

(19) 日本国特許庁(JP)

## (12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第5753392号  
(P5753392)

(45) 発行日 平成27年7月22日(2015.7.22)

(24) 登録日 平成27年5月29日(2015.5.29)

(51) Int.Cl.

H02M 3/28 (2006.01)

F 1

H02M 3/28

K

請求項の数 22 外国語出願 (全 29 頁)

(21) 出願番号 特願2011-22530 (P2011-22530)  
 (22) 出願日 平成23年2月4日 (2011.2.4)  
 (65) 公開番号 特開2011-167059 (P2011-167059A)  
 (43) 公開日 平成23年8月25日 (2011.8.25)  
 審査請求日 平成26年1月30日 (2014.1.30)  
 (31) 優先権主張番号 12/703,095  
 (32) 優先日 平成22年2月9日 (2010.2.9)  
 (33) 優先権主張国 米国(US)

(73) 特許権者 501315784  
 パワー・インテグレーションズ・インコーポレーテッド  
 アメリカ合衆国、95138・カリフォルニア州・サン・ホゼ・ヘリヤー・アベニュー  
 ・5245  
 (74) 代理人 110001195  
 特許業務法人深見特許事務所  
 (72) 発明者 ユーリ・ガクノキ  
 アメリカ合衆国、95138 カリフォルニア州、サン・ノゼ、グレンイーグルス・サークル、5973

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】方法およびスイッチモード電源のためのコントローラ

## (57) 【特許請求の範囲】

## 【請求項 1】

電源のエネルギー転送要素に結合されるスイッチを通るスイッチ電流を表わす電流検知信号を受けるステップを備え、エネルギーは、前記スイッチのスイッチングに応答して、前記エネルギー転送要素を介して前記電源の出力に転送され、

前記電流検知信号は、a c ライン入力電圧を受けるように構成された整流回路の下流位置において検知され、さらに、

前記電流検知信号とゼロ交差電流しきい値を表わす参照信号とを比較するステップと、前記電流検知信号と前記参照信号との比較に応答してゼロ交差信号を生成するステップとを備え、前記ゼロ交差信号は、前記電源の前記 a c ライン入力電圧のゼロ交差条件が一つ存在するかを示し、さらに、

前記ゼロ交差信号に応答して駆動信号を生成して、前記電源の出力を調整するステップをさらに備える、方法。

## 【請求項 2】

前記ゼロ交差信号は、前記電源の前記 a c ライン入力電圧の大きさがゼロ交差電圧しきい値未満である場合にゼロ交差条件が存在すると示す、請求項 1 に記載の方法。

## 【請求項 3】

前記スイッチ電流が前記ゼロ交差電流しきい値に達するまで、またはスイッチのオン時間がゼロ交差時間しきい値に達するまで前記スイッチの前記オン時間を延長するステップをさらに備える、請求項 1 に記載の方法。

## 【請求項 4】

前記スイッチ電流が前記ゼロ交差電流しきい値未満であり、かつ前記スイッチの前記オン時間が前記ゼロ交差時間しきい値に実質的に等しければ、前記ゼロ交差信号は前記 a c ライン入力電圧の前記ゼロ交差条件が存在すると示す、請求項 3 に記載の方法。

## 【請求項 5】

前記ゼロ交差信号は、前記スイッチの前記オン時間が前記ゼロ交差時間しきい値に達する前に前記スイッチ電流が前記ゼロ交差電流しきい値に達すれば、前記 a c ライン入力電圧の前記ゼロ交差条件が存在しないと示す、請求項 3 に記載の方法。

## 【請求項 6】

前記ゼロ交差条件が存在すると前記ゼロ交差信号が示す前の N 個のスイッチング周期の間、前記スイッチ電流が前記ゼロ交差電流しきい値未満であるか否かを検出するステップをさらに備え、N は 0 よりも大きい、請求項 1 に記載の方法。 10

## 【請求項 7】

前記方法は、調光発光ダイオード (LED) アレイを有する前記電源のために利用され得る、請求項 1 に記載の方法。

## 【請求項 8】

前記ゼロ交差条件が存在すると前記ゼロ交差信号が示す前の N 個のスイッチング周期の間、前記スイッチ電流が前記ゼロ交差電流しきい値未満であるか否かを検出するステップをさらに備え、N は 1 よりも大きい、請求項 1 に記載の方法。

## 【請求項 9】

スイッチモード電源のためのコントローラであって、

前記電源に含まれるエネルギー転送要素に結合されるスイッチのスイッチングを制御して前記電源の出力を調整するように結合されるべき駆動信号生成器を備え、エネルギーは、前記スイッチのスイッチングに応答して、前記エネルギー転送要素を介して前記電源の出力に転送され、

前記駆動信号生成器に結合され、かつ前記スイッチを通って流れるスイッチ電流を表わす電流検知信号を受けるように結合されるゼロ交差検出器をさらに備え、

前記電流検知信号は、a c ライン入力電圧を受けるように構成された整流回路の下流位置において検知され、

前記ゼロ交差検出器は、前記電流検知信号とゼロ交差電流しきい値を表わす参照信号との比較に応答してゼロ交差信号を生成し、前記ゼロ交差信号は前記電源の前記 a c ライン入力電圧のゼロ交差条件が一つ存在するかを示し。 30

前記駆動信号生成器は、前記ゼロ交差信号に応答して前記スイッチのスイッチングを制御する、コントローラ。

## 【請求項 10】

前記ゼロ交差信号は、前記電源の前記 a c ライン入力電圧の大きさがゼロ交差電圧しきい値未満である場合にゼロ交差条件が存在すると示す、請求項 9 に記載のコントローラ。

## 【請求項 11】

前記スイッチ電流が前記ゼロ交差電流しきい値に達するまで、または前記スイッチのオン時間がゼロ交差時間しきい値に達するまで前記スイッチの前記オン時間を延長するように前記ゼロ交差検出器に結合されるオン時間延長ブロックをさらに備える、請求項 9 に記載のコントローラ。 40

## 【請求項 12】

前記ゼロ交差信号は、前記スイッチ電流が前記ゼロ交差電流しきい値未満であり、かつ前記スイッチの前記オン時間が前記ゼロ交差時間しきい値に実質的に等しければ、前記 a c ライン入力電圧の前記ゼロ交差条件が存在すると示す、請求項 11 に記載のコントローラ。

## 【請求項 13】

前記ゼロ交差信号は、前記スイッチの前記オン時間が前記ゼロ交差時間しきい値に達する前に前記スイッチ電流が前記ゼロ交差電流しきい値に達すれば、前記 a c ライン入力電 50

圧の前記ゼロ交差条件が存在しないと示す、請求項 1 1 に記載のコントローラ。

【請求項 1 4】

前記オン時間延長ブロックは、前記スイッチに駆動信号を与えるように結合されるべきラッチをさらに備え、前記ラッチは、前記スイッチ電流が前記ゼロ交差電流しきい値に達した場合、または前記スイッチの前記オン時間が前記ゼロ交差時間しきい値に達した場合にリセットされるようにさらに結合される、請求項 1 1 に記載のコントローラ。

【請求項 1 5】

前記ゼロ交差検出器は、前記電流検知信号を受けるように結合される第 1 の入力と、前記参照信号を受けるように結合される第 2 の入力とを有する比較器を備える、請求項 9 に記載のコントローラ。

10

【請求項 1 6】

前記ゼロ交差検出器は、クロック信号に応答してセットされるように結合され、かつ前記比較器の出力に応答してリセットされるようにさらに結合されるラッチをさらに備える、請求項 1 5 に記載のコントローラ。

【請求項 1 7】

前記ゼロ交差検出器は、前記ラッチの出力を受けるように結合され、かつ前記駆動信号生成器の出力を受けるように結合されるフリップフロップをさらに備える、請求項 1 6 に記載のコントローラ。

【請求項 1 8】

前記ゼロ交差検出器は、前記ゼロ交差信号のノイズを低減するための、前記フリップフロップの出力に結合されるゼロ交差フィルタをさらに備える、請求項 1 7 に記載のコントローラ。

20

【請求項 1 9】

スイッチモード電源への a c ライン入力電圧のゼロ交差を判定するための方法であつて、

前記スイッチモード電源のスイッチ内のスイッチ電流を表わす電流検知信号を受信するステップを備え、前記スイッチはコントローラからの駆動信号を受信し、前記コントローラは、入力に応答して前記スイッチを操作するための前記駆動信号を出力し、負荷へ供給される出力量を所望の値に調整し、

前記電流検知信号は、前記 a c ライン入力電圧を受けるように構成された整流回路の下流位置において検知され、

30

前記方法は、

前記電流検知信号を、ゼロ交差電流しきい値を表わす参照信号と比較するステップと、前記電流検知信号と前記参照信号との比較に応答してゼロ交差信号を生成するステップとをさらに備え、前記ゼロ交差信号は、前記スイッチモード電源の前記 a c ライン入力電圧のゼロ交差条件がいつ存在するかを示し、

前記方法は、

前記スイッチ電流が、前記ゼロ交差条件が存在することを前記ゼロ交差信号が示す前の N 個のスイッチング周期の間、前記スイッチ電流が前記ゼロ交差電流しきい値未満であるか否かを検出するステップをさらに備え、N は 1 よりも大きい、方法。

40

【請求項 2 0】

前記ゼロ交差信号は、前記スイッチモード電源の前記 a c ライン入力電圧の大きさがゼロ交差電圧しきい値未満である場合にゼロ交差条件が存在すると示し、

前記ゼロ交差電圧しきい値は、前記スイッチモード電源の前記 a c ライン入力電圧の絶対値である整流された電圧のピーク電圧の 1 / 5 または 1 / 4 のいずれかである、請求項 1 9 に記載の方法。

【請求項 2 1】

前記ゼロ交差信号を生成するステップは、前記 a c ライン入力電圧の値、および前記 a c ライン入力電圧の絶対値である整流された電圧を間接的に検出するステップを含み、

前記整流された電圧がゼロ交差電圧しきい値未満の場合に、ゼロ交差条件が存在するこ

50

とを示す状態へ前記ゼロ交差信号が変化するとともに、前記整流された電圧が前記ゼロ交差電圧しきい値よりも大きくなるまで、前記ゼロ交差信号がその状態から変化しない、請求項 19 に記載の方法。

【請求項 22】

スイッチモード電源のためのコントローラであって、

前記スイッチモード電源に含まれるスイッチのスイッチングを制御して、前記スイッチモード電源の出力を調整するように結合されるべき駆動信号生成器と、

前記駆動信号生成器に結合され、前記スイッチを流れるスイッチ電流を表わす電流検知信号を受信するように結合されたゼロ交差検出器とを備え、

前記電流検知信号は、a c ライン入力電圧を受けるように構成された整流回路の下流位置において検知され、

前記ゼロ交差検出器は、前記電流検知信号を受信するように結合された第 1 の入力と、参照信号を受信するように結合された第 2 の入力とを有する比較器を含み、

前記ゼロ交差検出器は、前記電流検知信号と、ゼロ交差電流しきい値を表わす前記参照信号との比較に応答してゼロ交差信号を生成し、

前記ゼロ交差信号は、前記スイッチモード電源の前記 a c ライン入力電圧のゼロ交差条件が一つ存在するかを示し、

前記コントローラは、前記ゼロ交差条件が存在することを判定する前に、可能なゼロ交差条件として、N 個の連続したスイッチングサイクルを検出する、コントローラ。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

発明の背景

1. 発明の分野

本発明は一般的に電源に関し、より特定的にはスイッチモード電源のためのコントローラに関する。

【背景技術】

【0002】

2. 関連技術の検討

電子機器は動作するのに電力を用いる。スイッチモード電源は、それらが高効率、小型および軽量であるために、今日の電子機器の多くへの電力供給に一般的に用いられている。従来のコンセントは高圧交流電流を与える。スイッチング電源において、高圧交流 (a c) 入力は、エネルギー転送要素を通して十分に調整された直流 (d c) 出力を与えるように変換される。スイッチモード電源制御回路は通常、出力を検知し、これを閉ループで制御することによって出力調節を行なう。動作の際、スイッチモード電源中のスイッチのデューティサイクル（典型的には全スイッチング周期に対するスイッチのオン時間の比率）を変化させることによって所望の出力を与えるようにスイッチを利用する。

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0003】

効率、サイズ、重量、およびコストなどの要件は、スイッチモード電源を設計する際に通常考慮される。典型的に、スイッチモード電源のスイッチングを制御するコントローラは、入力端子、出力端子、またはその 2 つの組合せとして機能し得るさまざまな端子を有する集積回路として設計される。スイッチモード電源のスイッチがコントローラと一体化される場合、集積回路の 2 つの端子がスイッチの 2 つの端に対応する。集積回路のさまざまな端子を、フィードバック端子、バイパス端子、またはコントローラ用入力電圧検知端子として利用してもよい。スイッチモード電源のいくつかの適用例について、ライン入力電圧を検知してライン入力電圧のゼロ交差を判定する。一般的に、ライン入力電圧は本明細書中では a c 入力電圧とも称される。ゼロ交差は一般的に a c 入力電圧が実質的にゼロ電圧と交差するときを指す。ライン入力電圧のゼロ交差をさまざまな適用例に用い得る。

10

20

30

40

50

ライン入力電圧のゼロ交差を、a c ライン周波数を判定するのに用いてもよく、または電源のコントローラの内部クロックを更新するのに用いてもよい。

【課題を解決するための手段】

【0004】

発光ダイオード (LED) の位相調光 (dimming) のために、トライアック調光器回路は典型的に、a c 入力電圧の一部を除去して、LED に供給される電圧および電流の量を制限する。しかしながら、従来の電源コントローラは典型的に、a c 入力電圧のこの除去に望ましく応答しない。従来の電源コントローラは a c 入力電圧を直接に検知し、いつ a c 入力電圧が調光回路によって遮断されるかを判定する。典型的に、a c 入力電圧は、従来のコントローラの集積回路の外部の回路構成によって直接に検知される。検知された a c 入力電圧は、検知された a c 入力電圧を専用に受ける端子において、または複数の機能を果たす別の端子において、従来のコントローラの集積回路によって受けられてもよい。

10

【0005】

本発明のいくつかの実施例の上記および他の局面、特徴および利点が以下の図面と関連して提示される以下のより特定的な説明からより明らかになるであろう。

【図面の簡単な説明】

【0006】

【図1】本発明の実施例に従うコントローラを利用する例示的なスイッチング電源を図示する機能ブロック図である。

20

【図2A】本発明の実施例に従う、図1のスイッチング電源の例示的な整流された入力電圧波形を図示する図である。

【図2B】本発明の実施例に従う、図2Aの例示的な整流された入力電圧の一部と、対応するゼロ交差信号とを図示する図である。

【図3】本発明の実施例に従う、連続導通モード (CCM) および不連続導通モード (DCM) で動作するスイッチング電源の例示的なスイッチ電流波形を図示する図である。

