

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号
特許第7639904号
(P7639904)

(45)発行日 令和7年3月5日(2025.3.5)

(24)登録日 令和7年2月25日(2025.2.25)

(51)国際特許分類

F I

H O 2 M 3/28 (2006.01)

H O 2 M 3/28 H

請求項の数 9 (全35頁)

(21)出願番号	特願2023-522031(P2023-522031)	(73)特許権者	000002130
(86)(22)出願日	令和3年5月18日(2021.5.18)		住友電気工業株式会社
(86)国際出願番号	PCT/JP2021/018716		大阪府大阪市中央区北浜四丁目5番33号
(87)国際公開番号	WO2022/244087	(73)特許権者	000183406
(87)国際公開日	令和4年11月24日(2022.11.24)		住友電装株式会社
審査請求日	令和5年12月21日(2023.12.21)		三重県四日市市西末広町1番14号
		(73)特許権者	395011665
			株式会社オートネットワーク技術研究所
			三重県四日市市西末広町1番14号
		(74)代理人	100099933
			弁理士 清水 敏
		(74)代理人	100124028
			弁理士 松本 公雄
		(74)代理人	100145207

最終頁に続く

(54)【発明の名称】 電力変換装置、車載充電器、及び制御方法

(57)【特許請求の範囲】

【請求項1】

絶縁型の電力変換装置であって、
トランスと、
複数のスイッチング素子を含み、前記トランスの一次側に設けられる第1のブリッジ回路と、
複数のスイッチング素子を含み、前記トランスの二次側に設けられる第2のブリッジ回路と、
前記第1のブリッジ回路及び前記第2のブリッジ回路のスイッチングを制御する制御部とを含み、
前記制御部は、前記電力変換装置の出力電圧及び出力電力に基づいて、前記第1のブリッジ回路及び前記第2のブリッジ回路の動作周波数を、前記第1のブリッジ回路及び前記第2のブリッジ回路の制御においてソフトスイッチングが成立する周波数に切替え、
前記トランスの前記二次側に設けられ、前記電力変換装置の出力電圧を検出する電圧センサと、
前記出力電力を外部からの指示値として取得する取得部とをさらに含み、
前記制御部は、前記電圧センサで検出した前記出力電圧、及び前記取得部が取得した前記出力電力に基づいて、前記第1のブリッジ回路及び前記第2のブリッジ回路の動作周波数を切替える、電力変換装置。

【請求項2】

前記電力変換装置の出力電流を検出する電流センサをさらに含み、

前記制御部は、前記電圧センサで検出した前記出力電圧、並びに、前記電流センサ、及び前記電圧センサでそれぞれ検出した出力電流及び出力電圧を用いて算出した前記出力電力に基づいて、前記第1のブリッジ回路及び前記第2のブリッジ回路の動作周波数を切替える、請求項1に記載の電力変換装置。

【請求項3】

前記電流センサで検出する前記出力電流に対して周波数制限をかける回路をさらに含む、請求項2に記載の電力変換装置。

【請求項4】

前記周波数制限をかける回路は、前記第2のブリッジ回路と前記電流センサとの間に配置されるフィルタ回路を含む、請求項3に記載の電力変換装置。

【請求項5】

前記第2のブリッジ回路と前記電流センサとの間の領域であって、前記第2のブリッジ回路と隣り合う領域に配置されるコンデンサをさらに含む、請求項2から請求項4のいずれか一項に記載の電力変換装置。

【請求項6】

絶縁型の電力変換装置であって、
トランスと、

複数のスイッチング素子を含み、前記トランスの一次側に設けられる第1のブリッジ回路と、

複数のスイッチング素子を含み、前記トランスの二次側に設けられる第2のブリッジ回路と、

前記第1のブリッジ回路及び前記第2のブリッジ回路のスイッチングを制御する制御部とを含み、

前記制御部は、前記電力変換装置の出力電圧及び出力電力に基づいて、前記第1のブリッジ回路及び前記第2のブリッジ回路の動作周波数を、前記第1のブリッジ回路及び前記第2のブリッジ回路の制御においてソフトスイッチングが成立する周波数に切替え、

前記制御部は、ソフトスイッチングが成立するか否かを判定するための判定条件を記憶する記憶部を含み、前記出力電圧及び前記出力電力と前記判定条件とを用いて、前記第1のブリッジ回路及び前記第2のブリッジ回路のスイッチングがソフトスイッチングか否かを判定し、判定結果に応じて、前記第1のブリッジ回路及び前記第2のブリッジ回路の動作周波数を切替える、電力変換装置。

【請求項7】

前記記憶部は、前記判定条件として、種々の出力電圧値及び出力電力値に対してソフトスイッチングの成立条件を満たすか否かを示すテーブルを記憶し、

前記制御部は、前記出力電圧及び前記出力電力に対して前記テーブルを参照することで、前記第1のブリッジ回路及び前記第2のブリッジ回路のスイッチングがソフトスイッチングか否かを判定し、判定結果に応じて、前記第1のブリッジ回路及び前記第2のブリッジ回路の動作周波数を切替える、請求項6に記載の電力変換装置。

【請求項8】

交流電力を直流電力に変換して出力する変換回路と、

前記変換回路が変換した直流電力が入力される、請求項1から請求項7のいずれか一項に記載の電力変換装置とを含む、車載充電器。

【請求項9】

絶縁型の電力変換装置であって、トランスと、複数のスイッチング素子を含み、前記トランスの一次側に設けられる第1のブリッジ回路と、複数のスイッチング素子を含み、前記トランスの二次側に設けられる第2のブリッジ回路と、前記トランスの前記二次側に設けられ、前記電力変換装置の出力電圧を検出する電圧センサと、前記電力変換装置の出力電力を外部からの指示値として取得する取得部とを含む前記電力変換装置の制御方法であって、

前記第1のブリッジ回路と前記第2のブリッジ回路との間で位相差が生じるように、前記第1のブリッジ回路及び前記第2のブリッジ回路のスイッチングを制御するステップと、
前記電力変換装置の出力電圧及び出力電力に基づいて、前記第1のブリッジ回路及び前記第2のブリッジ回路の動作周波数を、前記第1のブリッジ回路及び前記第2のブリッジ回路の制御においてソフトスイッチングが成立する周波数に切替えるステップと、
前記電圧センサで検出した前記出力電圧、及び前記取得部が取得した前記出力電力に基づいて、前記第1のブリッジ回路及び前記第2のブリッジ回路の動作周波数を切替えるステップとを含む、制御方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

10

【0001】

本開示は、電力変換装置、車載充電器、及び制御方法に関する。

【背景技術】

【0002】

絶縁型の電力変換装置の一種であるデュアルアクティブブリッジ（DAB：Dual Active Bridge）方式（以下「DAB方式」と記載する）のDC／DCコンバータが知られている。DAB方式のDC／DCコンバータは、トランスの一次側及び二次側の各々にブリッジ回路が設けられた構造を持つ。各ブリッジ回路は、ブリッジ接続された複数のスイッチング素子を含む。DAB方式のDC／DCコンバータは、一次側ブリッジ回路の電圧と二次側ブリッジ回路の電圧との位相差によって、トランスの一次側から二次側、又はその逆方向に電力を送電する。

20

【0003】

DAB方式のDC／DCコンバータは、共振現象を利用したソフトスイッチングを行うことが可能である。ソフトスイッチングは、スイッチング素子の単純なオン・オフで電流を強制的に切るハードスイッチングに比べて、スイッチング損失を低減できるという利点を持つ。一方、DAB方式のDC／DCコンバータでは、入力電圧と出力電圧との差が大きくなるとソフトスイッチングを実施できなくなることがある。この場合、一部のスイッチング素子がハードスイッチングになるため、スイッチング損失が増加し、電力変換効率が低下する。

【0004】

30

後掲の特許文献1は、このような問題を解決するための技術を開示する。具体的には、特許文献1には、二次側ブリッジ回路の出力電流を検出し、検出した出力電流が0より大きい二次側電流しきい値を上回った場合に、二次側ブリッジ回路におけるスイッチング素子の開閉状態を切替えることで、一次側ブリッジ回路におけるスイッチング素子の開閉状態の切替えと二次側ブリッジ回路におけるスイッチング素子の開閉状態の切替えとの位相差を制御するDC／DCコンバータが開示されている。二次側電流しきい値は、出力電圧の目標値と出力電圧との偏差に対して比例積分演算を行うPI演算部の出力値に基づいて算出される。

【0005】

二次側ブリッジ回路の出力電流は、DC／DCコンバータの制御状態によって正方向と負方向とに変化する。そのため、特許文献1では、上記のように、出力電流の検出値が二次側電流しきい値を上回ったか否かに基づいて、二次側ブリッジ回路におけるスイッチング素子の開閉状態の切替えタイミングを制御する。こうした構成により、DC／DCコンバータは、入力電圧及び出力電圧に依らずに二次側ブリッジ回路におけるハードリカバリを抑制して、ソフトスイッチングが可能な電圧範囲を拡張する。

40

【0006】

特許文献1ではさらに、上記構成において、PI演算部の出力値に基づいてブリッジ回路の制御周波数を変更する構成も開示されている。出力電圧が目標値から乖離して偏差が大きくなると、還流モードの時間が長くなる。その場合、還流モードの終了時のスイッチ切替時に一次側ブリッジ回路においてハードリカバリが生じることが懸念される。そこで

50

、特許文献1では、出力電圧が目標値から乖離して偏差が大きくなった場合に、その偏差に基づいて制御周波数を高くすることによって還流モードの時間を短くする。特許文献1のDC/DCコンバータは、このような構成を追加することにより、還流モードの終了時に一次側ブリッジ回路においてハードリカバリが発生するのを抑制する。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0007】

【文献】特開2016-152687号公報

【発明の概要】

【0008】

本開示のある局面に係る電力変換装置は、絶縁型の電力変換装置であって、トランスと、複数のスイッチング素子を含み、トランスの一次側に設けられる第1のブリッジ回路と、複数のスイッチング素子を含み、トランスの二次側に設けられる第2のブリッジ回路と、第1のブリッジ回路及び第2のブリッジ回路のスイッチングを制御する制御部とを含み、制御部は、電力変換装置の出力電圧及び出力電力に基づいて、第1のブリッジ回路及び第2のブリッジ回路の動作周波数を、第1のブリッジ回路及び第2のブリッジ回路の制御においてソフトスイッチングが成立する周波数に切替える。

【0009】

本開示の他の局面に係る車載充電器は、交流電力を直流電力に変換して出力する変換回路と、変換回路が変換した直流電力が入力される上記電力変換装置とを含む。

【0010】

本開示のさらに他の局面に係る制御方法は、トランスと、複数のスイッチング素子を含み、トランスの一次側に設けられる第1のブリッジ回路と、複数のスイッチング素子を含み、トランスの二次側に設けられる第2のブリッジ回路とを含む電力変換装置の制御方法であって、第1のブリッジ回路と第2のブリッジ回路との間で位相差が生じるように、第1のブリッジ回路及び第2のブリッジ回路のスイッチングを制御するステップと、電力変換装置の出力電圧及び出力電力に基づいて、第1のブリッジ回路及び第2のブリッジ回路の動作周波数を、第1のブリッジ回路及び第2のブリッジ回路の制御においてソフトスイッチングが成立する周波数に切替えるステップとを含む。

【0011】

本開示は、このような特徴的な構成を含む電力変換装置、車載充電器、又は制御方法として実現できるだけではなく、本電力変換装置、本車載充電器、又は本制御方法が実行する特徴的なステップをコンピュータに実行させるためのプログラム、及びそのプログラムを記録した記録媒体として実現することもできる。さらに、電力変換装置、又は車載充電器を含むその他のシステムとして実現することもできる。

【図面の簡単な説明】

【0012】

【図1】図1は、第1の実施の形態に係る電力変換装置の回路構成を示す図である。

【図2】図2は、DAB方式のDC/DCコンバータにおけるソフトスイッチングの動作例を説明するための波形図である。

【図3】図3は、DAB方式のDC/DCコンバータにおけるソフトスイッチングの動作例を説明するための回路図である。

【図4】図4は、DAB方式のDC/DCコンバータにおけるソフトスイッチングの動作例を説明するための回路図である。

【図5】図5は、DAB方式のDC/DCコンバータにおけるソフトスイッチングの動作例を説明するための回路図である。

【図6】図6は、DAB方式のDC/DCコンバータにおけるハードスイッチングの動作例を説明するための波形図である。

【図7】図7は、DAB方式のDC/DCコンバータにおけるハードスイッチングの動作例を説明するための回路図である。

10

20

30

40

50

【図 8】図 8 は、D A B 方式の D C / D C コンバータにおけるハードスイッチングの動作例を説明するための回路図である。

【図 9】図 9 は、D A B 方式の D C / D C コンバータにおけるハードスイッチングの動作例を説明するための回路図である。

【図 10】図 10 は、D A B 方式の D C / D C コンバータにおいて、ソフトスイッチングが成立する条件を説明するための図である。

【図 11】図 11 は、図 1 に示す電力変換装置で実行されるプログラムの制御構造の一例を示すフローチャートである。

【図 12】図 12 は、図 1 に示す電力変換装置で実行されるプログラムの制御構造の一例を示すフローチャートである。

【図 13】図 13 は、図 1 に示す電力変換装置の効果の検証結果を示す図である。

【図 14】図 14 は、図 1 に示す電力変換装置の効果の検証結果を示す図である。

【図 15】図 15 は、図 1 に示す電力変換装置の効果の検証結果を示す図である。

【図 16】図 16 は、第 2 の実施の形態に係る電力変換装置の回路構成を示す図である。

【図 17】図 17 は、図 16 に示す制御部の機能的構成を示すブロック図である。

【図 18】図 18 は、第 3 の実施の形態に係る電力変換装置で用いるマップ（テーブル）の一例を示す図である。

【図 19】図 19 は、第 3 の実施の形態に係る電力変換装置で実行されるプログラムの制御構造の一例を示すフローチャートである。

【図 20】図 20 は、ソフトスイッチングが可能か否かを判断するためのマップ（テーブル）の一例を示す図である。

【図 21】図 21 は、ソフトスイッチングが可能か否かを判断するためのマップ（テーブル）の一例を示す図である。

【図 22】図 22 は、ソフトスイッチングが可能か否かを判断するためのマップ（テーブル）の一例を示す図である。

【図 23】図 23 は、第 4 の実施の形態に係る電力変換装置で実行されるプログラムの制御構造の一例を示すフローチャートである。

【図 24】図 24 は、図 23 のステップ S 2 1 3 0 の詳細なフローである。

【図 25】図 25 は、第 4 の実施の形態に係る電力変換装置における動作周波数の切替え動作を説明するための図である。

【図 26】図 26 は、第 5 の実施の形態に係る電力変換装置の回路構成を示す図である。

【図 27】図 27 は、図 26 に示す電力変換装置で実行されるプログラムの制御構造の一例を示すフローチャートである。

【図 28】図 28 は、図 27 のステップ S 2 1 3 2 の詳細なフローである。

【図 29】図 29 は、第 6 の実施の形態に係る電力変換装置の回路構成を示す図である。

【図 30】図 30 は、第 7 の実施の形態に係る車載充電器の構成を示す図である。

【図 31】図 31 は、図 30 に示す車載充電器が搭載された車両を示す模式図である。

【発明を実施するための形態】

【0013】

〔本開示が解決しようとする課題〕

特許文献 1 では、二次側ブリッジ回路の出力電流を検出し、その正負に応じて二次側ブリッジ回路におけるスイッチング素子の開閉状態の切替えタイミングを制御する。そのため、出力電流として、スイッチング周期内で大きく変動する電流の瞬時値を検出する必要があり、高周波電流を高精度に検出可能な電流センサが必要となる。こうした電流センサは高価であるため、製造コストが増加する。加えて、電流センサの遅延等を考慮すると、制御周波数を高周波化することが困難となる。したがって、P I 演算部の出力値に基づいてブリッジ回路の制御周波数を変更する場合もその変更範囲が制限される。

