされることになる。立ち上がりの及び立ち下がりの遷移は、遅延素子から遅延素子へと交互に起こり、経年変化に影響を受ける遷移もまた、遅延素子から遅延素子へと交互に起こるために、ディレイチェーン全体は、ディレイチェーンへの入力と同じ遷移に関する経年変化によって影響を受ける。第1のディレイチェーン411は、その入力での立ち上がり遷移に関して経年変化により遅くされる。同様に、第2のディレイチェーン412は、入力での立ち下がり遷移に関して経年変化によって遅くされる。

## 【0036】

[0044] 経年変化した発振状態において、経年変化センサ制御モジュール425は、ディレイチェーンが、第1のディレイチェーンの入力での立ち上り遷移に関する遅延と、第2のディレイチェーンの入力での立ち下がり遷移に関する遅延とを含む周期で発振するように、第1の及び第2の制御信号を制御する。経年変化した発振状態における動作は、図7の波形の概略図において示される。波形の始まりで、実行制御入力RUNはローであり、ディレイチェーンは、第1のディレイチェーンへの入力(AIN)がハイであり、第2のディレイチェーンへの入力(BIN)がローである経年変化状態にある。

40

## 【0037】

[0045] 時刻701で、実行制御入力はハイに切り替わり、MIN/MAX制御入力は、経年変化センサが経年変化した発振状態に入るよう、ハイである。第1の制御信号(INITA)は、マルチブレクサ440が切り替わり、及び第1のディレイチェーン411への入力(AIN)がローに切り替わるように、ハイに切り替わる。第1のディレイチェーン411への入力での立ち下がり遷移は、ディレイチェーンを通り、マルチブレクサ441を通って、A OUTに伝搬し、それは、時刻702で、立ち下がる。この時、経年変化センサ制御モジュール425からの第1の及び第2の制御信号は、A OUTが選択され

50

、両方のディレイチェーンへの入力が立ち上がる（A OUTの立ち下がりは、マルチブレクサ440及びマルチブレクサ446によって反転される）ように、両方ともローである。

#### 【0038】

[0046]ディレイチェーンへの入力での立ち上り遷移は、同時に両方のディレイチェーンを通って伝搬する。第1のディレイチェーン411の入力での立ち上り遷移に関する第1のディレイチェーン411における遅延は、経年変化によって遅くされる。第2のディレイチェーン412の入力での立ち上り遷移に関する第2のディレイチェーン412における遅延は、経年変化によって遅くされない。第2のディレイチェーン412への入力での立ち上りは、時刻703にその出力まで通じて伝搬し、第1のディレイチェーン411への入力での立ち上りは、時刻704にその出力まで通じて伝搬する。時刻704と時刻703との相違は、経年変化の影響である。図7において、遅延の相違は、影響を明確に示すため強調されている。10

#### 【0039】

[0047]時刻703前に、経年変化センサ制御モジュール425からの第1の及び第2の制御信号は、マルチブレクサ440及びマルチブレクサ460が、（立ち上がる入力に関して経年変化によって影響を受けるディレイチェーンからの）A OUTを選択するよう<sup>20</sup>に、設定される。従って、両方のディレイチェーンへの入力は立ち下がる（A OUTの立ち上がりは、マルチブレクサ440及びマルチブレクサ460によって反転される）。

#### 【0040】

[0048]ディレイチェーンへの入力での立ち上り遷移は、同時に両方のディレイチェーンを通って伝搬する。第1のディレイチェーン411の入力での立ち下がり遷移に関する第1のディレイチェーン411における遅延は、経年変化によって遅くされない。入力での立ち下がり遷移に関する第2のディレイチェーン412における遅延は、経年変化によって遅くされる。第1のディレイチェーン411への入力での立ち下がりは、時刻705にその出力まで通じて伝搬し、第2のディレイチェーン412への入力での立ち下がりは、時刻706にその出力まで通じて伝搬する。時刻706と時刻705との相違は、経年変化の影響である。

#### 【0041】

[0049]時刻705前に、経年変化センサ制御モジュール425からの第1の及び第2の制御信号は、マルチブレクサ440及びマルチブレクサ460が、（立ち下がり入力に関して経年変化によって影響を受けるディレイチェーンからの）B OUTを選択するよう<sup>30</sup>に、設定される。従って、両方のディレイチェーンへの入力は立ち上り、ディレイチェーンの1つの発振が完了される。信号の遷移の一続きが、次に、時刻702から、最初に説明した通り繰り返される。

#### 【0042】

[0050]時刻709で、実行制御入力はローに切り替わり、経年変化センサは経年変化する状態に戻すように切り替わる。図7における経年変化した発振状態は、わずかの発振だけ続き、しかし、集積回路において、経年変化した発振状態は、例えば数百、数千の発振のあいだ、続き得る。40

#### 【0043】

[0051]経年変化センサ制御モジュール425は、ディレイチェーンの中間点からの信号を使用して、マルチブレクサ440とマルチブレクサ460との制御信号での時間的な遷移が可能である。例えば、各々のディレイチェーンの中の第4の遅延要素の出力（A3, B3）は、クロック出力CLOCKOUTを作成するために、論理的にNANDをとられ得る。クロック出力は、次に、クロック信号（INITA, INITB）を生成するために使用され得る。

#### 【0044】

[0052]経年変化した発振状態（時刻701から時刻709まで）において、クロック出力の周期は、入力での立ち上り遷移に関する第1のディレイチェーンの遅延と、入力での

10

20

30

40

50

立ち下がり遷移に関する第2のディレイチェーンの遅延とを組み合わせる。これらの場合の各々は、発振周波数が、発生した経年変化の量を測定するために使用されることがあるよう、経年変化によって遅くされる。

#### 【0045】

[0053] 経年変化していない発振状態において、経年変化センサ制御モジュール425は、ディレイチェーンが、その入力での立ち下がり遷移に関する第1のディレイチェーン411の遅延とその入力での立ち上り遷移に関する第2のディレイチェーンの遅延とを含む周期で発振するように、第1の及び第2の制御信号を制御する。経年変化していない発振状態における動作は、図8の波形の概略図において示される。波形の始まりで、実行制御入力RUNはローであり、ディレイチェーンは、第1のディレイチェーンへの入力(AIN)がハイであり、第2のディレイチェーンへの入力(BIN)がローである経年変化している状態にある。10

#### 【0046】

[0054] 時刻801で、実行信号は、ハイに切り替わりMIN/MAX制御信号は、経年変化センサが経年変化していない発振状態に入るよう、ローになる。第1の制御信号(INITA)は、マルチプレクサ440が切り替わり、第1のディレイチェーン411への入力(AIN)がローに切り替わるように、ローに切り替わる。第1のディレイチェーン411への入力での立ち下がり遷移は、ディレイチェーンを通り、マルチプレクサ441を通ってAOUTに伝搬し、それは時刻802で立ち下がる。この時、経年変化センサ制御モジュール425からの第1の及び第2の制御信号は、AOUTが選択され、両方のディレイチェーンへの入力が立ち上がる(AOUTの立ち下がりは、マルチプレクサ440及びマルチプレクサ460によって反転される)ように、両方ともローである。20

#### 【0047】

[0055] ディレイチェーンへの入力での立ち上り遷移は、同時に両方のディレイチェーンを通じて伝搬する。入力での立ち上り遷移に関する第1のディレイチェーンにおける遅延は、経年変化によって遅くされる。入力での立ち上り遷移に関する第2のディレイチェーンにおける遅延は、経年変化によって遅くされない。第2のディレイチェーン412への入力での立ち上りは、時刻803にその出力まで通じて伝搬し、第1のディレイチェーン411への入力での立ち上りは、時刻804にその出力まで通じて伝搬する。時刻804と時刻803との相違は、経年変化の影響である。図8において、遅延における相違は、影響を明確に示すため強調されている。30

#### 【0048】

[0056] 時刻803の前に、経年変化センサ制御モジュール425からの制御信号は、マルチプレクサ440及びマルチプレクサ460が、(立ち上り入力に関して経年変化よって影響を受けないディレイチェーンからの)BOUTを選択するように、設定される。従って、両方のディレイチェーンへの入力は、時刻803の後に立ち下がる(AOUTの立ち上りは、マルチプレクサ440及びマルチプレクサ460によって反転される)。

#### 【0049】

[0057] ディレイチェーンへの入力での立ち上り遷移は、同時に両方のディレイチェーンを通じて伝搬する。入力での立ち下がり遷移に関する第1のディレイチェーン411における遅延は、経年変化によって遅くされない。入力での立ち下がり遷移に関する第2のディレイチェーン412における遅延は、経年変化によって遅くされる。第1のディレイチェーン412への入力での立ち下がりは、時刻805にその出力まで通じて伝搬し、第2のディレイチェーン411への入力での立ち下がりは、時刻804にその出力まで通じて伝搬する。時刻806と時刻805との相違は、経年変化の影響である。40

#### 【0050】

[0058] 時刻805の前に、経年変化センサ制御モジュール425からの制御信号は、マルチプレクサ440及びマルチプレクサ460が、(立ち下がり入力に関して経年変化よって影響を受けないディレイチェーンからの)AOUTを選択するように、設定される。従って、両方のディレイチェーンへの入力は立ち上がり、ディレイチェーンの1つの発振50

が完了される。信号の遷移の一続きが、次に、時刻 802 から、最初に説明した通り繰り返される。

#### 【0051】

[0059] 時刻 809 で、実行制御入力はローに切り替わり、経年変化センサは、経年変化している状態に戻るように切り替わる。図 8 における経年変化していない発振状態は、わずかの発振だけ続き、しかし、集積回路において、経年変化した発振状態は、例えば数百、数千の発振のあいだ、継ぎ得る。

#### 【0052】

[0060] 経年変化センサ制御モジュール 425 は、経年変化した発振状態で説明されたように、ディレイチェーンの中間点からの信号を使用して、マルチプレクサ 440 とマルチプレクサ 460 との制御信号での時間的な遷移が可能である。10

#### 【0053】

[0061] 経年変化していない発振状態（時刻 801 から時刻 809 まで）において、クロック出力の周期は、入力での立ち下がり遷移に関する第 1 のディレイチェーンの遅延と、入力での立ち上り遷移に関する第 2 のディレイチェーンの遅延とを組み合わせる。これらの場合の各々は、発振周波数が、発生した経年変化の量を示すために使用されることができるように、経年変化によって遅くされない。いくつかの場合において、経年変化の影響は、経年変化していない発振状態における発振周波数を増加させ得る。

#### 【0054】

[0062] 図 5 は本願で開示される実施例に従う遅延要素の概略図である。遅延要素は、図 4 の経年変化センサのディレイチェーンの中の遅延要素を実装するために使用され得る。20 図 5 の遅延要素は、入力（IN）を受信し、反転された出力（OUT）を作成する。