【図4A】本発明の実施例に従う、DCMで動作するスイッチング電源の例示的なスイッチ電流波形と対応するゼロ交差信号とを図示する図である。

【図4B】本発明の実施例に従う、DCMで動作するスイッチング電源のスイッチ電流波形と、対応するゼロ交差信号との別の例を図示する図である。

【図5】本発明の実施例に従う、例示的なスイッチ電流波形と、対応するゼロ交差信号とを図示する図である。

30

【図6】本発明の実施例に従う調光器回路およびコントローラを利用する例示的なスイッチング電源を図示する機能ブロック図である。

【図7A】本発明の実施例に従う、図6のスイッチング電源の例示的な整流された入力電圧波形を図示する図である。

【図7B】本発明の実施例に従う、図7Aの例示的な整流された入力電圧の一部と、対応するゼロ交差信号とを図示する図である。

【図8A】本発明の実施例に従う、スイッチング電源の別の例示的な整流された入力電圧波形を図示する図である。

【図8B】本発明の実施例に従う、図8Aの例示的な整流された入力電圧の一部と、対応するゼロ交差信号とを図示する図である。

40

【図9A】本発明の実施例に従うコントローラの機能ブロック図である。

【図9B】本発明の実施例に従う、図9Aのコントローラのオン時間延長ブロックの機能ブロック図である。

【図10】本発明の実施例に従う、図9Aおよび図9Bのコントローラおよびオン時間延長ブロックの信号のさまざまな波形を図示する図である。

【発明を実施するための形態】

【0007】

詳細な説明

図面のいくつかの図を通して、対応の参照番号は対応の構成要素を示す。当業者は、図

50

中の要素が簡潔さおよび明瞭さのために図示されており、かつ縮尺通りに必ずしも描かれていることを認めるであろう。たとえば、図中の要素のうちいくつかの寸法は、本発明のさまざまな実施例の理解を向上させるのを助けるために他の要素に対して誇張されているかもしれない。また、商業的に見込みのある実施例で有用なまたは必要な、一般的であるが十分に理解される要素は、本発明のこれらのさまざまな実施例のより妨げられない見方を容易にするために、示されていないことがしばしばある。

#### 【0008】

電源への a c 入力電圧のゼロ交差を判定するための方法および装置の実施例が本明細書中に記載される。以下の説明では、実施例の完全な理解を与えるため、数多くの具体的な詳細を述べる。しかしながら、具体的な詳細のうち 1 つ以上がなくても、または他の方法、構成要素、材料などを用いて、本明細書中に記載の技術を実践可能であることを当業者は認識するであろう。他の事例では、ある局面を曖昧にすることを回避するため、周知の構造、材料または動作を詳細に示したり説明したりしていない。

10

#### 【0009】

この明細書を通じて、「一実施例」、「ある実施例」、「一例」、または「ある例」に対する参照は、実施例または例と関連して説明される特定的な特徴、構造、または特性が本発明の少なくとも 1 つの実施例に含まれることを意味する。したがって、「一実施例では」、「ある実施例では」、「一例」、または「ある例」という、この明細書を通じてさまざまな場所に現われる文言は、必ずしも同じ実施例または例をすべて指しているわけではない。さらに、特定的な特徴、構造、または特性は、1 つ以上の実施例または例において任意の好適な組合せおよび / または副次的組合せで組合されてもよい。さらに、ここで与えられる図は当業者への説明目的のためのものであり、図面は必ずしも縮尺通りに描かれているわけではないことが認められる。

20

#### 【0010】

スイッチモード電源のいくつかの適用例について、ライン入力電圧を検知して、本明細書中では a c 入力電圧とも称されるライン入力電圧のゼロ交差を判定する。発光ダイオード (LED) の位相調光適用例については、コントローラがライン入力電圧のゼロ交差の持続時間を検知するであろう。a c 入力電圧のゼロ交差の持続時間の判定は、電源コントローラに調光器回路が利用されていることの信号を出力し、したがって電源の出力が調整される量を変更する。典型的に、a c 入力電圧は、従来のコントローラの集積回路の外部の回路構成によって直接に検知される。検知された a c 入力電圧は、検知された a c 入力電圧を専用に受ける端子において、または複数の機能を果たす別の端子において、従来のコントローラの集積回路によって受けられてもよい。付加的な端子はスイッチモード電源の従来のコントローラに不要なコストおよびサイズを付加してしまう。従来のコントローラの集積回路の外部の回路構成はスイッチモード電源にもコストを付加してしまう。本発明の実施例では、入力電圧は、スイッチモード電源のスイッチを通る電流を用いて間接的に検知され得る。その結果、スイッチの一方端がライン入力電圧を間接的に検知するのに用いる端子は、ライン入力電圧を単に検知するだけの専用の端子またはライン入力電圧を検知するための外部回路構成の必要性をなくすであろう。すなわち、本発明の実施例は、入力電圧のゼロ交差を間接的に検出して、スイッチモード電源のライン入力電圧の直接検知専用の従来の端子を省略または排除し得る。

30

#### 【0011】

まず図 1 を参照して、例示的なスイッチング電源 100 の機能ブロック図を図示する。これは、a c 入力電圧  $V_{AC\ 102}$ 、ブリッジ整流器 104、整流された電圧  $V_{RECT\ 106}$ 、エネルギー転送要素 T1\_108、エネルギー転送要素 T1\_108 の 1 次巻線 110、エネルギー転送要素 T1\_108 の 2 次巻線 112、スイッチ S1\_114、入力帰還 116、クランプ回路 118、フィルタコンデンサ C\_F\_120、整流器 D1\_122、出力コンデンサ C1\_124、出力量  $U_o$ 、出力電圧  $V_o$ 、出力電流  $I_o$ 、フィードバック回路 128、フィードバック信号  $U_{FB}$ 、コントローラ 138、駆動信号 140、電流検知入力信号 142、およびスイッチ電流  $I_D\ 144$  を含む。図 1 には負荷 126 も図示する。図 1 に

40

50

図示される例示的なスイッチング電源 100 は、本発明の教示から利するであろうスイッチング電源トポロジの一例であるフライバックレギュレータとして一般的に構成される。しかしながら、スイッチング電源レギュレータの他の公知のトポロジおよび構成も本発明の教示から利するであろうことが認められる。

#### 【0012】

スイッチング電源 100 は未調整入力電圧から負荷 126 に出力電力を与える。一実施例では、入力電圧は a c 入力電圧  $V_{AC} 102$  である。別の実施例では、入力電圧は整流された電圧  $V_{RECT} 106$  などの整流された a c 入力電圧である。示されるように、ブリッジ整流器 104 は a c 入力電圧  $V_{AC} 102$  を受け、整流された電圧  $V_{RECT} 106$  を生成する。ブリッジ整流器 104 はさらにエネルギー転送要素 T1 108 に結合する。本発明のいくつかの実施例では、エネルギー転送要素 T1 108 は結合されたインダクタであり得る。他の実施例では、エネルギー転送要素 T1 108 は変圧器であり得る。図 1 の例では、エネルギー転送要素 T1 108 は、2 つの巻線、すなわち 1 次巻線 110 と 2 次巻線 112 とを含む。しかしながら、エネルギー転送要素 T1 108 は 2 つよりも多くの巻線を有してもよいことが認められるべきである。1 次巻線 110 はスイッチ S1 114 にさらに結合され、これは次に入力帰還 116 にさらに結合される。一実施例では、スイッチ S1 114 は、金属酸化物半導体電界効果トランジスタ (MOSFET) などのトランジスタであり得る。別の例では、コントローラ 138 は、モノリシック集積回路として実現されてもよく、または個別の電気的要素もしくは個別のおよび集積された要素の組合せによって実現されてもよい。コントローラ 138 およびスイッチ S1 114 はハイブリッドまたはモノリシック集積回路のいずれかとして製造される集積回路 146 の一部を形成し得る。

#### 【0013】

さらに、図 1 の実施例のクランプ回路 118 は、エネルギー転送要素 T1 108 の 1 次巻線 110 の両端に結合されて図示される。フィルタコンデンサ C<sub>F</sub> 120 は 1 次巻線 110 およびスイッチ S1 114 の両端に結合し得る。換言すると、フィルタコンデンサ C<sub>F</sub> 120 はブリッジ整流器 104 および入力帰還 116 に結合し得る。エネルギー転送要素 T1 108 の 2 次巻線 112 は整流器 D1 122 に結合される。図 1 の例では、整流器 D1 122 はダイオードとして例示される。しかしながら、いくつかの実施例では、整流器 D1 122 は、同期整流器として用いられるトランジスタであってもよい。出力コンデンサ C1 124 および負荷 126 の両者とも図 1 では整流器 D1 122 に結合されて示される。出力が負荷 126 に与えられ、出力電圧  $V_o$ 、出力電流  $I_o$ 、またはこの 2 つの組合せのいずれかとして与えられ得る。

#### 【0014】

スイッチモード電源 100 はさらに、出力量  $U_o$  として例示される出力を調整する回路構成を備える。一般的に、出力量  $U_o$  は出力電圧  $V_o$ 、出力電流  $I_o$ 、またはその 2 つの組合せのいずれかである。フィードバック回路 128 は、スイッチモード電源 100 の出力からの出力量  $U_o$  を検知するように結合され、フィードバック信号  $U_{FB} 130$  を生成する。フィードバック回路 128 は、コントローラ 138 がフィードバック信号  $U_{FB} 130$  を受けるように、コントローラ 138 の端子にさらに結合される。コントローラ 138 は、電流検知入力信号 142 を受けるための端子をさらに含む。電流検知入力信号 142 は、スイッチ S1 114 のスイッチ電流  $I_D 144$  を表わす。さらに、スイッチ S1 114 はコントローラ 138 から駆動信号 140 を受ける。

#### 【0015】

動作の際、図 1 のスイッチング電源 100 は、a c 入力電圧  $V_{AC} 102$  などの未調整入力から負荷 126 への出力電力を与える。ブリッジ整流器 104 が a c 入力電圧  $V_{AC} 102$  を受け、整流された電圧  $V_{RECT} 106$  を生成する。フィルタコンデンサ C<sub>F</sub> 120 はスイッチ S1 114 からの高周波電流をフィルタリングする。他の適用例については、フィルタコンデンサ C<sub>F</sub> 120 は、d c 電圧がエネルギー転送要素 T1 108 に印加されるように十分に大きいものであってもよい。しかしながら、力率改善 (PFC) を有する電

源については、小さなフィルタコンデンサ  $C_{F120}$  を利用して、エネルギー転送要素  $T1108$  に印加される電圧が整流された電圧  $V_{RECT106}$  に実質的に従うことを可能にし得る。そのため、フィルタコンデンサ  $C_{F120}$  の値は、フィルタコンデンサ  $C_{F120}$  の電圧が入力ライン電圧の各々のハーフラインサイクルの間実質的に 0 に達するように選択され得る。または、換言すると、フィルタコンデンサ  $C_{F120}$  の電圧は、a c 入力電圧  $V_{AC102}$  の正の大きさに実質的に従う。その結果、コントローラ  $138$  がゼロ交差条件を検出し得る。スイッチング電源  $100$  はエネルギー転送要素  $T1108$  を利用して 1 次巻線  $110$  と 2 次巻線  $112$  との間で電圧を転送する。クランプ回路  $118$  は 1 次巻線  $110$  に結合されて、スイッチ  $S1114$  の最大電圧を制限する。スイッチ  $S1114$  は駆動信号  $140$  に応答して開閉される。閉じたスイッチは電流を導通し得、オンと考えられる一方で、開いたスイッチは電流を導通することができず、オフと考えられることが一般的に理解される。いくつかの実施例では、スイッチ  $S1114$  はトランジスタであり得、スイッチ  $S1114$  およびコントローラ  $138$  は集積回路  $146$  の一部を形成し得る。動作の際、スイッチ  $S1114$  のスイッチングにより、整流器  $D1122$  において脈動電流が生成する。整流器  $D1122$  の電流は出力コンデンサ  $C1124$  によってフィルタリングされ、負荷  $126$  において実質的に一定の出力電圧  $V_o$ 、出力電流  $I_o$ 、またはその 2 つの組合せを生成する。いくつかの実施例では、負荷  $126$  は LED アレイである。  
10

#### 【0016】

フィードバック回路  $128$  は、電源  $100$  の出力からの出力量  $U_o$  を検知して、コントローラ  $138$  にフィードバック信号  $U_{FB130}$  を与える。フィードバック信号  $U_{FB130}$  は電圧信号または電流信号であってもよく、出力量  $U_o$  に関する情報をコントローラ  $138$  に与える。さらに、コントローラ  $138$  は、スイッチ  $S1114$  中のスイッチ電流  $I_{D144}$  を中継する電流検知入力信号  $142$  を受ける。スイッチ電流  $I_{D144}$  は、たとえば、個別の抵抗器の両端の電圧、またはトランジスタが導通しているときのトランジスタの両端の電圧など、さまざまな態様で検知され得る。コントローラ  $138$  は、電流検知入力信号  $142$  が示すスイッチ電流  $I_{D144}$  を利用して、a c 入力電圧  $V_{AC102}$  のゼロ交差を判定する。さらに論じられるように、コントローラ  $138$  は次に、a c 入力電圧  $V_{AC102}$  のゼロ交差についての情報に関するゼロ交差信号を生成する。ゼロ交差信号を用いて、コントローラの内部周波数を較正したり、またはいつ位相調光回路が利用されるかを判定したりしてもよい。  
20

#### 【0017】

コントローラ  $138$  は駆動信号  $140$  を出力し、さまざまなシステム入力に応答してスイッチ  $S1114$  を動作させ、出力量  $U_o$  を所望の値に実質的に調整する。一実施例では、駆動信号  $140$  は、論理ハイおよび論理ローのセクションの長さが変化する矩形パルス波形であり得る。論理ハイの値が閉じたスイッチに対応し、論理ローが開いたスイッチに対応する。  
30

#### 【0018】

次に図  $2A$  を参照して、図  $1$  のスイッチング電源の整流された電圧  $V_{RECT106}$  の例示的な波形の図を図示する。これは、ハーフラインサイクル  $202$ 、ゼロ交差電圧しきい値  $204$ 、ピーク電圧  $V_{P205}$ 、および部分  $206$  を含む。図  $2B$  は、例示的な整流された電圧  $V_{RECT106}$  の部分  $206$  および対応のゼロ交差信号  $208$  を図示する。  
40

#### 【0019】

一般的に、a c 入力電圧  $V_{AC102}$  は正弦波形であり、a c 入力電圧  $V_{AC102}$  の周期がフルラインサイクルと称される。数学的には、 $V_{AC}(t) = V_p \sin(2\pi f_L t)$  である。式中、 $V_p205$  が a c 入力電圧  $V_{AC102}$  のピーク電圧であり、 $f_L$  がライン入力電圧の周波数である。または、換言すると、 $f_L$  は a c 入力電圧  $V_{AC102}$  のライン周波数である。フルラインサイクルはライン周波数  $f_L$  の逆数である、または数学的にはフルラインサイクル =  $1 / f_L$  であることが認められるべきである。以上で言及したように、整流された電圧  $V_{RECT106}$  は、ブリッジ整流器  $104$  への入力が a c 入力電圧  $V_{AC102}$  50

