

(19) 日本国特許庁 (JP)

## (12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第5843790号  
(P5843790)

(45) 発行日 平成28年1月13日 (2016. 1. 13)

(24) 登録日 平成27年11月27日 (2015. 11. 27)

|                        |               |
|------------------------|---------------|
| (51) Int. Cl.          | F I           |
| HO 2M 7/48 (2007. 01)  | HO 2M 7/48 P  |
| HO 2J 50/00 (2016. 01) | HO 2J 17/00 B |
| HO 2M 7/483 (2007. 01) | HO 2M 7/483   |

請求項の数 20 (全 15 頁)

|               |                               |           |                                                                  |
|---------------|-------------------------------|-----------|------------------------------------------------------------------|
| (21) 出願番号     | 特願2012-556162 (P2012-556162)  | (73) 特許権者 | 591150672                                                        |
| (86) (22) 出願日 | 平成23年3月1日 (2011. 3. 1)        |           | ナショナル セミコンダクター コーポレーション                                          |
| (65) 公表番号     | 特表2013-521754 (P2013-521754A) |           | NATIONAL SEMICONDUCTOR CORPORATION                               |
| (43) 公表日      | 平成25年6月10日 (2013. 6. 10)      |           | アメリカ合衆国 カリフォルニア州 95051 サンタ クララ エム/エス ディー3-579 セミコンダクター ドライブ 2900 |
| (86) 国際出願番号   | PCT/US2011/026631             |           |                                                                  |
| (87) 国際公開番号   | W02011/109357                 | (74) 代理人  | 100098497                                                        |
| (87) 国際公開日    | 平成23年9月9日 (2011. 9. 9)        |           | 弁理士 片寄 恭三                                                        |
| 審査請求日         | 平成26年2月13日 (2014. 2. 13)      | (72) 発明者  | ジェームズ スティーブン ブラウン                                                |
| (31) 優先権主張番号  | 13/034, 975                   |           | アメリカ合衆国 95002 カリフォルニア州 アルビソ, アーケンジェル ドライブ 5134                   |
| (32) 優先日      | 平成23年2月25日 (2011. 2. 25)      |           |                                                                  |
| (33) 優先権主張国   | 米国 (US)                       |           |                                                                  |
| (31) 優先権主張番号  | 61/339, 166                   |           |                                                                  |
| (32) 優先日      | 平成22年3月1日 (2010. 3. 1)        |           |                                                                  |
| (33) 優先権主張国   | 米国 (US)                       |           |                                                                  |

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 ワイヤレス電力伝送用途及び他の用途のためのスリークォータブリッジ電力コンバータ

## (57) 【特許請求の範囲】

## 【請求項 1】

調整された電圧を負荷に提供するように構成されるスリークォータブリッジ電力コンバータであって、

スイッチノードを一層高い電圧に選択的に結合するように構成される第1のスイッチと

、  
前記スイッチノードを一層低い電圧に選択的に結合するように構成される第2のスイッチと、

前記一層高い及び一層低い電圧の中間のクランプ電圧を蓄積するように構成されるクランプ電圧要素と、

前記第1のスイッチ及び前記第2のスイッチが前記スイッチノードを前記一層高い電圧及び一層低い電圧に結合していないとき、前記スイッチノードを前記電圧要素に選択的に結合するように構成される2方向性クランピングスイッチであって、それにより前記スイッチノードを前記クランプ電圧にクランプする、前記2方向性クランピングスイッチと、

協同して前記第1のスイッチと前記第2のスイッチと前記2方向性クランピングスイッチとをそれぞれ切り換える制御信号 G 1、G 2、G 3 を発生するように構成される制御回路であって、前記制御信号 G 1、G 2 が、スイッチング周波数に関連する基準位相の値と前記スイッチング周波数とデューティサイクルとの双方に関連する可変位相の値とに変換される、スイッチング周波数とデューティサイクルとに關係する値に基づいて発生され、前記基準位相の値と前記可変位相の値とが所定の分解能を有し、前記基準位相の値と

10

20

前記可変位相の値との差が前記制御信号 G 1、G 2 を発生するために用いられ、前記制御信号 G 1、G 2、G 3 が所定のデューティファクタ分解能を提供するように前記制御信号 G 1 と制御信号 G 2 とが共にアサートされないときに前記スイッチノードを前記クランプ電圧にクランプするために前記制御信号 G 3 がアサートされる、前記制御回路と、  
を含む、電力コンバータ。

【請求項 2】

請求項 1 に記載の電力コンバータであって、  
前記電圧要素がキャパシタを含む、電力コンバータ。

【請求項 3】

請求項 1 に記載の電力コンバータであって、  
前記スイッチノードと前記負荷との間に結合される反応要素を更に含む、電力コンバータ。 10

【請求項 4】

請求項 3 に記載の電力コンバータであって、  
前記反応要素が少なくとも 1 つのコイル又は変圧器巻線を含む、電力コンバータ。

【請求項 5】

請求項 4 に記載の電力コンバータであって、  
前記コイル又は変圧器巻線の電圧を測定するように構成されるシングルエンド電圧センサー、及び  
前記コイル又は変圧器巻線を通る電流を測定するように構成されるシングルエンド電流センサー、  
の少なくとも 1 つを更に含む、電力コンバータ。 20

【請求項 6】

請求項 3 に記載の電力コンバータであって、  
前記反応要素が、前記スイッチノードと前記負荷に結合された出力ノードとの間に結合されるキャパシタであり、  
前記キャパシタが前記電圧要素を含むように、前記 2 方向性クランピングスイッチが前記出力ノードと接地との間に結合される、電力コンバータ。

【請求項 7】

請求項 1 に記載の電力コンバータであって、  
前記制御回路が、ダイレクトデジタル合成に基づいて構成され、  
スイッチング周波数の値を受け取るように構成される位相アキュムレータと、  
前記位相アキュムレータの出力とデューティサイクルの値とを加算するように構成される加算器と、  
それぞれ前記基準位相の値と前記可変位相の値とに対応する、前記位相アキュムレータの出力の最上位ビットと前記加算器の出力の最上位ビットとを識別するように構成される、  
少なくとも 1 つの抽出ユニットと、  
前記最上位ビットを用いて前記制御信号 G 1、G 2、G 3 を生成するように構成される組合せロジックと、  
を含む、電力コンバータ。 30 40

【請求項 8】

請求項 1 に記載の電力コンバータであって、  
前記一層高い電圧が供給電圧を含み、  
前記一層低い電圧が接地を含み、更に、  
前記クランプ電圧が前記供給電圧のほぼ 2 分の 1 である、  
電力コンバータ。