#### 【0055】

[0063] 遅延要素は、電圧供給と出力との間に直列にソースとドレインが接続された、3つのpチャネルトランジスタ 511、512、513 を含むインバータである。pチャネルトランジスタ 511、512、513 のゲートは、入力に接続する。遅延要素は、設置基準と出力との間に直列にソースとドレインが接続された 3 つのnチャネルトランジスタ 521、422、523 を含む。nチャネルトランジスタ 521、522、523 のゲートは、入力に接続する。直列のトランジスタの使用は、経年変化センサの中のディレイチェーンがより少ない段数を有することができるよう、遅延要素の遅延を増やすことができる。遅延要素の多くの他のタイプもまた、たとえば、関心のある特定の経年変化の影響に依存して、使用され得る。30

#### 【0056】

[0064] 図 6 は、本願で開示される実施例に従う経年変化センサ制御モジュールの概略図である。経年変化センサ制御モジュールは、図 4 の経年変化センサの経年変化センサ制御モジュール 425 を実装するために使用され得る。図 6 において説明される回路は、例示であり、同じ又は同様の機能は、他の方法で実装され得る。

#### 【0057】

[0065] 経年変化センサ制御モジュールは、ディレイチェーンの中間点（A3、B3）及び実行制御入力（RUN）からクロック出力を作成するためにNANDゲート 611 及びバッファ 615 を使用する。NANDゲート 631 とNANDゲート 632 とは、実行制御入力がローの場合に初期化され、クロック出力が立ち上がる場合にトグルされるセット・リセットラッチを形成する。NANDゲート 631 の出力は、実行制御入力が（経年変化している状態において）ローの間、ローになることになり、クロック出力の最初の立ち下がりエッジで、ハイに遷移することになる。40

#### 【0058】

[0066] 排他的ORゲート 621 は、クロック出力に基づいて、MIN/MAX制御入力によって決定される極性を有する制御信号（INITA、INITB）をトグルするために使用される。制御信号での（実行制御信号の立ち上りの後の）遷移の始まりは、NANDゲート 622 によってイネーブルされる。第 1 の制御信号（INITA）は、経年変化50

している状態（実行制御入力がローである時）のあいだ第1の制御信号の値も制御するNANDゲート641によってバッファされる。第2の制御信号（INITB）は、インバータ642によってバッファされる。

#### 【0059】

[0067]図9は、本願で開示される実施例に従う動的な経年変化除去のための処理のフローチャートである。処理は、例えば、図1の電子システムの中のコア電力低減制御モジュールによって、遂行されうる。

#### 【0060】

[0068]処理は、経年変化センサ、例えば、図4の経年変化センサ、を使用する。経年変化した発振状態における発振周波数( $F_{aged}$ )及び経年変化していない発振状態における発振周波数( $F_{non-aged}$ )は、関連する回路の経年変化を除去（経年変化のための補償）するために測定され、使用される。センサは、リングオッシャレータ、つまりROSと省略して呼ばれうる。処理は、経年変化センサにおいて測定された経年変化が動作する回路の経年変化を補償するために使用されることができるよう、動作する回路の経年変化と、経年変化センサによって測定された経年変化との間の決定された関係を使用する。処理は、1つの領域（共通の供給電圧を有する動作する回路モジュール）についてさらに詳細に説明されることになるが、処理は、複数の周波数で各々が動作できる複数の領域に関して使用されることが理解される。

10

#### 【0061】

[0069]経年変化センサによる測定された経年変化と動作する回路の経年変化との間の関係は、現実の集積回路のキャラクタリゼーション(characterization)テストによって決定されることができる。例えば、集積回路は様々な温度、周波数、及び電圧で動作され得、経年変化センサの性能及び集積回路の動作モジュールの性能は、長い時間にわたって測定される。

20

#### 【0062】

[0070]動的な経年変化除去の処理において又は処理の説明において使用される概念と変数とは、以下に定義される。

#### 【0063】

[0071]経年変化RO劣化(ARD)は、経年変化センサの中のリングオッシャレータの経年変化による劣化を表す。ARDは、経年変化によるセンサの発振周波数におけるパーセンテージの変化としてセンサの経年変化を表現する。1つの実施例において、パーセントで、 $ARD = (F_{non-aged} - F_{aged}) / F_{non-aged} + AED$ である。 $F_{non-aged}$ は、経年変化していない発振状態における経年変化センサの周波数であり、それは、トランジスタの経年変化に敏感ではない。 $F_{aged}$ は、経年変化した発振状態における経年変化センサの周波数であり、それは、経年変化に敏感であり、トランジスタが劣化とともに、徐々に遅くなることになる。それゆえ、ARDは、トランジスタの経年変化とともに徐々に増加することになる。複数の経年変化センサを有する領域に関して、ARDは、領域の中のすべての経年変化センサからの最大測定値である。ARD  $>= 0$ であるべきである。これは、負の値をオフセットするようにAEDを使用して達成される。代替として又は追加として、処理は負のARDの値を0に設定しうる。ARDは、電圧依存であり得る。ARDは、一般に測定電圧が減少すると増加する。

30

#### 【0064】

[0072]経年変化誤差分布(AED)は、時刻0（経年変化前）でのARDの測定におけるシステムティック(systematic)なランダムばらつきを示す。理想的には、ARD（時刻=0）は、0であるべきだが、ARDは、0を中心とする分布を有する小さなランダムな値であり得る。ARDは、領域の中の経年変化センサの全てからの最大の測定値であるため、ARD（時刻=0）は、負ではなく、ARD  $>= 0$ ということが大いにありうる。時刻0でARD  $>= 0$ はよい、しかし、時刻0でARD  $< 0$ の場合、AEDがARDのガードバンドに使用される。時刻=0での製品キャラクタリゼーションのあいだ、領域のARDが負の場合、そのワーストケースの絶対値がAEDの値を示す。

40

50

## 【0065】

[0073] 経年変化調整レシオ (A S R) は、関連する領域の中の動作する回路の経年変化とセンサの経年変化との間の関係を示す。動作する回路の経年変化は、これらの回路の最大動作周波数 ( $F_{m_a x}$ ) における変化として表現される。処理は  $A S R = F_{m_a x} D e g r a d a t i o n / A R D$  と設定しうる。 $F_{m_a x} D e g r a d a t i o n$  は、特定の条件に関する領域の中の回路の最大動作周波数における変化の量である。ユニットレベルの A S R 値は、所与の領域の中の回路に関する A S R 値として使用されるワーストリードアウト値を有する製品の高温動作寿命 (H T O L) テストのユニットから集められた値とすることができる。1つの A S R 値は、製品の H T O L テストの間の複数のリードアウトから決定されることができる。A S R 値は、たとえば、ディレーティング (derating) テーブルにおいて使用され得る。

10

## 【0066】

[0074] 周波数対電圧調整ファクタは、動作する回路の最大動作周波数と電圧との間の関係を示す。周波数対電圧調整ファクタは、領域において 1 % の  $F_{m_a x}$  の増加を加えるために必要とされる電圧増加の量を示すパーセント  $F_{m_a x}$  の電圧 (V P F) として表現され得る。V P F は、製品のキャラクタリゼーションから決定されることができる。所与の領域に関して測定された最も高い V P F の値が、使用されるべきである。V P F は電圧に依存し得る。電圧は、使用される複数の V P F の値を有するレンジに分割され、あるいは、全ての電圧について使用される最も高い V P F の値であることができる。

20

## 【0067】

[0075] 経年変化ガードバンド (A G B) は、領域の回路に関する  $F_{m_a x}$  を維持するようにトランジスタの劣化を補償するために必要とされる電圧の増加の量である。処理は、 $A G B = V P F * A S R * A R D$  と設定することができる。A G B は、各々の A R D 測定の後に更新されることがある。A G B は、電圧依存ではないことがある。処理は、電圧の異なるレンジに関する複数の A G B の値を使用することができ、又は、他の電圧での使用のために一つの A G B の値を調整し得る。

30

## 【0068】

[0076] 経年変化の目標アドオン (A T A) は、様々な周波数で動作するために関連した動作モジュールに関して、何の性能センサの測定値が必要とされるかを示す係数テーブルを更新するために、処理が使用することができる、A G B から変換される値である。この変換は、A G B の値（それは、電圧での経年変化の補償の量を示す）を目標性能センサの値に関連付ける。この関連付けは、例えば、供給電圧と集積回路のキャラクタリゼーションから得られる性能センサの測定との間の関係を使用することができる。A T A 値は経年劣化を補償するために係数テーブルを更新する。例えば、特定の周波数で動作するための関連する動作モジュールのために必要とされる、特定の性能センサの測定値を示す係数テーブルの値は、増加されることがある。上記説明された係数テーブルを使用しないシステムにおいて、A T A 値の置き換えは、省略され、又はそのシステムに関して適当な他の計算と置き換えられ得る。

30

## 【0069】

[0077] 図 9 の処理は、どのように集積回路が上記の経年変化除去情報を使用し、動作されるかを示し得る。明確な説明のために、処理は单一の領域に関して記述されるが、処理は複数の領域の経年変化除去のために使用されることが理解されるべきである。

40

## 【0070】

[0078] ブロック 9 1 0において、集積回路は、安全な電圧及び周波数で初期化される。電圧及び周波数のこの組み合わせは、予期されるすべての条件のもとで、集積回路の信頼できる動作のための十分なガードバンドを有す。予期される条件は、集積回路が動作するために指定されるすべての条件を含み得る。安全な電圧及び周波数は、ワーストケースの経年変化に対する集積回路の信頼できる動作を可能とする。

## 【0071】

50

[0079] ブロック 920において、処理は、係数テーブルにおける初期値を使用して、集積回路における動的な電圧及び周波数の調整ができるようとする。係数テーブルは、様々な動作周波数に関する目標性能センサの測定値を含む。動的な電圧及び周波数の調整の動作の例は、性能センサの測定を得るために性能を測定することと、対応する目標性能センサの測定値を得るために補正テーブルの中の現在の動作周波数を見つけることと、性能センサの測定と目標値との相対的な値に基づいて電圧を条件的に調整することと、を含む。もし、例えば、性能センサの測定が、目標値より小さい場合、電圧は、回路の速度を増加させるために上げられ得る。係数テーブルにおける初期値は、集積回路の寿命の終末の経年変化のための十分なガードバンドを含む。初期値は、集積回路のキャラクタリゼーションによって決定され得る。寿命の終末の経年変化のためのガードバンドは、初期 ATA 値を使用することによって影響され得る。処理は、次に、感知された経年変化に基づいて経年変化除去を遂行し続ける。

10

## 【0072】

[0080] ブロック 930において、処理は、集積回路の経年変化を測定する。ブロック 930 は、 $A R D = (F_{non-aged} - F_{aged}) / F_{non-aged} + A E D$  に従って、ARD を測定することを含むことができる。1つの実施例において、 $F_{aged}$  は、 $F_{non-aged}$  の前の測定である。これは、経年変化センサが、測定を遂行するために発信するときに起こり得る、経年変化の影響の反転を避ける、又は最小にすることができる。処理は、次に  $A G B = V P F * A S R * A R D$  に従って AGB を計算することができる。AGB は、ノーマル（待機ではない）モードで計算される。処理は、次に初期の（あるいは現在の）ATA を置き換えるために ATA を計算することができる。1つの実施例において、処理は寿命の終末の値を最大にするために ATA の量を制限し、それは、集積回路のキャラクタリゼーションのよって決定され得る。様々な実施例において、ARD は、経年変化センサと関連する現在使用されている動作電圧で又は固定された電圧で、測定され得る。