2 である場合の、ブリッジ整流器 104 の結果的な出力である。図 2A に示される例示的な整流された電圧  $V_{RECT} 106$  については、ブリッジ整流器 104 は、ブリッジ整流器 104 の出力が正の大きさとなるように、または数学的には  $V_{RECT} = |V_{AC}| = |V_p \sin(2\pi f_L t)|$  となるように、ac 入力電圧  $V_{AC} 102$  を変換した。その結果、整流された電圧  $V_{RECT} 106$  はハーフラインサイクル 202 をすべて繰返す。図 2A はゼロ交差電圧しきい値 204 も図示する。いくつかの実施例については、ゼロ交差電圧しきい値 204 は実質的に 0 に等しい。他の実施例については、ゼロ交差電圧 204 は、整流された電圧  $V_{RECT} 106$  のピーク電圧  $V_p 205$  の実質的に 5 分の 1 である。たとえば、整流された電圧  $V_{RECT} 106$  のピーク電圧  $V_p 205$  が実質的に 125V に等しい場合、ゼロ交差電圧しきい値 204 は実質的に 25V に等しい。ゼロ交差電圧しきい値  $V_{ZC} 204$  の値がゼロ電圧に近づくにつれ、ゼロ交差信号 208 がより正確になることが認められるべきである。別の実施例では、ゼロ交差電圧 204 は、整流された電圧  $V_{RECT} 106$  のピーク電圧  $V_p 205$  の実質的に 4 分の 1 である。

#### 【0020】

図 2B は例示的な整流された電圧  $V_{RECT} 106$  の部分 206 および対応のゼロ交差信号 208 を図示する。コントローラ 138 は、ac 入力電圧  $V_{AC} 102$  および整流された電圧  $V_{RECT} 106$  の値を間接的に検知してゼロ交差信号 208 を生成する。整流された電圧  $V_{RECT} 106$  がゼロ交差電圧しきい値 204 未満である場合、ゼロ交差信号 208 は、ゼロ交差条件が存在することを示す状態に変化する。ゼロ交差信号 208 は、整流された電圧  $V_{RECT} 106$  がゼロ交差電圧しきい値 204 を上回るまではその状態から変化しない。図 2B に示される例については、ゼロ交差信号 208 は、論理ハイおよび論理ローのセクションを有する矩形パルス波形である。整流された電圧  $V_{RECT} 106$  がゼロ交差電圧しきい値 204 未満である場合、ゼロ交差信号 208 の値は論理ハイである。整流された電圧  $V_{RECT} 106$  がゼロ交差電圧しきい値 204 を上回る場合、ゼロ交差信号 208 の値は論理ローである。ゼロ交差信号 208 がゼロ交差条件が存在すると示す時間の長さはゼロ交差パルス幅  $T_z 210$  で示される。図 2B に示される例については、ゼロ交差パルス幅  $T_z$  は、ゼロ交差信号 208 が論理ハイである時間の長さを示す。

#### 【0021】

図 2A に示される整流された電圧  $V_{RECT} 106$  は、正の大きさまたは数学的には  $V_{RECT} = |V_{AC}| = |V_p \sin(2\pi f_L t)|$  である  $ac$  入力電圧  $V_{AC} 102$  である。整流された電圧  $V_{RECT} 106$  の値が 0 に近い電圧である場合は、 $ac$  入力電圧  $V_{AC} 102$  の値が交差ゼロ電圧、したがってゼロ交差という用語に近い場合に対応する。換言すると、整流された電圧  $V_{RECT} 106$  がいつ 0 に近い電圧であるかを検出することは、 $ac$  入力電圧  $V_{AC} 102$  がいつゼロ電圧と交差するかを検出することに対応する。図 2B に示されるように、整流された電圧  $V_{RECT} 106$  がゼロ交差電圧しきい値 204 未満である場合、ゼロ交差信号 208 はハイのパルスを出力し、コントローラ 138 にゼロ交差条件を示す。換言すると、 $-V_{ZC} < V_{AC}(t) < V_{ZC}$  である場合、ゼロ交差信号 208 はハイのパルスを出力してゼロ交差条件を示す。本発明の実施例については、 $ac$  入力電圧  $V_{AC} 102$  のゼロ交差はスイッチ電流  $I_D 144$  を用いることによって間接的に検知される。

#### 【0022】

図 3 にさまざまな動作モードのスイッチ電流を図示する。図 1 のスイッチモード電源の例示的なスイッチ電流波形の図を図示する。これは、スイッチング周期  $T_s 304$ 、スイッチオン時間  $t_{ON} 306$ 、スイッチオフ時間  $t_{OFF} 308$ 、台形 310、および三角形 312 を含む。図 3 は、コントローラが連続導通モード (CCM) および不連続導通モード (DCM) の両方で動作している時間についてのスイッチ電流  $I_D 302$  の一般的な波形を図示する。スイッチ電流  $I_D 302$  の一般的な波形は、図 1 に図示されるスイッチ電流  $I_D 144$  の例を表わす。

#### 【0023】

任意のスイッチング周期  $T_s 304$  の間、スイッチ S1 114 はコントローラ 138 からの駆動信号 140 に応答して導通し、出力量  $U_o$  を調整し得る。スイッチング周期  $T_s$

10

20

30

40

50

304は、スイッチオン時間  $t_{ON}306$  およびスイッチオフ時間  $t_{OFF}308$  の2つの時間のセクションに分けられ得る。スイッチオン時間  $t_{ON}306$  は、スイッチS1 114が導通し得るスイッチング周期  $T_s304$  の部分を示す。スイッチオフ時間  $t_{OFF}308$  は、スイッチS1 114が導通することができないスイッチング周期  $T_s304$  の残余の部分を示す。図3の電流波形は2つの基本的な動作モードを図示する。台形310は連続導通モード(CCM)の特徴である一方で、三角形312は不連続導通モード(DCM)の特徴である。CCMの間、スイッチ電流  $I_D302$  は、スイッチオン時間  $t_{ON}306$  の開始直後は実質的に非ゼロである。DCMでは、スイッチ電流  $I_D302$  は、スイッチオン時間  $t_{ON}306$  の開始直後は実質的にゼロである。スイッチオフ時間  $t_{OFF}308$  の間、スイッチ電流  $I_D302$  はCCMおよびDCMの両方について実質的にゼロである。本発明の実施例に従うスイッチング電源100は、CCMまたはDCMのいずれかで動作し得る。

#### 【0024】

次に図4Aを参照して、例示的なスイッチ電流波形および結果的に生じるゼロ交差信号432の図を図示する。これは、スイッチ電流  $I_D144$ 、電流リミット  $I_{LIM}402$ 、ゼロ交差電流しきい値  $I_{ZC}404$ 、スイッチングサイクル  $T_{12}406$  から  $T_8426$ 、およびゼロ交差パルス  $T_{Z434}$  を含む。図4Aは、電源100が不連続導通モード(DCM)で動作している時間に亘るスイッチ電流  $I_D144$  の一般的な波形の一例を実証する。一般的に、スイッチングサイクル  $T_{12}406$  から  $T_8426$  の各々はスイッチング周期  $T_s304$  を有する。本発明のいくつかの実施例では、スイッチング周期  $T_s304$  は一定の時間の長さであり得る。本発明の他の実施例では、コントローラ138はスイッチング周期  $T_s304$  の長さを変えてもよい。

#### 【0025】

本発明の実施例については、コントローラ138は、スイッチ電流  $I_D144$  を利用して、a c入力電圧  $V_{AC}102$  がいつゼロ電圧と交差したかを判定する。図4Aは、いくつかのスイッチングサイクル  $T_{12}406$  から  $T_8426$  に亘るスイッチ電流  $I_D144$  の例を図示する。電流リミット  $I_{LIM}402$  は、スイッチS1 114について許される最大電流である。スイッチ電流  $I_D144$  が電流リミット  $I_{LIM}402$  に達すれば、スイッチS1 114はスイッチングサイクルの残余の間オフする。スイッチ電流  $I_D144$  がある時間量までにゼロ交差電流しきい値  $I_{ZC}404$  に達しない場合、可能なゼロ交差条件が存在し得る。

#### 【0026】

Nは、コントローラ138がゼロ交差条件が確かに存在すると判定する前に可能なゼロ交差条件として検出する連続したスイッチングサイクルの数であり、ゼロ交差信号432は、非ゼロ交差条件を示す状態からゼロ交差条件を示す状態に変化することが認められるべきである。さらに、ゼロ交差信号432がゼロ交差条件が存在すると示している場合、コントローラはN個の連続スイッチングサイクル待機して、コントローラ138がゼロ交差信号432の状態を変化させる前にゼロ交差条件が存在しないと決定できるようにしてゼロ交差条件がないと示す。コントローラ138はN個の連続したスイッチングサイクル待機して、ゼロ交差条件の誤った検出に繋がり得る如何なるノイズリングもなくし得る。たとえば、Nが(図4Bに示されるように)4に等しい場合、コントローラ138は、可能なゼロ交差条件が4個の連続したスイッチングサイクルの間起こると、ゼロ交差条件が存在すると判定する。別の例では、Nが(図4Aに示されるように)1に等しい場合、コントローラ138は、可能なゼロ交差条件の最初の事象でゼロ交差条件が存在すると判定する。

#### 【0027】

一実施例では、ゼロ交差信号432の論理ローの値はゼロ交差条件が存在しないことを示す一方で、ゼロ交差信号432の論理ハイの値はゼロ交差条件が存在することを示す。別の実施例では、ゼロ交差信号432の論理ハイの値はゼロ交差条件が存在しないことを示す一方で、ゼロ交差信号432の論理ローの値はゼロ交差信号が存在することを示す。

10

20

30

40

50

## 【0028】

図4Aに示される例について、Nは1に等しく、コントローラ138は、可能なゼロ交差条件の最初の事象でゼロ交差条件が存在すると判定し、同じスイッチングサイクルの間にゼロ交差信号432の状態を変化させる。図4Aの例では、ゼロ交差信号432は、スイッチS1 114がオフし、スイッチ電流 $I_D144$ がゼロ電流に降下すると、ゼロ交差条件を示す状態に変化する。スイッチングサイクル $T_2406$ 、 $T_1408$ 、および $T_0410$ で、スイッチ電流 $I_D144$ はゼロ交差電流しきい値 $I_{ZC}404$ を超える。その結果、コントローラ138はゼロ交差条件がないと検出する。図4Aの例については、ゼロ交差条件が存在しない場合、ゼロ交差信号432は論理ローの値である。しかしながら、スイッチングサイクル $T_1412$ で、スイッチ電流 $I_D144$ は、ある時間量内でゼロ交差電流しきい値 $I_{ZC}404$ に達しない。Nは図4Aの例では1に等しいので、コントローラ138はa c入力電圧 $V_{AC}102$ についてゼロ交差条件が存在すると判定する。その結果、ゼロ交差信号432は、スイッチングサイクル $T_1412$ の間にゼロ交差条件を示す状態に変化する。図4Aの例については、ゼロ交差条件が存在する場合、ゼロ交差信号432は論理ハイの値である。

## 【0029】

スイッチングサイクル $T_2414$ から $T_6422$ の間、スイッチ電流 $I_D144$ は依然としてゼロ交差電流しきい値 $I_{ZC}404$ に達せず、コントローラ138はa c入力電圧 $V_{AC}102$ のゼロ交差条件が存在し続けていると判定する。その結果、ゼロ交差信号432は論理ハイの値に留まる。スイッチングサイクル $T_7424$ で、スイッチ電流 $I_D144$ はゼロ交差電流しきい値 $I_{ZC}404$ を超える。コントローラ138はゼロ交差条件が存在しないと判定する。Nは1に等しいので、ゼロ交差信号432はスイッチングサイクル $T_7424$ の間に論理ローの値に変化する。図4Aの例については、ゼロ交差信号432は、スイッチS1 114がスイッチングサイクル $T_7424$ の間オフし、スイッチ電流 $I_D144$ がゼロ電流に降下すると、非ゼロ交差条件を示す状態に変化する。図4Aに示されるように、ゼロ交差パルス幅 $T_z434$ は、ゼロ交差信号432がゼロ交差条件が存在し、論理ハイの値にあると示す時間の長さである。

## 【0030】

次に図4Bを参照して、例示的なスイッチ電流波形および結果的に生じるゼロ交差信号432の別の図を図示する。これは、スイッチ電流 $I_D144$ 、電流リミット $I_{LIM}402$ 、ゼロ交差電流しきい値 $I_{ZC}404$ 、スイッチングサイクル $T_0410$ から $T_{10}430$ 、ゼロ交差パルス幅 $T_z434$ 、および遅延時間 $t_x436$ を含む。図4Bは、電源100がDCMで動作している時間に亘るスイッチ電流 $I_D144$ の一般的な波形の一例を実証する。図4Bは図4Aに示される同じスイッチ電流 $I_D144$ も図示するが、図4BについてはNが4に等しい。または、換言すると、コントローラ138は、ゼロ交差条件が確かに存在すると判定し、ゼロ交差信号432がゼロ交差条件を示す前に、可能なゼロ交差条件の後の4個の連続したスイッチングサイクル待機する。さらに、ゼロ交差信号432がゼロ交差条件が存在すると示す場合、コントローラ138は、コントローラ138がゼロ交差信号432の状態を変化させて非ゼロ交差条件を示す前に、非ゼロ交差条件で4個の連続したスイッチングサイクル待機する。コントローラ138は、4個の連続したスイッチングサイクルの間待機して、いずれのノイズリングもなくし、かつゼロ交差条件が確かに存在することを確実にする。図4BはNが4に等しいと図示するが、Nはいずれの正の整数であってもよい。

## 【0031】

スイッチングサイクル $T_0410$ で、スイッチ電流 $I_D144$ はゼロ交差電流しきい値 $I_{ZC}404$ を超える。その結果、コントローラ138はゼロ交差条件が存在すると判定せず、ゼロ交差信号432は論理ローの値に留まる。スイッチングサイクル $T_1412$ の間、スイッチ電流 $I_D144$ はある時間量内でゼロ交差電流しきい値 $I_{ZC}404$ に達せず、コントローラ138は可能なゼロ交差条件が存在すると判定するが、ゼロ交差信号432は依然として論理ローの値に留まる。なぜなら、コントローラ138はゼロ交差条件が存在す

ると判定する前に可能なゼロ交差条件の4個の連続したスイッチングサイクル待機するからである。図4Bの例から、スイッチ電流 $I_D$ 144も、スイッチングサイクル $T_2$ 414から $T_4$ 418のある時間量内でゼロ交差電流しきい値 $I_{ZC}$ 404に達しない。スイッチングサイクル $T_4$ 418は、可能なゼロ交差条件が存在する4番目の連続したスイッチングサイクルである。したがって、コントローラ138は、ゼロ交差条件がa c入力電圧 $V_{AC}$ 102について確かに存在すると判定し、ゼロ交差信号432は、ゼロ交差条件が存在すると示す状態に変化する。図4Bに示される例については、ゼロ交差信号432は、論理ローの値から論理ハイの値に遷移する。しかしながら、ゼロ交差信号432は遅延時間 $t_x$ 436の終わりまで論理ハイの値に遷移しない。遅延時間 $t_x$ 436は、コントローラ138がゼロ交差条件が確かに存在すると判定するのと、コントローラ138がゼロ交差信号432を更新するとの間の時間の長さを示す。一実施例では、ゼロ交差信号が更新する遅延時間 $t_x$ 436は、数値Nを実現するのに用いられるフィルタによるものであり得る。さらなる実施例では、遅延時間 $t_x$ 436は次のスイッチングサイクルまでゼロ交差信号432の更新を遅延させ得る。図4Aに戻ると、遅延時間 $t_x$ 436は実質的に0に等しい。