【請求項 9】

システムであって、  
負荷と、  
前記負荷に電力を供給するように構成されるスリークォータブリッジ電力コンバータと 50

、  
を含み、  
前記電力コンバータが、  
スイッチノードを一層高い電圧に選択的に結合するよう構成される第1のスイッチと、  
前記スイッチノードを一層低い電圧に選択的に結合するよう構成される第2のスイッチと、

前記一層高い及び一層低い電圧の中間のクランプ電圧を蓄積するよう構成されるクランプ電圧要素と、

前記第1のスイッチ及び前記第2のスイッチが前記スイッチノードを前記一層高い電圧及び一層低い電圧に結合していないとき、前記スイッチノードを前記電圧要素に選択的に結合するよう構成される2方向性クランピングスイッチであって、それにより前記スイッチノードを前記クランプ電圧にクランプする、前記2方向性クランピングスイッチと、

協同して前記第1のスイッチと前記第2のスイッチと前記2方向性クランピングスイッチとをそれぞれ切り換える制御信号G1、G2、G3を発生するよう構成される制御回路であって、前記制御信号G1、G2が、スイッチング周波数に関連する基準位相の値と前記スイッチング周波数とデューティサイクルとの双方に関連する可変位相の値とに変換される、スイッチング周波数とデューティサイクルとに關係する値に基づいて発生され、前記基準位相の値と前記可変位相の値とが所定の分解能を有し、前記基準位相の値と前記可変位相の値との差が前記制御信号G1、G2を発生するために用いられ、前記制御信号G1、G2、G3が所定のデューティファクタ分解能を提供するよう前記制御信号G1と制御信号G2とが共にアサートされないときに前記スイッチノードを前記クランプ電圧にクランプするために前記制御信号G3がアサートされる、前記制御回路と、

を含む、システム。

【請求項10】

請求項9に記載のシステムであって、  
前記電圧要素がキャパシタを含む、システム。

【請求項11】

請求項9に記載のシステムであって、  
前記スイッチノードと前記負荷との間に結合される反応要素を更に含む、システム。

【請求項12】

請求項11に記載のシステムであって、  
前記反応回路が少なくとも1つのコイル又は変圧器巻線を含む、システム。

【請求項13】

請求項12に記載のシステムであって、  
前記電力コンバータが、  
前記コイル又は変圧器巻線の電圧を測定するよう構成されるシングルエンド電圧センサー、及び、

前記コイル又は変圧器巻線を通る電流を測定するよう構成されるシングルエンド電流センサー、

の少なくとも1つを更に含む、システム。

【請求項14】

請求項11に記載のシステムであって、  
前記反応要素が、前記スイッチノードと前記負荷に結合された出力ノードとの間に結合されるキャパシタであり、

前記キャパシタが前記電圧要素を含むよう、前記2方向性クランピングスイッチが前記出力ノードと接地との間に結合される、システム。

【請求項15】

請求項9に記載のシステムであって、  
前記制御回路が、ダイレクトデジタル合成に基づいて構成され、

スイッチング周波数の値を受け取るよう構成される位相アキュムレータと、

前記位相アキュムレータの出力とデューティーサイクルの値とを加算するように構成される加算器と、

それぞれ前記基準位相の値と前記可変位相の値とに対応する、前記位相アキュムレータの出力の最上位ビットと前記加算器の出力の最上位ビットとを識別するように構成される、少なくとも1つの抽出ユニットと、

前記最上位ビットを用いて前記制御信号 G 1、G 2、G 3 を生成するように構成される組合せロジックと、

を含む、システム。

【請求項 16】

請求項 9 に記載のシステムであって、

前記スリークォータブリッジ電力コンバータが、多数の送信コイル又は変圧器巻線を含むマトリックスを含むワイヤレス電力トランスミッタの一部分を含み、

前記負荷がワイヤレス電力レシーバを含む、

システム。

【請求項 17】

請求項 16 に記載のシステムであって、

前記一層高い電圧が供給電圧を含み、

前記一層低い電圧が接地を含み、更に、

前記クランプ電圧が前記供給電圧のほぼ 2 分の 1 である、

システム。

【請求項 18】

ハーフブリッジ電力コンバージョンの方法であって、

それぞれ第 1 のスイッチ及び第 2 のスイッチを用いて、スイッチノードを、一層高い電圧及び一層低い電圧に繰り返し結合することと、

前記第 1 のスイッチ及び前記第 2 のスイッチが前記スイッチノードを前記一層高い電圧及び一層低い電圧に結合していないとき、前記スイッチノードを前記一層高い及び一層低い電圧の中間のクランプ電圧に選択的に結合することであって、それにより前記スイッチノードを前記クランプ電圧にクランプする、前記選択的に結合することと、

協同して前記第 1 のスイッチと前記第 2 のスイッチと前記 2 方向性クランピングスイッチとをそれぞれ切り換える制御信号 G 1、G 2、G 3 を発生することであって、スイッチング周波数に関連する基準位相の値と前記スイッチング周波数とデューティーサイクルとの双方に関連する可変位相の値とに変換される、スイッチング周波数とデューティーサイクルとに關係する値に基づいて前記制御信号 G 1、G 2 を発生することを含み、前記基準位相の値と前記可変位相の値とが所定の分解能を有し、前記基準位相の値と前記可変位相の値との差が前記制御信号 G 1、G 2 を発生するために用いられ、前記制御信号 G 1、G 2、G 3 が所定のデューティファクタ分解能を提供するように前記制御信号 G 1 と制御信号 G 2 とが共にアサートされないときに前記スイッチノードを前記クランプ電圧にクランプするために前記制御信号 G 3 がアサートされる、前記発生することと、

を含む方法。

【請求項 19】

請求項 18 に記載の方法であって、

前記スイッチノードをクランプ電圧に選択的に結合することが、負荷に結合される出力ノードを接地に選択的に結合することにより達成され、前記スイッチノードと前記出力ノードとの間に結合されるキャパシタの電圧が前記クランプ電圧を含む、方法。

【請求項 20】

請求項 19 に記載の方法であって、

多数の送信コイル又は変圧器巻線を含むマトリックスを含む無線電力送信機での使用に適合され、無線電力が無線電力受信機を含む負荷に供給される、方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

10

20

30

40

50

## 【 0 0 0 1 】

本開示は全般的に電力コンバータに関する。更に詳細には、本開示はワイヤレス電力伝送用途及び他の用途のためのスリークォータブリッジ電力コンバータに関する。

## 【 背景技術 】

## 【 0 0 0 2 】

幅広い用途において、様々な電力変換アーキテクチャが開発され使用されてきた。2つの一般的な電力変換アーキテクチャは、ハーフブリッジアーキテクチャとフルブリッジアーキテクチャである。

