

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2015-50902

(P2015-50902A)

(43) 公開日 平成27年3月16日(2015.3.16)

(51) Int.Cl.	F I	テーマコード (参考)
H02M 3/155 (2006.01)	H02M 3/155 H	5H730
	H02M 3/155 U	
	H02M 3/155 P	
	H02M 3/155 V	

審査請求 未請求 請求項の数 10 O L (全 56 頁)

(21) 出願番号	特願2013-183155 (P2013-183155)	(71) 出願人	000003609
(22) 出願日	平成25年9月4日(2013.9.4)		株式会社豊田中央研究所
			愛知県長久手市横道41番地の1
		(71) 出願人	000003207
			トヨタ自動車株式会社
			愛知県豊田市トヨタ町1番地
		(74) 代理人	110001195
			特許業務法人深見特許事務所
		(72) 発明者	石垣 将紀
			愛知県長久手市横道41番地の1 株式会
			社豊田中央研究所内
		(72) 発明者	戸村 修二
			愛知県長久手市横道41番地の1 株式会
			社豊田中央研究所内

最終頁に続く

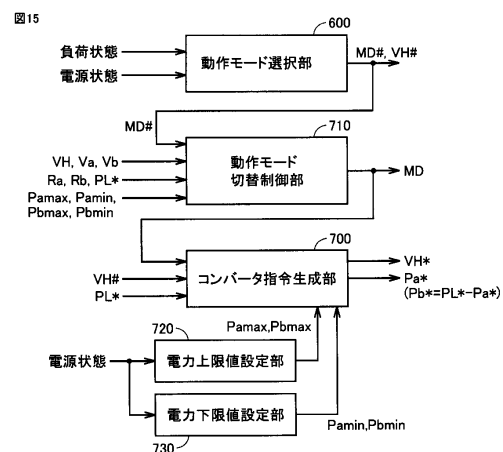
(54) 【発明の名称】 電源システム

(57) 【要約】

【課題】複数の直流電源と電力線との間に接続された電力変換器が複数の動作モードを有するように構成された電源システムにおいて、複数の動作モード間の切替を円滑に行なうように電力変換器の動作を制御する。

【解決手段】動作モード選択部600は、負荷状態および電源状態に応じて、電力変換器の動作モードを選択するとともに選択結果を示すモード選択信号MD#を生成する。動作モード切替制御部710は、電力変換器の動作モードを指定するモード制御信号MDを生成する。動作モード切替制御部710は、モード制御信号MDによって現在選択されている動作モードが、モード選択信号MD#によって示される動作モードと異なるときに、複数の直流電源間の電力配分あるいは電力線上の出力電圧が急変しないように調整した後に、動作モードの移行を許可する。

【選択図】 図15



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

負荷に接続された電力線と、
複数の直流電源と、
前記複数の直流電源および前記電力線の間接続された電力変換器と、
前記電力変換器の動作を制御するための制御装置とを備え、
前記電力変換器は、複数のスイッチング素子を含み、かつ、前記複数の直流電源と前記電力線との間での電力変換の態様が異なる複数の動作モードのうちの 1 つの動作モードを適用されて動作することによって前記電力線上の出力電圧を制御するように構成され、
前記複数の動作モードは、
前記複数の直流電源の間での電力配分が前記電力変換器を通じて制御可能である第 1 の動作モードと、
前記複数の直流電源の間での電力配分が前記電力変換器を通じて固定的に決まる第 2 の動作モードとを含み、
前記制御装置は、
前記複数の動作モードから、前記負荷ならびに前記複数の直流電源の状態に応じて 1 つの動作モードを選択するためのモード選択手段と、
前記電力変換器に現在適用されている現在の動作モードと、前記モード選択手段によって選択された移行先の動作モードとが異なる場合に、前記現在の動作モードから前記移行先の動作モードへの切替を制御するための動作モード切替制御手段とを含み、
前記動作モード切替制御手段は、前記現在の動作モードが前記第 1 の動作モードであり、前記移行先の動作モードが前記第 2 の動作モードである場合には、前記第 1 の動作モードにおいて前記複数の直流電源の間での電力配分を、前記移行先の動作モードが適用された場合の電力配分比に制御した後に、前記移行先の動作モードへの切替を実行する、電源システム。