20

## 【0073】

[0081] ブロック 940において、処理は、ブロック 930 において感知された経年変化に基づいて係数テーブルを更新する。処理は、1つの周波数、全ての周波数、又は周波数の範囲のための係数テーブルを更新できる。代替として、処理は、動的な電圧及び周波数の調整ができるようになる前に係数テーブルを更新し得る。別の代替において、初期化された動作周波数のための係数テーブルを更新し、動的な電圧及び周波数の調整をできるようにし、次にすべての係数テーブルを更新する。

30

## 【0074】

[0082] ブロック 950において、集積回路は、ブロック 940 によって更新された係数テーブルを用いた、動的な電圧及び周波数の調整を使用して動作する。

## 【0075】

[0083] 周期的に、処理は、経年変化の影響に関する係数テーブルをさらに更新するようブロック 930 及び 940 に戻る。処理は、タイマの満了に基づいて係数テーブルを更新し得る。更新の周期は、たとえば、1分、10分、又は1時間であり得る。更新間の周期は例えば、集積回路が経年変化するにしたがってより少ない頻度で、時間にわたって変化し得る。追加として又は代替として、処理は、集積回路の動作モードの、又は集積回路の動作モジュールの変化に基づいて係数テーブルを更新し得る。例えば、集積回路が動作モードから待機モードへ切り替わる、あるいはその逆の場合、係数テーブルは、更新され得る。

40

## 【0076】

[0084] 動的な経年変化除去のための処理は、例えば、ブロックを追加すること、省略すること、並び替えること、又は変更することによって修正され得る。例えば、処理は、クロック周期（あるいは他の性能のパラメータ）を調整することによって、経年変化を除去し得る。そのような実施例において、処理は、周波数対電圧調整ファクタを使用する計算を省略しうる。追加として、ブロックは同時に遂行され得る。

50

## 【0077】

[0085]本発明の実施例は、特定の実施例に関して上記で説明されるが、本発明の多くの変形が可能である。例えば、様々な構成要素は、増やされ又は減らされ得る。説明されたシステム及び方法は、集積回路において最も重要な、特定の経年変化の影響によって修正され得る。経年変化センサは、集積回路の具体的な製造技術に従って、適合され得る。集積回路は、複数の経年変化の影響を測定するために、複数の経年変化センサを含み得る。追加として、様々な実施例の主要な点は、上記で説明された組合せと異なる組合せにおいて組み合わされ得る。

## 【0078】

[0086]当業者は、ここに開示された実施例に関連して説明された、様々な例示的なブロック及びモジュールが、様々な形態でインプリメントされることができるこことを理解し得る。いくつかのブロック及びモジュールは、それらの機能の用語で上記に一般的に説明されている。そのような機能がインプリメントされる仕方は、総体的なシステムに課された設計の制約に依存する。当業者は、各特定のアプリケーションのために、様々な方法で、説明された機能をインプリメントしうるが、そのようなインプリメンテーションの判定は、本発明の範囲から逸脱を引き起こしていると解釈されるべきでない。加えて、モジュール又はブロック内での機能をグループ化することは、説明の平易のためである。具体的な機能は、本発明から逸脱することなく、モジュール又はブロックにわたって、分散され、一つのモジュール又はブロックから移動することができる。

10

## 【0079】

[0087]ここに開示された実施形態に関連して説明されたさまざまな例示的な論理ブロック、モジュール、及び回路は、汎用プロセッサ、デジタルシグナルプロセッサ(DSP)、特定用途向け集積回路(ASIC)、フィールド・プログラマブル・ゲート・アレイ(FPGA)又はその他のプログラマブル論理デバイス、ディスクリート・ゲート又はトランジスタ・ロジック、ディスクリート・ハードウェア・コンポーネント、又はここに説明された機能を実行するように設計されるこれらの任意の組み合わせで、インプリメント又は実行されうる。汎用プロセッサは、マイクロプロセッサであることができるが、その代わりに、プロセッサは、任意の従来のプロセッサ、コントローラ、マイクロコントローラ、又はステートマシンであることができる。プロセッサはまた、例えば、DSPとマイクロプロセッサの組み合わせ、複数のマイクロプロセッサ、DSPコアと併せた1つ又は複数のマイクロプロセッサ、又は任意の他のそのような構成である、コンピューティングデバイスの組み合わせとしてインプリメントされることができる。

20

30

## 【0080】

[0088]本明細書において開示される実施形態に関連して説明される方法又はアルゴリズムのステップは、直接ハードウェアにおいて、プロセッサによって実行されるソフトウェアモジュールにおいて、又はこれら2つの組み合わせにおいて、具現化されうる。ソフトウェアモジュールは、RAMメモリ、フラッシュメモリ、ROMメモリ、EPROMメモリ、EEPROM(登録商標)メモリ、レジスタ、ハードディスク、リムーバブルディスク、CD-ROM、又は当該技術において知られる任意の他の形態の記憶媒体中に存在しうる。例証的な記憶媒体は、プロセッサが記憶媒体から情報を読み取り、記憶媒体に情報を書き込むことができるように、プロセッサに結合されうる。代替において、記憶媒体はプロセッサと一体化され得る。プロセッサ及び記憶媒体は、ASIC中に存在しうる。

40

## 【0081】

[0089]開示された実施形態の上記説明は、いかなる当業者であっても、本発明の製造又は使用を可能にするように提供される。これら実施形態への様々な修正は、当業者にとって容易に明らかとなり、本明細書で定義された一般的な原理は、本発明の趣旨又は範囲から逸脱することなく他の実施形態に適用され得る。従って、ここで示された説明及び図は、本発明の現在の好ましい実施例を表わし、それゆえに、現在の本発明によって広範に予期される主題の代表的なものであることが理解されるべきである。現在の本発明の範囲は、当業者に明確になり得る他の実施例を十分に包含し、現在の本発明の範囲は、従って、

50

添付された請求項のみに制限されることがさらに理解されるべきである。

【図1】

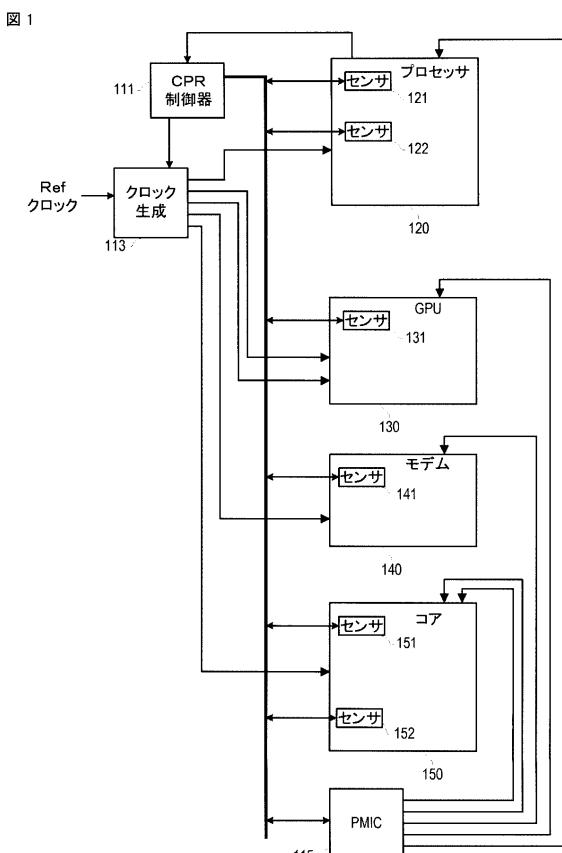


FIG. 1

【図2】

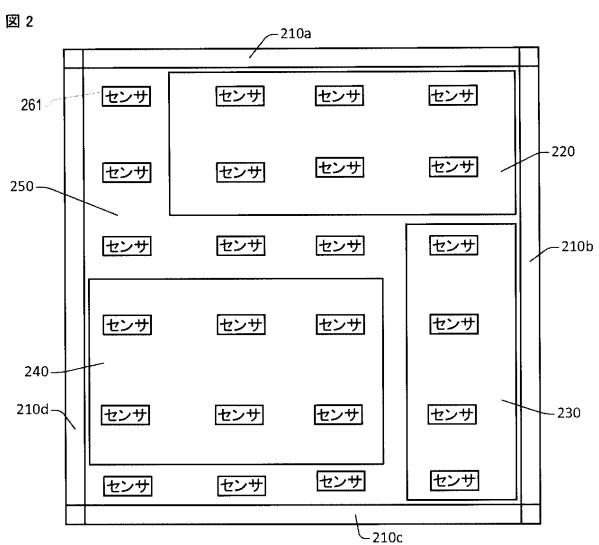
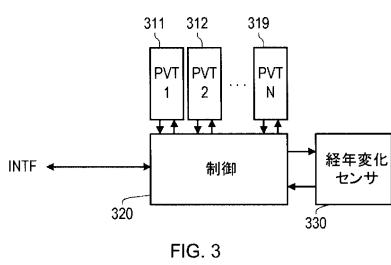