## 【 0 0 0 3 】

対称駆動を用いるハーフブリッジアーキテクチャの不利な点は、最大駆動デューティファクタ未満である場合、ハーフブリッジのスイッチがアクティブ（導電中）ではないデッドタイムが存在することである。そのため、スイッチのボディダイオードを通して電流が流れ、その結果、著しい損失（しばしば、 $I^2 R$  規模以上の損失）となりうる。スイッチと並列にショットキーダイオードを配置することが助けになりうるが、それでもなお動作条件によっては著しいショットキー損失となりうる。非対称駆動によってデッドタイム問題を解決できるが、その結果、典型的に波形品質が劣悪になり、整合ネットワークにおいて更に低いインピーダンスを必要とし得る点が不利である。これがハーフブリッジ循環 R M S 電流を増大させ、それが更に損失を増大させる。

## 【 0 0 0 4 】

位相変調を用いるフルブリッジアーキテクチャは、常に電流が2つの作動されたスイッチを通して流れるので、デッドタイム問題を解決することができる。しかしながら、フルブリッジアーキテクチャでは、負荷を高コモンモード電圧で差動的に駆動させ、これが或る用途では著しい欠陥となりうる。

## 【 0 0 0 5 】

本開示及びその特徴を更に完全に理解するために、添付の図面に関連して、以下の説明を参照する。

## 【 図面の簡単な説明 】

## 【 0 0 0 6 】

【 図 1 】 本開示に従った例示のスリークォータブリッジ電力コンバータ及び関連する細部を示す。

【 図 2 】 本開示に従った例示のスリークォータブリッジ電力コンバータ及び関連する細部を示す。

【 図 3 】 本開示に従った例示のスリークォータブリッジ電力コンバータ及び関連する細部を示す。

【 図 4 】 本開示に従った例示のスリークォータブリッジ電力コンバータ及び関連する細部を示す。

【 図 5 】 本開示に従った例示のスリークォータブリッジ電力コンバータ及び関連する細部を示す。

【 図 6 】 本開示に従った例示のスリークォータブリッジ電力コンバータ及び関連する細部を示す。

## 【 0 0 0 7 】

【 図 7 】 本開示に従ったスリークォータブリッジ電力コンバータのための例示の制御回路を示す。

## 【 0 0 0 8 】

【 図 8 】 本開示に従った多数の送信コイルを備える例示のスリークォータブリッジ電力コンバータを示す。

## 【 0 0 0 9 】

【 図 9 】 本開示に従った電流及び電圧検知機器を備える例示のスリークォータブリッジ電力コンバータを示す。

## 【 0 0 1 0 】

【図 10】本開示に従ったスリークォータブリッジ電力コンバータを用いる電力変換のための例示の方法を示す。

【発明を実施するための形態】

【0011】

以下に説明する図 1 ~ 図 10、及び本明細書中で本発明の原理を説明するために用いられる種々の実施形態は、単に説明のためのものであり、本発明の範囲を制限するためのものとして解釈すべきではない。当業者は、適切に配置された任意の種類の装置又はシステムにおいても本発明の原理を実現することが可能であることを理解するであろう。

【0012】

図 1 ~ 図 6 は、本開示に従った例示のスリークォータブリッジ電力コンバータ及び関連する細部を示す。これらの新規のスリークォータブリッジ電力コンバータトポロジは、幅広い用途で用いることができる。スリークォータブリッジ電力コンバータは、基本的なハーフブリッジアーキテクチャの多くの利点を維持したままで、対称性パルス幅変調 (PWM) ハーフブリッジ電力コンバータに関連する整流ダイオード伝導損失を著しく低減するか、実質的に除去することができる。

【0013】

このアプローチが有用な一例は、磁気的に結合されたワイヤレス電力伝送環境における例である。これらの種類の環境では、電力「トランスミッタ」(変圧器の一次側)が電力「レシーバ」(変圧器の二次側)から物理的に離れている。電力トランスミッタは、電力を送るための任意の適切な構造に相当し、電力レシーバは、電力を受け取るための任意の適切な構造に相当する。事実上は、変圧器の一次側は 1 つの物理デバイス内に存在し、変圧器の二次側は完全に別のデバイス内に存在する。更に、レシーバ(二次)コイルは各種の形状及びサイズであってよく、トランスミッタ及びレシーバが別々の会社で製造されてもよい。概して、この環境は他の分離された電力コンバータスキームと比べ特異である次のような幾つかの課題を提起する。

- ・ 正確な結合係数  $k$  が未知であり、分離された電力コンバータの典型的なものより低い  
ため、変圧比が容易に予測できないこと、

- ・ 電磁干渉 (EMI) を最小化し、反応インピーダンス整合の利用を可能にするために、  
波形ができるだけ正弦波でなければならないこと、

- ・ 一次側と二次側が同一コア上ではなく、トランスミッタコイルがレシーバコイルより  
もはるかに大きい可能性があるため、コア内に収容されない磁束線が存在しうること、

- ・ 機器を単純化し、多数の送信コイルのマトリックス間のスイッチングを容易にする  
ために、送信(一次)コイルの片側を接地に結合することが好ましいこと。

これらの環境又は他の環境において、動作中の電力損失を低減するために、以下で説明するスリークォータブリッジ電力コンバータを用いることができる。

【0014】

図 1 は第 1 の例のスリークォータブリッジ電力コンバータ 100 を示す。図 1 に示すように、電力コンバータ 100 は、ハーフブリッジ電力コンバータアーキテクチャで用いられる典型的なスイッチに相当するスイッチ 102 ~ 104 を含む。スイッチ 102 は供給電圧  $V+$  を受け取るように結合され、スイッチ 104 は接地に結合される。 $V+$  及び接地電圧はレール電圧に相当する。スイッチ 102 は、制御信号  $G1$  の制御下で、供給電圧  $V+$  をスイッチノード 106 に選択的に結合することができる。スイッチ 104 は、制御信号  $G2$  の制御下で、スイッチノード 106 を接地に選択的に結合することができる。スイッチ 102 ~ 104 の各々は、MOSFET 又は他のトランジスタデバイス等の任意の適切なスイッチ構造を含む。

【0015】

スイッチノード 106 は、この例では出力キャパシタ 110 と直流 (DC) ブロックキャパシタ 112 に結合されているインダクタ 108 に結合される。インダクタ 108 は、任意の適切なインダクタンスを有する任意の適切な誘導性構造に相当する。キャパシタ 110 ~ 112 の各々は、任意の適切なキャパシタンスを有する任意の適切な容量性構造に