10

20

【請求項 2】

前記動作モード切替制御手段は、前記複数のモードのうちの前記第 2 の動作モードに属する 1 つのモードが前記現在の動作モードであり、かつ、前記移行先の動作モードが前記複数のモードのうちの前記第 2 の動作モードに属する他の 1 つのモードである場合には、前記現在の動作モードから前記第 1 の動作モードに切替えて、前記第 1 の動作モードにおいて前記複数の直流電源の間での電力配分を制御した後に、前記移行先の動作モードへの切替を実行する、請求項 1 記載の電源システム。

30

【請求項 3】

前記動作モード切替制御手段は、前記移行先の動作モードが適用されたときの電力配分比に従った前記直流電源の電力が各前記直流電源の制約値に達している場合には、当該移行先の動作モードへの切替を禁止する、請求項 1 または 2 記載の電源システム。

【請求項 4】

前記動作モード切替制御手段は、現在の前記出力電圧が、前記移行先の動作モードによる前記出力電圧の制御可能範囲から外れている場合には、前記出力電圧が前記制御可能範囲内となるように前記現在の動作モードによる前記電力変換器を動作させた後に、前記移行先の動作モードへの切替を実行する、請求項 1～3 のいずれか 1 項に記載の電源システム。

40

【請求項 5】

前記複数の直流電源は、第 1 および第 2 の直流電源によって構成され、
前記複数のスイッチング素子は、
第 1 のノードおよび前記電力線の間で電氣的に接続された第 1 のスイッチング素子と、
第 2 のノードおよび前記第 1 のノードの間で電氣的に接続された第 2 のスイッチング素子と、
前記第 2 の直流電源の負極端子と電氣的に接続された第 3 のノードおよび前記第 2 のノードの間で電氣的に接続された第 3 のスイッチング素子と、

50

前記第 1 の直流電源の負極端子および前記第 3 のノードの間に電氣的に接続された第 4 のスイッチング素子とを含み、

前記電力変換器は、

前記第 2 のノードおよび前記第 1 の直流電源の正極端子の間に電氣的に接続された第 1 のリアクトルと、

前記第 1 のノードおよび前記第 2 の直流電源の正極端子の間に電氣的に接続された第 2 のリアクトルとをさらに含み、

前記第 1 の動作モードは、前記第 1 から第 4 のスイッチング素子のオンオフ制御によって、前記第 1 および第 2 の直流電源が前記電力線との間で並列に直流電圧変換を実行する第 1 のモードを含み、

10

前記第 2 の動作モードは、前記第 3 のスイッチング素子をオン固定するとともに前記第 1、第 2 および第 4 のスイッチング素子をオンオフ制御することによって、前記第 1 および前記第 2 の直流電源が直列接続された状態で前記電力線との間で直流電圧変換を実行する第 2 のモードを含む、請求項 1 記載の電源システム。

【請求項 6】

前記動作モード切替制御手段は、前記複数のモードのうちの前記第 2 の動作モードに属する 1 つのモードが前記現在の動作モードであり、かつ、前記移行先の動作モードが前記複数のモードのうちの前記第 2 の動作モードに属する他の 1 つのモードである場合には、前記現在の動作モードから前記第 1 の動作モードに切替えて、前記第 1 の動作モードにおいて前記第 1 および第 2 の直流電源の間での電力配分を制御した後に、前記移行先の動作

20

【請求項 7】

前記動作モード切替制御手段は、前記移行先の動作モードが適用されたときの電力配分比に従った各前記直流電源の電力が各前記直流電源の制約値に達している場合には、当該移行先の動作モードへの切替を禁止する、請求項 5 または 6 記載の電源システム。