【0014】

さらに、出力電流に基づいてスイッチング素子の開閉状態の切替えタイミングを制御するためには、リアクトル電流と一致した電流を出力電流として検出する必要がある。すな

10

20

30

40

50

わち、特許文献1では、検出する出力電流が（絶対値を取った後に）リアクトル電流と一致することが前提となる。そのため、出力電流がリアクトル電流と一致することを阻害するコンデンサ等を、出力電流を検出するための電流センサと二次側ブリッジ回路との間に配置できない。このようなコンデンサは、サージ対策、又はノイズ対策等を図るためのスナバコンデンサとして用いられることが多い。したがって、特許文献1に記載の構成では、サージ対策、又はノイズ対策等を図ることが困難となる。

【0015】

このように、特許文献1に記載の技術はその適用範囲が限定されるという不都合がある。このため、特許文献1に記載の技術を用いた場合、設計自由度が低下するという問題がある。

【0016】

それゆえに、本開示の1つの目的は、設計自由度が高く、かつ、ハードスイッチングに起因する電力変換効率の低下を抑制することが可能な電力変換装置、及び車載充電器を提供することである。

【0017】

本開示の他の目的は、設計自由度が高く、かつ、ハードスイッチングに起因する電力変換効率の低下を抑制することが可能な電力変換装置における制御方法を提供することである。

【0018】

〔本開示の効果〕

本開示によれば、設計自由度が高く、かつ、ハードスイッチングに起因する電力変換効率の低下を抑制することが可能な電力変換装置、及び車載充電器を提供できる。

【0019】

本開示によればさらに、設計自由度が高く、かつ、ハードスイッチングに起因する電力変換効率の低下を抑制することが可能な電力変換装置における制御方法を提供できる。

【0020】

〔本開示の実施形態の説明〕

本開示の好適な実施形態を列記して説明する。以下に記載する実施形態の少なくとも一部を任意に組み合わせてもよい。

【0021】

（1）本開示の第1の局面に係る電力変換装置は、絶縁型の電力変換装置である。この電力変換装置は、トランスと、複数のスイッチング素子を含み、トランスの一次側に設けられる第1のブリッジ回路と、複数のスイッチング素子を含み、トランスの二次側に設けられる第2のブリッジ回路と、第1のブリッジ回路及び第2のブリッジ回路のスイッチングを制御する制御部とを含む。制御部は、電力変換装置の出力電圧及び出力電力に基づいて、第1のブリッジ回路及び第2のブリッジ回路の動作周波数を、第1のブリッジ回路及び第2のブリッジ回路の制御においてソフトスイッチングが成立する周波数に切替える。

【0022】

制御部は、電力変換装置の出力電圧及び出力電力に基づいて、第1のブリッジ回路及び第2のブリッジ回路の動作周波数をソフトスイッチングが成立する周波数に切替える。すなわち、出力電圧及び出力電力に基づいて動作周波数を切替えることで、スイッチング素子がハードスイッチングになるのを抑制する。これにより、ハードスイッチングに起因するスイッチング損失を低減して、電力変換効率の低下を抑制できる。加えて、出力電圧及び出力電力に基づいて動作周波数を切替える構成とすることによって、入出力電圧又は出力電力が変化した場合でもソフトスイッチングを実現できる。さらに、動作周波数を切替える構成では、スイッチング素子の開閉状態の切替えタイミングを制御する場合とは異なり、リアクトル電流と一致する出力電流の瞬時値を検出する必要がない。そのため、動作周波数を容易に高周波化できるとともに、コンデンサ等の素子を設けることによって、サージ対策、又はノイズ対策等を図ることもできる。このように、上記構成を採用することによって、設計自由度の低下の抑制と、ハードスイッチングの抑制とを両立できる。

10

20

30

40

50

【0023】

(2) 好ましくは、電力変換装置は、当該電力変換装置の出力電流及び出力電圧をそれぞれ検出する電流センサ及び電圧センサをさらに含み、制御部は、電圧センサで検出した出力電圧、並びに、電流センサ、及び電圧センサでそれぞれ検出した出力電流及び出力電圧を用いて算出した出力電力に基づいて、第1のブリッジ回路及び第2のブリッジ回路の動作周波数を切替える。リアクトル電流と一致する出力電流の瞬時値を電流センサで検出する必要がないため、安価な電流センサを用いることができる。電流センサの選択肢が広がるため、設計自由度をより高めることができる。加えて、電流センサに遅延があっても、動作周波数を高周波化できる。

【0024】

(3) より好ましくは、電力変換装置は、電流センサで検出する出力電流に対して周波数制限をかける回路をさらに含む。出力電力の算出に用いる電流情報は、周波数制限をかけた情報（例えば高周波成分をカットした情報）でもよい。そのため、周波数制限をかける回路を含む構成とすることができる。この場合、出力電力の算出が容易になる。

【0025】

(4) さらに好ましくは、周波数制限をかける回路は、第2のブリッジ回路と電流センサとの間に配置されるフィルタ回路を含む。これにより、出力電力をより容易に算出できる。

【0026】

(5) さらに好ましくは、電力変換装置は、第2のブリッジ回路と電流センサとの間の領域であって、第2のブリッジ回路と隣り合う領域に配置されるコンデンサをさらに含む。これにより、サージ対策、又はノイズ対策等を図ることができるので、電力変換装置の信頼性を高めることができる。

【0027】

(6) さらに好ましくは、電力変換装置は、トランスの二次側に設けられ、当該電力変換装置の出力電圧を検出する電圧センサと、出力電力を外部からの指示値として取得する取得部とをさらに含み、制御部は、電圧センサで検出した出力電圧、及び取得部が取得した出力電力に基づいて、第1のブリッジ回路及び第2のブリッジ回路の動作周波数を切替える。出力電力を算出する必要がないため、容易に、ハードスイッチングに起因する電力変換効率の低下を抑制できる。

【0028】

(7) さらに好ましくは、制御部は、ソフトスイッチングが成立するか否かを判定するための判定条件を記憶する記憶部を含み、出力電圧及び出力電力と判定条件とを用いて、第1のブリッジ回路及び第2のブリッジ回路のスイッチングがソフトスイッチングか否かを判定し、判定結果に応じて、第1のブリッジ回路及び第2のブリッジ回路の動作周波数を切替える。これにより、入出力電圧又は出力電力が変化した場合でも、容易に、第1のブリッジ回路及び第2のブリッジ回路の動作周波数をソフトスイッチングが成立する周波数に切替えることができる。

【0029】

(8) さらに好ましくは、記憶部は、判定条件として、種々の出力電圧値及び出力電力値に対してソフトスイッチングの成立条件を満たすか否かを示すテーブルを記憶し、制御部は、出力電圧及び出力電力に対してテーブルを参照することで、第1のブリッジ回路及び第2のブリッジ回路のスイッチングがソフトスイッチングか否かを判定し、判定結果に応じて、第1のブリッジ回路及び第2のブリッジ回路の動作周波数を切替える。これにより、より容易に、第1のブリッジ回路及び第2のブリッジ回路の動作周波数をソフトスイッチングが成立する周波数に切替えることができる。

【0030】

(9) 本開示の第2の局面に係る車載充電器は、交流電力を直流電力に変換して出力する変換回路と、変換回路が変換した直流電力が入力される、上記第1の局面に係る電力変換装置とを含む。これにより、ハードスイッチングに起因する電力変換効率の低下を抑制

10

20

30

40

50

することが可能であって、設計自由度の高い車載充電器が得られる。

【0031】

(10) 本開示の第3の局面に係る制御方法は、トランスと、複数のスイッチング素子を含み、トランスの一次側に設けられる第1のブリッジ回路と、複数のスイッチング素子を含み、トランスの二次側に設けられる第2のブリッジ回路とを含む電力変換装置の制御方法である。この制御方法は、第1のブリッジ回路と第2のブリッジ回路との間で位相差が生じるように、第1のブリッジ回路及び第2のブリッジ回路のスイッチングを制御するステップと、電力変換装置の出力電圧及び出力電力に基づいて、第1のブリッジ回路及び第2のブリッジ回路の動作周波数を、第1のブリッジ回路及び第2のブリッジ回路の制御においてソフトスイッチングが成立する周波数に切替えるステップとを含む。このような制御方法を用いることによって、ハードスイッチングに起因する電力変換効率の低下を抑制できるとともに、設計自由度が低下するのを抑制することもできる。

10

【0032】

[本開示の実施形態の詳細]

以下の実施形態では、同一の部品には同一の参照番号を付してある。それらの名称及び機能も同一である。したがって、それらについての詳細な説明は繰返さない。

【0033】

(第1の実施の形態)

[全体構成]

図1を参照して、本実施の形態に係る電力変換装置50は、トランスTRを含む絶縁型の電力変換装置である。より詳細には、電力変換装置50は、DAB方式のDC/DCコンバータである。電力変換装置50は、直流電圧源である第1の直流電源40と二次電池等の第2の直流電源42との間に配置され、第1の直流電源40から供給される電力を変換して第2の直流電源42に出力する。この場合、一次側に入力される、電力変換装置50の入力電圧を E_1 とし、二次側から出力される、電力変換装置50の出力電圧を E_2 とする。DAB方式のDC/DCコンバータは双方向型のコンバータであるため、電力変換装置50は、第2の直流電源42から供給される電力を、第1の直流電源40に対して出力することも可能である。

20

【0034】

トランスTRは、一次側コイル60、二次側コイル62、及び、コア部材64を含む。一次側コイル60と二次側コイル62との巻き数比は、例えば1:1である。ただし、トランスTRの巻き数比はこれに限定されない。巻き数比は任意の巻き数比に適宜設定できる。

30

【0035】

電力変換装置50は、トランスTRに加えて、トランスTRの一次側に設けられる一次側ブリッジ回路100、トランスTRの二次側に設けられる二次側ブリッジ回路120、出力電流を検出する電流センサ140、出力電圧を検出する電圧センサ150、及び、一次側ブリッジ回路100及び二次側ブリッジ回路120を制御する制御部160を含む。一次側ブリッジ回路100の入力側には平滑コンデンサ110が設けられており、二次側ブリッジ回路120の出力側には平滑コンデンサ130が設けられている。

40

【0036】

一次側ブリッジ回路100は、複数のスイッチング素子Q1~Q4を含むスイッチング回路である。これらスイッチング素子Q1~Q4は、フルブリッジ接続されることによってインバータ回路を構成している。具体的には、スイッチング素子Q1とスイッチング素子Q2とが互いに直列接続されて第1のレグを構成している。同様に、スイッチング素子Q3とスイッチング素子Q4とが互いに直列接続されて第2のレグを構成している。第1のレグと第2のレグとは互いに並列接続されている。

【0037】

第1のレグにおけるスイッチング素子Q1及びQ2の接点は、トランスTRの一次側コイル60の一方端(第1の端部)と接続されている。トランスTRの一次側コイル60の

50

他方端（第２の端部）は、第２のレグにおけるスイッチング素子Ｑ３及びＱ４の接点と接続されている。

【００３８】

スイッチング素子Ｑ１～Ｑ４は、例えば、ＭＯＳＦＥＴ（Metal-Oxide-Semiconductor Field-Effect Transistor）から構成されている。なお、スイッチング素子Ｑ１～Ｑ４は、ＭＯＳＦＥＴ以外の例えばＩＧＢＴ（Insulated Gate Bipolar Transistor）、又はＨＥＭＴ（High Electron Mobility Transistor）等のパワー半導体デバイスであってもよい。

【００３９】

二次側ブリッジ回路１２０も、一次側ブリッジ回路１００と同様の構成を有している。すなわち、二次側ブリッジ回路１２０は、複数のスイッチング素子Ｑ５～Ｑ８を含むスイッチング回路である。これらスイッチング素子Ｑ５～Ｑ８は、フルブリッジ接続されることによってインバータ回路を構成している。具体的には、スイッチング素子Ｑ５とスイッチング素子Ｑ６とが互いに直列接続されて第３のレグを構成している。同様に、スイッチング素子Ｑ７とスイッチング素子Ｑ８とが互いに直列接続されて第４のレグを構成している。第３のレグと第４のレグとは互いに並列接続されている。

【００４０】

第３のレグにおけるスイッチング素子Ｑ５及びＱ６の接点は、トランスＴＲの二次側コイル６２の一方端（第１の端部）と接続されている。トランスＴＲの二次側コイル６２の他方端（第２の端部）は、第２のレグにおけるスイッチング素子Ｑ７及びＱ８の接点と接続されている。

【００４１】

スイッチング素子Ｑ５～Ｑ８も、スイッチング素子Ｑ１～Ｑ４と同様、例えば、ＭＯＳＦＥＴから構成されている。なお、スイッチング素子Ｑ５～Ｑ８も、ＭＯＳＦＥＴ以外の例えばＩＧＢＴ、又はＨＥＭＴ等のパワー半導体デバイスであってもよい。

【００４２】

各スイッチング素子Ｑ１～Ｑ８には、それぞれ、還流ダイオードＤ１～Ｄ８が設けられている。一次側の平滑コンデンサ１１０及び二次側の平滑コンデンサ１３０は、それぞれ、リップル等の電圧変動を平滑化する機能を持つ。電力変換装置５０は、ＤＡＢ方式のＤＣ／ＤＣコンバータであるため、一次側ブリッジ回路１００と二次側ブリッジ回路１２０との間にリアクトルＬ１及びＬ２が設けられる。リアクトルＬ１及びＬ２は、トランスＴＲの漏れインダクタンスであってもよいし、外付けのリアクトルであってもよい。

【００４３】

電流センサ１４０は、二次側に流れる出力電流を検出し、その電流検出値を制御部１６０に提供する。電圧センサ１５０は、電力変換装置５０の出力電圧Ｅ２を検出し、その電圧検出値を制御部１６０に提供する。

【００４４】

各スイッチング素子Ｑ１～Ｑ８は、制御部１６０に接続されており、制御部１６０からのゲート信号によりオン・オフ制御される。各スイッチング素子Ｑ１～Ｑ８のオン・オフ制御により、一次側ブリッジ回路１００の出力電圧Ｖ１と二次側ブリッジ回路１２０の出力電圧Ｖ２との位相差（すなわち、トランス電圧の位相差）が制御される。この位相差によって、一次側から二次側、又はその逆方向に電力が伝送される。すなわち、電力変換装置５０は、ブリッジ回路間の位相差を制御することによって出力電力を調整する。なお、一次側ブリッジ回路１００及び二次側ブリッジ回路１２０の各出力電力との混同をさけるために、電力変換装置５０の出力電力Ｅ２を「直流出力電圧」と呼ぶことがある。

【００４５】

制御部１６０における各機能は、一又は複数の処理回路によって実現することが可能である。より詳細には、制御部１６０は、例えばＣＰＵ（Central Processing Unit）１６２及び記憶部１６４を含むマイクロコンピュータであり、一次側

10

20

30

40

50

ブリッジ回路 100 及び二次側ブリッジ回路 120 の駆動を制御する。この制御部 160 は、一次側ブリッジ回路 100 及び二次側ブリッジ回路 120 に対してゲート信号を出力することにより、各スイッチング素子 Q1～Q8 の動作を PWM (Pulse Width Modulation) 制御する。より具体的には、制御部 160 は、一次側ブリッジ回路 100 及び二次側ブリッジ回路 120 を所定の動作周波数（スイッチング周波数）で駆動させる。その際、制御部 160 は、一次側ブリッジ回路 100 の電圧 V_1 に対して位相差を持つ電圧 V_2 を出力するように、二次側ブリッジ回路 120 を駆動する。