10

20

30

40

50

相当する。

【 0 0 1 6 】

また、キャパシタ 1 1 2 は、この例では変圧器 1 1 4 の一次側に相当するコイルに結合される。変圧器 1 1 4 の二次側は負荷 1 1 6 に結合される。変圧器 1 1 4 は、分離された方式で電力を転送するための任意の適切な構造を含む。変圧器 1 1 4 の各側は、任意の巻数のコイル等の任意の適切な構造を有してもよい。上述のように、変圧器 1 1 4 の一次側は、電力コンバータ 1 0 0 の中及び電力コンバータ 1 0 0 の外に切り替え可能な異なる送信コイルのマトリックスを含んでもよい。

【 0 0 1 7 】

スリークォータブリッジアーキテクチャを形成するために、第 3 のスイッチ 1 1 8 が電力コンバータ 1 0 0 に付加される。第 3 のスイッチ 1 1 8 は、スイッチノード 1 0 6 をエネルギーストレージ又はエネルギー源に選択的に結合する。この場合、エネルギーストレージ又はエネルギー源は、キャパシタ 1 2 0 によって形成される電力ストレージ構成要素であるが、任意の他の適切なエネルギー源又はエネルギーストレージ構成要素を用いることもできる。キャパシタ 1 2 0 は、任意の適切なキャパシタンスを有する任意の適切な容量性構造を含む。幾つかの実施形態では、リップルがスイッチ 1 1 8 のオン時間中の電流フローの厳密な関数となりうる。実際には、キャパシタ 1 2 0 内の誘電性損失を減らす又は最小限にするために、キャパシタ 1 2 0 のリップルを数百ミリボルトに制限することが有益でありうる。これは、キャパシタ 1 2 0 のサイズを大きくすることで達成可能である。

【 0 0 1 8 】

スイッチ 1 1 8 は、制御信号 G 3 の制御下で、スイッチノード 1 0 6 をエネルギーストレージ又はエネルギー源に選択的に結合することができる。スイッチ 1 1 8 は、エネルギーストレージ又はエネルギー源を特定のノードに結合するための任意の適切な構造を含む。例えば、スイッチ 1 1 8 は双方向ブロック機能を提供する構造に相当しうる。幾つかの実施形態では、直列に結合された MOSFET トランジスタ（又は他の種類のトランジスタ）を用いて、スイッチ 1 1 8 が実装できる。例えば、それらのソース端子が共に結合され、それらのゲート端子が制御信号 G 3 を受け取るように構成される、2 つの MOSFET を用いてスイッチ 1 1 8 が形成されてもよい。MOSFET のドレイン端子は、エネルギーストレージ又はエネルギー源及びスイッチノード 1 0 6 に結合されてもよい。特定の

【 0 0 1 9 】

動作中、（スイッチ 1 0 2 ~ 1 0 4 を制御するための）制御信号 G 1 及び G 2 は、ハーフブリッジアーキテクチャで用いられる信号と同じであってよい。両方の制御信号 G 1 及び G 2 がアサートされないとき（オフのとき）は常に、（スイッチ 1 1 8 を制御するための）制御信号 G 3 がアサートされうる（オンになる）。その結果、スイッチ 1 0 2 ~ 1 0 4 が両方ともオフにされる（導電していない）とき、スイッチ 1 1 8 がオンになる（導電する）。従ってスイッチノード 1 0 6 の電圧がハーフブリッジの電圧と同様でありうるが、スイッチ 1 1 8 のオン時間の間、電圧はキャパシタ 1 2 0 に蓄積された電圧 V 1 2 0 （又は別のエネルギーストレージ又はエネルギー源からの電圧）にクランプされる点異なる。実装例に応じて、電圧 V 1 2 0 は供給電圧 V + の 2 分の 1 に平均しうる。

【 0 0 2 0 】

このように、スリークォータブリッジ電力コンバータ 1 0 0 は、その動作中の「デッドタイム」を低減又は除去することができ、そのため、スイッチノード 1 0 6 が、電力レール、電力ストレージ構成要素、又は他のエネルギーストレージ又はエネルギー源に常時接続される。これによって整流ダイオード導電損失を実質的に除去できる。

【 0 0 2 1 】

負荷 1 1 6 は、電力コンバータ 1 0 0 から電力を受け取るための任意の適切な構造に相当する。負荷 1 1 6 は、例えば、電力コンバータ 1 0 0 からワイヤレスで電力を受け取る

10

20

30

40

50

ためのワイヤレス電力レシーバを含んでもよい。ワイヤレス電力レシーバは、携帯電話、携帯コンピュータ、又は他の電子デバイス等の、一層大きいデバイスの一部を形成してもよい。また、負荷 116 は、可逆の DC 又は AC モータ等のモータに相当しうる。RL 負荷等の任意の他の適切な負荷 116 を用いることもできる。

#### 【0022】

図 2 は図 1 のスリークォータブリッジ電力コンバータ 100 に関連してシミュレートされた波形の例を示す。図 2 に示すように、制御信号 G1 及び G2 は、スイッチ 102 ~ 104 をオンにするためのパルスを含む。制御信号 G1 及び G2 が 50 % デューティファクタを定義する場合、スイッチ 102 ~ 104 のいずれも導電していないときにデッドタイムがゼロになりうる。しかしながら、図 2 に示すように、一層低いデューティファクタでは、制御信号 G1 及び G2 におけるパルス間に著しいデッドタイムが存在しうる。上述のように、制御信号 G1 及び G2 の両方が低いときに、制御信号 G3 が高にパルスし、それによって、スイッチ 118 がアクティブにされて、ノード 106 をキャパシタ 120 に結合する。これが電力コンバータ 100 のデッドタイムを低減又は除去するのに役立つ。

10

#### 【0023】

また、図 2 は、スイッチノード 106 の電圧 ( $V_{106}$ )、インダクタ 108 を通る電流 ( $I_L$ )、及びキャパシタ 120 の電圧 ( $V_{120}$ ) を示す。更に図 2 は、3 つのスイッチ 102、104、118 を通る電流 ( $I_{102}$ 、 $I_{104}$ 、及び  $I_{118}$ ) も示す。図 2 に示すように、スイッチ 102 ~ 104 がスイッチノード 106 をソース電圧  $V+$  と接地に交互に結合する際に、スイッチノード 106 の電圧  $V_{106}$  が高レベルと低レベルとの間でスイングするだけではない。これら時間の間 (デッドタイムともいう) は、スイッチノード 106 はキャパシタ 120 に結合され、この例では、ソース電圧  $V+$  のほぼ 2 分の 1 の電圧を受ける。