#### 【0032】

スイッチングサイクル $T_5$ 420および $T_6$ 422の間、スイッチ電流 $I_D$ 144は依然としてゼロ交差電流しきい値 $I_{ZC}$ 404に達しておらず、コントローラはa c入力電圧 $V_{AC}$ 102のゼロ交差条件が存在し続けていると判定し、ゼロ交差信号432は論理ハイの値に留まる。スイッチングサイクル $T_7$ 424で、スイッチ電流 $I_D$ 144はa c入力電圧 $V_{AC}$ 102のゼロ交差条件がもはや存在していない可能性があることを示すゼロ交差電流しきい値 $I_{ZC}$ 404を超えるが、コントローラ138は、a c入力電圧 $V_{AC}$ 102がもはやゼロ交差条件がないと判定する前に、スイッチ電流 $I_D$ 144がゼロ交差条件がもはや存在しない可能性があることを示す4個の連続したスイッチングサイクル待機する。スイッチングサイクル $T_8$ 426から $T_{10}$ 430の間、スイッチ電流 $I_D$ はゼロ交差電流しきい値 $I_{ZC}$ 404を超える。スイッチングサイクル $T_{10}$ 430は、ゼロ交差条件がもはや存在しない可能性がある4番目の連続したスイッチングサイクルであり、コントローラ138はゼロ交差条件が存在しないと判定する。その結果、ゼロ交差信号432は、ゼロ交差条件が存在しないと示す状態に変化する。図4Bに示される例については、ゼロ交差信号432は論理ハイの値から論理ローの値に遷移する。しかしながら、ゼロ交差信号432は、遅延時間 $t_x$ 436の終わりまで論理ローの値に遷移しない。遅延時間 $t_x$ 436は、コントローラ138がゼロ交差条件が存在しないことを判定するのと、コントローラ138がゼロ交差信号432を更新するとの間の時間の長さを示す。さらなる実施例では、遅延時間 $t_x$ 436は、次のスイッチングサイクルまでゼロ交差信号432の更新を遅延させ得る。図4Bに示されるように、ゼロ交差パルス幅 $T_z$ 434は、ゼロ交差信号432がゼロ交差条件が存在することを示し論理ハイの値にある時間の長さである。

#### 【0033】

次に図5を参照して、例示的なスイッチ電流波形および結果として生じるゼロ交差信号532の別の図を図示する。これは、スイッチ電流 $I_D$ 144、ゼロ交差電流しきい値 $I_{ZC}$ 504、ゼロ交差時間しきい値 $t_{ZC}$ 506、スイッチングサイクル $T_M$ 508から $T_{M+3}$ 514、およびゼロ交差パルス幅 $T_z$ 534を含む。さらに、各々のスイッチングサイクル $T_M$ 508から $T_{M+3}$ 514の間に、スイッチS1 114のオン時間 $t_{ON}$ および延長されたオン時間 $t_{ONX}$ が存在する。一般的に、スイッチングサイクル $T_M$ 508から $T_{M+3}$ 514の各々はスイッチング周期 $T_s$ 304を有する。本発明のいくつかの実施例では、スイッチング周期 $T_s$ 304は一定の時間の長さであり得る。本発明の他の実施例では、コントローラ138はスイッチング周期 $T_s$ 304の長さを変え得る。図5に示される例示的なゼロ交差信号532については、Nの値は2である。

#### 【0034】

一実施例では、コントローラ138は、スイッチS1 114のオン時間延長も利用して、a c入力電圧 $V_{AC}$ 102についてゼロ交差条件が存在するかどうかを判定する。コン

10

20

30

40

50

トローラ 138 は、スイッチ電流  $I_{D144}$  がゼロ交差時間しきい値  $t_{zc506}$  内にゼロ交差電流しきい値  $I_{zc504}$  に達しない場合にゼロ交差条件が存在すると判定する。スイッチ電流  $I_{D144}$  がスイッチ S1 114 の初期オン時間  $t_{ON}$  の間にゼロ交差電流しきい値  $I_{zc504}$  に達しない場合、コントローラ 138 はゼロ交差電流しきい値  $I_{zc504}$  に達するまでまたは延長されたオン時間  $t_{ONX}$  がゼロ交差時間しきい値  $t_{zc506}$  に達するまで、オン時間  $t_{ON}$  を延長する。オン時間  $t_{ON}$  が延長される時間量は、延長されたオン時間  $t_{ONX}$  と称される。いくつかの実施例については、ゼロ交差時間しきい値  $t_{zc506}$  は実質的に  $5 \mu s$  に等しい。

#### 【0035】

スイッチングサイクル  $T_{M508}$  で、スイッチ電流  $I_{D144}$  は、スイッチ S1 114 の初期オン時間  $t_{ON}$  内にゼロ交差電流しきい値  $I_{zc504}$  に達しない。スイッチ S1 114 をオフする代わりに、スイッチ S1 114 はオンのままであり、スイッチのオン時間  $t_{ON}$  は、スイッチ電流  $I_{D144}$  がゼロ交差電流しきい値  $I_{zc504}$  に達するまたはオン時間  $t_{ON}$  と延長されたオン時間  $t_{ONX}$  との和がゼロ交差時間しきい値  $t_{zc506}$  に達するまで、延長される。スイッチングサイクル  $T_{M508}$  の間、オン時間  $t_{ON}$  は延長されたオン時間  $t_{ONX}$  だけ延長されるが、スイッチ電流  $I_{D144}$  は、オン時間  $t_{ON}$  と延長されたオン時間  $t_{ONX}$  との和がゼロ交差時間しきい値  $t_{zc506}$  に達する前にゼロ交差電流しきい値  $I_{zc504}$  に達する。その結果、スイッチ S1 114 は、スイッチ電流  $I_{D144}$  がゼロ交差電流しきい値  $I_{zc504}$  に達しスイッチ電流  $I_{D144}$  が実質的に 0 に降下するときにオフされる。コントローラ 138 はゼロ交差条件を検出せず、その結果、ゼロ交差信号 532 は非ゼロ交差条件を示す。または、換言すると、ゼロ交差信号 532 は論理口一の値にある。

#### 【0036】

スイッチングサイクル  $T_{M+1510}$  で、スイッチ電流  $I_{D144}$  は初期オン時間  $t_{ON}$  内にゼロ交差電流しきい値  $I_{zc504}$  に達せず、コントローラ 138 は延長されたオン時間  $t_{ONX}$  だけオン時間  $t_{ON}$  をさらに延長する。図示されるように、スイッチ電流  $I_{D144}$  は延長されたオン時間  $t_{ONX}$  の間にゼロ交差電流しきい値  $I_{zc504}$  に達する。スイッチングサイクル  $T_{M508}$  とは異なり、スイッチ電流  $I_{D144}$  は、オン時間  $t_{ON}$  と延長されたオン時間  $t_{ONX}$  との和がゼロ交差時間しきい値  $t_{zc506}$  に実質的に等しくなったときにゼロ交差電流しきい値  $I_{zc504}$  に達する。コントローラ 138 はゼロ交差条件を検出せず、ゼロ交差信号 532 は論理口一の値に留まる。

#### 【0037】

スイッチングサイクル  $T_{M+2512}$  で、スイッチ電流  $I_{D144}$  は初期オン時間  $t_{ON}$  内にゼロ交差電流しきい値  $I_{zc504}$  に達せず、コントローラ 138 は延長されたオン時間  $t_{ONX}$  だけオン時間  $t_{ON}$  をさらに延長する。以上で言及されたように、コントローラ 138 は、ゼロ交差時間しきい値  $t_{zc506}$  に達しかつスイッチ電流  $I_{D144}$  がゼロ交差電流しきい値  $I_{zc504}$  未満であるときに、スイッチ S1 114 をオフする。図 5 に示される例では、スイッチ電流  $I_{D144}$  は初期オン時間  $t_{ON}$  内にゼロ交差電流しきい値  $I_{zc504}$  に達せず、コントローラ 138 はスイッチ S1 114 のオン時間を延長する。オン時間  $t_{ON}$  は、スイッチ電流  $I_{D144}$  がゼロ交差電流しきい値  $I_{zc504}$  に達するまでまたは延長されたオン時間  $t_{ONX}$  がゼロ交差時間しきい値  $t_{zc506}$  に達するまで延長される。スイッチングサイクル  $T_{M+2512}$  の間に、延長されたオン時間  $t_{ONX}$  は、スイッチ電流  $I_{D144}$  がゼロ交差電流しきい値  $I_{zc504}$  に達しないうちにゼロ交差時間しきい値  $t_{zc506}$  に達する。その結果、コントローラ 138 は可能なゼロ交差条件が存在し得ると判定するが、ゼロ交差信号 532 は状態を変化させない。なぜなら、コントローラ 138 は、ゼロ交差条件が存在すると判定する前に可能なゼロ交差条件の 2 つの連続するスイッチングサイクル待機するからである。換言すると、N が 2 に等しいので、ゼロ交差信号 532 は論理ハイの値に遷移しない。

#### 【0038】

スイッチングサイクル  $T_{M+3514}$  で、スイッチ電流  $I_{D144}$  は初期オン時間  $t_{ON}$  内に

ゼロ交差電流しきい値  $I_{ZC\ 5\ 0\ 4}$  に達せず、コントローラ 138 は延長されたオン時間  $t_{ONX}$  だけオン時間  $t_{ON}$  をさらに延長する。スイッチングサイクル  $T_{M+2\ 5\ 1\ 2}$  と同様に、スイッチ電流  $I_{D\ 1\ 4\ 4}$  は、延長されたオン時間  $t_{ONX}$  がゼロ交差時間しきい値  $t_{ZC\ 5\ 0\ 6}$  に達する前にゼロ交差電流しきい値  $I_{ZC\ 5\ 0\ 4}$  に達しない。さらに、スイッチングサイクル  $T_{M+3\ 5\ 1\ 4}$  は、可能なゼロ交差条件を有する 2 番目の連続したスイッチングサイクルである。その結果、コントローラ 138 はゼロ交差条件が存在すると判定し、ゼロ交差信号 532 は状態を変化させる。または、換言すると、ゼロ交差信号 432 は論理ハイの値に遷移する。ゼロ交差パルス幅  $T_{Z\ 5\ 3\ 4}$  は、ゼロ交差信号 532 が論理ハイの値にある時間量を示す。

【0039】

10

ゼロ交差電流しきい値  $I_{ZC\ 5\ 0\ 4}$  およびゼロ交差時間しきい値  $t_{ZC\ 5\ 0\ 6}$  は、ゼロ交差電圧しきい値  $V_{ZC\ 2\ 0\ 4}$  に対応するように選択される。以上で言及されたように、コントローラ 138 は、スイッチ電流  $I_{D\ 1\ 4\ 4}$  がゼロ交差時間しきい値  $t_{ZC\ 5\ 0\ 6}$  までにゼロ交差電流しきい値  $I_{ZC\ 5\ 0\ 4}$  に達しないときにゼロ交差条件を検出する。ゼロ交差電流しきい値  $I_{ZC\ 5\ 0\ 4}$  およびゼロ交差時間しきい値  $t_{ZC\ 5\ 0\ 6}$  は、ゼロ交差条件が、ゼロ交差電圧しきい値  $V_{ZC\ 2\ 0\ 4}$  を下回る、整流された電圧  $V_{RECT\ 1\ 0\ 6}$  の値に対応するように固定される。換言すると、ゼロ交差電流しきい値  $I_{ZC\ 5\ 0\ 4}$  およびゼロ交差時間しきい値  $t_{ZC\ 5\ 0\ 6}$  は、ゼロ交差条件が正のゼロ交差電圧しきい値  $V_{ZC\ 2\ 0\ 4}$  と負のゼロ交差電圧しきい値  $V_{ZC\ 2\ 0\ 4}$  との間に降下する  $a\ c$  入力電圧  $V_{AC\ 1\ 0\ 2}$  の値、または数学的には  $-V_{ZC} < V_{AC}(t) < V_{ZC}$ 、に対応するように固定される。

20

【0040】

スイッチ S1 114 がオンであるときのスイッチ S1 114 の電圧と電流との間の関係は

【0041】

【数1】

$$V(t) = L_p \frac{di(t)}{dt}$$

【0042】

として表現され得る。式中、 $L_p$  が 1 次巻線 110 のインダクタンスである。DCM で動作する電源については、いずれのスイッチングサイクルの間のこの関係も

30

【0043】

【数2】

$$V_{AC} = L_p \frac{I_{PEAK}}{t_{ON}}$$

【0044】

としてさらに表わされ得る。式中、 $I_{PEAK}$  はスイッチ電流  $I_{D\ 1\ 4\ 4}$  のピーク値である。しかしながら、1 つのスイッチングサイクルにおいては、 $V_{AC}$  の値は、オン時間  $t_{ON}$  が小さいために一定であると考えられ得る。以上で言及されたように、ゼロ交差電流しきい値  $I_{ZC\ 5\ 0\ 4}$  およびゼロ交差時間しきい値  $t_{ZC\ 5\ 0\ 6}$  は、スイッチ S1 114 が DCM でオンであるときのスイッチ S1 114 の電圧と電流との間の関係、または数学的には

40

【0045】

【数3】

$$V_{ZC} = L_p \frac{I_{ZC}}{t_{ZC}}$$

【0046】

を利用して、ゼロ交差電圧しきい値  $V_{ZC\ 2\ 0\ 4}$  に対応するように固定され選択される。

さらに、ゼロ交差時間しきい値  $t_{ZC\ 5\ 0\ 6}$  を固定するようにコントローラ 138 が利用

50

するオン時間延長により、フィルタコンデンサ  $C_F 120$  からより多くの電荷が除去される。その結果、放電するフィルタコンデンサ  $C_F 120$  は、コントローラ  $138$  が a c 入力電圧  $V_{AC} 102$  のゼロ交差を検出するのを助け得る 1 次巻線  $110$  における電圧をブルダウンするのを助ける。

【0047】

次に図 6 を参照して、調光器回路  $608$  を利用する例示的なスイッチング電源の機能ブロック図を示す。これは、a c 入力電圧  $V_{AC} 102$ 、エネルギー転送要素  $T 1 108$ 、エネルギー転送要素  $T 1 108$  の 1 次巻線  $110$ 、エネルギー転送要素  $T 1 108$  の 2 次巻線  $112$ 、スイッチ  $S 1 114$ 、入力帰還  $116$ 、クランプ回路  $118$ 、フィルタコンデンサ  $C_F 120$ 、コントローラ  $138$ 、駆動信号  $140$ 、電流検知入力信号  $142$ 、およびスイッチ電流  $I_D 144$  を含む。さらに、スイッチング電源は、整流器  $604$ 、整流された電圧  $V_{RECT} 606$ 、調光器回路  $608$ 、および調光された電圧  $V_{DIM} 610$  をさらに含む。図 6 に示されるスイッチング電源は、図 1 に示されるスイッチング電源  $100$  に調光器回路  $608$  が追加されたものと同様であることが認められるべきである。  
10