【0046】

記憶部 164 には、一次側ブリッジ回路 100 の各スイッチング素子 Q1～Q4、及び二次側ブリッジ回路 120 の各スイッチング素子 Q5～Q8 の各々の動作を制御するためのコンピュータプログラムが記憶されている。このコンピュータプログラムを CPU 162 が実行することで、制御部 160 は、直流出力電圧と出力電力とに基づいて、ソフトスイッチングが成立する条件で一次側ブリッジ回路 100 及び二次側ブリッジ回路 120 の駆動を制御する処理を実行する。

【0047】

なお、制御部 160 は、アナログ IC (Integrated Circuit)、専用 LSI (Large-Scale Integration)、FPGA (Field-Programmable Gate Array) 等の制御用 IC であってもよいし、その一部又は全部がハードウェア回路によって構成されてもよい。

【0048】

DAB 方式の DC/DC コンバータでは、入力電圧と出力電圧（直流出力電圧）との差が大きく、出力電力が小さいときに、一部のスイッチング素子がハードスイッチングになる。そのため、本実施の形態に係る電力変換装置 50 は、直流出力電圧と出力電力とに基づいて、ソフトスイッチングが行われているか否かを判定し、判定結果が否定の場合（ハードスイッチングになっている場合）、動作周波数を変更することでハードスイッチングを抑制する。

【0049】

〔ソフトスイッチングの動作例〕

図 2 に、ソフトスイッチングが成立する場合の電圧及び電流の波形を示す。図 2 の上段は、一次側ブリッジ回路の出力電圧 V_1 及び二次側ブリッジ回路の出力電圧 V_2 の波形図であり、下段は、リアクトル電流 I_2 の波形図である。この動作例では、一次側ブリッジ回路及び二次側ブリッジ回路は、それぞれ、出力電圧 V_1 及び出力電圧 V_2 が Duty 50% の矩形波となるように制御されている。出力電圧 V_1 の立ち上がりから出力電圧 V_2 の立ち上がりまでの期間を期間 A とし、出力電圧 V_2 の立ち上がりから出力電圧 V_1 の立ち下がりまでの期間を期間 B とする。期間 A と期間 B との間にはデッドタイムが設けられている。なお、図 2 は、出力電圧 V_1 が出力電圧 V_2 より大きい場合の例を示している。

【0050】

期間 A 及び期間 B において、各スイッチング素子 Q1～Q8 は、それぞれ、以下の表 1 に示すように制御（スイッチング）される。

【0051】

【表 1】

	Q1 Q4	Q2 Q3	Q5 Q8	Q6 Q7
期間A	ON	OFF	OFF	ON
期間B	ON	OFF	ON	OFF

【0052】

図 2 を参照して、期間 A ではリアクトル電流 I_2 が増加しており、期間 A の終了直前にはリアクトル電流 I_2 は「正」の値となっている。リアクトル電流 I_2 の流れる向きについては、トランス T R の二次側コイル 6 2 からリアクトル L_2 に流れる電流の向きを正方向と定義する。デッドタイムを挟んで期間 B へと移行する。期間 B では、一次側から二次側に電力が伝送（伝達）される。破線 a で囲んで示すように、期間 A から期間 B に切替わる時のリアクトル電流 I_2 の値は「正」になっており、リアクトル電流 I_2 は、トランス T R の二次側コイル 6 2 からリアクトル L_2 に向けて流れている。

【0053】

図 3 を参照して、期間 A の終了直前は、一次側ブリッジ回路 100 では、スイッチング素子 Q 1 及び Q 4 がオンにされ、スイッチング素子 Q 2 及び Q 3 がオフにされている。二次側ブリッジ回路 120 では、スイッチング素子 Q 6 及び Q 7 がオンにされ、スイッチング素子 Q 5 及び Q 8 がオフにされている。期間 A の終了直前はリアクトル電流 I_2 の値が「正」であるため、電流は、太線矢印のように流れている。

【0054】

図 4 を参照して、デッドタイムでは、二次側ブリッジ回路 120 のスイッチング素子 Q 5 ～ Q 8 の全てがオフにされる。このとき、スイッチング素子 Q 5 の還流ダイオード D 5 が導通するとともに、スイッチング素子 Q 8 の還流ダイオード D 8 が導通する。そのため、デッドタイムにおいても、太線矢印で示される経路に沿って電流が流れ続ける。

【0055】

図 5 を参照して、期間 B では、スイッチング素子 Q 5 及びスイッチング素子 Q 8 がオンされる。スイッチング素子 Q 5 は、還流ダイオード D 5 が導通した状態、すなわち、電圧 0 V の状態でオンされる。そのため、スイッチング素子 Q 5 をオンにするスイッチングは ZVS（Zero Voltage Switching）となる。同様に、スイッチング素子 Q 8 は、還流ダイオード D 8 が導通した状態、すなわち、電圧 0 V の状態でオンされる。そのため、スイッチング素子 Q 8 をオンにするスイッチングも ZVS となる。したがって、期間 B に移行するためのスイッチング素子 Q 5 及びスイッチング素子 Q 8 は、いずれも、ソフトスイッチングとなる。

【0056】

〔ハードスイッチングの動作例〕

図 6 に、ソフトスイッチングが成立しない場合、すなわちハードスイッチングとなる場合の電圧及び電流の波形を示す。図 6 の上段は、一次側ブリッジ回路の出力電圧 V_1 及び二次側ブリッジ回路の出力電圧 V_2 の波形図であり、下段は、リアクトル電流 I_2 の波形図である。この動作例では、ソフトスイッチングの動作例と同様、一次側ブリッジ回路及び二次側ブリッジ回路は、それぞれ、出力電圧 V_1 及び出力電圧 V_2 が Duty 50 % の矩形波となるように制御されている。期間 A は、出力電圧 V_1 の立ち上がりから出力電圧 V_2 の立ち上がりまでの期間であり、期間 B は、出力電圧 V_2 の立ち上がりから出力電圧 V_1 の立ち下がりまでの期間である。期間 A と期間 B との間にデッドタイムが設けられている点も同様である。なお、図 6 も、出力電圧 V_1 が出力電圧 V_2 より大きい場合の例を示している。

【0057】

各スイッチング素子 Q 1 ～ Q 8 は、期間 A 及び期間 B において、ソフトスイッチングの動作例と同様に制御される。すなわち、各スイッチング素子 Q 1 ～ Q 8 は、それぞれ、表 1 に示したように制御される。

【0058】

図 6 を参照して、期間 A ではリアクトル電流 I_2 が増加しているものの、期間 A の終了直前にはリアクトル電流 I_2 は「負」の値となっている。デッドタイムを挟んで期間 B へと移行する。期間 B では、一次側から二次側に電力が伝送（伝達）される。これより、破線 b で囲んで示すように、期間 A から期間 B に切替わる時のリアクトル電流 I_2 の値は「負」になっており、リアクトル電流 I_2 は、リアクトル L_2 からトランス T R の二次側コイル 6 2 に向けて流れている。

【 0 0 5 9 】

図 7 を参照して、期間 A の終了直前はリアクトル電流 I_2 の値が「負」であるため、電流は、太線矢印のように流れている。すなわち、図 3 で示した、ソフトスイッチングの場合とは逆方向に電流が流れている。

【 0 0 6 0 】

図 8 を参照して、デッドタイムでは、二次側ブリッジ回路 120 のスイッチング素子 Q5 ~ Q8 の全てがオフにされる。このとき、スイッチング素子 Q6 の還流ダイオード D6 が導通するとともに、スイッチング素子 Q7 の還流ダイオード D7 が導通する。そのため、デッドタイムにおいても、太線矢印で示される経路に沿って、期間 A の時と同方向に電流が流れ続ける。

10

【 0 0 6 1 】

図 9 を参照して、期間 B では、スイッチング素子 Q5 及びスイッチング素子 Q8 がオンされる。しかし、スイッチング素子 Q5 は、スイッチング素子 Q6 の還流ダイオード D6 が導通した状態、すなわち、スイッチング素子 Q5 の電圧が 0 V ではない状態でオンされるため、ZVS にはならない。同様に、スイッチング素子 Q8 は、還流ダイオード D7 が導通した状態、すなわち、スイッチング素子 Q8 の電圧が 0 V ではない状態でオンされるため、ZVS にはならない。したがって、期間 B に移行するためのスイッチング素子 Q5 及びスイッチング素子 Q8 は、いずれも、ハードスイッチングとなる。

【 0 0 6 2 】

以上のように、期間 A の終了直前（期間 A から期間 B に切替わる時）のリアクトル電流 I_2 の値が「正」か「負」かによって、ソフトスイッチングになるかハードスイッチングになるかの判断が可能である。

20

【 0 0 6 3 】

〔制御部 160 による制御〕

制御部 160 は、電力変換装置 50 の直流出力電圧及び出力電力に基づいて、各ブリッジ回路のスイッチングがソフトスイッチングか否かを判定する機能を持つ。制御部 160 は、一次側ブリッジ回路 100 及び二次側ブリッジ回路 120 のスイッチングがソフトスイッチングでない場合、すなわち、ハードスイッチングとなっている場合に、ソフトスイッチングが成立する周波数に動作周波数を変更する。この構成について、より詳細に説明する。

30

【 0 0 6 4 】

電力変換装置 50 は、DAB 方式の DC / DC コンバータであるため、出力電力 P は以下の式 (1) で表される。

【 0 0 6 5 】

【数 1】

$$P = \frac{E_1 E_2'}{\omega L_r} \phi \left(1 - \frac{\phi}{\pi} \right) \quad \cdots (1)$$

40

P : 出力電力

E_1 : 入力電圧

E_2' : トランスの巻き数比を考慮した出力電圧（直流出力電圧）
（出力電圧 E_2 を一次側に換算した電圧）

L_r : トランスに直列のインダクタ成分の合計値

ω : スwitchング周波数 $\times 2\pi$

ϕ : ブリッジ回路間の位相差

【 0 0 6 6 】

出力電力 P は、式 (2) の形に書き換えることができる。

50

【 0 0 6 7 】

【数 2】

$$P = \frac{E_1 E_2}{L_r} \cdot \frac{T_p (T - 2T_p)}{T} \quad \cdot \cdot \cdot (2)$$

T：スイッチング周期

T_p：位相差E₂：出力電圧（直流出力電圧）式 3 では、トランスの巻き数比を 1：1 として、E₂' = E₂ としている。

【 0 0 6 8 】

この式（2）より、位相差 T_p は、式（3）で表される。

【 0 0 6 9 】

【数 3】

$$T_p = \frac{T}{4} - \sqrt{\frac{T^2}{16} - \frac{L_r T}{2E_1 E_2} \cdot P} \quad \cdot \cdot \cdot (3)$$

【 0 0 7 0 】

図 10 を参照して、例えば、電力変換装置の入力電圧 E₁（図 1）が出力電圧 E₂（図 1）より大きい場合（E₁ > E₂）、期間 A の終了直前のリアクトル電流 I₂ は式（4）で表すことができる。なお、期間 B の終了直前のリアクトル電流 I₂ は式（5）で表すことができる。

【 0 0 7 1 】

【数 4】

$$I_2 = \left(-\frac{T}{4} + T_p \right) E_1 + \frac{T}{4} E_2 \quad \cdot \cdot \cdot (4)$$

【 0 0 7 2 】

【数 5】

$$I_2 = \frac{T}{4} E_1 + \left(-\frac{T}{4} + T_p \right) E_2 \quad \cdot \cdot \cdot (5)$$

【 0 0 7 3 】

上述したように、期間 A の終了直前（期間 A から期間 B に切替わる時）のリアクトル電流 I₂ の値が「正」か「負」かによって、ソフトスイッチングが成立するか否かが決まる。リアクトル電流 I₂ の値が「正」（> 0）の場合はソフトスイッチングになり、「負」（< 0）の場合はハードスイッチングになる。期間 A におけるリアクトル電流の変化量 ΔI は、位相差 T_p（すなわち出力電力 P）に依存する。そのため、ソフトスイッチングが成立するか否かも出力電力 P に依存する。

【 0 0 7 4 】

ハードスイッチングかソフトスイッチングかの境界条件は、電力変換装置の入力電圧 E₁ が出力電圧 E₂ より大きい場合（E₁ > E₂）、以下の式（6）で表すことができる。式（6）は、式（3）を式（4）に代入することによって得られる。

【 0 0 7 5 】

【数 6】

$$\left(-\sqrt{\frac{T^2}{16} - \frac{L_r T}{2E_1 E_2} \cdot P} \right) E_1 + \frac{T}{4} E_2 > 0 \quad \cdots (6)$$

但し、入力電圧 $E_1 >$ 出力電圧 E_2

【 0 0 7 6 】

入力電圧 E_1 が出力電圧 E_2 より小さい場合 ($E_1 < E_2$)、ハードスイッチングかソフトスイッチングかの境界条件は、以下の式 (7) で表すことができる。

【 0 0 7 7 】

【数 7】

$$\frac{T}{4} E_1 - \left(\sqrt{\frac{T^2}{16} - \frac{L_r T}{2E_1 E_2} \cdot P} \right) E_2 > 0 \quad \cdots (7)$$

但し、入力電圧 $E_1 <$ 出力電圧 E_2

【 0 0 7 8 】

式 (6) 又は式 (7) を満たす場合、ソフトスイッチングが成立し、満たさない場合はハードスイッチングとなる。なお、式 (6) 及び式 (7) は、トランスの巻き数比が 1 : 1 の場合を示している。トランスの巻き数比が 1 : 1 以外の場合は、出力電圧 E_2 を、トランスの巻き数比を考慮した出力電圧 E_2' とすればよい。

【 0 0 7 9 】

式 (6) 及び式 (7) より、入力電圧 E_1 を一定 (固定) とした場合のパラメータは、出力電圧 E_2 、出力電力 P 、及びスイッチング周期 T (すなわち動作周波数) である。そのため、出力電圧 E_2 、及び出力電力 P を監視することによって、スイッチング周期 T でブリッジ回路を駆動させているときのスイッチングがソフトスイッチングかハードスイッチングかを判定できる。ソフトスイッチングが成立しない、すなわちハードスイッチングと判定された場合、スイッチング周期 T (動作周波数) が変更される。これにより、式 (6) 又は式 (7) が満たされ、ソフトスイッチングを行うことが可能となる。

【 0 0 8 0 】

このように、本実施の形態に係る電力変換装置 50 (制御部 160) は、期間 A の終了直前のリアクトル電流 I_2 (リアクトル電流 I_2 と一致する出力電流) の瞬時値を計測してソフトスイッチングが成立するか否かを判定するのではなく、電力変換装置 50 の出力電圧 E_2 、及び出力電力 P に基づいて、期間 A の終了直前のリアクトル電流 I_2 の値が「正」か「負」かを判定し、これによって、ソフトスイッチングが成立するか否かを判定する。

【 0 0 8 1 】

再び図 1 を参照して、例えば、制御部 160 の記憶部 164 には基準となる動作周波数 (スイッチング周波数) 以外の動作周波数が記憶されている。記憶する動作周波数は、例えば、電力変換装置 50 の直流出力電圧及び出力電力が変更された場合に、その直流出力電圧及び出力電力でソフトスイッチングを実現することが可能な動作周波数を上記式 (6) 及び式 (7) を用いて決定するのが好ましい。制御部 160 は、ソフトスイッチングが成立しないと判定された場合に、記憶部 164 に記憶されている他の動作周波数に一次側ブリッジ回路 100 及び二次側ブリッジ回路 120 の動作周波数を切替える。