20

#### 【0024】

ここでシミュレートされた波形は、特定の制御信号対インダクタ電流  $I_L$  の位相関係を示す。これは、シミュレーションのために選択された共振周波数と動作周波数の関数である。異なる選択は異なる位相関係を生じさせることができる。スリークォータブリッジ電力コンバータ 100 の動作では、すべてのスイッチ電流 ( $I_{102}$ 、 $I_{104}$ 、及び  $I_{118}$ ) での共振回路が、導電された電流  $I_L$  の  $360^\circ$  を占める必要は特にない。そのため理論上、電流  $I_L$  は低抵抗のパスに常に流れうる。実際には、スイッチ動作の間のオーバーラップしていない時間を用いて電流のシュートスルーが無いことを確認するのが典型的である。

30

#### 【0025】

図 3 は第 2 の例のスリークォータブリッジ電力コンバータ 300 を示す。図 3 に示すように、電力コンバータ 300 はスイッチノード 306 に結合されたスイッチ 302 ~ 304、インダクタ 308、及び出力キャパシタ 310 を含む。キャパシタ 310 は、この例では変圧器 314 の一次側に相当するコイルに結合される。負荷 316 が変圧器 314 の二次側に結合され、ワイヤレス電力レシーバに相当しうる。スイッチ 318 がキャパシタ 320 等のエネルギーストレージ又はエネルギー源をスイッチノード 306 に結合する。図 3 では、電力コンバータ 300 は、インダクタ 308、出力キャパシタ 310、及び変圧器 314 の一次側によって形成される直列共振を用いて動作する。

40

#### 【0026】

図 4 は第 3 の例のスリークォータブリッジ電力コンバータ 400 を示す。図 4 に示すように、電力コンバータ 400 は、スイッチノード 406 に結合されたスイッチ 402 ~ 404 を含む。出力キャパシタ 410 が、スイッチノード 406 と、この例では、変圧器 414 の一次側に相当するコイルとに結合される。負荷 416 が変圧器 414 の二次側に結合され、ワイヤレス電力レシーバに相当しうる。スイッチ 418 が、キャパシタ 420 等のエネルギーストレージ又はエネルギー源をスイッチノード 406 に結合する。図 4 では、電力コンバータ 400 は、出力キャパシタ 410、及び変圧器 414 の一次側の漏れイ

50

ンダクタンスによって形成される直列共振を用いて動作する。

【 0 0 2 7 】

図 5 は第 4 の例のスリークォータブリッジ電力コンバータ 5 0 0 を示す。図 5 に示すように、電力コンバータ 5 0 0 は、スイッチノード 5 0 6 に結合されたスイッチ 5 0 2 ~ 5 0 4 を含む。DC ブロックキャパシタ 5 1 2 が、スイッチノード 5 0 6 と、ここでは変圧器 5 1 4 の一次側に相当するコイルに結合される。負荷 5 1 6 が、変圧器 5 1 4 の二次側に結合される。スイッチ 5 1 8 が、DC ブロックキャパシタ 5 1 2 と変圧器 5 1 4 との間のノード 5 2 2 に結合される。スイッチ 5 1 8 は、ノード 5 2 2 を接地に選択的に結合する。図 5 では、電力コンバータ 5 0 0 は非共振方式で動作する。しかしながら、デッドタイムに関連する問題を避けるため、スイッチ 5 0 2 ~ 5 0 4 の非導電時間の間スイッチ 5 1 8 がオンにされたままでもよい。この実施形態では、キャパシタ 5 1 2 は、スイッチノード 5 0 6 に結合されたエネルギーストレージ又はエネルギー源として効果的に動作し、またスイッチ 5 1 8 は、キャパシタ 5 1 2 の電圧がスイッチノード 5 0 6 に現れる。

10

【 0 0 2 8 】

図 6 は第 5 の例のスリークォータブリッジ電力コンバータ 6 0 0 を示す。図 6 に示すように、電力コンバータ 6 0 0 は、スイッチノード 6 0 6 に結合されたスイッチ 6 0 2 ~ 6 0 4 を含む。DC ブロックキャパシタ 6 1 2 がスイッチノード 6 0 6 と、この例ではインダクタ 6 1 4 及びレジスタ 6 1 5 として示される負荷 6 1 6 に結合される。スイッチ 6 1 8 が、DC ブロックキャパシタ 6 1 2 と負荷 6 1 6 との間のノード 6 2 2 に結合される。スイッチ 6 1 8 はノード 6 2 2 を接地に選択的に結合する。図 6 では、電力コンバータ 6 0 0 は、ワイヤレス電力伝送システムではなく、誘導性負荷を備えて、非共振、及び非分離方式で動作する。しかしながら、ここでも更に、デッドタイムに関連する問題を避けるため、スイッチ 6 0 2 ~ 6 0 4 の非導電時間の間スイッチ 6 1 8 がオンにされたままでもよい。この実施形態では、キャパシタ 6 1 2 は、スイッチノード 6 0 6 に結合されたエネルギーストレージ又はエネルギー源として効果的に動作し、またスイッチ 6 1 8 は、キャパシタ 6 1 2 の電圧がスイッチノード 6 0 6 に現れる。

20

【 0 0 2 9 】

従来のハーフブリッジアーキテクチャと比べて、スリークォータブリッジ電力コンバータは、波形対称性を妥協することなく、改善された性能を有することができる。従来のフルブリッジアーキテクチャと比べて、スリークォータブリッジ電力コンバータは、接地に接続された一次側を備える変圧器を有することができる。それによって送信コイルのマトリックス間のスイッチングが容易に行えるようになり、変圧器の電圧及び電流の測定が容易に行えるようになる。