FIG. 2

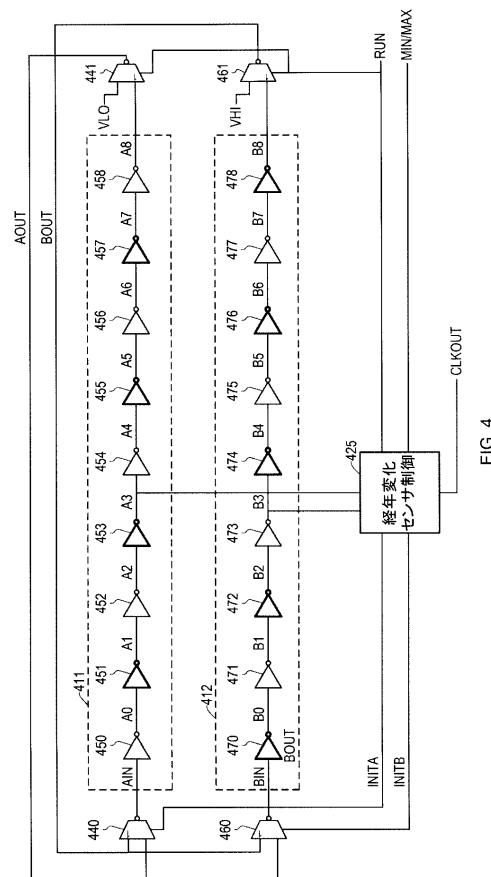
【図3】

図3

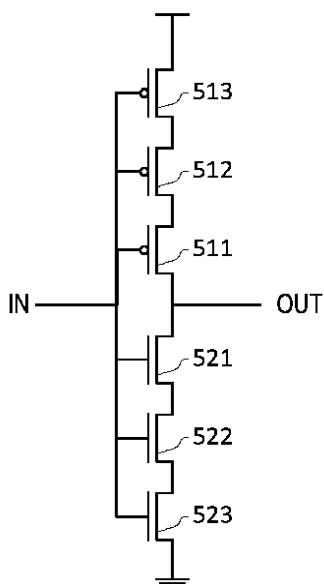


【図4】

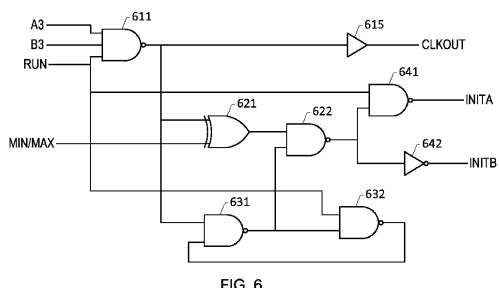
図4



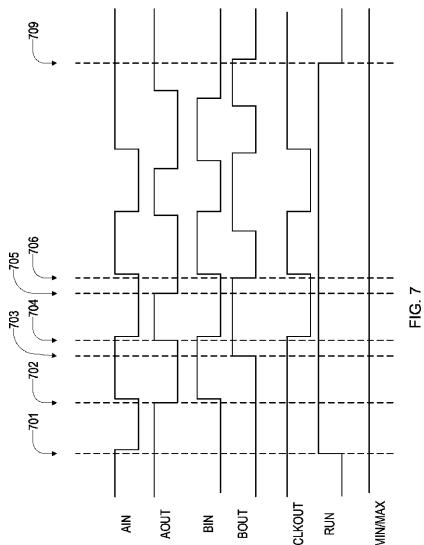
【図5】



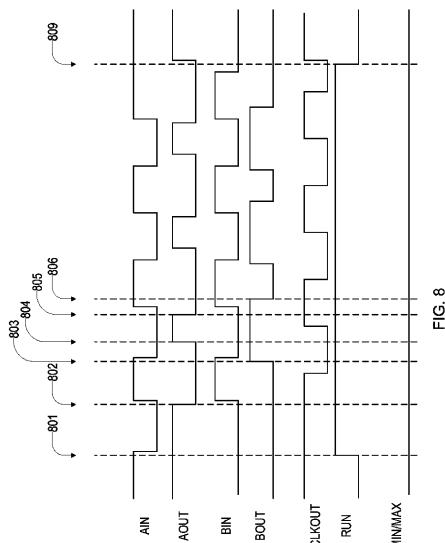
【図6】



【図7】



【図8】



【図9】

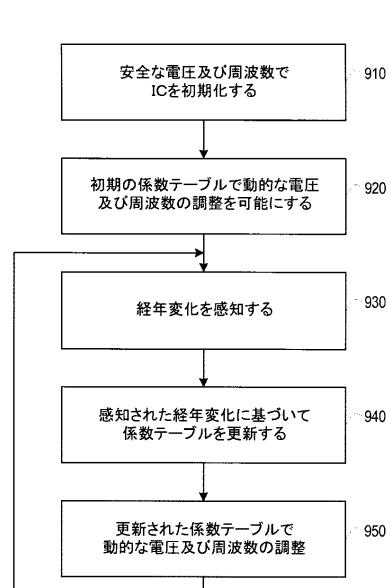


FIG. 9

## 【手続補正書】

【提出日】平成28年11月30日(2016.11.30)

## 【手続補正1】

【補正対象書類名】特許請求の範囲

【補正対象項目名】全文

【補正方法】変更

## 【補正の内容】

## 【特許請求の範囲】

## 【請求項1】

集積回路の経年変化を感知するための回路であって、前記回路は下記を備える、

第1の入力と第1の出力とを有する第1のディレイチェーンと、

第2の入力と第2の出力とを有する第2のディレイチェーンと、

前記第1のディレイチェーンと前記第2のディレイチェーンとを、前記第1と第2のディレイチェーンの中の回路要素を経年変化する経年変化している状態、経年変化した回路要素の遅延に基づく周波数で発振するクロック出力を生成するために前記第1のディレイチェーンと前記第2のディレイチェーンとを結合する経年変化した発振状態、又は経年変化していない回路要素の遅延に基づく周波数で発振する前記クロック出力を生成するために前記第1のディレイチェーンと前記第2のディレイチェーンとを結合する経年変化していない発振状態におくように構成された制御モジュール。

## 【請求項2】

請求項1に記載の回路であって、前記第1のディレイチェーンは、前記第1の入力と前記第1の出力との間に結合された遅延要素の第1のチェーンを含み、前記第2のディレイチェーンは、前記第2の入力と前記第2の出力との間に結合された遅延要素の第2のチェーンを含む、前記回路。

## 【請求項3】

請求項 2 に記載の回路であって、前記遅延要素の各々はインバータを含む、前記回路。

【請求項 4】

請求項 3 に記載の回路であって、各々のインバータは、直列の複数の p チャネルトランジスタ、及び直列の複数の n チャネルトランジスタを含む、前記回路。

【請求項 5】

請求項 1 に記載の回路であって、前記経年変化している状態は、前記第 1 のディレイチーンと前記第 2 のディレイチーンとに動作電圧を供給することを含む、前記回路。

【請求項 6】

請求項 5 に記載の回路であって、前記経年変化している状態は、前記第 1 の入力に第 1 の論理値を、前期第 2 の入力に第 2 の論理値を供給することをさらに含み、ここにおいて、前記第 1 の論理値は、前記第 2 の論理値の相補的なものである、前記回路。

【請求項 7】

請求項 1 に記載の回路であって、前記経年変化した発振状態における前記クロック出力の前記発振の前記周期は、経年変化によって遅くされた前記第 1 のディレイチーンを通る遷移の遅延と経年変化によって遅くされた前記第 2 のディレイチーンを通る遷移の遅延との組み合わせを含む、前記回路。

【請求項 8】

請求項 1 に記載の回路であって、前記経年変化していない発振状態における前記クロック出力の前記発振の前記周期は、経年変化によって遅くされていない前記第 1 のディレイチーンを通る遷移の遅延と経年変化によって遅くされていない前記第 2 のディレイチーンを通る遷移の遅延との組み合わせを含む、前記回路。

【請求項 9】

請求項 6 に記載の回路であって、前記経年変化した発振状態は、前記第 1 の出力と第 2 の出力との間で選択することと、前記選択された信号を前記第 1 の入力と前記第 2 の入力とに結合することとを含み、ここにおいて、前記第 1 の入力が前記第 1 の論理値に遷移した後に、前記第 1 の出力が選択され、前記第 2 の入力が前記第 2 の論理値に遷移した後に、前記第 2 の出力が選択される、前記回路。

【請求項 10】

請求項 6 に記載の回路であって、前記経年変化していない発振状態は、前記第 1 の出力と第 2 の出力との間で選択することと、前記選択された信号を前記第 1 の入力と前記第 2 の入力とに結合することとを含み、ここにおいて、前記第 1 の入力が前記第 2 の論理値に遷移した後に、前記第 1 の出力が選択され、前記第 2 の入力が前記第 1 の論理値に遷移した後に、前記第 2 の出力が選択される、前記回路。

【請求項 11】

集積回路の経年変化除去のための方法であって、前記方法は下記を備える、

安全な電圧及び周波数で前記集積回路の動作を初期化することと、

複数の動作周波数に関する目標性能センサの測定値を含む係数テーブルにおける初期値を使用して、前記集積回路の動的な電圧及び周波数の調整を可能にすることと、

経年変化センサを使用して前記集積回路の経年変化を感知することと、

前記感知された経年変化および前記経年変化センサによって測定された経年変化と動作回路の経年変化との間の関係に基づいて前記係数テーブルを更新することと、

前記更新された係数テーブルを使用して動的な電圧及び周波数の調整を継続すること。

【請求項 12】

請求項 11 に記載の方法であって、前記集積回路の経年変化を感知することは、経年変化によって遅くされたリングオッシャレータの周波数を測定することと、経年変化によって遅くされない前記リングオッシャレータの周波数を測定することとを含む、前記方法。

【請求項 13】

請求項 11 に記載の方法であって、前記感知された経年変化に基づいて前記係数テーブルを更新することは、経年変化ガードバンドを決定するために、前記感知された経年変化に、センサの経年変化と動作回路の経年変化との間の関係を示す経年変化調整レシオと、

前記動作回路の最大動作周波数と電圧との間の関係を示す周波数対電圧調整ファクタとを乗じることを含む、前記方法。

【請求項 1 4】

請求項 1 3 に記載の方法であって、前記感知された経年変化に基づいて前記係数テーブルを更新することは、経年変化によるセンサの発振周波数におけるパーセンテージの変化として表現される前記感知された経年変化を使用する、前記方法。

【請求項 1 5】

請求項 1 4 に記載の方法であって、前記集積回路の経年変化を感知することは、複数の経年変化センサを測定することを含み、経年変化によるセンサの発振周波数における前記パーセンテージの変化は、前記複数の経年変化センサの測定におけるシステムティックなランダムばらつきを示す経年変化誤差分布を含む、前記方法。

【請求項 1 6】

請求項 1 3 に記載の方法であって、前記感知された経年変化に基づいて前記係数テーブルを更新することは、供給電圧と性能センサの測定との間の関係を使用して、前記経年変化ガードバンドを前記係数テーブルの中の値に関連付けることをさらに含む、前記方法。

【請求項 1 7】

請求項 1 1 に記載の方法は、さらに下記を備える、  
前記集積回路の経年変化を周期的に感知することと、  
前記周期的に感知された経年変化に基づいて前記係数テーブルをさらに更新することと、  
前記さらに更新された係数テーブルを使用して動的な電圧及び周波数の調整を継続すること。

【請求項 1 8】

請求項 1 1 に記載の方法であって、前記安全な電圧及び周波数は、ワーストケースの経年変化に対する前記集積回路の信頼できる動作を可能にする、前記方法。

【請求項 1 9】

集積回路であって、前記集積回路は下記を備える、  
前記集積回路において回路要素の経年変化を感知するように構成される経年変化センサ、ここにおいて、前記経年変化センサは、経年変化した及び経年変化していない両方の条件において回路の速度を測定するために前記同じ回路を使用する、と、

前記集積回路において使用される供給電圧を制御するように構成されたコア電力低減制御モジュール、ここにおいて、前記供給電圧は、前記経年変化センサによって感知される経年変化および前記経年変化センサによって測定された経年変化と動作回路の経年変化との間に少なくとも部分的に基づく。