【 0 0 8 2 】

10

20

30

40

50

〔ソフトウェア構成〕

図 1 1 及び図 1 2 を参照して、電力変換装置 5 0 の出力電圧（直流出力電圧）と出力電力とに基づいて、ソフトスイッチングが成立する条件で一次側ブリッジ回路 1 0 0 及び二次側ブリッジ回路 1 2 0 の駆動を制御するために、制御部 1 6 0（図 1 参照）で実行されるコンピュータプログラムの制御構造について説明する。このプログラムは、電力変換装置 5 0 に対する動作開始の指示に応じて開始する。図 1 1 に示されるプログラムは、一次側ブリッジ回路 1 0 0 及び二次側ブリッジ回路 1 2 0 のスイッチングを制御するプログラムであり、図 1 2 に示されるプログラムは、各ブリッジ回路の駆動時のスイッチングを判定し、その判定結果に応じて動作周波数を変更するプログラムである。図 1 1 のプログラムと図 1 2 のプログラムとは、並列で実行される。

10

〔0083〕

図 1 1 を参照して、このプログラムは、動作周波数を初期化（基準周波数を設定）するとともに、記憶部 1 6 4 の共有領域の F l a g を初期化（F l a g = 0）するステップ S 1 0 0 0 と、ステップ S 1 0 0 0 の後に実行され、動作周波数を読み込むステップ S 1 0 1 0 と、ステップ S 1 0 1 0 の後に実行され、読み込んだ動作周波数にて一次側ブリッジ回路 1 0 0 及び二次側ブリッジ回路 1 2 0 をスイッチングすることで各ブリッジ回路を駆動制御するステップ S 1 0 3 0 を、1 サイクルのスイッチングを 1 回として、各ブリッジ回路のスイッチングが所定回数になるまで繰り返すステップ S 1 0 2 0 と、ステップ S 1 0 2 0 の後に実行され、F l a g を 1 に設定するステップ S 1 0 4 0 と、ステップ S 1 0 4 0 の後に実行され、電力変換装置 5 0 の動作を停止させる動作停止の指示がされたか否かを判定し、判定結果に応じて制御の流れを分岐させるステップ S 1 0 5 0 とを含む。ステップ S 1 0 5 0 において、動作停止の指示がされていないと判定された場合、制御はステップ S 1 0 1 0 に戻る。ステップ S 1 0 5 0 において、動作停止の指示がされていると判定された場合、このプログラムは終了する。

20

〔0084〕

図 1 2 を参照して、このプログラムは、記憶部 1 6 4 の共有領域を監視し、F l a g が 1 に設定されるまで待機するステップ S 2 0 0 0 と、F l a g が 1 に設定された場合に、電流センサ 1 4 0 及び電圧センサ 1 5 0 を介して、出力電流及び直流出力電圧を検出するステップ S 2 0 1 0 と、ステップ S 2 0 1 0 の後に実行され、出力電流及び直流出力電圧を用いて出力電力を算出するステップ S 2 0 2 0 と、ステップ S 2 0 2 0 の後に実行され、直流出力電圧及び出力電力に基づいて、ブリッジ回路のスイッチングがソフトスイッチングか否かを判定し、判定結果に応じて制御の流れを分岐させるステップ S 2 0 3 0 と、ステップ S 2 0 3 0 において、ソフトスイッチングではない（ハードスイッチングである）と判定された場合に実行され、動作周波数を変更するステップ S 2 0 4 0 と、ステップ S 2 0 3 0 において、ソフトスイッチングであると判定された場合、又はステップ S 2 0 4 0 の後に実行され、F l a g を 0 に設定するステップ S 2 0 5 0 と、ステップ S 2 0 5 0 の後に実行され、電力変換装置 5 0 の動作を停止させる動作停止の指示がされたか否かを判定し、判定結果に応じて制御の流れを分岐させるステップ S 2 0 6 0 とを含む。ステップ S 2 0 6 0 において、動作停止の指示がされていないと判定された場合、制御はステップ S 2 0 0 0 に戻る。ステップ S 2 0 6 0 において、動作停止の指示がされていると判定された場合、このプログラムは終了する。

30

40

〔0085〕

〔動作〕

本実施の形態に係る電力変換装置 5 0 は以下のように動作する。

〔0086〕

図 1 を参照して、電力変換装置 5 0 の制御部 1 6 0 は、動作開始の指示を受けると、動作周波数を初期化するとともに F l a g を初期化する。具体的には、制御部 1 6 0 は、基準となる動作周波数を設定するとともに、F l a g に 0 を設定する（図 1 1 のステップ S 1 0 0 0）。制御部 1 6 0 は、設定した動作周波数を読み込むことによって（ステップ S 1 0 1 0）、その動作周波数で各ブリッジ回路を駆動する（ステップ S 1 0 3 0）。その

50

際、一次側ブリッジ回路１００と二次側ブリッジ回路１２０との間で電圧の位相差が生じるように、一次側ブリッジ回路１００及び二次側ブリッジ回路１２０のスイッチングを制御する。本実施の形態では、制御部１６０は、入力電圧を所定の一定電圧として一次側ブリッジ回路１００及び二次側ブリッジ回路１２０を動作させるものとする。

【００８７】

１サイクルのスイッチングを１回として所定回数（例えば１０回）のスイッチングが行われると、制御部１６０は、Ｆｌａｇに１を設定する。制御部１６０は、動作停止の指示があるまで、ステップＳ１０１０～ステップＳ１０４０の処理を繰り返す。制御部１６０は、一次側ブリッジ回路１００及び二次側ブリッジ回路１２０のスイッチング制御と並行して、ソフトスイッチングが行われているか否かを判定する処理を実行する。制御部１６０は、Ｆｌａｇが１に設定されると（図１２のステップＳ２０００においてＹＥＳ）、この処理を実行する。すなわち、この処理は、ブリッジ回路のスイッチングを所定サイクル（例えば１０サイクル）行う毎に実行される。

【００８８】

具体的には、制御部１６０は、電流センサ１４０及び電圧センサ１５０を介して出力電圧及び出力電流を検出し（図１２のステップＳ２０１０）、検出した出力電圧及び出力電流から出力電力を算出する（ステップＳ２０２０）。出力電力の算出に用いる出力電流は、例えば、スイッチング周期当たりの平均電流でよい。制御部１６０は、電力変換装置５０の直流出力電圧及び出力電力に基づいて、上記した式（６）又は式（７）を満たすか否かを判定する。式（６）及び式（７）のいずれを用いるかは出力電圧 E_2 を入力電圧 E_1 と比較することによって決まる。式（６）又は式（７）を満たす場合、制御部１６０は、ソフトスイッチングが実行されていると判定する（ステップＳ２０３０においてＹＥＳ）。一方、式（６）又は式（７）を満たさない場合、制御部１６０は、ソフトスイッチングが実行されていない、すなわちハードスイッチングになっていると判定する（ステップＳ２０３０においてＮＯ）。

【００８９】

制御部１６０は、ソフトスイッチングが実行されていないと判定すると、動作周波数を変更する（ステップＳ２０４０）。制御部１６０は、Ｆｌａｇを０に設定し（ステップＳ２０５０）、Ｆｌａｇが１に設定されるまで再び待機する。動作周波数を変更されると、制御部１６０は、変更後の動作周波数を読み込み（図１１のステップＳ１０１０）、変更後の動作周波数で各ブリッジ回路を駆動する（ステップＳ１０３０）。

【００９０】

動作停止の指示がなされると、制御部１６０は、一次側ブリッジ回路１００及び二次側ブリッジ回路１２０の動作を停止させる（図１１のステップＳ１０５０においてＹＥＳ、及び図１２のステップＳ２０６０においてＹＥＳ）。

【００９１】

〔本実施の形態の効果〕

以上の説明から明らかなように、本実施の形態に係る電力変換装置５０は以下に述べる効果を奏する。

【００９２】

制御部１６０は、電力変換装置５０の出力電圧（直流出力電圧）及び出力電力に基づいて、一次側ブリッジ回路１００及び二次側ブリッジ回路１２０の動作周波数をソフトスイッチングが成立する周波数に切替える。すなわち、出力電圧及び出力電力に基づいて動作周波数を切替えることで、スイッチング素子がハードスイッチングになるのを抑制する。これにより、ハードスイッチングに起因するスイッチング損失を低減して、電力変換効率の低下を抑制できる。加えて、出力電圧及び出力電力に基づいて動作周波数を切替える構成とすることによって、入出力電圧又は出力電力が変化した場合でもソフトスイッチングを実現できる。さらに、動作周波数を切替える構成では、スイッチング素子の開閉状態の切替えタイミングを制御する場合とは異なり、リアクトル電流と一致する出力電流の瞬時値を検出する必要がない。そのため、動作周波数を容易に高周波化できるとともに、コン

デンサ等の素子を設けることによって、サージ対策、又はノイズ対策等を図ることもできる。このように、上記構成を採用することによって、設計自由度の低下の抑制と、ハードスイッチングの抑制とを両立できる。

【0093】

なお、期間Aの終了直前のリアクトル電流の瞬時値を計測し、その正負に応じて二次側ブリッジ回路におけるスイッチング素子の開閉状態の切替えタイミングを制御する方法の場合、電流センサの遅延等を考慮すると、制御周波数を例えば100kHz以上に高周波化することが困難となる。

【0094】

電力変換装置50は、二次側における出力電流及び出力電圧（直流出力電圧）をそれぞれ検出する電流センサ140及び電圧センサ150を含む。制御部160は、電圧センサ150で検出した出力電圧、出力電流と出力電圧から算出した出力電力に基づいて、一次側ブリッジ回路100及び二次側ブリッジ回路120の動作周波数を切替える。出力電力の算出に用いる出力電流は、例えば、スイッチング周期当たりの平均電流でよく、リアクトル電流と一致する出力電流の瞬時値を電流センサで検出する必要がない。そのため、電流センサ140として安価な電流センサを用いることができる。電流センサ140の選択肢が広がるため、設計自由度をより高めることができる。加えて、電流センサ140に遅延があっても、動作周波数を高周波化できる。これにより、出力電力が小さい場合でも、容易に周波数を上げてソフトスイッチングを実現できる。

【0095】

〔検証〕

本実施の形態に係る電力変換装置50の効果を確認するために行った検証の結果について説明する。

【0096】

この検証では、入力電圧 E_1 を400V、出力電圧 E_2 を300V、インダクタのL値を33 μ Hとした。

【0097】

図13に、動作周波数30kHz、出力電力3.6kWで電力変換装置を動作させた場合の動作結果を示す。図13を参照して、スイッチング素子Q6は、図2～図5に示したように、リアクトル電流 I_2 が正の状態ではゲートをオフするため、インダクタに蓄えられたエネルギーでスイッチング素子Q5の並列容量成分の電荷が放電される。そのため、スイッチング素子Q5のドレインソース間電圧 V_{ds_Q5} が低下してから、ゲートソース間電圧 V_{gs_Q5} が立ち上がる。そのため、スイッチング素子Q5はソフトスイッチングとなる。

【0098】

この状態から出力電力を1.8kWに下げる場合、動作周波数を30kHzに維持したままで、位相差を小さくすることが考えられる。DAB方式のDC/DCコンバータでは、通常、このように制御されている。図14に、このように動作させた場合の動作結果を示す。

【0099】

図14を参照して、出力電力を1.8kWに下げることによって、期間Aの終了直前（破線の丸で囲んだ部分）のリアクトル電流 I_2 の値は負となっている。スイッチング素子Q6は、リアクトル電流 I_2 が負の状態ではゲートをオフする。図6～図9に示したように、スイッチング素子Q6は、逆方向に電流を流すことのできる還流ダイオードを含むため、ゲートをオフしてもインダクタの電流経路は変わらない。そのため、スイッチング素子Q5の電荷放電は行われず、スイッチング素子Q5のドレインソース間電圧 V_{ds_Q5} が低下する前にゲートソース間電圧 V_{gs_Q5} が立ち上がる。そのため、この場合のスイッチング素子Q5はハードスイッチングとなり、大きなスイッチング損失が発生する。

【0100】

本実施の形態では、出力電力を1.8kWに下げる場合、動作周波数を変更した上で各

10

20

30

40

50

ブリッジ回路の駆動を行う。その際、フィードバック制御によって、位相差を若干調整することがある。

【0101】

図15に、動作周波数60kHz、出力電力1.8kWで電力変換装置を動作させた場合の動作結果を示す。図15を参照して、出力電力を1.8kWに下げた場合でも、動作周波数を60kHzに上げることによって、期間Aの終了直前（破線の丸で囲んだ部分）のリアクトル電流 I_2 の値は正となる。これにより、スイッチング素子Q6は、リアクトル電流 I_2 が正の状態ゲートでオフすることができるため、スイッチング素子Q5の電荷放電を引き出すことができる。そのため、スイッチング素子Q5はソフトスイッチングとなり、出力電力が小さい場合でもソフトスイッチングを維持できる。

10

【0102】

以上より、本実施の形態に係る電力変換装置50によれば、出力電力が小さい場合でもソフトスイッチングが維持できることが確認できた。

【0103】

（第2の実施の形態）

図16を参照して、本実施の形態に係る電力変換装置50Aは、外部装置200から制御指令を受け取り、制御指令に含まれる出力電力の指示値を用いてソフトスイッチングか否かの判定を行う点において、第1の実施の形態とは異なる。

【0104】

電力変換装置50Aは、制御部160（図1）に代えて、制御部160Aを含む。この制御部160Aは、外部装置200からの制御指令に基づいて、一次側ブリッジ回路100及び二次側ブリッジ回路120の駆動を制御する。制御指令には出力電力の指示値が含まれ、制御部160Aは、指示値が示す出力電力となるように、一次側ブリッジ回路100及び二次側ブリッジ回路120を制御する。

20

【0105】

図17を参照して、制御部160Aは、一次側ブリッジ回路100及び二次側ブリッジ回路120の駆動を制御する駆動制御部170、出力電力を外部からの指示値として取得する取得部172、ソフトスイッチングが行われているか否かを判定する判定部174、判定部174の判定結果に応じて動作周波数を変更する周波数変更部176を機能部として含む。

30

【0106】

制御部160Aは、ソフトスイッチングが行われているか否かの判定を行う際に、指示値が示す出力電力を用いる。すなわち、制御部160Aは、指示値が示す出力電力及び電圧センサ150を介して検出した出力電圧（直流出力電圧）に基づいて当該判定を行う。出力電力を算出する必要がないため、ソフトスイッチングが行われているか否かの判定を容易に行うことができる。したがって、本実施の形態によれば、容易に、ハードスイッチングに起因する電力変換効率の低下を抑制できる。

【0107】

（第3の実施の形態）

本実施の形態に係る電力変換装置は、基準となる動作周波数にてソフトスイッチングが可能か否かを判断するテーブル（以下「マップ」と呼ぶ。）を用いて、動作周波数を切替えるか否かを判定する点において、第1の実施の形態とは異なる。マップは、種々の直流出力電圧値及び出力電力値に対してソフトスイッチングの成立条件を満たすか否かを示す。

40

【0108】

図18に、基準となる動作周波数が250kHzの場合のマップの一例を示す。図18を参照して、このマップは、縦軸（行）を出力電力（W）、横軸（列）を直流出力電圧（V）とするマトリクス形状である。マップは、上記した式（6）及び式（7）を用いて、ソフトスイッチングが可能か否かを直流出力電圧及び出力電力毎に算出し、その結果を示している。算出に際し用いた入力電圧は400V、トランスに直列のインダクタ成分の合計値 L_r は40μHである。マップ中の「TRUE」は、ソフトスイッチングが可能であ

50

ることを示しており、「FALSE」は、ソフトスイッチングが不可（ハードスイッチング）であることを示している。例えば、出力電力が1600W、直流出力電圧が300Vの場合は「TRUE」であるため、この場合は、ソフトスイッチングが可能であると判定される。一方、例えば、出力電力が1000W、直流出力電圧が300Vの場合は「FALSE」であるため、この場合は、ハードスイッチングと判定される。図18では、切替える動作周波数が異なることを示すために、便宜的に、「FALSE」を「FALSE1」と「FALSE2」とに分けて示している。FALSE1及びFALSE2は、いずれも、ソフトスイッチングが不可（ハードスイッチング）であることを示す点においては同じである。