30

【 0 0 3 0 】

図 1 から図 6 は、スリークォータブリッジ電力コンバータ及び関連する細部の例を示すが、種々の変更を図 1 から図 6 に行うことができる。例えば、上述のスリークォータブリッジ電力コンバータの各構成要素は、任意の適切な方式で実装することができる。また、図 2 に示す波形は単に説明のためのものであり、スリークォータブリッジ電力コンバータが実装例に応じて、異なる波形を使用して動作することもできる。更に、電力コンバータの動作中エネルギーをソーシング/シンキングするためのメカニズムとしてキャパシタを用いることは単に例示のためである。他のエネルギーストレージ要素又はエネルギー源を用いることもできる。例えば、他の実施形態では、キャパシタを、ほぼ  $V + / 2$  の電圧を出力する双方向コンバータに置き換えることもできる。双方向コンバータは、同期バックモードで動作することによって、第 3 のスイッチ 1 1 8、3 1 8、4 1 8 にエネルギーをソーシングすることができ、同期ブーストモードで動作することによって、スイッチ 1 1 8、3 1 8、4 1 8 からエネルギーをシンキングする（及びそれを  $V +$  に戻す）ことができる。更に、図 1 から図 6 の種々の構成要素は、組み合わせ、省略、又は更なる細分化を行うこともでき、また、特定のニーズに合わせて付加的な構成要素を追加することもできる。更に、本明細書中の、任意の電力コンバータが、通常ハーフブリッジ動作中に、多数のスイッチを用いて、一層高い電圧  $V +$  及び一層低い電圧（必ずしも接地である必要は

40

50

ない)等の異なる電圧レールにスイッチノードを選択的に結合することもできる。

#### 【0031】

図7は本開示に従ったスリークォータブリッジ電力コンバータのための例示の制御回路700を示す。制御回路700は、例えば、上述又は後述の任意のスリークォータブリッジ電力コンバータのための制御信号G1～G3を生成するために用いられうる。この例では、制御回路700はハイブリッドのアナログ及びデジタルアプローチを用いて制御信号を生成する。

#### 【0032】

図7に示すように、制御回路700は周波数ワードユニット702及びデューティワードユニット704を含む。これらのユニット702～704は電力コンバータの駆動に用いられる制御信号の周波数及びデューティサイクルを示す値を出力する。これらの値は、24ビット値でありうる。位相アキュムレータ706が周波数ワードユニット702の出力を用いて動作する。位相アキュムレータ706の出力が加算器708に供給され、加算器708は位相アキュムレータ706の出力をデューティワードユニット704の出力に加算する。

#### 【0033】

最上位ビット(MSB)抽出ユニット710を用いて位相アキュムレータの出力の上位ビットが識別され、抽出される。位相アキュムレータの出力の上位ビットは、基準位相として用いられる。MSB抽出ユニット712を用いて加算器の出力の上位ビットが識別され、抽出される。加算器の出力の上位ビットは可変位相として用いられる。

#### 【0034】

基準位相と可変位相との間の差を使用して、制御信号G1及びG2(ここではPWM信号)が生成される。具体的には、MSB抽出ユニット710の出力がインバータ714及びANDゲート720に供給され、インバータ714の出力がANDゲート716に供給される。MSB抽出ユニット712の出力が、インバータ718及びANDゲート716に供給され、インバータ718の出力がANDゲート720に供給される。ANDゲート716及び720は、それぞれ制御信号G1及びG2を出力する。NORゲート722を用いてG1及びG2信号の論理NOR演算を実行することによって、制御信号G3が生成される。従って、G1又はG2のいずれもアサートされないときは常に信号G3がアサートされる。この例における、デューティファクタ分解能は約 $1.2 \times 10^{-7}$ であり、これは必要とされるよりもはるかに良好であると思われる。

#### 【0035】

この例では、制御信号G1、G2、及びG3は、1クロック周期の位相ジッタのような低い位相ジッタを有しうる。これは100MHzクロックであれば、僅か10nsの位相ジッタとなる。数学的にはダイレクトデジタル合成(DDS)に関連するこの方法論は、本質的にディザリング法を用いることができ、それによってデューティファクタ平均は次式のとおりとなる(24ビット値が用いられることを想定)。

$$\text{デューティ} = (2 \times \text{デューティワード}) / 224$$

共振コンバータの場合は、共振ネットワークの高周波ロールオフによって、負荷におけるジッタを低減することができる。

#### 【0036】

図7はスリークォータブリッジ電力コンバータのための制御回路700の一例を示すが、種々の変更を図7に行うことができる。例えば、任意の他の適切な組合せロジック又は他のメカニズムを用いて、適切な制御信号を生成してもよい。また、図7の種々の構成要素は、結合、省略、又は更なる細分化を行ってもよく、また、特定の必要性に応じて付加的な構成要素を追加してもよい。

#### 【0037】

上述の電力コンバータトポロジーは、様々な用途において用いることができる。例えば、スリークォータブリッジ電力コンバータは、ハーフブリッジコンバータを用いる任意の用途において有用でありうる。スリークォータブリッジコンバータは、デッドタイムと

10

20

30

40

50

なりうる任意のデューティファクタに関して、ハーフブリッジコンバータ（５０％未満のデューティファクタ）より優れた性能を有する。

【００３８】

スリークォータブリッジコンバータの別の用途は、負荷の片側、又は変圧器の片側を接地に接続することが好ましい状況におけるフルブリッジコンバータの代替としての用途である。これには例えば、多数の送信コイルが使用され、１つ又はそれ以上のコイルがブリッジに選択的に結合されうるような用途が含まれうる。この例は、本開示に従った多数の送信コイルを備える例示のスリークォータブリッジ電力コンバータ８００を図示した図８に示されている。

【００３９】

図８に示すように、電力コンバータ８００は、ノード８０６をそれぞれソース電圧 $V+$ 及び接地に選択的に結合する、２つのスイッチ８０２～８０４を含む。また、ノード８０６はスイッチ８１８に結合され、スイッチ８１８はノード８０６をエネルギーストレージ又はエネルギー源（キャパシタ８２０等）に選択的に結合する。この例では、ノード８０６が多数のストリングに結合され、各ストリングが、直列に結合されたコイル８１４ $a$ ～８１４ $n$ （インダクタ等）及びトランジスタ８１５ $a$ ～８１５ $n$ （ $MOSFET$ 等）を含む。コイル８１４ $a$ ～８１４ $n$ は、電力を負荷８１６に送るために用いられる多数のコイルに相当する。コイル８１４ $a$ ～８１４ $n$ が、例えば、マルチコイル電力送信パッドの一部を形成することができ、負荷８１６の受信コイル８２２をパッドに対し配置する際にかなりの自由度を許容する。

【００４０】

直列の、キャパシタ８１０ $a$ ～８１０ $n$ とトランジスタ８１５ $a$ ～８１５ $n$ のボディダイオードとの組合せによって、各ストリング内の $DC$ レベルシフトが可能になり、図８の回路の残部からそのストリングを効果的に分離する。小さいバイアス電流（ $FET$ 漏れ等）が流れて切断を維持する。これによって、単一の $MOSFET$ を、コイル８１４ $a$ ～８１４ $n$ 間の選択を行うためのトランジスタ８１５ $a$ ～８１５ $n$ として用いることが可能となる。