【請求項 2 0】

請求項 1 9 に記載の集積回路であって、前記経年変化センサが、  
第 1 の入力と第 1 の出力とを有する第 1 のディレイチェーンと、  
第 2 の入力と第 2 の出力とを有する第 2 のディレイチェーンと、  
前記第 1 のディレイチェーンと前記第 2 のディレイチェーンとを、前記第 1 と第 2 のディレイチェーンの中の回路要素を経年変化する経年変化している状態、経年変化した回路要素の遅延に基づく周波数で発振するクロック出力を作成するために前記第 1 のディレイチェーンと前記第 2 のディレイチェーンとを結合する経年変化した発振状態、又は経年変化していない回路要素の遅延に基づく周波数で発振する前記クロック出力を作成するために前記第 1 のディレイチェーンと前記第 2 のディレイチェーンとを結合する経年変化していない発振状態におくように構成される制御モジュールと、  
を備える、前記集積回路。

【請求項 2 1】

請求項 2 0 に記載の集積回路であって、  
前記経年変化している状態は、前記第 1 のディレイチェーンと前記第 2 のディレイチェーンとに動作電圧を供給することと、前記第 1 の入力に第 1 の論理値を、前期第 2 の入力

に第2の論理値を供給すること、ここにおいて、前記第1の論理値は、前記第2の論理値の相補的なものである、とを含み、

前記経年変化した発振状態における前記クロック出力の前記発振の前記周期は、経年変化によって遅くされた前記第1のディレイチェーンを通る遷移の遅延と経年変化によって遅くされた前記第2のディレイチェーンを通る遷移の遅延との組み合わせを含み、

前記経年変化していない発振状態における前記クロック出力の前記発振の前記周期は、経年変化によって遅くされていない前記第1のディレイチェーンを通る遷移の遅延と経年変化によって遅くされない前記第2のディレイチェーンを通る遷移の遅延との組み合わせを含む、

前記集積回路。

#### 【請求項22】

請求項19に記載の集積回路であって、前記コア電力低減制御モジュールが、安全な電圧及び周波数で前記集積回路の動作を初期化し、

複数の動作周波数に関する目標性能センサの測定値を含む係数テーブルにおける初期値を使用して、前記集積回路の動的な電圧及び周波数の調整を可能にし、

前記経年変化センサを使用して前記集積回路の経年変化を感知し、

前記感知された経年変化および前記経年変化センサによって測定された経年変化と動作回路の経年変化との間の関係に基づいて前記係数テーブルを更新し、

前記更新された係数テーブルを使用して動的な電圧及び周波数の調整を継続する、  
ようにさらに構成される、前記集積回路。

#### 【請求項23】

請求項22に記載の集積回路であって、前記コア電力低減制御モジュールは、経年変化ガードバンドを決定するために、前記感知された経年変化に、センサの経年変化と動作回路の経年変化との間の関係を示す経年変化調整レシオと、前記動作回路の最大動作周波数と電圧との間の関係を示す周波数対電圧調整ファクタとを乗じることによって、前記感知された経年変化に基づいて前記係数テーブルを更新するように構成される、前記集積回路。

#### 【請求項24】

請求項23に記載の集積回路であって、前記感知された経年変化に基づいて前記係数テーブルを更新することは、経年変化によるセンサの発振周波数におけるパーセンテージの変化として表現される前記感知された経年変化を使用し、ここにおいて、前記集積回路の経年変化を感知することは、複数の経年変化センサを測定することを含み、経年変化によるセンサの発振周波数における前記パーセンテージの変化は、前記複数の経年変化センサの測定におけるシステムティックなランダムばらつきを示す経年変化誤差分布を含む、前記集積回路。

#### 【請求項25】

集積回路であって、前記集積回路は下記を備える、

前記集積回路において回路要素の経年変化を感知するための手段であって、

第1の入力と第1の出力とを有する第1のディレイチェーンと、

第2の入力と第2の出力とを有する第2のディレイチェーンと、

前記第1のディレイチェーンと前記第2のディレイチェーンとを、前記第1と第2のディレイチェーンの中の回路要素を経年変化する経年変化している状態、経年変化した回路要素の遅延に基づく周波数で発振するクロック出力を生成するために前記第1のディレイチェーンと前記第2のディレイチェーンとを結合する経年変化した発振状態、又は経年変化していない回路要素の遅延に基づく周波数で発振する前記クロック出力を生成するために前記第1のディレイチェーンと前記第2のディレイチェーンとを結合する経年変化していない発振状態におくよう構成される制御モジュールと、

を含む、感知するための手段と、

前記集積回路において使用される供給電圧を制御するように構成された前記集積回路の経年変化除去のための手段、ここにおいて、前記供給電圧は、前記集積回路によって感知

される経年変化に少なくとも部分的に基づく。

#### 【請求項 2 6】

請求項2 5に記載の集積回路であって、

前記経年変化している状態は、前記第1のディレイチェーンと前記第2のディレイチェーンとに動作電圧を供給することと、前記第1の入力に第1の論理値を、前期第2の入力に第2の論理値を供給すること、ここにおいて、前記第1の論理値は、前記第2の論理値の相補的なものである、とを含み、

前記経年変化した発振状態における前記クロック出力の前記発振の前記周期は、経年変化によって遅くされた前記第1のディレイチェーンを通す遷移の遅延と経年変化によって遅くされた前記第2のディレイチェーンを通す遷移の遅延との組み合わせを含み、

前記経年変化していない発振状態における前記クロック出力の前記発振の前記周期は、経年変化によって遅くされない前記第1のディレイチェーンを通る遷移の遅延と年変化によって遅くされない前記第2のディレイチェーンを通る遷移の遅延との組み合わせを含む、

前記集積回路。

#### 【請求項 2 7】

請求項2 5に記載の集積回路であって、経年変化除去のための前記手段が、

安全な電圧及び周波数で前記集積回路の動作を初期化し、

複数の動作周波数に関する目標性能センサの測定値を含む係数テーブルにおける初期値を使用して、前記集積回路の動的な電圧及び周波数の調整を可能にし、

経年変化を感知するための前記手段を使用して前記集積回路の経年変化を感知し、

前記感知された経年変化に基づいて前記係数テーブルを更新し、

前記更新された係数テーブルを使用して動的な電圧及び周波数の調整を継続する、  
ようにさらに構成される、前記集積回路。

#### 【請求項 2 8】

請求項2 7に記載の集積回路であって、経年変化除去のための前記手段は、経年変化ガードバンドを決定するために、前記感知された経年変化に、センサの経年変化と動作回路の経年変化との間の関係を示す経年変化調整レシオと、前記動作回路の最大動作周波数と電圧との間の関係を示す周波数対電圧調整ファクタとを乗じることによって、前記感知された経年変化に基づいて前記係数テーブルを更新するように構成される、前記集積回路。

#### 【請求項 2 9】

請求項2 8に記載の集積回路であって、前記感知された経年変化に基づいて前記係数テーブルを更新することは、経年変化によるセンサの発振周波数におけるパーセンテージの変化として表現される、前記感知された経年変化を使用し、ここにおいて、前記集積回路の経年変化を感知することは、複数の経年変化センサを測定することを含み、経年変化によるセンサの発振周波数における前記パーセンテージの変化は、前記複数の経年変化センサの測定におけるシステムティックなランダムばらつきを示す経年変化誤差分布を含む、前記集積回路。

#### 【手続補正 2】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0 0 8 1

【補正方法】変更

【補正の内容】

【0 0 8 1】

[0089]開示された実施形態の上記説明は、いかなる当業者であっても、本発明の製造又は使用を可能にするように提供される。これら実施形態への様々な修正は、当業者にとって容易に明らかとなり、本明細書で定義された一般的な原理は、本発明の趣旨又は範囲から逸脱することなく他の実施形態に適用され得る。従って、ここで示された説明及び図は、本発明の現在の好ましい実施例を表わし、それゆえに、現在の本発明によって広範に予期される主題の代表的なものであることが理解されるべきである。現在の本発明の範囲は

、当業者に明確になり得る他の実施例を十分に包含し、現在の本発明の範囲は、従って、添付された請求項のみに制限されることがさらに理解されるべきである。

以下に、本願出願の当初の特許請求の範囲に記載された発明を付記する。

[ C 1 ]

集積回路の経年変化を感知するための回路であって、前記回路は下記を備える、

第1の入力と第1の出力とを有する第1のディレイチェーンと、

第2の入力と第2の出力とを有する第2のディレイチェーンと、

前記第1のディレイチェーンと前記第2のディレイチェーンとを、経年変化している状態、経年変化した発振状態、又は経年変化していない発振状態におくように構成された制御モジュール。

[ C 2 ]

C 1 に記載の回路であって、前記第1のディレイチェーンは、前記第1の入力と前記第1の出力との間に結合された遅延要素の第1のチェーンを含み、前記第2のディレイチェーンは、前記第2の入力と前記第2の出力との間に結合された遅延要素の第2のチェーンを含む、前記回路。

[ C 3 ]

C 2 に記載の回路であって、前記遅延要素の各々はインバータを含む、前記回路。

[ C 4 ]

C 3 に記載の回路であって、各々のインバータは、直列の複数の p チャネルトランジスタ、及び直列の複数の n チャネルトランジスタを含む、前記回路。

[ C 5 ]

C 1 に記載の回路であって、前記経年変化している状態は、前記第1のディレイチェーンと前記第2のディレイチェーンとに動作電圧を供給することを含む、前記回路。

[ C 6 ]

C 5 に記載の回路であって、前記経年変化している状態は、前記第1の入力に第1の論理値を、前期第2の入力に第2の論理値を供給することをさらに含み、ここにおいて、前記第1の論理値は、前記第2の論理値の相補的なものである、前記回路。

[ C 7 ]

C 6 に記載の回路であって、前記経年変化した発振状態は、経年変化によって遅くされた周波数で発振するように、前記第1のディレイチェーンと前記第2のディレイチェーンを結合することを含む、前記回路。

[ C 8 ]

C 7 に記載の回路であって、前記経年変化していない発振状態は、経年変化によって遅くされない周波数で発振するように、前記第1のディレイチェーンと前記第2のディレイチェーンを結合することを含む、前記回路。

[ C 9 ]

C 7 に記載の回路であって、前記経年変化した発振状態は、前記第1の出力と第2の出力との間で選択することと、前記選択された信号を前記第1の入力と前記第2の入力とに結合することとを含み、ここにおいて、前記第1の入力が前記第1の論理値に遷移した後に、前記第1の出力が選択され、前記第2の入力が前記第2の論理値に遷移した後に、前記第2の出力が選択される、前記回路。

[ C 10 ]

C 7 に記載の回路であって、前記経年変化していない発振状態は、前記第1の出力と第2の出力との間で選択することと、前記選択された信号を前記第1の入力と前記第2の入力とに結合することとを含み、ここにおいて、前記第1の入力が前記第2の論理値に遷移した後に、前記第1の出力が選択され、前記第2の入力が前記第1の論理値に遷移した後に、前記第2の出力が選択される、前記回路。

[ C 11 ]