【0109】

図18に示したようなマップが制御部（記憶部）に予め記憶されており、本実施の形態に係る電力変換装置は、ソフトスイッチングが可能か否かを判断する際に、記憶部に記憶されているマップを参照する。図18に示すマップの「FALSE1」及び「FALSE2」には、それぞれ、切替える動作周波数（ソフトスイッチングが可能な所定の動作周波数）が対応付けられている。FALSE1には、例えば、500kHzの動作周波数が対応付けられており、FALSE2には、500kHzより高い所定の動作周波数（例えば、800kHz）が対応付けられている。すなわち、FALSE2の条件は500kHzの動作周波数でもソフトスイッチングが不可のため、FALSE2には、500kHzより高い動作周波数が対応付けられている。

【0110】

〔ソフトウェア構成〕

本実施の形態に係る電力変換装置では、図12に示されるプログラムに代えて、図19に示されるプログラムが実行される。図19に示されるプログラムは、図11のプログラムと並列で実行される。

【0111】

図19のプログラムは、図12のプログラムにおいて、ステップS2030に代えて、ステップS2032及びステップS2034を含む。図19のステップS2000～ステップS2020、及びステップS2040～ステップS2060における処理は、図12に示される各ステップにおける処理と同じである。以下、異なる部分について説明する。

【0112】

図19を参照して、このプログラムは、ステップS2020の後に実行され、マップを参照するステップS2032と、ステップS2032の後に実行され、マップと、直流出力電圧及び出力電力とに基づいて、ブリッジ回路のスイッチングがソフトスイッチングか否かを判定し、判定結果に応じて制御の流れを分岐させるステップS2034とを含む。ステップS2034において、ソフトスイッチングではない（ハードスイッチングである）と判定された場合、制御はステップS2040に進む。ステップS2034において、ソフトスイッチングであると判定された場合、制御はステップS2050に進む。

【0113】

〔動作〕

本実施の形態に係る電力変換装置は以下のように動作する。なお、マップを参照してソフトスイッチングが可能か否かを判断する動作を除いた動作は、上記第1の実施の形態と同様である。したがって、同様の動作についての詳細な説明は繰返さない。

【0114】

電力変換装置は、マップを参照して、直流出力電圧及び出力電力に対応する真理値を抽出する。電力変換装置は、抽出した真理値が「TRUE」の場合（ステップS2034においてYES）、ソフトスイッチングが実行されていると判断して、実行中の動作周波数（例えば250kHz）を維持する。一方、抽出した真理値が「FALSE」の場合（ステップS2034においてNO）、電力変換装置は、ソフトスイッチングが実行されていない（ハードスイッチングになっている）と判断して、動作周波数を変更する（ステップS2040）。具体的には、抽出した真理値が「FALSE（FALSE1）」であって

10

20

30

40

50

、実行中の動作周波数が 250 kHz の場合、電力変換装置は、動作周波数を例えば 500 kHz に切替える。抽出した真理値が「FALSE (FALSE 2)」の場合、電力変換装置は、動作周波数をソフトスイッチングが可能な所定の周波数（例えば 800 kHz ）に切替える。

【0115】

電力変換装置は、複数の動作周波数に対応するマップを記憶しておき、動作周波数を切替えた後に、切替え後の動作周波数に対応するマップを参照して、引き続き、ソフトスイッチングが可能か否かを判断するようにしてもよい。例えば、動作周波数を 500 kHz に切替えた後に、 500 kHz に対応するマップを参照して、ソフトスイッチングが可能か否かを判断してもよい。この場合、マップの真理値を FALSE 1 及び FALSE 2 のように区分けする必要がなく、単に、「TRUE」、「FALSE」とすることができる。

10

【0116】

さらに、例えば、動作周波数を 500 kHz に切替えた後も、 250 kHz のマップを参照して、ソフトスイッチングが可能と判断された場合に動作周波数を 250 kHz に戻すようにしてもよい。DAB方式のDC/DCコンバータでは、動作周波数を高くすると出力可能な電力の上限値が小さくなる。そのため、ソフトスイッチングが可能と判断された場合に動作周波数を 250 kHz に戻すことによって、出力可能な電力の範囲を高めることができる。

【0117】

このように、ソフトスイッチングが可能か否かを判断する際にマップ（テーブル）を参照することによって、ソフトスイッチングが可能か否かの判断が容易になる。そのため、より容易に、一次側ブリッジ回路及び二次側ブリッジ回路の動作周波数をソフトスイッチングが成立する周波数に切替えることができる。

20

【0118】

（第4の実施の形態）

本実施の形態では、ソフトスイッチングが成立するか否かを示すマップに基づいて、動作周波数を切替える出力電力のしきい値を求め、出力電力としきい値との比較結果に応じて動作周波数を切替える。その他の構成は、上記した実施の形態と同様である。

【0119】

図20に、動作周波数が 250 kHz の場合のマップの一例を示す。図21に、動作周波数が 500 kHz の場合のマップの一例を示す。図18に示したマップと同様、これらのマップは、縦軸（行）を出力電力（W）、横軸（列）を直流出力電圧（V）とするマトリクス形状である。図20及び図21に示すマップは、上記した式（6）及び式（7）を用いて、ソフトスイッチングが可能か否か直流出力電圧及び出力電力毎に算出し、その結果を示している。算出に際し用いた入力電圧は 400 V 、トランスに直列のインダクタ成分の合計値 L_r は $40\text{ }\mu\text{H}$ である。

30

【0120】

同様に、マップ中の「TRUE」は、ソフトスイッチングが可能であることを示しており、「FALSE」は、ソフトスイッチングが不可（ハードスイッチング）であることを示している。図21のマップにおいて、真理値が示されていない領域は、その条件では動作できない出力不可（DISABLE）の領域である。そのため、出力不可の領域に対応する直流出力電圧及び出力電力の組み合わせは検出されない。

40

【0121】

図20のマップと図21のマップとを組み合わせることによって、図22に示されるマップが得られる。図22を参照して、このマップは、一例として、出力電力が 1800 W 以上の領域に動作周波数 250 kHz のマップ（図20）が適用され、出力電力が 1600 W 以下の領域に動作周波数 500 kHz のマップ（図21）が適用されている。すなわち、図20のマップと図21のマップとを組み合わせることによって、動作周波数を切替える出力電力のしきい値が得られる。図22のマップの例では、出力電力のしきい値として、 1600 W と 1800 W の2つのしきい値が求められる。 1600 W のしきい値は、

50

例えば、動作周波数を 250 kHz から 500 kHz に切替えるときのしきい値であり、1800 W のしきい値は、例えば、動作周波数を 500 kHz から 250 kHz に切替えるときのしきい値とすることができる。

【0122】

〔ソフトウェア構成〕

本実施の形態に係る電力変換装置では、図 12 に示されるプログラムに代えて、図 23 に示されるプログラムが実行される。図 23 に示されるプログラムは、図 11 のプログラムと並列で実行される。

【0123】

図 23 のプログラムは、図 12 のプログラムにおいて、ステップ S2030 及びステップ S2040 に代えて、ステップ S2130 を含む。図 23 のステップ S2000 ～ステップ S2020、ステップ S2050、及びステップ S2060 における処理は、図 12 に示される各ステップにおける処理と同じである。以下、異なる部分について説明する。

【0124】

図 23 を参照して、このプログラムは、ステップ S2020 の後に実行され、動作周波数の切替え処理を行うステップ S2130 を含む。

【0125】

図 24 は、図 23 のステップ S2130 の詳細なフローである。図 24 を参照して、このルーチンは、出力電力が 1600 W 未満か否かを判定し、判定結果に応じて制御の流れを分岐させるステップ S2200 と、ステップ S2200 において、出力電力が 1600 W 未満であると判定された場合に実行され、実行中の動作周波数が 250 kHz か否かを判定し、判定結果に応じて制御の流れを分岐させるステップ S2210 と、ステップ S2210 において、実行中の動作周波数が 250 kHz であると判定された場合に実行され、動作周波数を 500 kHz に切替えるステップ S2220 とを含む。

【0126】

このルーチンはさらに、ステップ S2200 において、出力電力が 1600 W 未満ではないと判定された場合に実行され、出力電力が 1800 W 以上か否かを判定し、判定結果に応じて制御の流れを分岐させるステップ S2230 と、ステップ S2230 において、出力電力が 1800 W 以上であると判定された場合に実行され、実行中の動作周波数が 500 kHz か否かを判定し、判定結果に応じて制御の流れを分岐させるステップ S2240 と、ステップ S2240 において、実行中の動作周波数が 500 kHz であると判定された場合に実行され、動作周波数を 250 kHz に切替えるステップ S2250 とを含む。

【0127】

ステップ S2210 において、実行中の動作周波数が 250 kHz ではないと判定された場合、ステップ S2230 において、出力電力が 1800 W 以上ではないと判定された場合、又はステップ S2240 において実行中の動作周波数が 500 kHz ではないと判定された場合は、このルーチンは終了する。さらに、ステップ S2220 又はステップ S2250 の処理が終了した場合もこのルーチンは終了する。

【0128】

〔動作〕

本実施の形態に係る電力変換装置は、以下のように動作する。なお、動作周波数を切替える動作を除いた動作は、上記第 1 の実施の形態と同様である。したがって、同様の動作についての詳細な説明は繰返さない。

【0129】

図 25 を参照して、例えば動作周波数 250 kHz で電力変換装置が動作しているとする。このときに、出力電力が 1600 W を下回ると（図 24 のステップ S2200 において YES、かつ、ステップ S2210 において YES）、電力変換装置の制御部は、動作周波数を 500 kHz に切替える（ステップ S2220）。さらに、電力変換装置が、例えば動作周波数 500 kHz で動作しているとする。このときに、出力電力が 1800 W を上回ると（ステップ S2230 において YES、かつ、ステップ S2240 において Y

10

20

30

40

50

YES)、電力変換装置の制御部は、動作周波数を250kHzに切替える(ステップS2250)。

【0130】

出力電力が1600W以上1800W未満の場合(図24のステップS2200においてNO、かつ、ステップS2230においてNO)、実行中の動作周波数が維持される。出力電力が1800W以上の場合でも(ステップS2230においてYES)、実行中の動作周波数が250kHzの場合は(ステップS2240においてNO)、その動作周波数が維持される。さらに、出力電力が1600W未満の場合でも(ステップS2200においてYES)、実行中の動作周波数が500kHzの場合は(ステップS2210においてNO)、その動作周波数が維持される。

10

【0131】

〔効果〕

本実施の形態では、ソフトスイッチングか否かを判定するのではなく、ソフトスイッチングか否かを判断するためのマップに基づいて算出したしきい値を用い、出力電力としきい値との比較結果に応じて動作周波数を切替える。これにより、ハードスイッチングになる前に動作周波数を切替えることができるので、ハードスイッチングをより確実に抑制できる。これにより、ハードスイッチングに起因する電力変換効率の低下をより一層容易に抑制することができる。

【0132】

なお、本実施の形態では、電力変換装置の出力電圧(直流出力電圧)によらず、一定の出力電力で動作周波数を切替える例について述べたが、出力電圧に応じて出力電力のしきい値を変えるようにしてもよい。例えば、直流出力電圧が400Vでは出力電力0Wまで250kHz動作を維持する一方、直流出力電圧500Vでは出力電力1600Wを境に250kHz動作と500kHz動作を切替えてもよい。

20

【0133】

さらに、直流出力電圧に応じて動作周波数を切替えてもよい。例えば、出力電力を1000W一定で動作するような場合、直流出力電圧360Vから440Vまでは250kHz動作し、直流出力電圧300Vから360Vまで、及び直流出力電圧440Vから500Vまでは500kHz動作するように構成すれば、ソフトスイッチング動作を維持できる。

30

【0134】

(第5の実施の形態)

本実施の形態に係る電力変換装置は、一次側の入力電圧をも用いてソフトスイッチングか否かの判定を行う点において、第1の実施の形態とは異なる。

【0135】

図26を参照して、本実施の形態に係る電力変換装置50Bは、一次側の入力電圧を検出する電圧センサ152をさらに含む。電力変換装置50Bは、制御部160(図1参照)に代えて、制御部160Bを含む。制御部160Bは、記憶部164に記憶されるプログラムが制御部160とは異なる。

【0136】

〔ソフトウェア構成〕

本実施の形態に係る電力変換装置50Bでは、図12に示されるプログラムに代えて、図27に示されるプログラムが実行される。図27に示されるプログラムは、図11のプログラムと並列で実行される。なお、図27に示されるプログラムでは、初期値として設定される、基準となる動作周波数を例えば250kHzとしている。

40

【0137】

図27のプログラムは、図12のプログラムにおいて、ステップS2010に代えてステップS2012を含み、ステップS2030及びステップS2040に代えて、ステップS2132を含む。図27のステップS2000、ステップS2020、ステップS2050、及びステップS2060における処理は、図12に示される各ステップにおける

50

処理と同じである。以下、異なる部分について説明する。

【0138】

図27を参照して、このプログラムは、ステップS2000において、Flagが1であると判定された場合に実行され、電力変換装置50Bの入力電圧、出力電圧（直流出力電圧）、及び出力電流を検出するステップS2012と、ステップS2020の後に実行され、動作周波数の切替え処理を行うステップS2132とを含む。

【0139】

図28は、図27のステップS2132の詳細なフローである。図28を参照して、このルーチンは、入力電圧 E_1 が出力電圧 E_2 より大きいかなんかを判定し、判定結果に応じて制御の流れを分岐させるステップS2300と、ステップS2300において、入力電圧 E_1 が出力電圧 E_2 より大きいと判定された場合に実行され、上記した式(6)を満たすかなんかを判定し、判定結果に応じて制御の流れを分岐させるステップS2310と、ステップS2310において上記した式(6)を満たすと判定された場合に実行され、動作周波数を250kHzに維持するステップS2320と、ステップS2310において上記した式(6)を満たさないと判定された場合に実行され、動作周波数を500kHzに変更するステップS2330とを含む。

【0140】

このルーチンはさらに、ステップS2300において、入力電圧 E_1 が出力電圧 E_2 より大きくない、すなわち出力電圧 E_2 が入力電圧 E_1 以上であると判定された場合に実行され、上記した式(7)を満たすかなんかを判定し、判定結果に応じて制御の流れを分岐させるステップS2340と、ステップS2340において上記した式(7)を満たすと判定された場合に実行され、動作周波数を250kHzに維持するステップS2350と、ステップS2340において上記した式(7)を満たさないと判定された場合に実行され、動作周波数を500kHzに変更するステップS2360とを含む。

【0141】

ステップS2320、ステップS2330、ステップS2350、又はステップS2360の処理が終了すると、このルーチンは終了する。

【0142】

本実施の形態に係る電力変換装置50Bは、上記のように、一次側の入力電圧をも用いてソフトスイッチングかなんかの判定を行う。そのため、一次側の入力電圧が変わる場合でも、ソフトスイッチングを実現できる。したがって、スイッチング損失を効果的に低減できるので、ハードスイッチングに起因する電力変換効率の低下をより容易に抑制できる。

【0143】

(第6の実施の形態)

図29を参照して、本実施の形態に係る電力変換装置50Cは、フィルタ回路180、及びスナバコンデンサ190をさらに含む点において、第1の実施の形態とは異なる。

【0144】

フィルタ回路180は、二次側ブリッジ回路120と電流センサ140との間に配置され、電流センサ140で検出する出力電流に対して周波数制限をかける。フィルタ回路180は、リアクトル182とコンデンサ184とを含むLCフィルタである。