【００４１】

図８は多数の送信コイルを備える例示のスリークォータブリッジ電力コンバータ８００を示すが、種々の変更を図８に行うことができる。例えば、電力コンバータ８００は、任意の数の送信コイルを含むことができる。

【００４２】

別のスリークォータブリッジ電力コンバータが、電流及び電圧検知機器の使用を伴うこともあり、その例が図９に示される。図９では、スリークォータブリッジ電力コンバータ９００が、ノード９０６に結合されたスイッチ９０２～９０４を含む。ノード９０６はキャパシタ９１０にも結合される。キャパシタ９１０は、インダクタ又は又は変圧器の一部（ワイヤレス電力伝送コイル等）でありうるコイル９１４に結合される。スイッチ９１８が、エネルギーストレージ又はエネルギー源（キャパシタ９２０等）をノード９０６に結合する。

【００４３】

この例では、電圧検知ユニット９２４がコイル９１４を横切って結合され、電流検知ユニット９２６がコイル９１４と直列に結合される。電圧検知ユニット９２４は電圧測定のための任意の適切な構造を含み、電流検知ユニット９２６は電流測定のための任意の適切な構造を含む。この例では、スリークォータブリッジアーキテクチャにより検知ユニット９２４～９２６をシングルエンド方式で使用する事が容易になるため、これらのユニットが差動信号方式を使用する必要がなくなる。これは、これらのユニットでの高いコモンモード阻止の必要性を低減又は除去するのに役立つ。

【００４４】

図９は、電流及び電圧検知機器を備える一例のスリークォータブリッジ電力コンバータ９００を示すが、種々の変更を図９に行うことができる。例えば、検知ユニット９２４～

10

20

30

40

50

926が上述のスリークォータブリッジの任意の実施形態と共に用いられてもよい。また、電力コンバータ900が検知ユニット924～926の1つを含み、他を省略してもよい。

#### 【0045】

上述の回路に示す各構成要素は、任意の適切な構造を用いて実装されてもよい。また、これらの図は回路の実装例を示す。これらの回路では、特定のニーズに応じて、構成要素の、追加、省略、組合せ、更なる細分化、又は移動を行ってもよい。また、上述の波形は単に説明のためのものであり、回路の特定の実現例において可能な又はシミュレートされた挙動を示す。

#### 【0046】

図10は本開示に従ったスリークォータブリッジ電力コンバータを用いる電力変換のための例示の方法1000を示す。図10に示すように、ステップ1002において、スリークォータブリッジ電力コンバータのために少なくとも1つの駆動信号が受信される。これは、例えば、外部構成要素がスリークォータブリッジ電力コンバータを駆動するための、所望の周波数及びデューティファクタを識別する1つ又はそれ以上の信号を供給することを含んでもよい。外部構成要素は、外部処理装置又はコントローラ等の、電力コンバータを制御するための任意の適切なソースを意味する。

#### 【0047】

ステップ1004において、スリークォータブリッジ電力コンバータのスイッチのための制御信号が生成される。これは、例えば、制御回路が電力コンバータのためのG1～G3制御信号を生成することを含んでもよい。特定な例として、これは、制御回路が、G1及びG2制御信号を生成して所望のデューティファクタで電力コンバータを駆動することを含んでもよい。また、これは、G1及びG2制御信号がイナクティブである（低）ときには常にG3制御信号がアクティブ（高）になるように、制御回路がG3制御信号を生成することを含んでもよい。

#### 【0048】

ステップ1006において、スリークォータブリッジ電力コンバータの第1及び第2のスイッチがオン及びオフにされる。これは、電力コンバータのスイッチノードを、V<sub>+</sub>、及び接地のような、一層高いレール電圧及び一層低いレール電圧に結合するようになされる。スイッチノードが一層高いレール電圧に結合されている時間量対一層低いレール電圧に結合されている時間量がデューティファクタを定め、第1及び第2のスイッチ両方がオフにされている際に幾らかのデッドタイムが存在しうる。第1及び第2のスイッチは、G1及びG2制御信号によって制御されてもよい。

#### 【0049】

ステップ1008において、第1及び第2のスイッチのオフ時間の間、スイッチノードを電圧に結合するために、第3のスイッチが用いられる。これは、例えば、第3のスイッチを閉じて、キャパシタの電圧をスイッチノードで受け取るようにすることが含まれうる。第1及び第2のスイッチのいずれかによってスイッチノードがレールに結合されているときは常に第3のスイッチが開けられうる。これは、スリークォータブリッジ電力コンバータにおけるデッドタイムを実質的に低減又は除去する。第3のスイッチはG3制御信号によって制御されてもよい。

#### 【0050】

図10はスリークォータブリッジ電力コンバータを用いる電力変換のための例示の方法1000を示すが、種々の変更を図10に行うことができる。例えば、一連のステップとして示されているが、図10の種々のステップが、重複して実行されてもよく、平行して実行されてもよく、多数回実行されてもよく、又は異なる順で実行されてもよい。

#### 【0051】

本明細書中に用いられているある種の用語及び語句の定義を記載することは有用であろう。「結合する」という用語及びその派生語は、構成要素間の任意の直接的又は間接的通信を意味するもので、これらの構成要素が互いに物理的に接触しているか否かに拘わらな

10

20

30

40

50

い。「含む(include)」及び「含む(comprise)」という用語及びそれらの派生語は、制限なく含むことを意味する。「又は」という用語は、包括的に「及び/又は」を意味する。「関連する」及び「に関連する」という語句及びそれらの派生語は、「を含む」、「に含まれる」、「と相互接続する」、「を含む」、「に含まれる」、「に接続する」、「と接続する」、「に結合する」、「と結合する」、「と伝達可能である」、「と協働する」、「と交互配置される」、「と並列する」、「に近接する」、「に結合される」、「と結合される」、「を有する」、「の特性を有する」、「に関係する」、「と関係する」等を意味する。

# 【 0 0 5 2 】

本開示は、ある種の実施形態及び全般的に関連する方法を説明してきたが、これらの実施形態及び方法の改変や置き換えが当業者には明らかであろう。従って、実施形態の上述の説明は本開示を限定又は制限するものではない。他の変更、置き換え、及び改変もまた、以下の特許請求の範囲によって定義される本開示の趣旨及び範囲を逸脱することなく可能である。