【請求項 8】

前記動作モード切替制御手段は、現在の前記出力電圧が、前記移行先の動作モードによる前記出力電圧の制御可能範囲から外れている場合には、前記出力電圧が前記制御可能範囲内となるように前記現在の動作モードによる前記電力変換器を動作させた後に、前記移行先の動作モードへの切替を実行する、請求項 5～7 のいずれか 1 項に記載の電源システム。

30

【請求項 9】

前記制御装置は、

前記第 1 の直流電源からの出力を制御するための第 1 のデューティ比および前記第 2 の直流電源からの出力を制御するための第 2 のデューティ比を演算するためのデューティ比演算手段と、

第 1 のキャリア波および前記第 1 のデューティ比の比較、ならびに、第 2 のキャリア波および前記第 2 のデューティ比の比較によるパルス幅変調に従ってそれぞれ得られた第 1 および第 2 の制御パルス信号に基づいて、前記第 1 から第 4 のスイッチング素子のオンオフ制御信号を生成するためのパルス幅変調制御手段と、

40

前記第 1 および第 2 のモードの適用時において前記第 1 のキャリア波と前記第 2 のキャリア波との位相差を可変に制御するためのキャリア位相制御手段とを含み、

前記動作モード切替制御手段は、前記移行先の動作モードが前記第 2 のモードである場合には、前記第 1 のモードにより前記電力変換器を動作させて、前記第 1 の直流電源の電流の下降タイミングと前記第 2 の直流電源の電流の上昇タイミングとが重なるような電流位相となるように、あるいは、前記第 1 の直流電源の電流の上昇タイミングと前記第 2 の直流電源の電流の下降タイミングとが重なるような電流位相となるように前記位相差を制御した後に、前記第 2 のモードへの切替を実行する、請求項 5～8 のいずれか 1 項に記載の電源システム。

【請求項 10】

50

前記第 2 の動作モードは、

前記第 1 から第 4 のスイッチング素子のオンオフ制御によって、前記第 1 および第 2 の直流電源の一方の直流電源と前記電力線との間で直流電圧変換を実行する第 3 のモードと、

前記第 1 から第 4 のスイッチング素子のオンオフを固定して、前記電力線に対して前記第 1 および第 2 の直流電源が並列に接続された状態を維持する第 4 のモードと、

前記第 1 から第 4 のスイッチング素子のオンオフを固定して、前記電力線に対して前記第 1 および第 2 の直流電源が直列に接続された状態を維持する第 5 のモードと、

前記第 1 から第 4 のスイッチング素子のオンオフを固定して、前記第 1 および第 2 の直流電源の一方が前記電力線に電氣的に接続される状態を維持する第 6 のモードとをさらに含む、請求項 5～9 のいずれか 1 項に記載の電源システム。

10

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

この発明は、電源システムに関し、より特定的には、複数の直流電源と電力線との間に接続された電力変換器を含んで構成された電源システムの制御に関する。

【背景技術】

【0002】

複数の電源を組合せて負荷へ電源を供給する電力供給装置が、たとえば、特開 2010-57288 号公報（特許文献 1）、特開 2008-54477 号公報（特許文献 2）および、特開 2000-295715 号公報（特許文献 3）に記載されている。これらの特許文献に記載された電力供給装置では、複数の電源の接続態様が変化する複数の動作モードが、切替えられて電力変換器の制御に適用される。

20

【0003】

また、特開 2012-70514 号公報（特許文献 4）には、複数のスイッチング素子の制御によって、2つの直流電源を直列した状態で DC/DC 変換を行なう動作モード（直列接続モード）と、2つの直流電源を並列にして使用する状態で DC/DC 変換を行なう動作モード（並列接続モード）とを切替えることが可能な電力変換器の構成が記載されている。