【0048】

エネルギー転送要素  $T 1 108$ 、エネルギー転送要素  $T 1 108$  の 1 次巻線  $110$ 、エネルギー転送要素  $T 1 108$  の 2 次巻線  $112$ 、スイッチ  $S 1 114$ 、入力帰還  $116$ 、クランプ回路  $118$ 、フィルタコンデンサ  $C_F 120$ 、コントローラ  $138$ 、駆動信号  $140$ 、電流検知入力信号  $142$ 、およびスイッチ電流  $I_D 144$  は上述のように結合しつか機能する。調光器回路  $608$  は a c 入力電圧  $V_{AC} 102$  に結合し、調光された電圧  $V_{DIM} 610$  を生成する。調光器回路  $608$  は整流器  $604$  にさらに結合する。整流器  $604$  は調光された電圧  $V_{DIM} 610$  を受け、整流された電圧  $V_{RECT} 606$  を出力する。図 6 に示されるように、整流器  $604$  はフィルタコンデンサ  $C_F 120$  の両端に結合される。  
20 本発明のいくつかの実施例については、整流器  $604$  は図 1 に図示されるようなブリッジ整流器である。

【0049】

調光器回路  $608$  は、電源の負荷  $126$  が発光ダイオード (LED) アレイである場合に利用され、電源に送達される電力の量を制限し得る。その結果、LED アレイである負荷に送達される電流が制限され、LED アレイが薄暗くなる。一実施例では、調光器回路  $608$  は位相調光器回路である。別の実施例では、トライアック調光器回路が調光器回路  $608$  として利用され得る。トライアック調光器は、a c 入力電圧  $V_{AC} 102$  がゼロ電圧と交差する際に、電源から a c 入力電圧  $V_{AC} 102$  を切り離す。所与の時間量の後、トライアック調光器は、電源に a c 入力電圧  $V_{AC} 102$  を再接続する。求められる調光量に依存して、トライアック調光器は、a c 入力電圧  $V_{AC} 102$  が電源から切り離される時間量を制御する。一般的に、より多くの調光は、トライアック調光器が a c 入力電圧  $V_{AC} 102$  を切り離すより長い期間に対応する。本発明の実施例に従うと、コントローラ  $138$  はスイッチ電流  $I_D 144$  を利用して、a c 入力電圧  $V_{AC} 102$  についていつゼロ交差条件が存在するかを判定し、ゼロ交差信号を生成する。図 7 A および図 7 B は、整流された電圧  $V_{RECT} 606$  およびその後のゼロ交差信号を図示する。  
30

【0050】

図 7 A は、図 6 に示される整流された電圧  $V_{RECT} 606$  の例示的な波形を図示し、これは、ハーフラインサイクル  $702$ 、ゼロ交差電圧しきい値  $704$ 、ピーク電圧  $V_P 705$ 、および部分  $706$  を含む。図 7 B は、整流された電圧  $V_{RECT} 606$  の部分  $706$  および対応のゼロ交差信号  $708$  を図示する。ハーフラインサイクル  $702$ 、ゼロ交差電圧しきい値  $V_{ZC} 704$ 、およびゼロ交差信号  $708$  は、図 2 A および図 2 B のハーフラインサイクル  $202$ 、ゼロ交差電圧しきい値  $V_{ZC} 204$ 、およびゼロ交差信号  $208$  のさらなる例である。  
40

【0051】

以上論じたように、a c 入力電圧  $V_{AC} 102$  は、フルラインサイクルと称される a c 入力電圧  $V_{AC} 102$  の周期の正弦波形である。数学的には  $V_{AC}(t) = V_P \sin(2\pi f_L t)$   
50

$t$ )である。式中、 $V_{P705}$ はa c入力電圧 $V_{AC102}$ のピーク電圧であり、 $f_L$ はライン入力電圧の周波数である。または、換言すると、 $f_L$ はa c入力電圧 $V_{AC102}$ のライン周波数である。フルラインサイクルはライン周波数 $f_L$ の逆数であり、または数学的にはフルラインサイクル =  $1/f_L$ であることが認められるべきである。整流された電圧 $V_{RECT606}$ は、ブリッジ整流器604および調光回路608の結果的な出力である。図7Aの例については、整流された電圧 $V_{RECT606}$ の各々のハーフラインサイクル702の開始は、調光器回路608がa c入力電圧 $V_{AC102}$ を電源から切り離すときに対応するゼロ電圧に実質的に等しい。調光器回路608がa c入力電圧 $V_{AC102}$ を電源に再接続する際、整流された電圧 $V_{RECT606}$ はa c入力電圧 $V_{AC102}$ の正の大きさに実質的に従う。または、数学的には $V_{RECT} = |V_{DIM}|$ である。

10

#### 【0052】

図2Aと同様に、いくつかの実施例については、ゼロ交差電圧しきい値 $V_{ZC704}$ は実質的に0に等しい。他の実施例については、ゼロ交差電圧しきい値 $V_{ZC704}$ は、整流された電圧 $V_{RECT606}$ のピーク電圧 $V_{P705}$ の実質的に5分の1である。一例では、整流された電圧 $V_{RECT606}$ のピーク電圧 $V_{P705}$ が125Vに実質的に等しい場合、ゼロ交差電圧しきい値 $V_{ZC704}$ は実質的に25Vに等しい。別の実施例では、ゼロ交差電圧しきい値 $V_{ZC704}$ は、整流された電圧 $V_{RECT606}$ のピーク電圧 $V_{P705}$ の実質的に4分の1である。ゼロ交差電圧しきい値 $V_{ZC704}$ の値がゼロ電圧に近づくにつれ、ゼロ交差信号708がより正確になることが認められるべきである。

#### 【0053】

図7Bは、整流された電圧 $V_{RECT606}$ の部分706および対応のゼロ交差信号708を図示する。本発明の実施例は、a c入力電圧 $V_{AC102}$ を間接的に検知し、ゼロ交差信号708を生成する。整流された電圧 $V_{RECT606}$ がゼロ交差電圧しきい値 $V_{ZC704}$ 未満である場合、ゼロ交差信号708はゼロ交差条件が存在すると示す。ゼロ交差信号708は、論理ハイおよび論理ローのセクションを有する矩形パルス波形である。図7Bに図示される例については、整流された電圧 $V_{RECT606}$ がゼロ交差電圧しきい値 $V_{ZC704}$ 未満である場合、ゼロ交差信号708の値は論理ハイである。整流された電圧 $V_{RECT606}$ がゼロ交差電圧しきい値 $V_{ZC704}$ よりも大きい場合、ゼロ交差信号708の値は論理ローである。

20

#### 【0054】

図2Bについて以上で言及されたように、整流された電圧 $V_{RECT606}$ がいつゼロ電圧に近いかを検出することは、a c入力電圧 $V_{AC102}$ がいつゼロ電圧と交差するかを検出することに対応する。図7Bに示されるゼロ交差信号708と図2Bに示されるゼロ交差信号208とを比較すると、図7Bのゼロ交差パルス $T_{Z710}$ は、調光器回路608によるa c入力電圧 $V_{AC102}$ の切り離しのために、図2Bのゼロ交差パルス $T_{Z210}$ よりも長くなっている。以上で言及されたように、求められる調光量は、調光器回路608が電源からa c入力電圧 $V_{AC102}$ を切り離す時間の長さに対応する。調光器回路608がa c入力電圧 $V_{AC102}$ を電源から切り離した状態に保つ時間が長いほど、整流された電圧 $V_{RECT606}$ が実質的にゼロ電圧に等しい時間が長くなる。その結果、ゼロ交差パルス $T_{Z710}$ の長さは、調光器回路608が与える調光量に対応する。

30

#### 【0055】

次に図8Aを参照して、整流された電圧 $V_{RECT801}$ の別の例示的な波形を図示する。これは、ハーフラインサイクル802、ゼロ交差電圧しきい値 $V_{ZC804}$ 、ピーク電圧 $V_{P805}$ 、および部分806を含む。図8Bは、整流された電圧 $V_{RECT801}$ の部分806および対応のゼロ交差信号808を図示する。

40

#### 【0056】

整流された電圧 $V_{RECT801}$ の例示的な波形は、図7Aに示される整流された電圧 $V_{RECT606}$ と同様である。図7Aの例では、整流された電圧 $V_{RECT606}$ は、調光器回路608および整流器604を通過したa c入力電圧 $V_{AC102}$ の結果である。図6、図7Aおよび図7Bに関して言及したように、整流された電圧 $V_{RECT606}$ は、すべてのハーフ

50

ラインサイクル 802 の開始時に a c 入力電圧  $V_{AC}102$  を切り離すトライアック調光器などの調光器回路 608 の結果である。しかしながら、図 8A および図 8B に図示される整流された電圧  $V_{RECT}801$  は、すべてのハーフラインサイクル 802 の終わりに a c 入力電圧  $V_{AC}102$  を切り離す調光器回路 608 の結果である。その結果、整流された電圧  $V_{RECT}801$  は、ハーフラインサイクル 802 の終わりにゼロ電圧に実質的に等しくなる。ハーフラインサイクル 802 の開始時に、整流された電圧  $V_{RECT}801$  は、調光器回路 608 が電源から a c 入力電圧  $V_{AC}102$  を切り離すまで、a c 入力電圧  $V_{AC}102$  の正の大きさに実質的に従う。整流された電圧  $V_{RECT}801$  の値は次に、次のハーフラインサイクルの開始時まで、実質的にゼロ電圧まで放電する。

【0057】

10

図 8B は整流された電圧  $V_{RECT}801$  の部分 806 および対応のゼロ交差信号 808 を図示する。a c 入力電圧  $V_{AC}102$  は、スイッチ電流  $I_D144$  を通して間接的に検知されてゼロ交差信号 808 を生成する。整流された電圧  $V_{RECT}801$  がゼロ交差電圧しきい値  $V_{ZC}804$  未満である場合、ゼロ交差信号 808 はゼロ交差条件が存在すると示す。図 8B の例については、整流された電圧  $V_{RECT}801$  がゼロ交差電圧しきい値  $V_{ZC}804$  未満である場合、ゼロ交差信号 808 の値は論理ハイである。整流された電圧  $V_{RECT}801$  がゼロ交差電圧しきい値  $V_{ZC}804$  よりも大きい場合、ゼロ交差信号 808 の値は論理ローである。

【0058】

20

図 8B に示されるゼロ交差信号 808 と図 2B に示されるゼロ交差信号 208 とを比較すると、図 8B のゼロ交差パルス  $T_z810$  は、調光器回路 608 による a c 入力電圧  $V_{AC}102$  の切り離しにより、図 2B のゼロ交差パルス  $T_z210$  よりも長くなっている。図 8B に示されるゼロ交差信号 808 と図 7B に示されるゼロ交差信号 708 とを比較すると、図 8B のゼロ交差パルス  $T_z810$  は、図 7B に示されるようなハーフラインサイクル 802 の開始時ではなく、ハーフラインサイクル 802 の終わりに向けて生じる。

【0059】

次に図 9A を参照して、コントローラ 938 の機能ブロック図を図示する。これは、フィードバック信号  $U_{FB}930$ 、駆動信号 940、電流検知信号 942、駆動論理ブロック 902、オン時間延長ブロック 904、ゼロ交差検出器 906、ゼロ交差信号 908、およびゼロ交差時間しきい値パルス  $ZCP924$  を含む。ゼロ交差検出器 906 は、クロック信号 910、比較器 914、参照信号 916、AND ゲート 917、S-R ラッチ 918、フリップフロップ 922、およびオプションのゼロ交差フィルタ 926 をさらに含む。コントローラ 938、フィードバック信号  $U_{FB}930$ 、駆動信号 940、および電流検知信号 942 は、図 1 および図 6 に図示されるコントローラ 138、フィードバック信号  $U_{FB}130$ 、駆動信号 140、および電流検知信号 142 の例である。さらに、ゼロ交差信号 908 は、図 2、図 4A、図 4B、図 7B、および図 8B に示されるゼロ交差信号の一例である。一例では、駆動論理ブロック 902 およびオン時間延長ブロック 904 は本明細書中では駆動信号生成器と総称され得る。駆動論理出力  $DLO950$ 、ゼロ交差時間しきい値パルス  $ZCP924$ 、および比較器出力  $C0952$  という信号表記も図 9A および図 9B に示される。それぞれの信号の波形は図 10 に図示する。

30

【0060】

40

コントローラ 938、フィードバック信号  $U_{FB}930$ 、駆動信号 940、および電流検知信号 942 は上述のように結合しつつ機能する。コントローラ 938 内では、駆動論理ブロック 902 は、オン時間延長ブロック 904 およびゼロ交差検出器 906 に結合する。駆動論理ブロック 902 は電流検知信号 942 およびフィードバック信号  $U_{FB}930$  を受け、オン時間延長ブロック 904 へ駆動論理出力  $DLO950$  を出力する。駆動論理ブロック 902 はゼロ交差検出器 906 にさらに結合し、ゼロ交差信号 908 を受ける。ゼロ交差検出器 906 は電流検知信号 942 に結合しつつこれを受ける。さらに説明されるように、ゼロ交差検出器 906 は電流検知信号 942 を受け、駆動論理ブロック 902 にゼロ交差信号 908 を出力する。

50

## 【0061】

駆動論理ブロック902はフィードバック信号 $U_{FB}930$ 、電流検知信号942およびゼロ交差信号908を利用して、駆動信号940の状態およびコントローラ938の状態に関する情報をオン時間延長ブロック904に与える駆動論理出力信号DLO950を生成する。オン時間延長ブロック904はゼロ交差検出器906にさらに結合し、本明細書中では比較器出力CO952と称される比較器914の出力を受ける。さらに、オン時間延長ブロック904はゼロ交差時間しきい値パルスZCP924を受ける。ゼロ交差時間しきい値パルスZCP924は、論理ハイおよび論理ローのセクションの長さが変化する矩形パルス波形である。論理ローのセクションの長さはゼロ交差時間しきい値 $t_{ZC}506$ に実質的に等しく、ゼロ交差時間しきい値パルスZCP924の連続した立下がりエッジ同士の間の時間の長さはスイッチング周期 $T_s$ に実質的に等しい。 10

## 【0062】

オン時間延長ブロック904は、受けた駆動論理出力DLO950、ゼロ交差時間しきい値パルスZCP924および比較器出力CO952を利用して、駆動信号940を出力する。以上で言及されたように、駆動信号940は、電源のスイッチ(たとえば図1のスイッチS1 114)のスイッチングを制御するのに利用される。ゼロ交差検出器906のフリップフロップ922も駆動信号940を受ける。さらに、オン時間延長ブロック904は、図5に関して論じたオン時間延長を実現する。