10

【 図 1 】

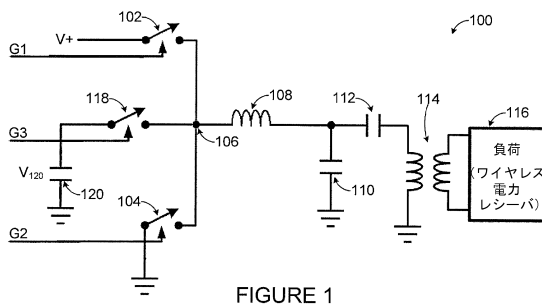


FIGURE 1

【 図 3 】

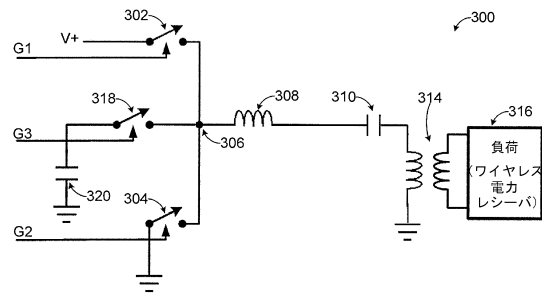


FIGURE 3

【 図 2 】

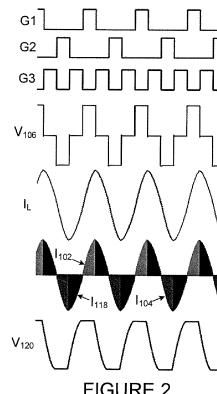


FIGURE 2

【 図 4 】

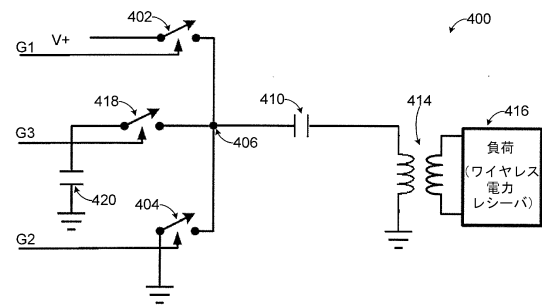


FIGURE 4

【図 5】

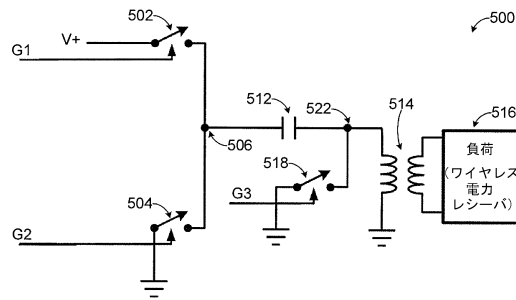


FIGURE 5

【図 6】

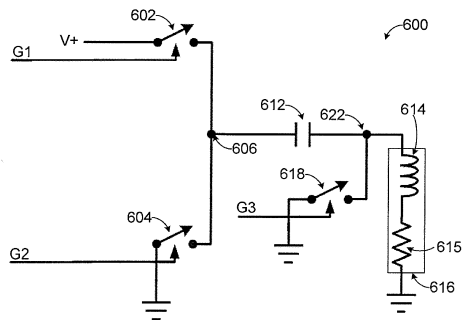


FIGURE 6

【図 8】

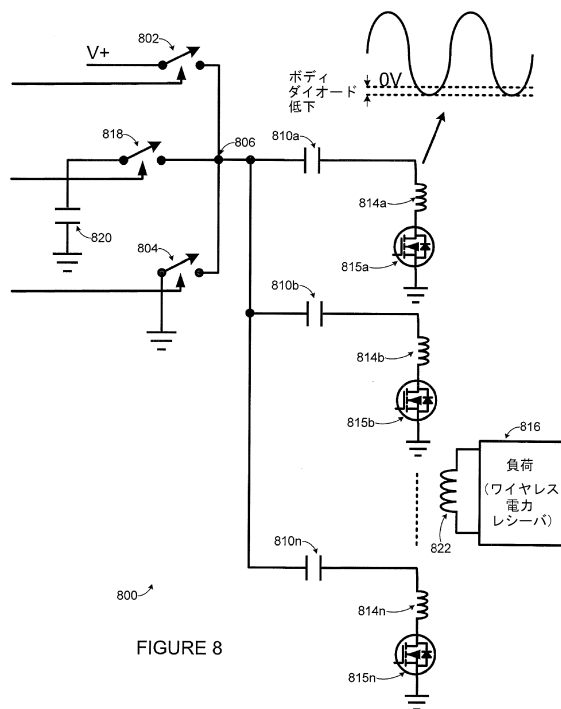


FIGURE 8

【図 7】

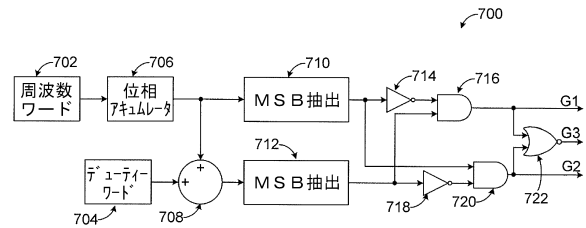


FIGURE 7

【図 9】

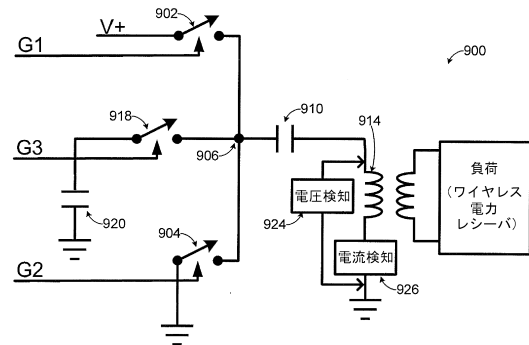


FIGURE 9

【図 10】

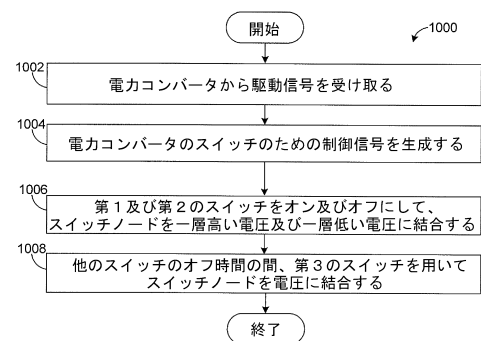


FIGURE 10

---

フロントページの続き

審査官 宮地 将斗

- (56)参考文献 特開昭56-115182(JP,A)  
特開平07-111782(JP,A)  
国際公開第2006/022365(WO,A1)  
特開2008-193779(JP,A)  
特開2003-224937(JP,A)

- (58)調査した分野(Int.Cl., DB名)  
H02M 7/42-7/98  
H02J 17/00