【先行技術文献】

30

【特許文献】

【0004】

【特許文献 1】特開 2010-57288 号公報

【特許文献 2】特開 2008-54477 号公報

【特許文献 3】特開 2000-295715 号公報

【特許文献 4】特開 2012-70514 号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

特許文献 1～4 では、負荷の動作状態などに応じて電力変換器の動作モードが切替えられるが、この切替時に、どのような制限ないし制御を行なうべきかについては、明確に記載されていない。一方で、動作モードの変化時には、複数の直流電源と電力線の間における電力変換の態様が変化するため、動作モードの切替に応じて直流電源の出力が大きく変動すると、直流電源の保護や負荷への出力変動に影響が生じる虞がある。

40

【0006】

この発明は、このような問題点を解決するためになされたものであって、この発明の目的は、複数の直流電源と電力線との間に接続された電力変換器が複数の動作モードを有するように構成された電源システムにおいて、複数の動作モード間の切替を円滑に行なうように電力変換器の動作を制御することである。

【課題を解決するための手段】

50

【0007】

この発明のある局面では、電源システムは、負荷に接続された電力線と、複数の直流電源と、複数の直流電源および電力線の間に接続された電力変換器と、電力変換器の動作を制御するための制御装置とを含む。電力変換器は、複数のスイッチング素子を含み、かつ、複数の直流電源と電力線との間での電力変換の態様が異なる複数の動作モードのうちの1つの動作モードを適用されて動作することによって電力線上的出力電圧を制御するように構成される。複数の動作モードは、複数の直流電源の間での電力配分が電力変換器を通じて制御可能である第1の動作モードと、複数の直流電源の間での電力配分が電力変換器を通じて固定的に決まる第2の動作モードとを含む。制御装置は、モード選択手段と、動作モード切替制御手段とを含む。モード選択手段は、複数の動作モードから、負荷ならびに複数の直流電源の状態に応じて1つの動作モードを選択する。動作モード切替制御手段は、電力変換器に現在適用されている現在の動作モードと、モード選択手段によって選択された移行先の動作モードとが異なる場合に、現在の動作モードから移行先の動作モードへの切替を制御する。さらに、動作モード切替制御手段は、現在の動作モードが第1の動作モードであり、移行先の動作モードが第2の動作モードである場合には、第1の動作モードにおいて複数の直流電源の間での電力配分を、移行先の動作モードが適用された場合の電力配分比に制御した後に、移行先の動作モードへの切替を実行する。

10

【0008】

好ましくは、動作モード切替制御手段は、複数のモードのうちの第2の動作モードに属する1つのモードが現在の動作モードであり、かつ、移行先の動作モードが複数のモードのうちの第2の動作モードに属する他の1つのモードである場合には、現在の動作モードから第1の動作モードに切替えて、第1の動作モードにおいて複数の直流電源の間での電力配分を制御した後に、移行先の動作モードへの切替を実行する。

20

【0009】

あるいは好ましくは、動作モード切替制御手段は、移行先の動作モードが適用されたときの電力配分比に従った各直流電源の電力が各直流電源の制約値に達している場合には、当該移行先の動作モードへの切替を禁止する。

【0010】

また好ましくは、動作モード切替制御手段は、現在の出力電圧が、移行先の動作モードによる出力電圧の制御可能範囲から外れている場合には、出力電圧が制御可能範囲内となるように現在の動作モードによる電力変換器を動作させた後に、移行先の動作モードへの切替を実行する。