## 【0063】

駆動論理ブロック902は、電流検知信号942からのスイッチ電流 $I_D144$ に関する情報およびフィードバック信号 $U_{FB}930$ からの出力量 $U_o$ に関する情報を、ゼロ交差信号908とともに受ける。この情報をを利用して、駆動論理ブロック902は、意図される駆動信号に関する情報を与えて、スイッチS1 114のオンおよびオフを制御する。一例では、駆動論理ブロック902は電流検知信号942を利用して、図4Aおよび図4Bに関して論じられたようにいつスイッチ電流 $I_D144$ が電流リミット $I_{LIM}402$ に達して、スイッチS1 114をオフするかを判定し得る。オン時間延長ブロック904は、比較器出力CO952およびゼロ交差時間しきい値パルスZCP924とともに、駆動論理出力DLO950を受ける。さらに論じられるように、比較器出力CO952およびゼロ交差時間しきい値パルスZCP924の値に依存して、オン時間延長ブロック904は、駆動論理ブロック902が与える意図される駆動信号のオン時間を延長し得る。 30

## 【0064】

ゼロ交差検出器906は、電流検知信号942および参照信号916を受ける比較器914をさらに含む。図9Aの例では、比較器914は、比較器914の非反転入力で電流検知信号942を受け、比較器914の反転入力で参照信号916を受ける。このように、一実施例では、電流検知信号942が参照信号916未満であることがゼロ交差条件の存在を示し得る。電流検知信号942および参照信号916は電流信号または電圧信号であり得る。電流検知信号942はスイッチ電流 $I_D144$ に関する情報を与える。電流検知信号942が電流信号である場合、参照信号916はゼロ交差電流しきい値 $I_{ZC}404$ であり得、比較器914は電流比較器である。以上で言及されたように、スイッチ電流 $I_D144$ は、たとえば個別の抵抗器の両端の電圧またはトランジスタが導通しているときのトランジスタの両端の電圧などのさまざまな態様で検知され得る。それらの例については、電流検知信号942は電圧信号である。電流検知信号942が電圧信号である場合、参照信号916は参照電圧であり、比較器914は電圧比較器である。 40

## 【0065】

比較器914はANDゲート917およびオン時間延長ブロック904にさらに結合される。比較器914の出力はオン時間延長ブロック904によって受けられる。ANDゲート917はゼロ交差時間しきい値パルスZCP924を受けるようにも結合される。比較器出力CO952を受けるANDゲート917の入力に結合される丸印は、ANDゲート917が反転された比較器出力CO952を受けるように、比較器914とANDゲート917との間に反転器が結合されることを示す。たとえば、ANDゲート917の出力 50

は、ゼロ交差時間しきい値パルス Z C P 9 2 4 が論理ハイの値にありかつ比較器出力 C O 9 5 2 が（論理ハイの値にある反転された比較器出力 C O 9 5 2 に対応する）論理ローの値にある場合、論理ハイの値にある。

#### 【 0 0 6 6 】

S - R ラッチ 9 1 8 は、本明細書中では S - R ラッチ 9 1 8 の R 入力とも称されるリセット入力で AND ゲート 9 1 7 の出力を受ける。さらに、S - R ラッチ 9 1 8 は、本明細書中では S 入力とも称されるセット入力でクロック信号 9 1 0 を受ける。クロック信号 9 1 0 はスイッチング周期  $T_s$  に関する情報を与え、いくつかの実施例では、発振器（図示せず）から入来し得る。クロック信号 9 1 0 は、論理ハイおよび論理ローのセクションの長さが変化する矩形のパルス信号である。クロック信号 9 1 0 の連続した立上がりエッジ同士の間の時間の長さがスイッチング周期  $T_s$  に実質的に等しい。クロック信号 9 1 0 が一旦論理ハイの値のパルスを出力すると、クロック信号 9 1 0 は論理ローの値に素早く立下がる。このように、S - R ラッチ 9 1 8 はクロック信号 9 1 0 の立上がりエッジでセットされる。しかしながら、S - R ラッチ 9 1 8 は、AND ゲート 9 1 7 の出力が論理ハイの値にあるとリセットする。換言すると、電流検知信号 9 4 2 によって与えられるスイッチ電流  $I_D 1 4 4$  が参照信号 9 1 6 によって与えられるゼロ交差電流しきい値  $I_{ZC} 4 0 4$  を超えたことを比較器出力 C O 9 5 2 が示すと、ラッチ 9 1 8 はリセットする。図 9 A の例では、S - R ラッチ 9 1 8 の出力は Q バー出力から取得される。このように、S - R ラッチ 9 1 8 がセットされると、S - R ラッチ 9 1 8 の出力は論理ローの値である。S - R ラッチ 9 1 8 がリセットされると、S - R ラッチの出力は論理ハイの値である。

#### 【 0 0 6 7 】

フリップフロップ 9 2 2 は S - R ラッチ 9 1 8 に結合し、S - R ラッチ 9 1 8 の出力を受ける。一実施例では、フリップフロップ 9 2 2 は D フリップフロップである。フリップフロップ 9 2 2 は D 入力でラッチ 9 1 8 の出力を受ける。さらに、フリップフロップ 9 2 2 はクロック入力で駆動信号 9 4 0 を受ける。駆動信号 9 4 0 は、論理ハイおよび論理ローのセクションの長さが変化する矩形パルス波形である。一実施例では、閉じている（すなわちオンの）スイッチ S 1 1 1 4 は駆動信号 9 4 0 の論理ハイの値に対応する一方で、開いている（すなわちオフの）スイッチ S 1 1 1 4 は駆動信号 9 4 0 の論理ローの値に対応する。フリップフロップ 9 2 2 のクロック入力に結合された丸印は、フリップフロップ 9 2 2 が駆動信号 9 4 0 の立下がりエッジで更新することを示す。換言すると、フリップフロップ 9 2 2 の出力は、スイッチ S 1 1 1 4 がオフするときに更新する。フリップフロップ 9 2 2 はゼロ交差フィルタ 9 2 6 にさらに結合される。図示されるように、ゼロ交差フィルタ 9 2 6 はフリップフロップ 9 2 2 の出力を受け、ゼロ交差信号 9 0 8 を出力する。フリップフロップ 9 2 2 の出力はゼロ交差信号 9 0 8 に実質的に等しいが、ゼロ交差フィルタ 9 2 6 は、フリップフロップ 9 2 2 の出力のノイズを低減するように結合される。さらに、ゼロ交差フィルタ 9 2 6 は、N 個の連続したスイッチングサイクルが可能なゼロ交差条件を有していなければゼロ交差条件が存在すると、ゼロ交差信号 9 0 8 が示さないように、以上で論じたように数 N を実現する。しかしながら、N が 1 に等しい場合は、ゼロ交差フィルタ 9 2 6 はゼロ交差検出器 9 0 6 から省略されてもよい。

#### 【 0 0 6 8 】

スイッチング周期  $T_s$  の開始時に電流検知信号 9 4 2 は参照信号 9 1 6 未満であり、したがって比較器 9 1 4 の出力は論理ローである。換言すると、スイッチング周期  $T_s$  の開始時に、スイッチ電流  $I_D 1 4 4$  はゼロ交差電流しきい値  $I_{ZC} 4 0 4$  未満である。クロック信号 9 1 0 は、スイッチング周期  $T_s$  の開始時に論理ハイの値のパルスを出力し、S - R ラッチ 9 1 8 の出力は論理ローの値にセットされる。クロック信号 9 1 0 は迅速に論理ローの値のパルスを出力し、S - R ラッチ 9 1 8 は以前の値を保持する。この例については、S - R ラッチ 9 1 8 は論理ローの値を保持する。

#### 【 0 0 6 9 】

フリップフロップ 9 2 2 はスイッチ S 1 1 1 4 が開く（すなわちオフになる）と更新する。換言すると、フリップフロップ 9 2 2 は、フリップフロップ 9 2 2 の出力を更新し

10

20

30

40

50

て、駆動信号 940 の立下がりエッジでフリップフロップ 922 の D 入力を反映する。一般的に、D フリップフロップはクロック入力の立上がりエッジで更新する。しかしながら、フリップフロップ 922 のクロック入力における丸印が反転器を示す場合、フリップフロップ 922 は駆動信号 940 の立下がりエッジで更新する。

#### 【0070】

電流検知信号 942 が与えるスイッチ電流  $I_D 144$  が、ゼロ交差時間しきい値パルス  $ZCP 924$  が与えるゼロ交差時間しきい値  $T_{M+3}$  に達する前に（または換言すると、ゼロ交差時間しきい値パルス  $ZCP 924$  が論理ハイの値に遷移する前に）参照信号 916 が与えるゼロ交差電流しきい値  $I_{ZC} 404$  を超えなければゼロ交差条件が検出され、AND ゲート 917 の出力は論理ハイの値である。AND ゲート 917 の論理ハイの出力は S-R ラッチ 918 をリセットし、S-R ラッチ 918 の出力は論理ハイの値である。駆動信号 940 の立下がりエッジでフリップフロップ 922 が更新し、フリップフロップ 922 の出力は S-R ラッチ 918 の論理ハイの出力を転送する。一例では、フリップフロップ 922 の出力はゼロ交差フィルタ 926 によってフィルタリングされ、結果的に得られるゼロ交差信号 908 は論理ハイの値である。一実施例では、ゼロ交差フィルタ 926 の出力は、図 4B に関して論じられたように、遅延時間  $t_{X436}$  の後で更新される。別の実施例では、ゼロ交差フィルタ 926 の出力は次のスイッチングサイクルで更新される。さらに、ゼロ交差フィルタ 926 は、ゼロ交差検出器 906 がゼロ交差条件が存在すると決定する前に可能なゼロ交差条件を有する N 個の連続したスイッチングサイクルを実現してもよい。一実施例では、ゼロ交差フィルタ 926 は、フリップフロップ 922 の出力が論理ハイの値である連続したスイッチングサイクルの数を数える論理回路を含んでもよい。このように、一実施例では、ゼロ交差フィルタ 926 は、図 4B を参照して上述されたように、N 回の可能なゼロ交差条件が生じた後でのみゼロ交差条件の存在を示すゼロ交差信号 908 を出力してもよい。一実施例では、ゼロ交差フィルタ 926 はフリップフロップおよびマルチプレクサを利用して数 N を実現してもよい。別の実施例では、ゼロ交差フィルタ 926 はカウンタを利用して数 N を実現してもよい。いくつかの実施例では、図 4B に関して論じられた遅延時間  $t_{X436}$  は、ゼロ交差フィルタ 926 に利用される要素によるものであってもよい。

#### 【0071】

電流検知信号 942 によって与えられるスイッチ電流  $I_D 144$  が、ゼロ交差時間しきい値パルス  $ZCP 924$  によって与えられるゼロ交差時間しきい値  $t_{ZC}$  に達する前に（または換言すると、ゼロ交差時間しきい値パルス  $ZCP 924$  が論理ハイの値に遷移する前に）参照信号 916 が与えるゼロ交差電流しきい値  $I_{ZC} 404$  を超えるとゼロ交差条件が検出されず、AND ゲート 917 の出力は論理ローの値である。S-R ラッチ 918 はリセットされず、S-R ラッチ 918 の論理ローの値は駆動信号 940 の立下がりエッジでフリップフロップ 922 の出力に転送される。一例では、フリップフロップ 922 の出力はゼロ交差フィルタ 926 によってフィルタリングされ、結果的に得られるゼロ交差信号 908 は論理ローの値にある。一実施例では、ゼロ交差フィルタ 926 は、図 4B に関して論じられたように、遅延時間  $t_{X436}$  の後にその出力を更新する。別の実施例では、ゼロ交差フィルタ 926 の出力は次のスイッチングサイクルで更新される。さらに、ゼロ交差フィルタ 926 は、ゼロ交差検出器 906 がゼロ交差条件がもはや存在しないと決定する前に非ゼロ交差条件を有する N 個の連続したスイッチングサイクルを実現してもよい。たとえば、ゼロ交差フィルタ 926 は、フリップフロップ 922 の出力が論理ローの値である連続したスイッチングサイクルの数を数える論理回路を含んでもよい。このように、一実施例では、ゼロ交差フィルタ 926 は、図 4B を参照して上述されたように、非ゼロ交差条件を有する N 個のスイッチングサイクルの後でのみ、ゼロ交差条件がもはや存在しないことを示すゼロ交差信号 908 を出力してもよい。

#### 【0072】

次に図 9B を参照して、オン時間延長ブロック 904 のブロック図を図示する。これは、ゼロ交差時間しきい値パルス  $ZCP 924$ 、駆動信号 940、駆動論理出力  $DLO95$

10

20

30

40

50

0、比較器出力 C O 9 5 2、オプションの単安定マルチバイブレータ 9 5 4、反転器 9 6 4、S - R ラッチ 9 5 8、OR ゲート 9 6 0、立下がりエッジ遅延 9 6 1、および AND ゲート 9 6 8 を含む。さらに、図 9 B は、信号表記 A 9 6 2、B 9 7 0、C 9 5 6、および反転された駆動論理出力

【0073】

【数4】

DLO 966

【0074】

を図示する。それぞれの信号の波形は図 10 に図示する。

10

ゼロ交差時間しきい値パルス Z C P 9 2 4、駆動信号 9 4 0、駆動論理出力 D L O 9 5 0、および比較器出力 C O 9 5 2 は上述のように結合しあつ機能する。さらに、オン時間延長ブロック 9 0 4 は、任意的に、駆動論理出力 D L O 9 5 0 に結合しあつこれを受け単安定マルチバイブレータ 9 5 4 を含んでもよい。上述のように、駆動論理出力 D L O 9 5 0 は、コントローラの状態に関する情報および意図される駆動信号をオン時間延長ブロック 9 0 4 に与える。駆動論理出力 D L O 9 5 0 は、論理ハイおよび論理ローのセクションの長さが変化する矩形パルス波形であり、連続した立上がりエッジ同士の間の時間の長さがスイッチング周期  $T_s$  に実質的に等しい。単安定マルチバイブレータ 9 5 4 は駆動論理出力 D L O 9 5 0 を受け、駆動論理出力 D L O 9 5 0 の毎立上がりエッジにパルスを生成する。一実施例では、単安定マルチバイブレータ 9 5 4 が生成するパルスの幅は実質的に 50 ナノ秒 (ns) に等しい。単安定マルチバイブレータ 9 5 4 の出力は信号 C 9 5 6 と表記され、その例示的な波形が波形 C 1 0 5 6 として図 10 に図示される。単安定マルチバイブレータ 9 5 4 は S - R ラッチ 9 5 8 に結合する。図 9 B に示される例については、単安定マルチバイブレータ 9 5 4 は S - R ラッチ 9 5 8 の S 入力に結合する。S - R ラッチ 9 5 8 は、S 入力で単安定マルチバイブレータ 9 5 4 の出力である信号 C 9 5 6 を受ける。別の実施例では、信号 C 9 5 6 は発振器 (図示せず) によって生成されてよい。