集積回路の経年変化除去のための方法であって、前記方法は下記を備える、

安全な電圧及び周波数で前記集積回路の動作を初期化すること、

複数の動作周波数に関する目標性能センサの測定値を含む係数テーブルにおける初期値を使用して、前記集積回路の動的な電圧及び周波数のスケーリングを可能にすることと、

前記集積回路の経年変化を感知することと、

感知された経年変化に基づいて前記係数テーブルを更新することと、

前記更新された係数テーブルを使用して動的な電圧及び周波数の調整を継続すること。

[ C 1 2 ]

C 1 1 に記載の方法であって、集積回路の経年変化を感知することは、経年変化によって遅くされたリングオシレータの周波数を測定することと、経年変化によって遅くされないリングオシレータの周波数を測定することとを含む、前記方法。

[ C 1 3 ]

C 1 1 に記載の方法であって、前記感知された経年変化に基づいて前記係数テーブルを更新することは、経年変化ガードバンドを決定するために、感知された経年変化に、センサの経年変化と動作回路の経年変化との間の関係を示す経年変化調整レシオと、動作回路の最大動作周波数と電圧との間の関係を示す周波数対電圧調整ファクタとを乗じることを含む、前記方法。

[ C 1 4 ]

C 1 3 に記載の方法であって、前記感知された経年変化に基づいて前記係数テーブルを更新することは、経年変化によるセンサの発振周波数におけるパーセンテージの変化として表現される前記感知された経年変化を使用する、前記方法。

[ C 1 5 ]

C 1 4 に記載の方法であって、前記集積回路の経年変化を感知することは、複数の経年変化センサを測定することを含み、経年変化によるセンサの発振周波数における前記パーセンテージの変化は、複数の経年変化センサの測定におけるシステムティックなランダムばらつきを示す経年変化誤差分布を含む、前記方法。

[ C 1 6 ]

C 1 3 に記載の方法であって、前記感知された経年変化に基づいて前記係数テーブルを更新することは、供給電圧と性能センサの測定との間の関係を使用して、前記経年変化ガードバンドを前記係数テーブルの中の値に関連付けることをさらに含む、前記方法。

[ C 1 7 ]

C 1 1 に記載の方法は、さらに下記を備える、

前記集積回路の経年変化を周期的に感知することと、

前記周期的に感知された経年変化に基づいて前記係数テーブルをさらに更新することと、

前記さらに更新された係数テーブルを使用して動的な電圧及び周波数の調整を継続すること。

[ C 1 8 ]

C 1 1 に記載の方法であって、前記安全な電圧及び周波数は、ワーストケースの経年変化に対する前記集積回路の信頼できる動作を可能にする、前記方法。

[ C 1 9 ]

集積回路であって、前記集積回路は下記を備える、

前記集積回路において回路要素の経年変化を感知するように構成される経年変化センサ、ここにおいて、前記経年変化センサは、経年変化した及び経年変化していない両方の条件において回路の速度を測定するために前記同じ回路を使用する、と、

前記集積回路において使用される供給電圧を制御するように構成されたコア電力低減制御モジュール、ここにおいて、前記供給電圧は、前記経年変化センサによって感知される経年変化に少なくとも部分的に基づく。

[ C 2 0 ]

C 1 9 に記載の集積回路であって、前記経年変化センサが、

第 1 の入力と第 1 の出力とを有する第 1 のディレイチェーンと、

第 2 の入力と第 2 の出力とを有する第 2 のディレイチェーンと、

前記第1のディレイチェーンと前記第2のディレイチェーンとを、経年変化している状態、経年変化した発振状態、又は経年変化していない発振状態におくように構成される制御モジュールと、

を備える、前記集積回路。

[ C 2 1 ]

C 2 0 に記載の集積回路であって、

前記経年変化している状態は、前記第1のディレイチェーンと前記第2のディレイチェーンとに動作電圧を供給することと、前記第1の入力に第1の論理値を、前期第2の入力に第2の論理値を供給すること、ここにおいて、前記第1の論理値は、前記第2の論理値の相補的なものである、とを含み、

前記経年変化した発振状態は、経年変化によって遅くされた周波数で発振するように、前記第1のディレイチェーンと前記第2のディレイチェーンを結合することを含み、

前記経年変化していない発振状態は、経年変化によって遅くされていない周波数で発振するように、前記第1のディレイチェーンと前記第2のディレイチェーンを結合することを含む、

前記集積回路。

[ C 2 2 ]

C 1 9 に記載の集積回路であって、前記コア電力低減制御モジュールが、

安全な電圧及び周波数で前記集積回路の動作を初期化し、

複数の動作周波数に関する目標性能センサの測定値を含む係数テーブルにおける初期値を使用して、前記集積回路の動的な電圧及び周波数のスケーリングを可能にし、

前記経年変化センサを使用して前記集積回路の経年変化を感知し、

感知された経年変化に基づいて前記係数テーブルを更新し、

前記更新された係数テーブルを使用して動的な電圧及び周波数の調整を継続する、

よう構成される、前記集積回路。

[ C 2 3 ]

C 2 2 に記載の集積回路であって、前記コア電力低減制御モジュールは、経年変化ガードバンドを決定するために、感知された経年変化に、センサの経年変化と動作回路の経年変化との間の関係を示す経年変化調整レシオと、動作回路の最大動作周波数と電圧との間の関係を示す周波数対電圧調整ファクタとを乗じることによって、前記感知された経年変化に基づいて前記係数テーブルを更新するように構成される、前記集積回路。

[ C 2 4 ]

C 2 3 に記載の集積回路であって、前記感知された経年変化に基づいて前記係数テーブルを更新することは、経年変化によるセンサの発振周波数におけるパーセンテージの変化として表現される前記感知された経年変化を使用し、ここにおいて、前記集積回路の経年変化を感知することは、複数の経年変化センサを測定することを含み、経年変化によるセンサの発振周波数における前記パーセンテージの変化は、複数の経年変化センサの測定におけるシステムティックなランダムばらつきを示す経年変化誤差分布を含む、前記集積回路。

[ C 2 5 ]

集積回路であって、前記集積回路は下記を備える、

経年変化した及び経年変化していない両方の条件において回路の速度を測定するために前記同じ回路を使用して前記集積回路において回路要素の経年変化を感知するための手段と、

前記集積回路において使用される供給電圧を制御するように構成された前記集積回路の経年変化除去のための手段、ここにおいて、前記供給電圧は、前記集積回路によって感知される経年変化に少なくとも部分的に基づく。

[ C 2 6 ]

C 2 5 に記載の集積回路であって、経年変化を感知するための前記手段が、

第1の入力と第1の出力とを有する第1のディレイチェーンと、

第2の入力と第2の出力を有する第2のディレイチェーンと、  
前記第1のディレイチェーンと前記第2のディレイチェーンとを、経年変化している状態、経年変化した発振状態、又は経年変化していない発振状態におくように構成される制御モジュールと、  
を備える、前記集積回路。

[ C 2 7 ]

C 2 6 に記載の集積回路であって、

前記経年変化している状態は、前記第1のディレイチェーンと前記第2のディレイチェーンとに動作電圧を供給することと、前記第1の入力に第1の論理値を、前期第2の入力に第2の論理値を供給すること、ここにおいて、前記第1の論理値は、前記第2の論理値の相補的なものである、とを含み、

前記経年変化した発振状態は、経年変化によって遅くされた周波数で発振するよう、前記第1のディレイチェーンと前記第2のディレイチェーンを結合することを含み、

前記経年変化していない発振状態は、経年変化によって遅くされていない周波数で発振するよう、前記第1のディレイチェーンと前記第2のディレイチェーンを結合することを含む、

前記集積回路。

[ C 2 8 ]

C 2 5 に記載の集積回路であって、経年変化除去のための前記手段が、

安全な電圧及び周波数で前記集積回路の動作を初期化し、

複数の動作周波数に関する目標性能センサの測定値を含む係数テーブルにおける初期値を使用して、前記集積回路の動的な電圧及び周波数のスケーリングを可能にし、

経年変化を感知するための前記手段を使用して前記集積回路の経年変化を感知し、

感知された経年変化に基づいて前記係数テーブルを更新し、

前記更新された係数テーブルを使用して動的な電圧及び周波数の調整を継続する、  
ように構成される、前記集積回路。

[ C 2 9 ]

C 2 8 に記載の集積回路であって、前記経年変化除去のための手段は、経年変化ガードバンドを決定するために、感知された経年変化に、センサの経年変化と動作回路の経年変化との間の関係を示す経年変化調整レシオと、動作回路の最大動作周波数と電圧との間の関係を示す周波数対電圧調整ファクタとを乗じることによって、前記感知された経年変化に基づいて前記係数テーブルを更新するように構成される、前記集積回路。

[ C 3 0 ]

C 2 9 に記載の集積回路であって、前記感知された経年変化に基づいて前記係数テーブルを更新することは、経年変化によるセンサの発振周波数におけるパーセンテージの変化として表現される、前記感知された経年変化を使用し、ここにおいて、前記集積回路の経年変化を感知することは、複数の経年変化センサを測定することを含み、経年変化によるセンサの発振周波数における前記パーセンテージの変化は、複数の経年変化センサの測定におけるシステムティックなランダムばらつきを示す経年変化誤差分布を含む、前記集積回路。

【手続補正書】

【提出日】平成28年12月1日(2016.12.1)

【手続補正1】

【補正対象書類名】特許請求の範囲

【補正対象項目名】全文

【補正方法】変更

【補正の内容】

【特許請求の範囲】

【請求項1】

集積回路の経年変化を感知するための回路であって、前記回路は下記を備える、

第1の入力と第1の出力を有する第1のディレイチェーンと、  
第2の入力と第2の出力を有する第2のディレイチェーンと、  
前記第1のディレイチェーンと前記第2のディレイチェーンとを、前記第1と第2のディレイチェーンの中の回路要素が経年変化する経年変化している状態、前記第1のディレイチェーンが経年変化した回路要素の遅延に基づく周波数で発振するクロック出力を成するために前記第2のディレイチェーンと結合される経年変化した発振状態、又は前記第1のディレイチェーンが経年変化していない回路要素の遅延に基づく周波数で発振する前記クロック出力を成するために前記第2のディレイチェーンと結合される経年変化していない発振状態におくように構成された制御モジュール。

【請求項2】

請求項1に記載の回路であって、前記第1のディレイチェーンは、前記第1の入力と前記第1の出力との間に結合された遅延要素の第1のチェーンを含み、前記第2のディレイチェーンは、前記第2の入力と前記第2の出力との間に結合された遅延要素の第2のチェーンを含む、前記回路。

【請求項3】

請求項2に記載の回路であって、前記遅延要素の各々はインバータを含む、前記回路。

【請求項4】

請求項3に記載の回路であって、各々のインバータは、直列の複数のpチャネルトランジスタ、及び直列の複数のnチャネルトランジスタを含む、前記回路。

【請求項5】

請求項1に記載の回路であって、前記経年変化している状態は、前記第1のディレイチェーンと前記第2のディレイチェーンとに動作電圧を供給することを含む、前記回路。

【請求項6】

請求項5に記載の回路であって、前記経年変化している状態は、前記第1の入力に第1の論理値を、前期第2の入力に第2の論理値を供給することをさらに含み、ここにおいて、前記第1の論理値は、前記第2の論理値の相補的なものである、前記回路。