【0145】

スナバコンデンサ190は、二次側ブリッジ回路120と電流センサ140との間の領域であって、二次側ブリッジ回路120と隣り合う領域に配置されている。すなわち、スナバコンデンサ190は、フィルタ回路180よりも二次側ブリッジ回路120側の領域に配置されている。

【0146】

上記したように、出力電力の算出に用いる電流情報は、周波数制限をかけた情報（例えば高周波成分をカットした情報）でもよい。電流センサ140の電流情報に対して周波数制限をかけるフィルタ回路180を設けることによって、出力電流と出力電圧（直流出力電圧）とを用いて出力電力を算出する際に、出力電力の算出が容易になる。

10

20

30

40

50

【0147】

さらに、スナバコンデンサ190を設けることによって、サージ対策、又はノイズ対策等を図ることができるので、電力変換装置50Cの信頼性を高めることができる。なお、フィルタ回路180、及びスナバコンデンサ190を設けた場合でも、これらを設けない場合と同様に、ソフトスイッチングか否かの判定を行うことができる。

【0148】

本実施の形態では、フィルタ回路180、及びスナバコンデンサ190の両方を設けた例について示したが、本開示はこの構成に限定されない。例えば、フィルタ回路180、及びスナバコンデンサ190のいずれか一方を電力変換装置に設けるようにしてもよい。

【0149】

(第7の実施の形態)

本実施の形態では、上記実施の形態で示した電力変換装置を車載充電器に適用する例について説明する。

【0150】

図30を参照して、本実施の形態に係る車載充電器300は、電力系統340からの交流電力を直流電力に変換して出力するAC／DC変換回路310と、AC／DC変換回路310が変換した直流電力が入力される電力変換装置320とを含む。AC／DC変換回路310と電力変換装置320との間には平滑コンデンサ330が設けられている。なお、図30では、AC／DC変換回路310を制御する制御部、及び電力変換装置320を制御する制御部の記載は省略している。

【0151】

AC／DC変換回路310は、電力系統340からのAC200Vの交流電力を、例えばDC400Vの直流電力に変換する。

【0152】

電力変換装置320は、DAB方式のDC／DCコンバータである。電力変換装置320には、上記実施の形態で示したいずれかの電力変換装置を用いることができる。電力変換装置320は、AC／DC変換回路310から出力されたDC400Vの直流電力を、例えばDC300Vの直流電力に変換して、高圧バッテリー350に出力する。高圧バッテリー350は、車載充電器300によって変換された電力により充電される。

【0153】

[車両への搭載]

図31を参照して、車両400は例えばPHEV(Plug-in Hybrid Electric Vehicle)又はEV(Electric Vehicle)等の電動車両である。この車両400は、充電ソケット410、車載充電器300、高圧バッテリー350、インバータ420、及び駆動装置430を含む。

【0154】

充電ソケット410は、高圧バッテリー350の充電時に充電器(図示せず)の充電プラグが接続される。充電器は電力系統からのAC200Vの交流電力を出力する。充電器からの充電出力は、充電ソケット410を介して車載充電器300に入力される。車載充電器300は、AC200Vの交流電力を、例えばDC300Vの直流電力に変換して、高圧バッテリー350に出力する。

【0155】

インバータ420は、車両コントローラ(図示せず)からの指令により駆動装置430への通電制御を行う。駆動装置430は、モータを含み、高圧バッテリー350から供給される電力により駆動力を生成する。すなわち、駆動装置430は、インバータ420によって変換された交流電力により車輪を回す駆動力を生み出す。

【0156】

(変形例)

上記実施の形態では、2ポートのDAB方式DC／DCコンバータの例について示したが、本開示はそのような実施の形態には限定されない。DAB方式DC／DCコンバータ

10

20

30

40

50

である電力変換装置のポート数は3ポート以上であってもよい。

【0157】

上記実施の形態では、各ブリッジ回路の出力電圧をDuty 50%の矩形波状とする例について示したが、本開示はそのような実施の形態には限定されない。出力電圧のDutyは50%以外であってもよい。さらに、一次側ブリッジ回路のDutyと二次側ブリッジ回路のDutyとは異なる値であってもよい。位相差と動作周波数とによって出力が変わる回路であれば、本開示の技術を適用することが可能である。

【0158】

上記実施の形態では、動作周波数を30kHzと60kHzの2値間で切替える構成について示したが、本開示はそのような実施の形態には限定されない。例えば、30kHz、40kHz、50kHzというように、30kHzと60kHzとの間を細かく区切り、段階的に動作周波数を切替えるようにしてもよいし、30kHzから60kHzの間で連続的に動作周波数を変更するようにしてもよい。上記実施の形態では、動作周波数を250kHzと500kHzとの2値間で切替える構成についても示している。これについても、上記と同様に、250kHzと500kHzとの間を段階的に切替えるように構成してもよいし、250kHzから500kHzの間で連続的に動作周波数を変更するようにしてもよい。

【0159】

上記実施の形態では、図18のマップに示したように、ソフトスイッチングが不可である場合（「FALSE」）に、出力電圧及び出力電力に応じて切替える動作周波数を2つ（「FALSE1」及び「FALSE2」）設定した例を示したが、本開示はこのような構成に限定されない。例えば、切替える動作周波数に応じて切替える動作周波数を3つ以上に設定してもよい。

【0160】

上記実施の形態では、ソフトスイッチングが可能か否かを判断するマップの一例として「TRUE」又は「FALSE」の真理値を用いたマップについて示したが、本開示はそのような実施の形態には限定されない。マップは、真理値以外によりソフトスイッチングが可能か否かを判断するように構成してもよい。例えば、真理値に代えて、ソフトスイッチングが可能な動作周波数を示すマップを用いてもよい。このマップでは、例えば、ソフトスイッチングが可能な出力電圧（直流出力電圧）及び出力電力の組み合わせには動作中の周波数が示され、ソフトスイッチングが不可の出力電圧（直流出力電圧）及び出力電力の組み合わせには変更する周波数が示される。この場合、マップを参照することによって、ソフトスイッチングが可能な動作周波数に容易に切替えることができる。

【0161】

上記実施の形態で示した動作周波数及び出力電力等の値は一例であって、これに限定されるものではない。また、上記実施の形態で示したマップも一例であって適宜変更することができる。マップに示される出力電圧（横軸）及び出力電力（縦軸）は、各々の範囲を示すものとすることもできる。例えば、マップに示される出力電圧320Vは、320V以上340V未満（又は320Vより大きく340V以下）とすることができる。この場合、出力電圧の検出値が例えば330Vの場合、マップの出力電圧320Vの真理値を参照すればよい。同様に、例えば、出力電力1600Wは、1600W以上1800W未満（又は1600Wより大きく1800W以下）とすることができる。この場合、出力電力の値が例えば1650Wの場合、マップの出力電力1600Wの真理値を参照すればよい。

【0162】

なお、上記で開示された技術を適宜組み合わせて得られる実施の形態についても、本開示の技術的範囲に含まれる。

【0163】

今回開示された実施の形態は単に例示であって、本開示が上記した実施の形態のみに限定されるわけではない。本開示の範囲は、発明の詳細な説明の記載を参酌した上で、請求の範囲の各請求項によって示され、そこに記載された文言と均等の意味及び範囲内の全

10

20

30

40

50

ての変更を含む。

【符号の説明】

【0164】

40 第1の直流電源
 42 第2の直流電源
 50、50A～50C、320 電力変換装置
 60 一次側コイル
 62 二次側コイル
 64 コア部材
 100 一次側ブリッジ回路
 110、130、330 平滑コンデンサ
 120 二次側ブリッジ回路
 140 電流センサ
 150、152 電圧センサ
 160、160A、160B 制御部
 162 CPU
 164 記憶部
 170 駆動制御部
 172 取得部
 174 判定部
 176 周波数変更部
 180 フィルタ回路
 184 コンデンサ
 190 スナバコンデンサ
 200 外部装置
 300 車載充電器
 310 AC／DC変換回路
 340 電力系統
 350 高圧バッテリー
 400 車両
 410 充電ソケット
 420 インバータ
 430 駆動装置
 D1～D8 還流ダイオード
 L1、L2、182 リアクトル
 Q1～Q8 スイッチング素子
 TR トランス
 V1、V2 ブリッジ回路の出力電圧
 E1 入力電圧
 E2 出力電圧（直流出力電圧）
 V_{ds_Q5} ドレイン－ソース間電圧
 V_{gs_Q5} ゲート－ソース間電圧