20

【0075】

さらに、オン時間延長ブロック 9 0 4 は比較器出力 9 5 2 およびゼロ交差時間しきい値パルス Z C P 9 2 4 に結合する。遅延時間  $t_D$  だけ比較器出力 9 5 2 の立下がりエッジを遅延させる立下がりエッジ遅延 9 6 1 が比較器出力 9 5 2 を受ける。立下がりエッジ遅延 9 6 1 は OR ゲート 9 6 0 にさらに結合し、OR ゲート 9 6 0 の一方の入力で信号 C O と表記される立下がりエッジ遅延 9 6 1 の出力を受ける。OR ゲート 9 6 0 の他方の入力はゼロ交差時間しきい値パルス Z C P 9 2 4 を受ける。OR ゲート 9 6 0 は AND ゲート 9 6 8 にさらに結合し、AND ゲート 9 6 8 の一方の入力が信号 A 9 6 2 と表記される OR ゲート 9 6 0 の出力を受ける。

30

【0076】

さらに、AND ゲート 9 6 8 も反転器 9 6 4 に結合する。反転器 9 6 4 は駆動論理出力 D L O 9 5 0 に結合しあつこれを受け。反転された駆動論理出力

【0077】

【数5】

DLO 966

【0078】

が反転器 9 6 4 から出力され、AND ゲート 9 6 8 がこれを受ける。AND ゲート 9 6 8 は S - R ラッチ 9 5 8 の R 入力にさらに結合する。S - R ラッチ 9 5 8 の R 入力が信号 B 9 7 0 と表記される AND ゲート 9 6 8 の出力を受ける。S - R ラッチ 9 5 8 は S 入力および R 入力での値を利用して駆動信号 9 4 0 を出力する。

40

【0079】

図 9 B に示されるように、比較器出力 C O 9 5 2 が、スイッチ電流  $I_D$  1 4 4 がゼロ交

50

差電流しきい値  $I_{ZC}$  未満であると示す場合、OR ゲート 960 の出力は、AND ゲート 968 が S-R ラッチ 958 をリセットしないようにし得る。換言すると、比較器出力 CO 952 が、スイッチ電流  $I_D 144$  がゼロ交差電流しきい値  $I_{ZC}$  未満であると示す場合、OR ゲート 960 の出力は、S-R ラッチ 958 が論理ローの値を出力しないようにし、こうしてスイッチ S1 114 のオン時間を延長し得る。図 10 にさらに図示されるように、OR ゲート 960 の出力は S-R ラッチ 958 がリセットしないようにし、こうして比較器出力 CO 952 が、スイッチ電流  $I_D 144$  がゼロ交差電流しきい値  $I_{ZC}$  に達したと示すか、またはゼロ交差時間電流しきい値 ZCP 924 がゼロ交差時間しきい値  $t_{ZC}$  に達したと示すまで、スイッチ S1 114 のオン時間を延長する。しかしながら、スイッチ電流  $I_D 144$  が、駆動論理出力 DLO 950 が与える初期スイッチオン時間の間にゼロ交差電流しきい値  $I_{ZC}$  を超えれば、または換言すると駆動論理出力 DLO 950 が論理ハイの値にある場合、S-R ラッチ 958 は駆動論理出力 DLO 950 の立下がりエッジでリセットする。なぜなら、駆動論理出力 DLO 950 は、意図される駆動信号に関する情報を与えるからである。図 9A および図 9B に関して論じた信号のさまざまな波形を図 10 に図示する。

## 【0080】

次に図 10 を参照して、図 9A および図 9B に対応するさまざまな波形を図示する。図 10 は、コントローラ 938 およびゼロ交差検出のためのオン時間延長を実現するオン時間延長ブロック 904 のさまざまな波形同士の間の差を図示する。例示的な波形  $I_D 1044$ 、DLO 1050、

## 【0081】

## 【数6】

DLO 1066

## 【0082】

、CO 1052、ZCP 1024、A 1062、B 1070、C 1056、および駆動信号 1040 は、スイッチ電流  $I_D 144$ 、駆動論理出力 DLO 950、反転器駆動論理出力

## 【0083】

## 【数7】

DLO 966

## 【0084】

、立下がりエッジ遅延比較器出力 CO、ゼロ交差時間電流しきい値 ZCP 924、ならびに信号表記 A 962、B 970、C 956、および駆動信号 940 に対応する。さらに、図 10 は、スイッチングサイクル 1002、1004、および 1006 を図示する。図示されるように、各々のスイッチングサイクルはスイッチング周期  $T_s$  を有する。

## 【0085】

図 10 に示される例については、すべてのスイッチングサイクルの開始時に、駆動論理出力 DLO 1050 は論理ハイの値にある。さらに、スイッチ電流  $I_D 1044$  がゼロ交差電流しきい値  $I_{ZC}$  未満であるため、比較器出力 CO 1052 は論理ローの値にある。ゼロ交差時間しきい値パルス ZCP 1024 は、すべてのスイッチングサイクルの開始時に論理ローの値にある。OR ゲート 960 の出力である波形 A 1062 は論理ローの値にある。AND ゲート 968 は波形 A 1062 の論理ローの値および（現在は論理ローの値にある）反転された駆動論理出力

## 【0086】

## 【数8】

DLO 1066

## 【0087】

10

20

30

40

50

を受け、その結果、波形 B 1070 はすべてのスイッチングサイクルの開始時に論理ローの値である。単安定マルチバイブレータ 954 は駆動論理出力 DLO1050 を受け、波形 C 1056 で示される論理ハイのパルスを出力する。すべてのスイッチングサイクルの開始時に波形 C 1056 は論理ハイの値にある一方で、波形 B 1070 は論理ローの値にある。その結果、S-R ラッチ 958 は論理ハイの値にある駆動信号 1040 を出力し、スイッチ S1 1114 がオンし、スイッチ電流  $I_D$ 1044 が増加し始める。波形 C 1056 は論理ローの値に迅速に立下がり、S-R ラッチ 958 は以前の値を保持する。すべてのスイッチングサイクルの開始時に、S-R ラッチ 958 は論理ハイの値を保持し、スイッチ S1 1114 はオンのままである。しかしながら、S-R ラッチ 958 は論理ローの値を出力し、したがって R 入力の波形 B 1070 が論理ハイの値のパルスを出力するとスイッチ S1 1114 をオフする。波形 B 1070 が論理ハイの値のパルスを出力するさまざまな条件を以下にさらに論じる。

#### 【0088】

スイッチングサイクル 1002 で、スイッチ電流  $I_D$ 1044 は、駆動論理出力 DLO 1050 が与える初期オン時間  $t_{ON}$  の間にゼロ交差電流しきい値  $I_{ZC}$  を超える。または換言すると、スイッチ電流  $I_D$ 1044 は、駆動論理出力 DLO1050 の立下がりエッジの前にゼロ交差電流しきい値  $I_{ZC}$  を超える。スイッチ電流  $I_D$ 1044 がゼロ交差電流しきい値  $I_{ZC}$  を超えると、比較器出力 CO1052 は論理ハイの値に遷移する。スイッチングサイクル 1002 の間、比較器出力 CO1052 が論理ハイの値に遷移しても波形 ZC P1024 は依然として論理ローの値にあり、その結果、波形 A 1062 は論理ハイの値に遷移する。例示的なスイッチングサイクル 1002 について、波形 B 1070 は、駆動論理出力 DLO1050 が論理ローの値に遷移すると論理ハイの値のパルスを出力する。なぜなら、AND ゲート 968 は、反転器 964 のために、反転された駆動論理出力

#### 【0089】

#### 【数9】

$\overline{DLO}$  1066

#### 【0090】

を受けるからである。換言すると、波形 B 1070 は、反転された駆動論理出力

#### 【0091】

#### 【数10】

$\overline{DLO}$  1066

#### 【0092】

が論理ハイの値に遷移すると論理ハイの値に遷移する。駆動論理出力 DLO1050 の立下がりエッジで、波形 B は論理ハイの値に遷移し、S-R ラッチ 958 はリセットされ、駆動信号 1040 は論理ローの値に立下がる。このように、スイッチ S1 1114 はオフし、スイッチ電流  $I_D$ 1044 は実質的に 0 に降下する。スイッチ電流  $I_D$ 1044 がゼロ交差電流しきい値  $I_{ZC}$  を下回ると、比較器出力 CO1052 は論理ローの値に立ち下がる。しかしながら、比較器出力 CO1052 の立下がりエッジは、立下がりエッジ遅延 961 により遅延時間  $t_D$  だけ遅延される。

#### 【0093】

スイッチングサイクル 1004 で、スイッチ電流  $I_D$ 1044 は、駆動論理出力 DLO 1050 が与える初期オン時間  $t_{ON}$  の間にゼロ交差電流しきい値  $I_{ZC}$  を超えず、コントローラはスイッチ S1 1114 のオン時間を延長する。または換言すると、スイッチ電流  $I_D$ 1044 は、駆動論理出力 DLO1050 の立下がりエッジの前にゼロ交差電流しきい値  $I_{ZC}$  を超えず、比較器出力 CO1052 は論理ローの値に留まる。図 10 に図示されるように、延長されたオン時間  $t_{ONX}$  は、駆動論理出力 DLO1050 の立下がりエッジと、スイッチ S1 1114 がオフするときとの間の時間の長さである。換言すると、延長されたオン時間  $t_{ONX}$  は、駆動論理出力 DLO1050 の立下がりエッジと、駆動信号 10

10

20

30

40

50

40の立下がりエッジとの間の時間の長さである。さらに、スイッチ電流  $I_{D1044}$  は、ゼロ交差時間しきい値パルス  $ZCP1024$  の立上がりエッジの前にゼロ交差電流しきい値  $I_{ZC}$  を確かに超える。スイッチ電流  $I_{D1044}$  がゼロ交差電流しきい値  $I_{ZC}$  を超えると、比較器出力  $CO1052$  は論理ハイの値のパルスを出力し、ORゲート  $960$  は(論理ハイの値に遷移する波形  $A_{1062}$  として図10に図示される)論理ハイの値を出力する。ANDゲート  $968$  の一方の入力は波形  $A_{1062}$  からの論理ハイの値を受け、ANDゲート  $968$  の他方の入力は反転された駆動論理出力

【0094】

【数11】

DLO 1066

10

【0095】

からの論理ハイの値を受ける。その結果、波形  $B_{1070}$  は論理ハイの値に遷移し、ラッチ  $958$  をリセットする。駆動信号  $1040$  は論理ローの値に立下がり、スイッチ  $S1114$  をオフし、スイッチ電流  $I_{D1044}$  は実質的に0に降下する。スイッチ電流  $I_{D1044}$  がゼロ交差電流しきい値  $I_{ZC}$  を下回ると、比較器出力  $CO1052$  は論理ローの値に立下がる。しかしながら、比較器出力  $CO1052$  の立下がりエッジは、立下がりエッジ遅延  $961$  により、遅延時間  $t_D$  だけ遅延される。

【0096】

スイッチングサイクル  $1006$  で、スイッチ電流  $I_{D1044}$  は、駆動論理出力  $DLO1050$  が与える初期オン時間  $t_{ON}$  の間にゼロ交差電流しきい値  $I_{ZC}$  を超えず、コントローラはスイッチ  $S1114$  のオン時間を延長する。さらに、スイッチ電流  $I_{D1044}$  は、ゼロ交差時間しきい値パルス  $ZCP1024$  の立上がりエッジの前にゼロ交差電流しきい値  $I_{ZC}$  を超えない。示されるように、延長されたオン時間  $t_{ONX}$  は、駆動論理出力  $DLO1050$  の立下がりエッジとスイッチ  $S1114$  がオフするときとの間の時間の長さである。換言すると、延長されたオン時間  $t_{ONX}$  は、駆動論理出力  $DLO1050$  の立下がりエッジと駆動信号  $1040$  の立下がりエッジとの間の時間の長さである。比較器出力  $CO1052$  はスイッチングサイクル  $1006$  全体の間論理ローの値に留まる。その結果、波形  $A_{1062}$  が論理ハイの値に遷移するまでは、波形  $B_{1070}$  は論理ハイの値に遷移しない。波形  $A$  はゼロ交差時間しきい値パルス  $ZCP1024$  の立上がりエッジで論理ハイの値に遷移する。波形  $ZCP1024$  が論理ハイの値に遷移すると、S-Rラッチ  $958$  がリセットし、駆動信号  $1040$  が論理ローの値に立下がり、スイッチ  $S1114$  をオフし、スイッチ電流  $I_{D1044}$  が実質的に0に降下する。

【0097】

本明細書中に開示された発明が、その具体的な実施例、例および適用例によって説明されたが、請求項に述べた発明の範囲から逸脱することなく、当業者によって本発明に対して数多くの修正および変形がなされ得る。

【符号の説明】

【0098】

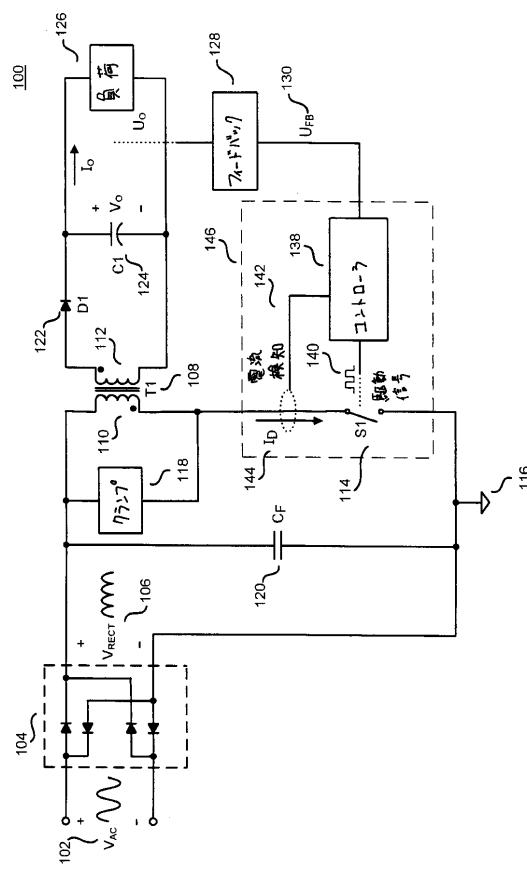
100 電源、102 ac入力電圧、S1114 スイッチ、138 コントローラ、902 駆動論理ブロック、904 オン時間延長ブロック、906 ゼロ交差検出器。