【請求項7】

請求項1に記載の回路であって、前記経年変化した発振状態における前記クロック出力の前記発振の前記周期は、経年変化によって遅くされた前記第1のディレイチェーンを通る遷移の遅延と経年変化によって遅くされた前記第2のディレイチェーンを通る遷移の遅延との組み合わせを含む、前記回路。

【請求項8】

請求項1に記載の回路であって、前記経年変化していない発振状態における前記クロック出力の前記発振の前記周期は、経年変化によって遅くされていない前記第1のディレイチェーンを通る遷移の遅延と経年変化によって遅くされていない前記第2のディレイチェーンを通る遷移の遅延との組み合わせを含む、前記回路。

【請求項9】

請求項6に記載の回路であって、前記経年変化した発振状態は、前記第1の出力と第2の出力との間で選択することと、前記選択された信号を前記第1の入力と前記第2の入力とに結合することとを含み、ここにおいて、前記第1の入力が前記第1の論理値に遷移した後に、前記第1の出力が選択され、前記第2の入力が前記第2の論理値に遷移した後に、前記第2の出力が選択される、前記回路。

【請求項10】

請求項6に記載の回路であって、前記経年変化していない発振状態は、前記第1の出力と第2の出力との間で選択することと、前記選択された信号を前記第1の入力と前記第2の入力とに結合することとを含み、ここにおいて、前記第1の入力が前記第2の論理値に遷移した後に、前記第1の出力が選択され、前記第2の入力が前記第1の論理値に遷移した後に、前記第2の出力が選択される、前記回路。

【請求項11】

集積回路の経年変化除去のための方法であって、前記方法は下記を備える、

安全な電圧及び周波数で前記集積回路の動作を初期化することと、  
複数の動作周波数に関する目標性能センサの測定値を含む係数テーブルにおける初期値  
を使用して、前記集積回路の動的な電圧及び周波数の調整を可能にすることと、  
経年変化センサを使用して前記集積回路の経年変化を感知することと、  
経年変化ガードバンドを決定するために、前記感知された経年変化に、センサの経年変化  
と動作回路の経年変化との間の関係を示す経年変化調整レシオと、前記動作回路の最大  
動作周波数と電圧との間の関係を示す周波数対電圧調整ファクタとを乗じることを含む前記  
感知された経年変化に基づいて前記係数テーブルを更新することと、  
前記更新された係数テーブルを使用して動的な電圧及び周波数の調整を継続すること。

#### 【請求項 1 2】

請求項 1 1 に記載の方法であって、前記集積回路の経年変化を感知することは、経年変化によって遅くされたリングオッシャレータの周波数を測定することと、経年変化によって遅くされない前記リングオッシャレータの周波数を測定することとを含む、前記方法。

#### 【請求項 1 3】

請求項 1 1 に記載の方法であって、前記感知された経年変化に基づいて前記係数テーブルを更新することは、経年変化によるセンサの発振周波数におけるパーセンテージの変化として表現される前記感知された経年変化を使用する、前記方法。

#### 【請求項 1 4】

請求項 1 3 に記載の方法であって、前記集積回路の経年変化を感知することは、複数の経年変化センサを測定することを含み、経年変化によるセンサの発振周波数における前記パーセンテージの変化は、前記複数の経年変化センサの測定におけるシステムティックなランダムばらつきを示す経年変化誤差分布を含む、前記方法。

#### 【請求項 1 5】

請求項 1 1 に記載の方法であって、前記感知された経年変化に基づいて前記係数テーブルを更新することは、供給電圧と性能センサの測定との間の関係を使用して、前記経年変化ガードバンドを前記係数テーブルの中の値に関連付けることをさらに含む、前記方法。

#### 【請求項 1 6】

請求項 1 1 に記載の方法は、さらに下記を備える、  
前記集積回路の経年変化を周期的に感知することと、  
前記周期的に感知された経年変化に基づいて前記係数テーブルをさらに更新することと、  
前記さらに更新された係数テーブルを使用して動的な電圧及び周波数の調整を継続すること。

#### 【請求項 1 7】

請求項 1 1 に記載の方法であって、前記安全な電圧及び周波数は、ワーストケースの経年変化に対する前記集積回路の信頼できる動作を可能にする、前記方法。

#### 【請求項 1 8】

集積回路であって、前記集積回路は下記を備える、  
前記集積回路において回路要素の経年変化を感知するように構成される経年変化センサ、ここにおいて、前記経年変化センサは、経年変化した及び経年変化していない両方の条件において回路の速度を測定するために前記同じ回路を使用する、と、

前記集積回路において使用される供給電圧を制御するように構成されたコア電力低減制御モジュール、ここにおいて、前記供給電圧は、複数の動作周波数のための目標性能センサの測定値を含む係数テーブルにおける値に基づいて制御され、前記コア電力低減制御モジュールは、経年変化ガードバンドを決定するために、前記感知された経年変化に、センサの経年変化と動作回路の経年変化との間の関係を示す経年変化調整レシオと、前記動作回路の最大動作周波数と電圧との間の関係を示す周波数対電圧調整ファクタとを乗じることによって、前記感知された経年変化に基づいて前記係数テーブルを更新するようにさらに構成される。

#### 【請求項 1 9】

請求項1 8に記載の集積回路であって、前記経年変化センサが、  
第1の入力と第1の出力とを有する第1のディレイチェーンと、  
第2の入力と第2の出力とを有する第2のディレイチェーンと、  
前記第1のディレイチェーンと前記第2のディレイチェーンとを、前記第1と第2のディレイチェーンの中の回路要素が経年変化する経年変化している状態、前記第1のディレイチェーンが経年変化した回路要素の遅延に基づく周波数で発振するクロック出力を生成するために前記第2のディレイチェーンと結合される経年変化した発振状態、又は前記第1のディレイチェーンが経年変化していない回路要素の遅延に基づく周波数で発振する前記クロック出力を生成するために前記第2のディレイチェーンと結合される経年変化していない発振状態におくように構成される制御モジュールと、

を備える、前記集積回路。

#### 【請求項 2 0】

請求項1 9に記載の集積回路であって、  
前記経年変化している状態は、前記第1のディレイチェーンと前記第2のディレイチェーンとに動作電圧を供給することと、前記第1の入力に第1の論理値を、前期第2の入力に第2の論理値を供給すること、ここにおいて、前記第1の論理値は、前記第2の論理値の相補的なものである、とを含み、

前記経年変化した発振状態における前記クロック出力の前記発振の前記周期は、経年変化によって遅くされた前記第1のディレイチェーンを通る遷移の遅延と経年変化によって遅くされた前記第2のディレイチェーンを通る遷移の遅延との組み合わせを含み、

前記経年変化していない発振状態における前記クロック出力の前記発振の前記周期は、経年変化によって遅くされていない前記第1のディレイチェーンを通る遷移の遅延と経年変化によって遅くされていない前記第2のディレイチェーンを通る遷移の遅延との組み合わせを含む、

前記集積回路。

#### 【請求項 2 1】

請求項1 8に記載の集積回路であって、前記コア電力低減制御モジュールが、  
安全な電圧及び周波数で前記集積回路の動作を初期化し、  
前記係数テーブルにおける初期値を使用して、前記集積回路の動的な電圧及び周波数の調整を可能にし、

前記経年変化センサを使用して前記集積回路の経年変化を感知し、

前記更新された係数テーブルを使用して動的な電圧及び周波数の調整を継続する、  
ようにさらに構成される、前記集積回路。

#### 【請求項 2 2】

請求項1 8に記載の集積回路であって、前記感知された経年変化に基づいて前記係数テーブルを更新することは、経年変化によるセンサの発振周波数におけるパーセンテージの変化として表現される前記感知された経年変化を使用し、ここにおいて、前記集積回路の経年変化を感知することは、複数の経年変化センサを測定することを含み、経年変化によるセンサの発振周波数における前記パーセンテージの変化は、前記複数の経年変化センサの測定におけるシステムティックなランダムばらつきを示す経年変化誤差分布を含む、前記集積回路。

#### 【請求項 2 3】

集積回路であって、前記集積回路は下記を備える、  
前記集積回路において回路要素の経年変化を感知するための手段であって、  
第1の入力と第1の出力とを有する第1のディレイチェーンと、  
第2の入力と第2の出力とを有する第2のディレイチェーンと、  
前記第1のディレイチェーンと前記第2のディレイチェーンとを、前記第1と第2のディレイチェーンの中の回路要素が経年変化する経年変化している状態、前記第1のディレイチェーンが経年変化した回路要素の遅延に基づく周波数で発振するクロック出力を生成するために前記第2のディレイチェーンと結合される経年変化した発振状態、又は前記

第1のディレイチェーンが経年変化していない回路要素の遅延に基づく周波数で発振する前記クロック出力を生成するために前記第2のディレイチェーンと結合される経年変化していない発振状態におくように構成される制御モジュールと、

を含む、感知するための手段と、

前記集積回路において使用される供給電圧を制御するように構成された前記集積回路の経年変化除去のための手段、ここにおいて、前記供給電圧は、前記集積回路によって感知される経年変化に少なくとも部分的に基づく。

#### 【請求項24】

請求項23に記載の集積回路であって、

前記経年変化している状態は、前記第1のディレイチェーンと前記第2のディレイチェーンとに動作電圧を供給することと、前記第1の入力に第1の論理値を、前期第2の入力に第2の論理値を供給すること、ここにおいて、前記第1の論理値は、前記第2の論理値の相補的なものである、とを含み、

前記経年変化した発振状態における前記クロック出力の前記発振の前記周期は、経年変化によって遅くされた前記第1のディレイチェーンを通る遷移の遅延と経年変化によって遅くされた前記第2のディレイチェーンを通る遷移の遅延との組み合わせを含み、

前記経年変化していない発振状態における前記クロック出力の前記発振の前記周期は、経年変化によって遅くされていない前記第1のディレイチェーンを通る遷移の遅延と年変化によって遅くされていない前記第2のディレイチェーンを通る遷移の遅延との組み合わせを含む、

前記集積回路。

#### 【請求項25】

請求項23に記載の集積回路であって、経年変化除去のための前記手段が、

安全な電圧及び周波数で前記集積回路の動作を初期化し、

複数の動作周波数に関する目標性能センサの測定値を含む係数テーブルにおける初期値を使用して、前記集積回路の動的な電圧及び周波数の調整を可能にし、

経年変化を感知するための前記手段を使用して前記集積回路の経年変化を感知し、

前記感知された経年変化に基づいて前記係数テーブルを更新し、

前記更新された係数テーブルを使用して動的な電圧及び周波数の調整を継続する、

ようさらに構成される、前記集積回路。

#### 【請求項26】

請求項25に記載の集積回路であって、経年変化除去のための前記手段は、経年変化ガードバンドを決定するために、前記感知された経年変化に、センサの経年変化と動作回路の経年変化との間の関係を示す経年変化調整レシオと、前記動作回路の最大動作周波数と電圧との間の関係を示す周波数対電圧調整ファクタとを乗じることによって、前記感知された経年変化に基づいて前記係数テーブルを更新するように構成される、前記集積回路。