10

20

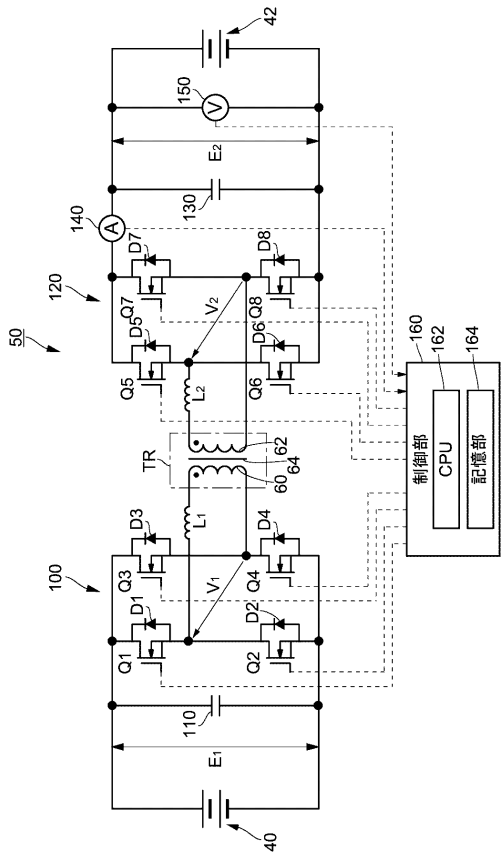
30

40

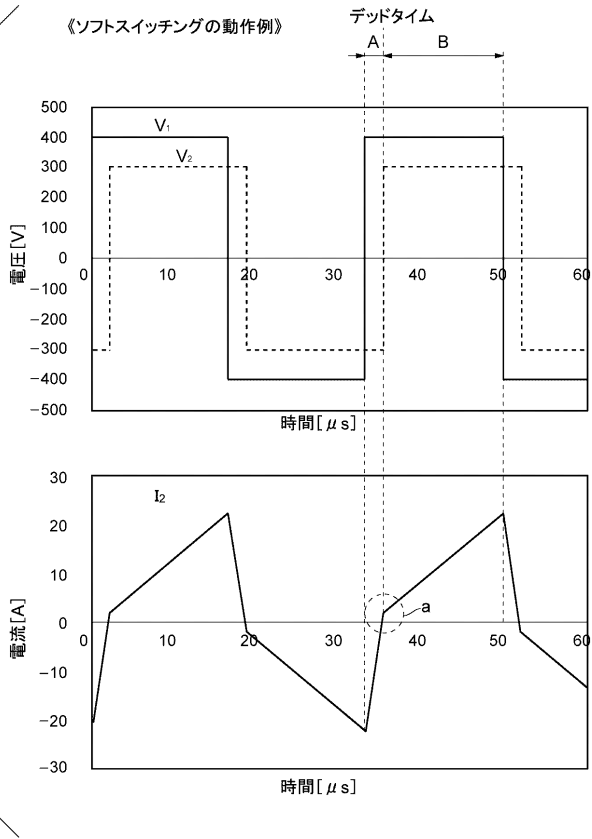
50

【図面】

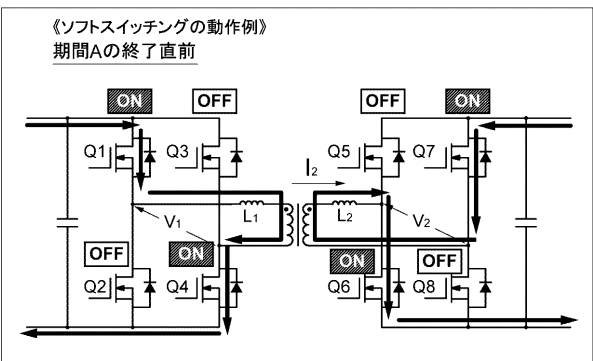
【図 1】



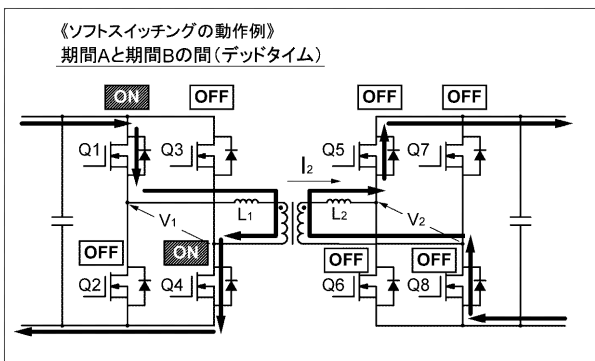
【図 2】



【図 3】



【図 4】



10

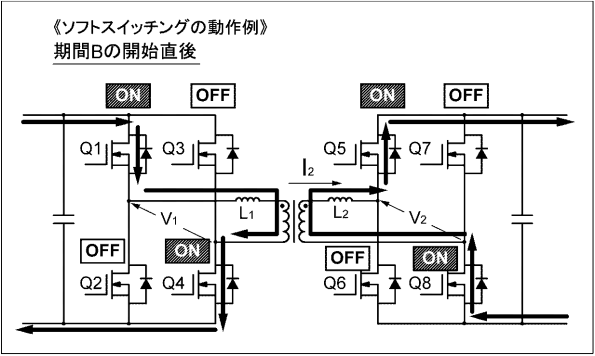
20

30

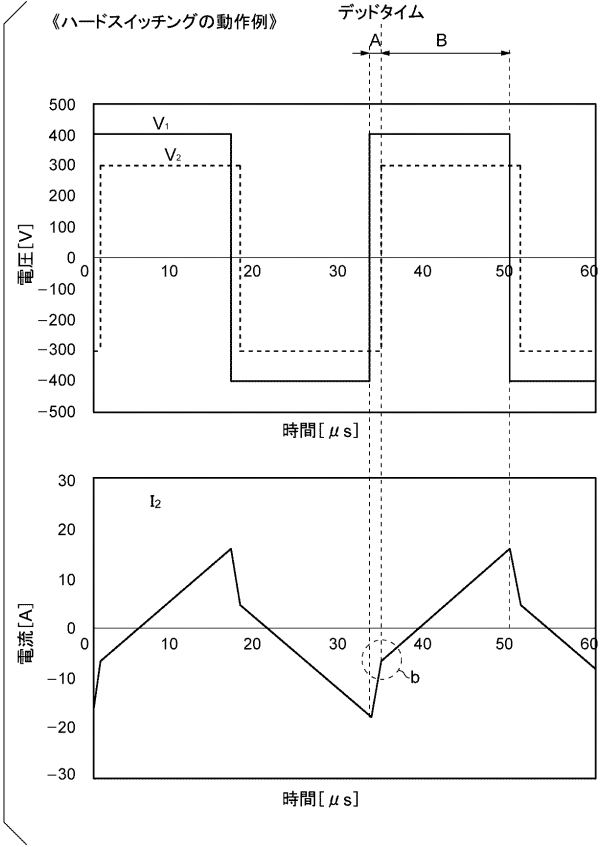
40

50

【図 5】



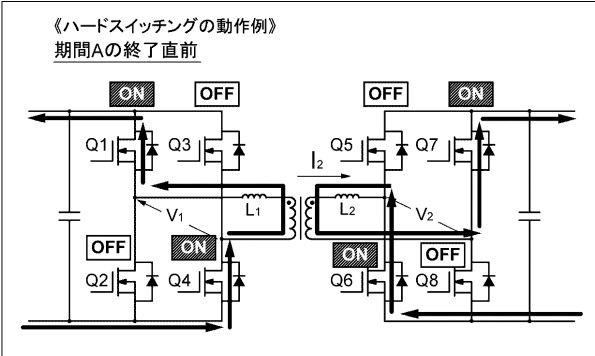
【図 6】



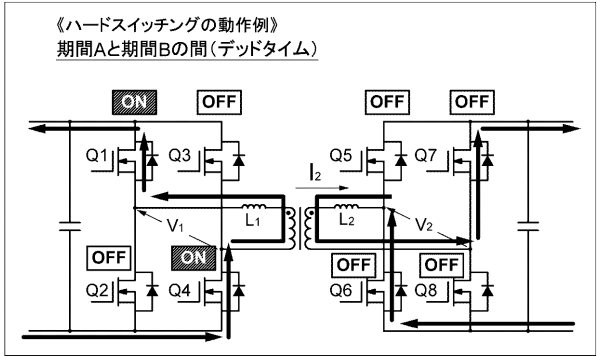
10

20

【図 7】



【図 8】

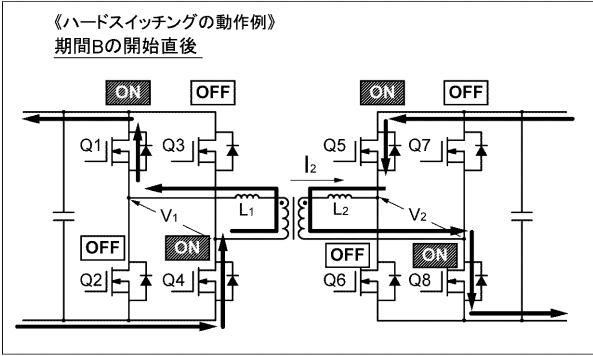


30

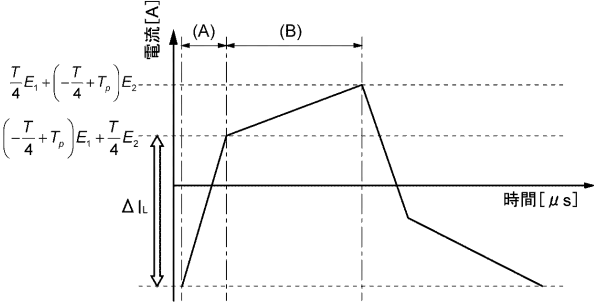
40

50

【図 9】

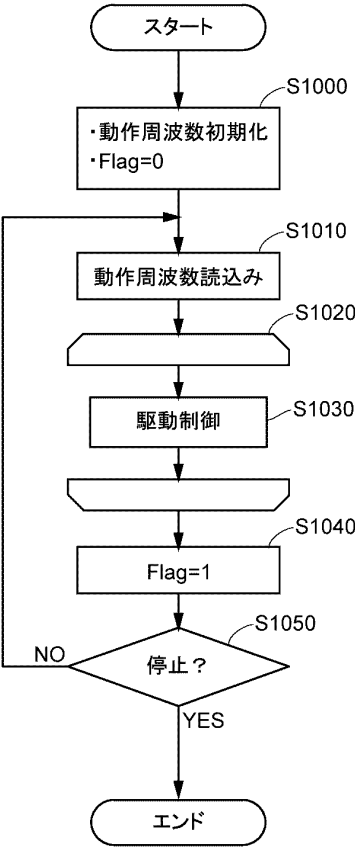


【図 10】

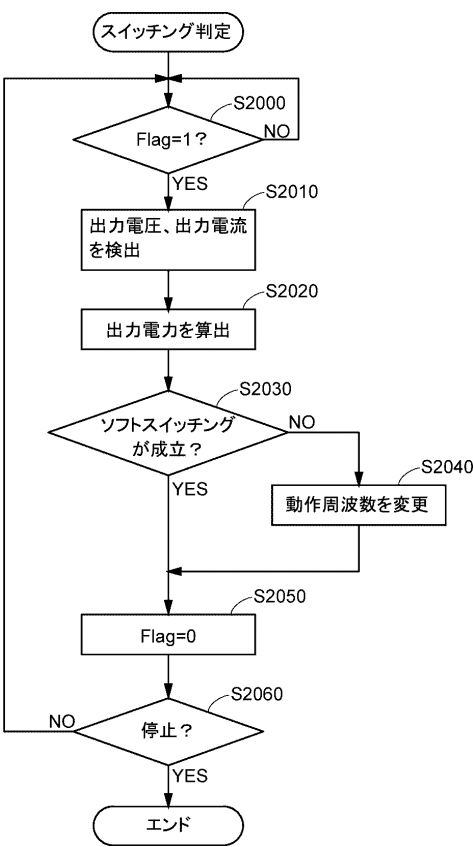


10

【図 11】



【図 12】



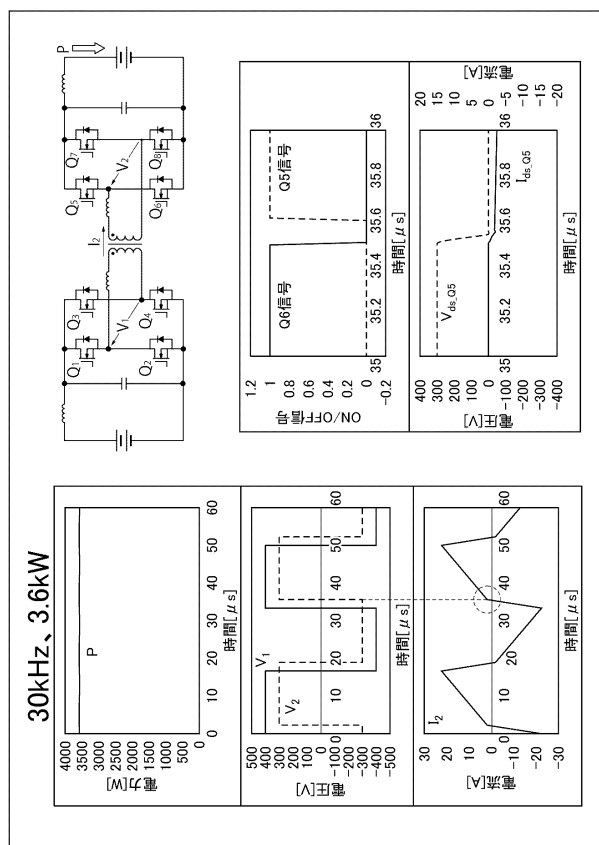
20

30

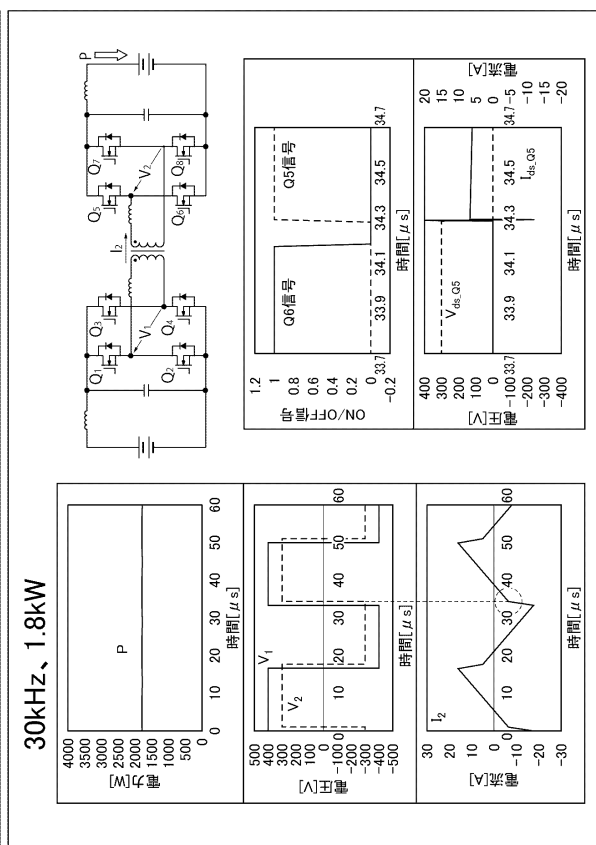
40

50

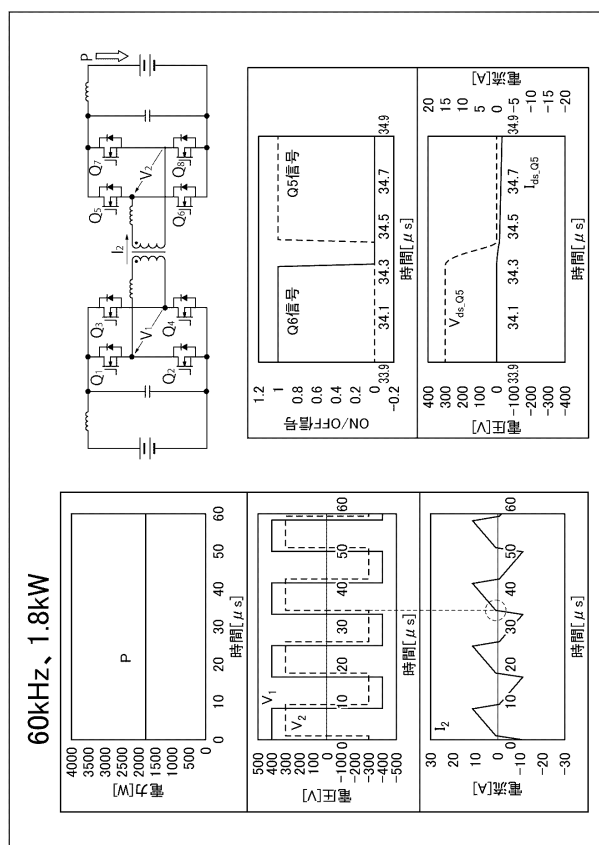
【図 13】



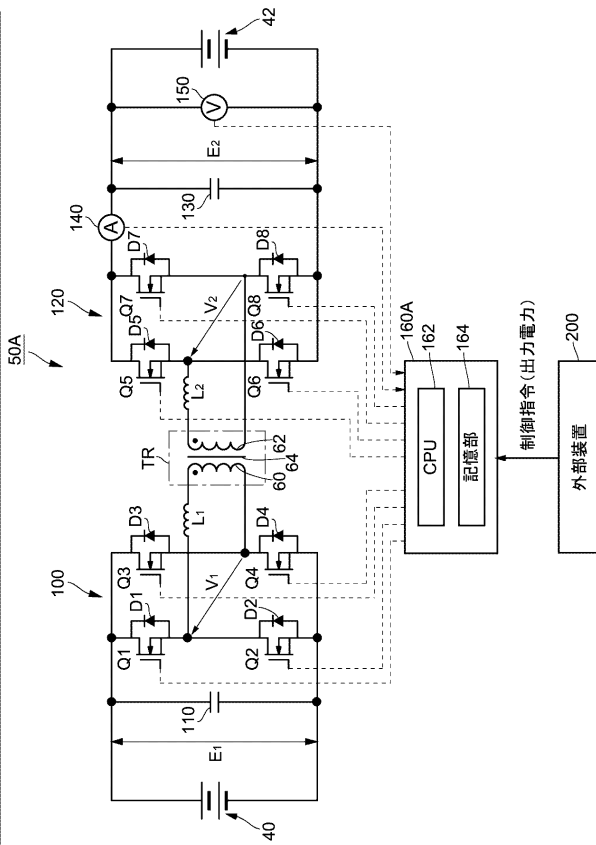
【図 14】



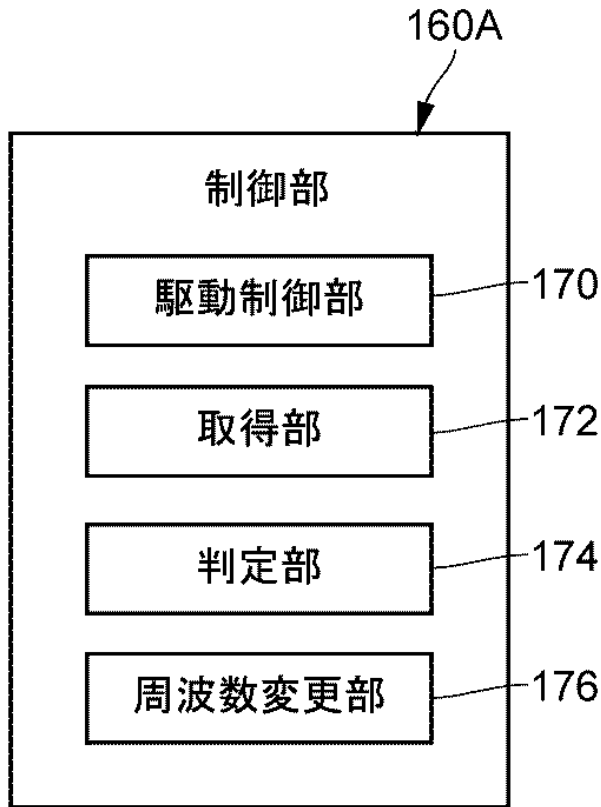
【図 15】



【図 16】



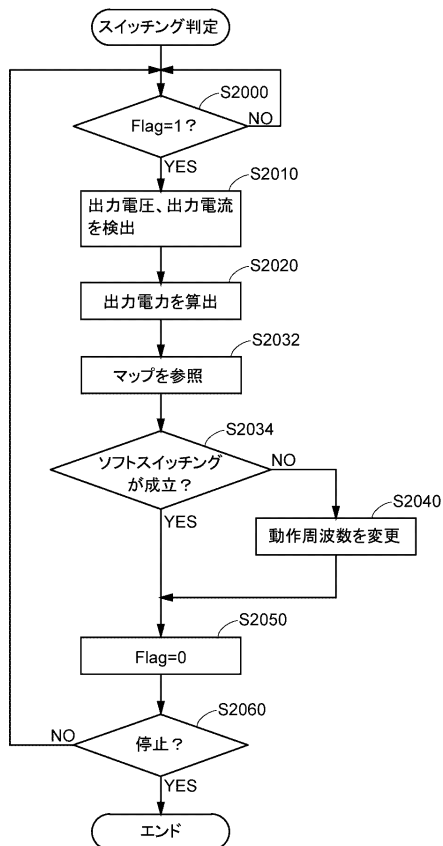
【図 17】



【圖 18】

[illegible]

【図 19】



【図 20】

		電圧[V]											
		300	320	340	360	380	400	420	440	460	480	500	
周波数250kHz	3000	TRUE	TRUE	TRUE	TRUE	TRUE	TRUE	TRUE	TRUE	TRUE	TRUE	TRUE	TRUE
	2800	TRUE	TRUE	TRUE	TRUE	TRUE	TRUE	TRUE	TRUE	TRUE	TRUE	TRUE	TRUE
	2600	TRUE	TRUE	TRUE	TRUE	TRUE	TRUE	TRUE	TRUE	TRUE	TRUE	TRUE	TRUE
	2400	TRUE	TRUE	TRUE	TRUE	TRUE	TRUE	TRUE	TRUE	TRUE	TRUE	TRUE	TRUE
	2200	TRUE	TRUE	TRUE	TRUE	TRUE	TRUE	TRUE	TRUE	TRUE	TRUE	TRUE	TRUE
	2000	TRUE	TRUE	TRUE	TRUE	TRUE	TRUE	TRUE	TRUE	TRUE	TRUE	TRUE	TRUE
	1800	TRUE	TRUE	TRUE	TRUE	TRUE	TRUE	TRUE	TRUE	TRUE	TRUE	TRUE	TRUE
	1600	TRUE	TRUE	TRUE	TRUE	TRUE	TRUE	TRUE	TRUE	TRUE	TRUE	TRUE	TRUE
	1400	TRUE	TRUE	TRUE	TRUE	TRUE	TRUE	TRUE	TRUE	TRUE	TRUE	TRUE	FALSE
	1200	FALSE	TRUE	TRUE	TRUE	TRUE	TRUE	TRUE	TRUE	TRUE	TRUE	TRUE	FALSE
	1000	FALSE	FALSE	TRUE	TRUE	TRUE	TRUE	TRUE	TRUE	TRUE	TRUE	FALSE	FALSE
	800	FALSE	FALSE	FALSE	TRUE	TRUE	TRUE	TRUE	TRUE	TRUE	TRUE	FALSE	FALSE
600	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE	TRUE	TRUE	TRUE	TRUE	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE	
400	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE	TRUE	TRUE	TRUE	TRUE	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE	
200	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE	TRUE	TRUE	TRUE	TRUE	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE	
0	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE	TRUE	TRUE	TRUE	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE	