20

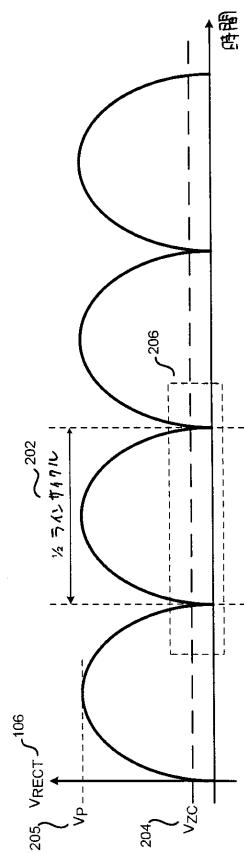
30

40

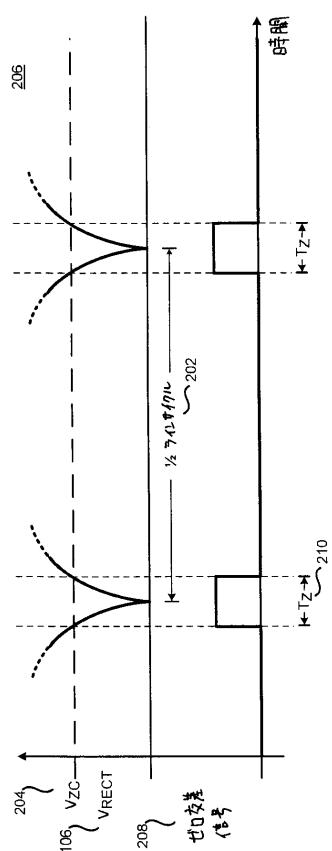
【図1】



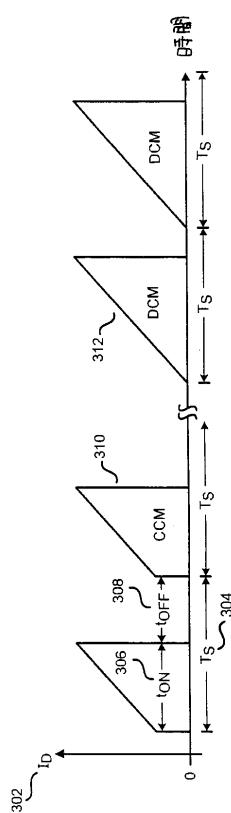
【図2 A】



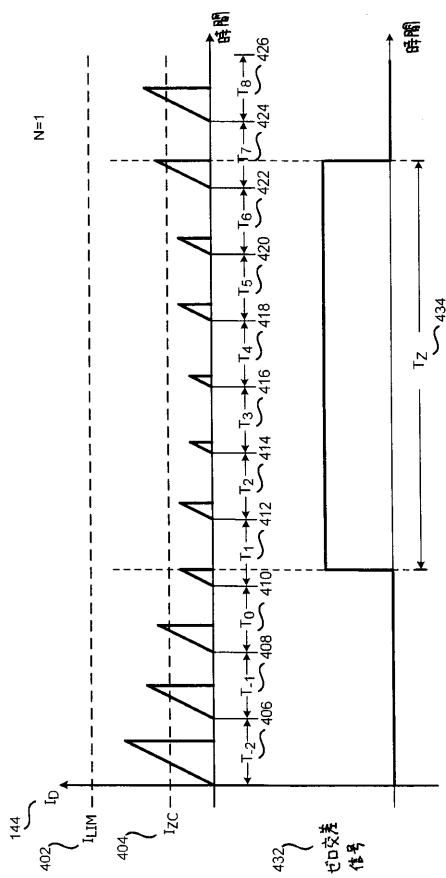
【図2 B】



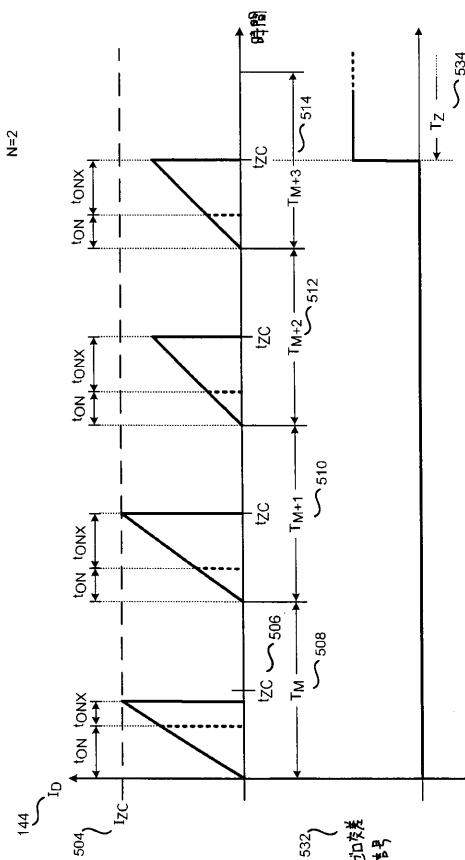
【図3】



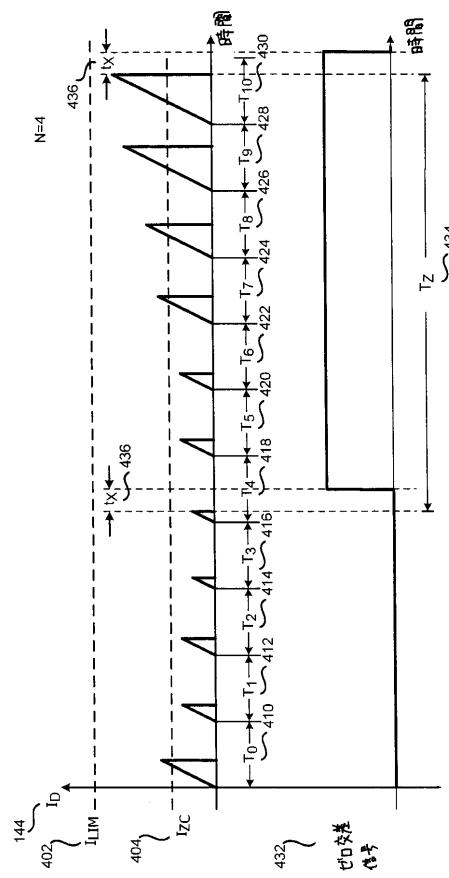
【図4A】



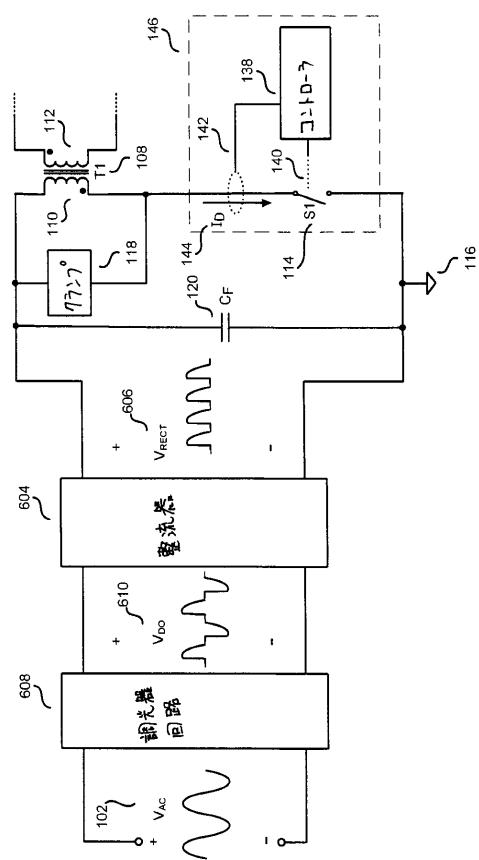
【 図 5 】



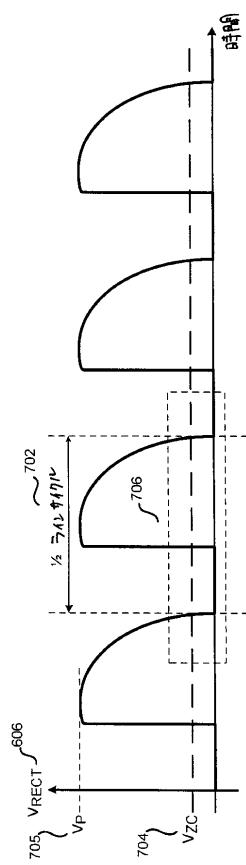
【図4B】



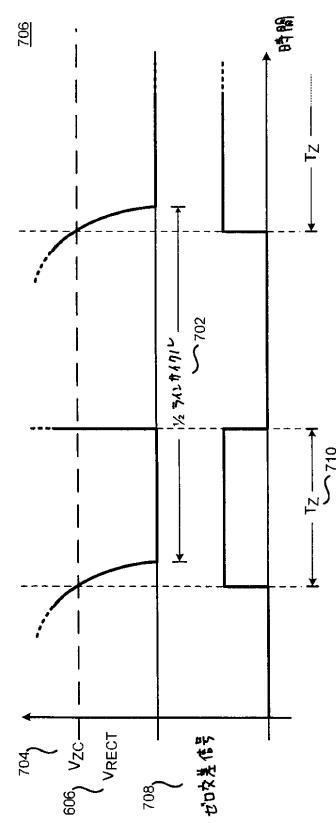
【図6】



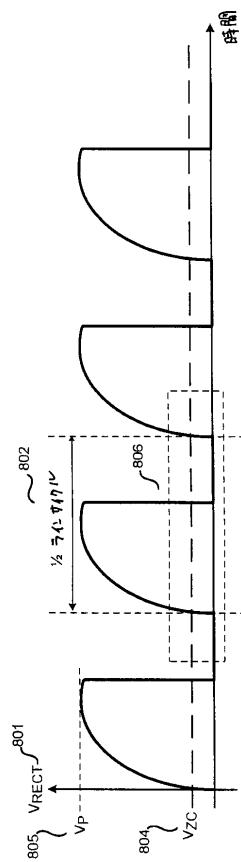
【図 7 A】



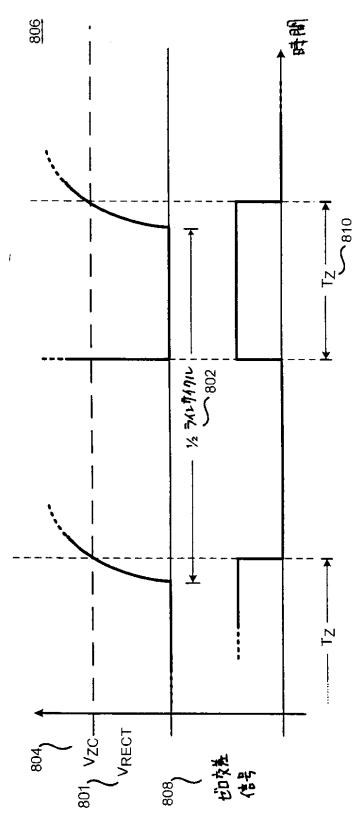
【図 7 B】



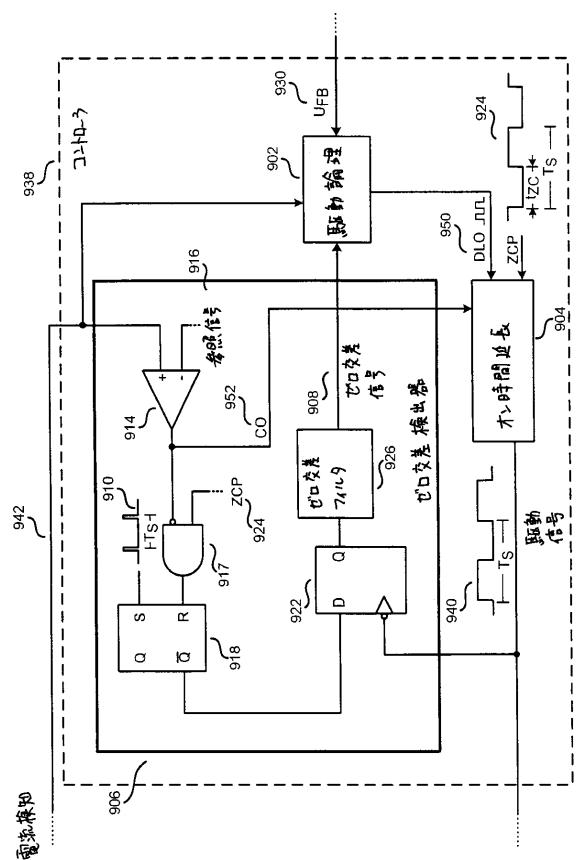
【図 8 A】



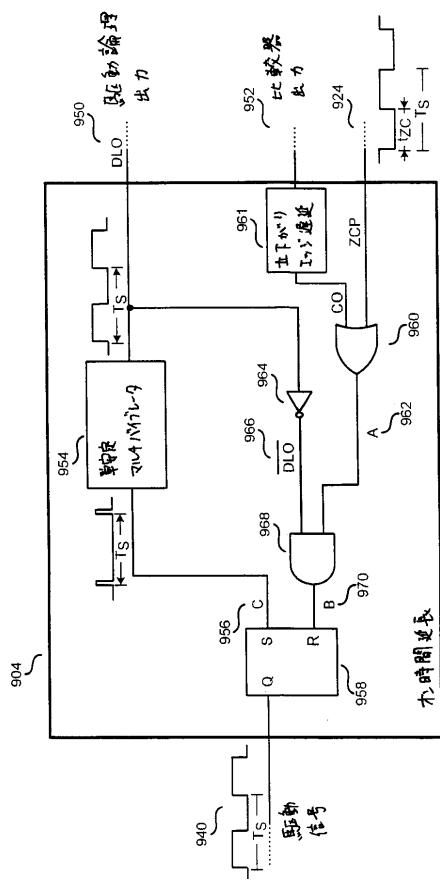
【図 8 B】



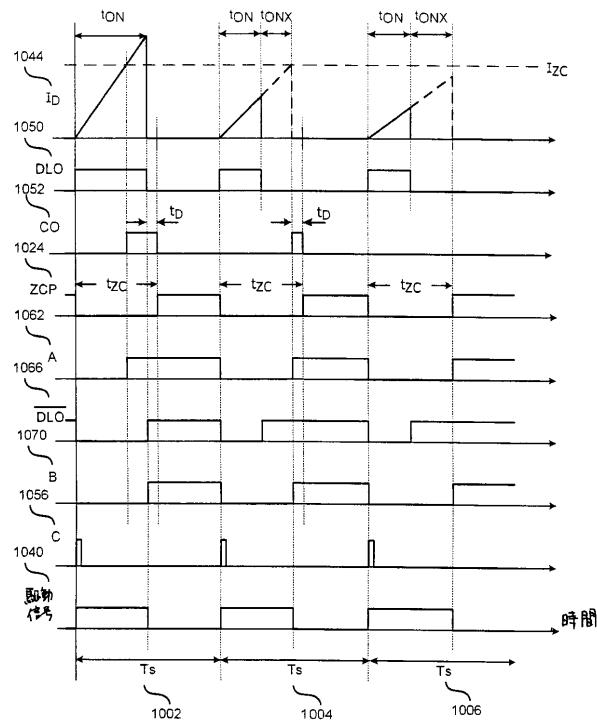
【図 9 A】



【図 9 B】



【図 10】



---

フロントページの続き

(72)発明者 ミンミン・モウ

アメリカ合衆国、95014 カリフォルニア州、クバチーノ、セレスト・サークル、20735

(72)発明者 ティツィアーノ・パストーレ

イタリア、20052 モンツァ、ピア・アリストイデ・デ・アンティキ、1

審査官 下原 浩嗣

(56)参考文献 特開平04-351495(JP, A)

特開2002-280997(JP, A)

特開2004-327152(JP, A)

特開2009-247101(JP, A)

特開平11-318082(JP, A)

特開2008-029197(JP, A)

特開2005-346475(JP, A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H02M 3/28