#### 【請求項27】

請求項26に記載の集積回路であって、前記感知された経年変化に基づいて前記係数テーブルを更新することは、経年変化によるセンサの発振周波数におけるパーセンテージの変化として表現される、前記感知された経年変化を使用し、ここにおいて、前記集積回路の経年変化を感知することは、複数の経年変化センサを測定することを含み、経年変化によるセンサの発振周波数における前記パーセンテージの変化は、前記複数の経年変化センサの測定におけるシステムティックなランダムばらつきを示す経年変化誤差分布を含む、前記集積回路。

## 【国際調査報告】

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

		International application No PCT/US2015/018785															
<b>A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER</b> INV. H03K3/03 G01R31/317 H03K19/003 ADD.																	
According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC																	
<b>B. FIELDS SEARCHED</b> Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols) H03K G01R																	
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 practicable, search terms used)  EPO-Internal, WPI Data																	
<b>C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT</b> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="text-align: left; padding: 2px;">Category*</th> <th style="text-align: left; padding: 2px;">Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages</th> <th style="text-align: left; padding: 2px;">Relevant to claim No.</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="padding: 2px;">X</td> <td style="padding: 2px;">US 2005/134394 A1 (LIU JONATHAN H [US]) 23 June 2005 (2005-06-23) paragraphs [0040], [0045], [0048] - [0050]; figure 2 paragraphs [0093], [0094]; figure 4D -----</td> <td style="padding: 2px;">1-8</td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px;">A</td> <td style="padding: 2px;">US 6 903 564 B1 (SUZUKI SHINGO [US]) 7 June 2005 (2005-06-07) column 3, lines 31-52,65-67; figures 2,3 column 4, lines 10-15,28-46 column 5, lines 9-16 -----</td> <td style="padding: 2px;">9,10</td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px;">X</td> <td style="padding: 2px;">US 2011/090015 A1 (SUMITA MASAYA [JP] ET AL) 21 April 2011 (2011-04-21) paragraphs [0034], [0038], [0039]; figure 1 figure 2 -----</td> <td style="padding: 2px;">1-8</td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px;">A</td> <td style="padding: 2px;">----- -/-</td> <td style="padding: 2px;">9,10</td> </tr> </tbody> </table>			Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.	X	US 2005/134394 A1 (LIU JONATHAN H [US]) 23 June 2005 (2005-06-23) paragraphs [0040], [0045], [0048] - [0050]; figure 2 paragraphs [0093], [0094]; figure 4D -----	1-8	A	US 6 903 564 B1 (SUZUKI SHINGO [US]) 7 June 2005 (2005-06-07) column 3, lines 31-52,65-67; figures 2,3 column 4, lines 10-15,28-46 column 5, lines 9-16 -----	9,10	X	US 2011/090015 A1 (SUMITA MASAYA [JP] ET AL) 21 April 2011 (2011-04-21) paragraphs [0034], [0038], [0039]; figure 1 figure 2 -----	1-8	A	----- -/-	9,10
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.															
X	US 2005/134394 A1 (LIU JONATHAN H [US]) 23 June 2005 (2005-06-23) paragraphs [0040], [0045], [0048] - [0050]; figure 2 paragraphs [0093], [0094]; figure 4D -----	1-8															
A	US 6 903 564 B1 (SUZUKI SHINGO [US]) 7 June 2005 (2005-06-07) column 3, lines 31-52,65-67; figures 2,3 column 4, lines 10-15,28-46 column 5, lines 9-16 -----	9,10															
X	US 2011/090015 A1 (SUMITA MASAYA [JP] ET AL) 21 April 2011 (2011-04-21) paragraphs [0034], [0038], [0039]; figure 1 figure 2 -----	1-8															
A	----- -/-	9,10															
<input checked="" type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of Box C.		<input checked="" type="checkbox"/> See patent family 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 application or patent but published on or after the international filing date "L" document which may throw doubt on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified) "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																	
Date of the actual completion of the international search  21 July 2015		Date of mailing of the international search report  30/07/2015															
Name and mailing address of the ISA/ European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016		Authorized officer  Martinez Martinez, J															

**INTERNATIONAL SEARCH REPORT**

International application No PCT/US2015/018785
---

Q(Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	US 2011/102064 A1 (NOORLAG DATE JAN WILLEM [US] ET AL) 5 May 2011 (2011-05-05)	11,12, 17-22, 25-28
A	paragraphs [0024] - [0031]; figure 1 -----	13-16, 23,24, 29,30
X	US 2011/173432 A1 (CHER CHEN-YONG [US] ET AL) 14 July 2011 (2011-07-14)	11,12, 17-22, 26-28
A	paragraphs [0054], [0062], [0069] - [0071], [0074]; figures 2,3 paragraphs [0087], [0089]; figure 4 paragraph [0097]; figure 6 -----	13-16, 23,24, 29,30
X	US 2006/223201 A1 (LIU JONATHAN H [US] ET AL) 5 October 2006 (2006-10-05)	11,12, 17-22, 25-28
A	paragraph [0059]; figures 6A,6B paragraphs [0064], [0066] - [0068], [0074], [0075]; figure 7 paragraph [0090]; figure 8 -----	13-16, 23,24, 29,30

**INTERNATIONAL SEARCH REPORT**

International application No. <b>PCT/US2015/018785</b>
---

**Box No. II Observations where certain claims were found unsearchable (Continuation of Item 2 of first sheet)**

This international search report has not been established in respect of certain claims under Article 17(2)(a) for the following reasons:

1.  Claims Nos.: because they relate to subject matter not required to be searched by this Authority, namely:
  
  
  
  
  
2.  Claims Nos.: because they relate to parts of the international application that do not comply with the prescribed requirements to such an extent that no meaningful international search can be carried out, specifically:
  
  
  
  
  
3.  Claims Nos.: because they are dependent claims and are not drafted in accordance with the second and third sentences of Rule 5.4(a).

**Box No. III Observations where unity of invention is lacking (Continuation of Item 3 of first sheet)**

This International Searching Authority found multiple inventions in this international application, as follows:

**see additional sheet**

1.  As all required additional search fees were timely paid by the applicant, this international search report covers all searchable claims.
2.  As all searchable claims could be searched without effort justifying an additional fees, this Authority did not invite payment of additional fees.
3.  As only some of the required additional search fees were timely paid by the applicant, this international search report covers only those claims for which fees were paid, specifically claims Nos.:
  
  
  
  
  
4.  No required additional search fees were timely paid by the applicant. Consequently, this international search report is restricted to the invention first mentioned in the claims; it is covered by claims Nos.:

**Remark on Protest**

- The additional search fees were accompanied by the applicant's protest and, where applicable, the payment of a protest fee.
- The additional search fees were accompanied by the applicant's protest but the applicable protest fee was not paid within the time limit specified in the invitation.
- No protest accompanied the payment of additional search fees.

International Application No. PCT/ US2015/ 018785

**FURTHER INFORMATION CONTINUED FROM PCT/ISA/ 210**

This International Searching Authority found multiple (groups of) inventions in this international application, as follows:

1. claims: 1-10

The first subject (claims 1-10) relates to a circuit for sensing aging, the circuit comprising two delay chains and a control module to place said chains in a certain state.

---

2. claims: 11-30

The second subject (claims 11-30) relates to an integrated circuit comprising means configured for de-aging said integrated circuit.

---

**INTERNATIONAL SEARCH REPORT**

Information on patent family members

International application No  
PCT/US2015/018785

Patent document cited in search report		Publication date	Patent family member(s)		Publication date
US 2005134394	A1	23-06-2005	NONE		
US 6903564	B1	07-06-2005	NONE		
US 2011090015	A1	21-04-2011	JP 2010087275 A US 2011090015 A1 WO 2010038330 A1	15-04-2010 21-04-2011 08-04-2010	
US 2011102064	A1	05-05-2011	NONE		
US 2011173432	A1	14-07-2011	NONE		
US 2006223201	A1	05-10-2006	US 2006223201 A1 US 2008084228 A1	05-10-2006 10-04-2008	

---

フロントページの続き

(81)指定国 AP(BW,GH,GM,KE,LR,LS,MW,MZ,NA,RW,SD,SL,ST,SZ,TZ,UG,ZM,ZW),EA(AM,AZ,BY,KG,KZ,RU,TJ,TM),EP(AL,AT,BE,BG,CH,CY,CZ,DE,DK,EE,ES,FI,FR,GB,GR,HR,HU,IE,IS,IT,LT,LU,LV,MC,MK,MT,NL,NO,PL,PT,R0,RS,SE,SI,SK,SM,TR),OA(BF,BJ,CF,CG,CI,CM,GA,GN,GQ,GW,KM,ML,MR,NE,SN,TD,TG),AE,AG,AL,AM,AO,AT,AU,AZ,BA,BB,BG,BH,BN,BR,BW,BY,BZ,CA,CH,CL,CN,CO,CR,CU,CZ,DE,DK,DM,D0,DZ,EC,EE,EG,ES,FI,GB,GD,GE,GH,GM,GT,HN,HR,HU,ID,IL,IN,IR,IS,JP,KE,KG,KN,KP,KR,KZ,LA,LC,LK,LR,LS,LU,LY,MA,MD,ME,MG,MK,MN,MW,MX,MY,MZ,NA,NG,NI,NO,NZ,OM,PA,PE,PG,PH,PL,PT,QA,RO,RS,RU,RW,SA,SC,SD,SE,SG,SK,SL,SM,ST,SV,SY,TH,TJ,TM,TN,TR,TT,TZ,UA,UG,US

(72)発明者 リウ、ジョナサン

アメリカ合衆国、カリフォルニア州 92121-1714、サン・ディエゴ、モアハウス・ドライブ 5775、クワアルコム・インコーポレイテッド気付

(72)発明者 イブラヒモビク、ジャスミン・スマイラ

アメリカ合衆国、カリフォルニア州 92121-1714、サン・ディエゴ、モアハウス・ドライブ 5775、クワアルコム・インコーポレイテッド気付

(72)発明者 ディフェンダーファー、ジャン・クリスチャン

アメリカ合衆国、カリフォルニア州 92121-1714、サン・ディエゴ、モアハウス・ドライブ 5775、クワアルコム・インコーポレイテッド気付

(72)発明者 アウヨン、カルロス

アメリカ合衆国、カリフォルニア州 92121-1714、サン・ディエゴ、モアハウス・ドライブ 5775、クワアルコム・インコーポレイテッド気付

F ターム(参考) 5F038 AZ07 BG02 CD06 CD09 DF04 DF08 DT12 DT16 EZ20  
5J043 AA08 AA26 EE01 LL01