【図 2 1】

周波数500kHz		電圧[V]										
		300	320	340	360	380	400	420	440	460	480	500
電力[W]	3000											
	2800											
	2600											
	2400											
	2200											
	2000											
	1800											
	1600	TRUE	TRUE	TRUE	TRUE	TRUE	TRUE	TRUE	TRUE	TRUE	TRUE	TRUE
	1400	TRUE	TRUE	TRUE	TRUE	TRUE	TRUE	TRUE	TRUE	TRUE	TRUE	TRUE
	1200	TRUE	TRUE	TRUE	TRUE	TRUE	TRUE	TRUE	TRUE	TRUE	TRUE	TRUE
	1000	TRUE	TRUE	TRUE	TRUE	TRUE	TRUE	TRUE	TRUE	TRUE	TRUE	TRUE
	800	TRUE	TRUE	TRUE	TRUE	TRUE	TRUE	TRUE	TRUE	TRUE	TRUE	TRUE
	600	FALSE	FALSE	TRUE	TRUE	TRUE	TRUE	TRUE	TRUE	TRUE	FALSE	FALSE
	400	FALSE	FALSE	FALSE	TRUE	TRUE	TRUE	TRUE	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE
	200	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE	TRUE	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE
	0	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE	TRUE	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE

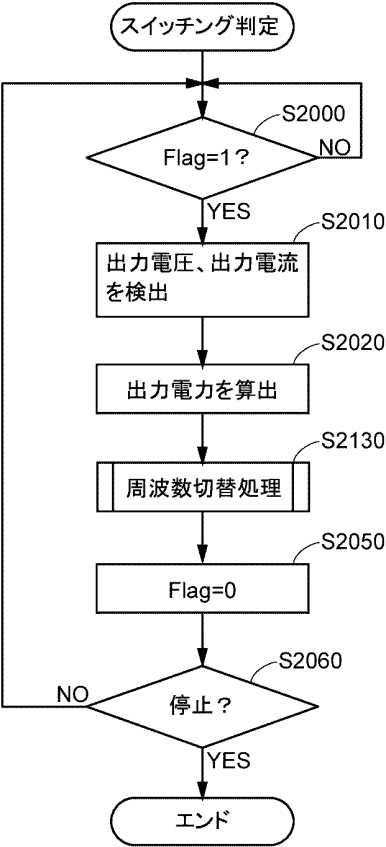
【図 2 2】

		電圧[V]											
		300	320	340	360	380	400	420	440	460	480	500	
電力[W]	3000	TRUE	TRUE	TRUE	TRUE	TRUE	TRUE	TRUE	TRUE	TRUE	TRUE	TRUE	
	2800	TRUE	TRUE	TRUE	TRUE	TRUE	TRUE	TRUE	TRUE	TRUE	TRUE	TRUE	
	2600	TRUE	TRUE	TRUE	TRUE	TRUE	TRUE	TRUE	TRUE	TRUE	TRUE	TRUE	
	2400	TRUE	TRUE	TRUE	TRUE	TRUE	TRUE	TRUE	TRUE	TRUE	TRUE	TRUE	
	2200	TRUE	TRUE	TRUE	TRUE	TRUE	TRUE	TRUE	TRUE	TRUE	TRUE	TRUE	
	2000	TRUE	TRUE	TRUE	TRUE	TRUE	TRUE	TRUE	TRUE	TRUE	TRUE	TRUE	
	1800	TRUE	TRUE	TRUE	TRUE	TRUE	TRUE	TRUE	TRUE	TRUE	TRUE	TRUE	
	1600	TRUE	TRUE	TRUE	TRUE	TRUE	TRUE	TRUE	TRUE	TRUE	TRUE	TRUE	
	1400	TRUE	TRUE	TRUE	TRUE	TRUE	TRUE	TRUE	TRUE	TRUE	TRUE	TRUE	
	1200	TRUE	TRUE	TRUE	TRUE	TRUE	TRUE	TRUE	TRUE	TRUE	TRUE	TRUE	
	1000	TRUE	TRUE	TRUE	TRUE	TRUE	TRUE	TRUE	TRUE	TRUE	TRUE	TRUE	
	800	TRUE	TRUE	TRUE	TRUE	TRUE	TRUE	TRUE	TRUE	TRUE	TRUE	TRUE	
	600	FALSE / FALSE	TRUE	TRUE	TRUE	TRUE	TRUE	TRUE	TRUE	TRUE	FALSE / FALSE	FALSE	
	400	FALSE / FALSE	FALSE	FALSE	TRUE	TRUE	TRUE	TRUE	TRUE	FALSE	FALSE / FALSE	FALSE	
	200	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE	TRUE	TRUE	TRUE	FALSE	FALSE	FALSE / FALSE	FALSE	
	0	FALSE / FALSE	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE / FALSE	FALSE	

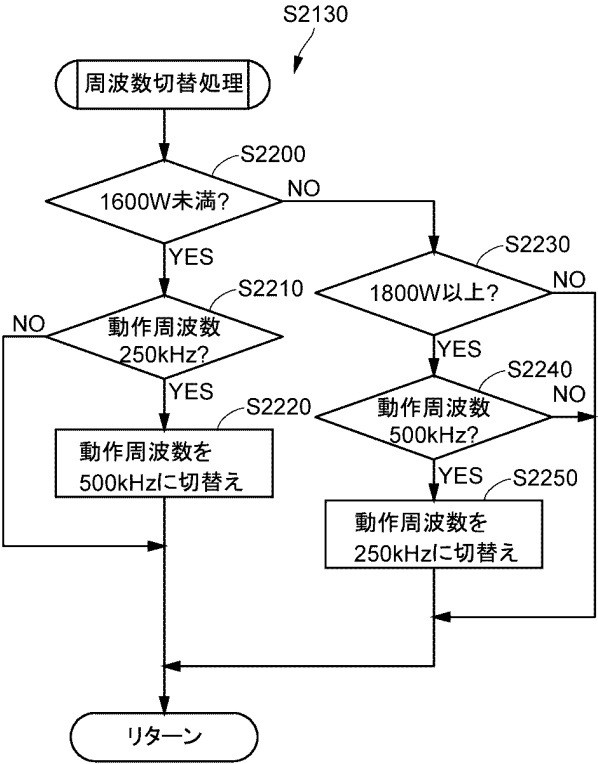
250kHz

500kHz

【図 2 3】



【図 2 4】



10

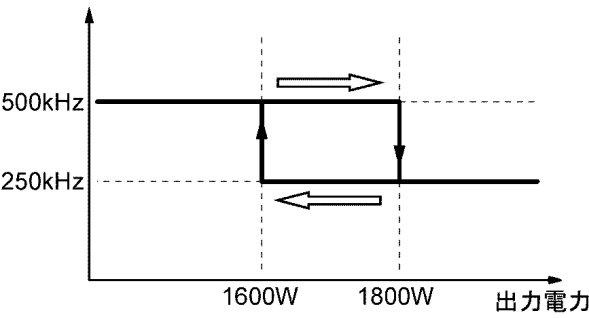
20

30

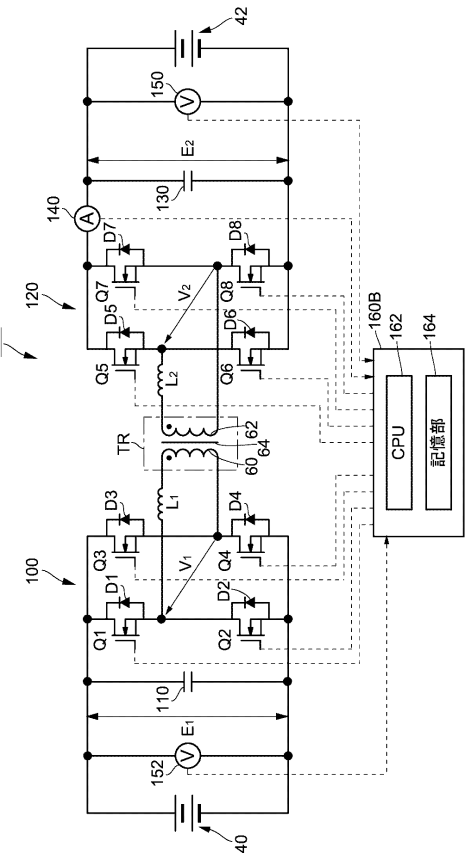
40

50

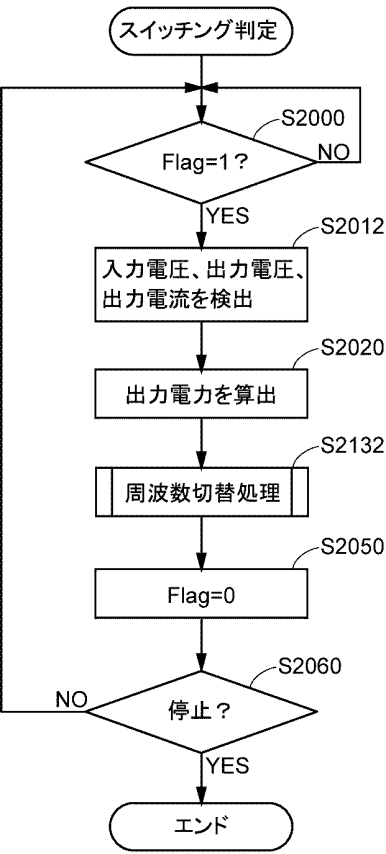
【図 2 5】
動作周波数



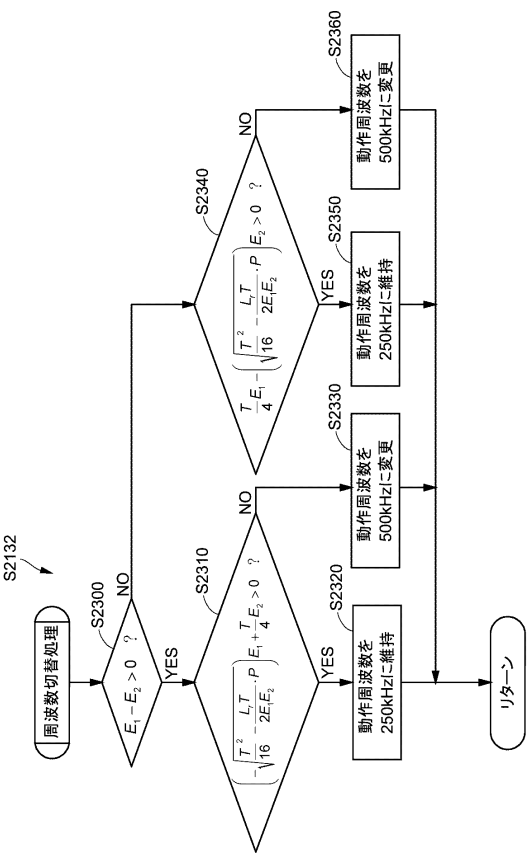
【図 2 6】



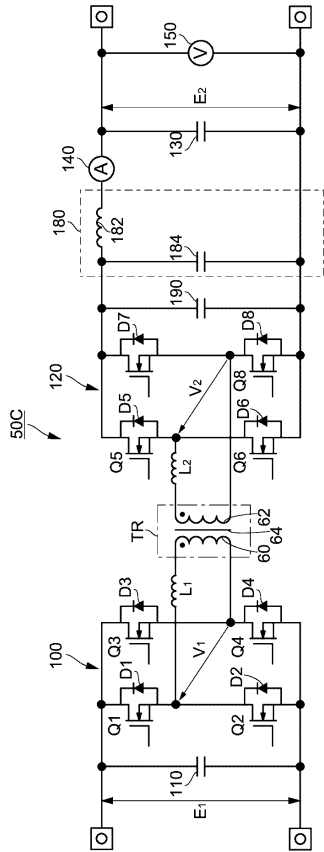
【図 2 7】



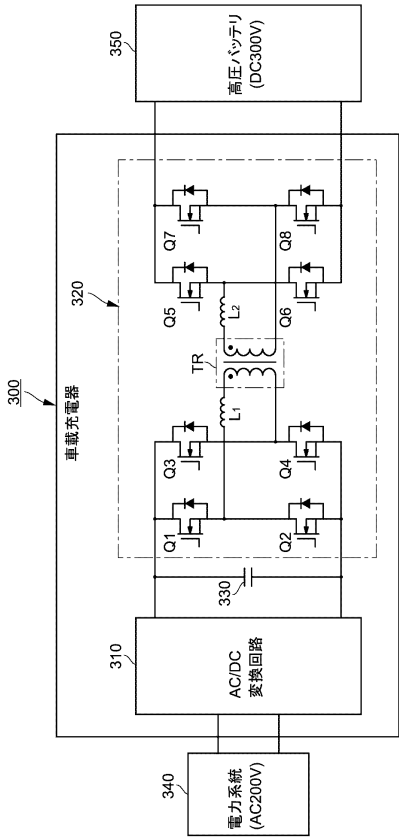
【図 2 8】



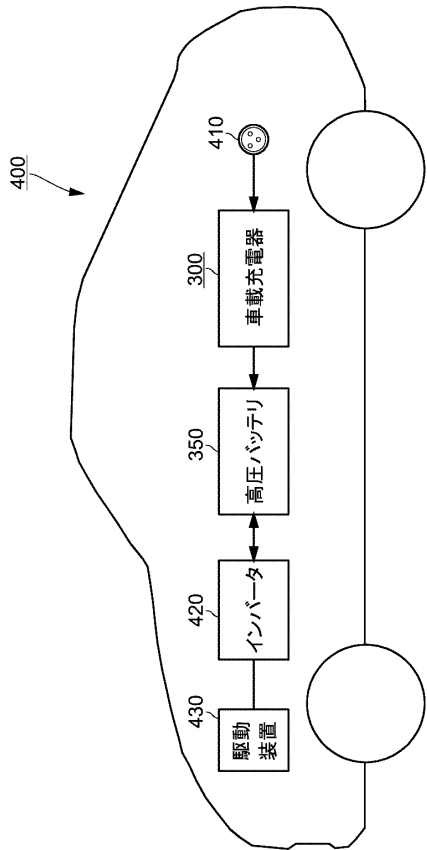
【図 29】



【図 30】



【図 31】



10

20

30

40

50

フロントページの続き

弁理士 酒本 裕明
(74)代理人 100078813
弁理士 上代 哲司
(74)代理人 100094477
弁理士 神野 直美
(72)発明者 田代 圭司
大阪府大阪市中央区北浜四丁目 5 番 3 3 号 住友電気工業株式会社内
(72)発明者 前田 知滉
大阪府大阪市中央区北浜四丁目 5 番 3 3 号 住友電気工業株式会社内
審査官 安池 一貴
(56)参考文献 特開 2016-152687 (JP, A)
特開 2017-221103 (JP, A)
特開平 09-294373 (JP, A)
米国特許出願公開第 2020/0266714 (US, A1)
特開 2019-126228 (JP, A)
特開 2017-051082 (JP, A)
特開 2020-005331 (JP, A)
(58)調査した分野 (Int.Cl., DB名)
H02M 3/28