30

【0011】

好ましくは、複数の直流電源は、第1および第2の直流電源によって構成され、複数のスイッチング素子は、第1から第4のスイッチング素子を含む。第1のスイッチング素子は、第1のノードおよび電力線の間に電氣的に接続される。第2のスイッチング素子は、第2のノードおよび第1のノードの間に電氣的に接続される。第3のスイッチング素子は、第2の直流電源の負極端子と電氣的に接続された第3のノードおよび第2のノードの間に電氣的に接続される。第4のスイッチング素子は、第1の直流電源の負極端子および第3のノードの間に電氣的に接続される。電力変換器は、第1および第2のリアクトルをさらに含む。第1のリアクトルは、第2のノードおよび第1の直流電源の正極端子の間に電氣的に接続される。第2のリアクトルは、第1のノードおよび第2の直流電源の正極端子の間に電氣的に接続される。第1の動作モードは、第1から第4のスイッチング素子のオンオフ制御によって、第1および第2の直流電源が電力線との間で並列に直流電圧変換を実行する第1のモードを含む。第2の動作モードは、第3のスイッチング素子をオン固定するとともに第1、第2および第4のスイッチング素子をオンオフ制御することによって、第1および第2の直流電源が直列接続された状態で電力線との間で直流電圧変換を実行する第2のモードを含む。

40

【0012】

さらに好ましくは、動作モード切替制御手段は、複数のモードのうちの第2の動作モー

50

ドに属する１つのモードが現在の動作モードであり、かつ、移行先の動作モードが複数のモードのうちの第２の動作モードに属する他の１つのモードである場合には、現在の動作モードから第１の動作モードに切替えて、第１の動作モードにおいて第１および第２の直流電源の間での電力配分を制御した後に、移行先の動作モードへの切替を実行する。

【００１３】

さらに好ましくは、動作モード切替制御手段は、移行先の動作モードが適用されたときの電力配分比に従った各直流電源の電力が各直流電源の制約値に達している場合には、当該移行先の動作モードへの切替を禁止する。

【００１４】

また好ましくは、動作モード切替制御手段は、現在の出力電圧が、移行先の動作モードによる出力電圧の制御可能範囲から外れている場合には、出力電圧が制御可能範囲内となるように現在の動作モードによる電力変換器を動作させた後に、移行先の動作モードへの切替を実行する。

【００１５】

あるいは好ましくは、制御装置は、デューティ比演算手段と、パルス幅変調制御手段と、キャリア位相制御手段とを含む。デューティ比演算手段は、第１の直流電源からの出力を制御するための第１のデューティ比および第２の直流電源からの出力を制御するための第２のデューティ比を演算する。パルス幅変調制御手段は、第１のキャリア波および第１のデューティ比の比較、ならびに、第２のキャリア波および第２のデューティ比の比較によるパルス幅変調に従ってそれぞれ得られた第１および第２の制御パルス信号に基づいて、第１から第４のスイッチング素子のオンオフ制御信号を生成する。キャリア位相制御手段は、第１および第２のモードの適用時において第１のキャリア波と第２のキャリア波との位相差を可変に制御する。動作モード切替制御手段は、移行先の動作モードが第２のモードである場合には、第１のモードにより電力変換器を動作させて、第１の直流電源の電流の下降タイミングと第２の直流電源の電流の上昇タイミングとが重なるような電流位相となるように、あるいは、第１の直流電源の電流の上昇タイミングと第２の直流電源の電流の下降タイミングとが重なるような電流位相となるように位相差を制御した後に、第２のモードへの切替を実行する。

【００１６】

好ましくは、第２の動作モードは、第３のモードと、第４のモードと、第５のモードと、第６のモードとをさらに含む。第３のモードでは、電力変換器は、第１から第４のスイッチング素子のオンオフ制御によって、第１および第２の直流電源の一方の直流電源と電力線との間で直流電圧変換を実行するように動作する。第４のモードでは、電力変換器は、第１から第４のスイッチング素子のオンオフを固定して、電力線に対して第１および第２の直流電源が並列に接続された状態を維持するように動作する。第５のモードでは、電力変換器は、第１から第４のスイッチング素子のオンオフを固定して、電力線に対して第１および第２の直流電源が直列に接続された状態を維持するように動作する。第６のモードでは、電力変換器は、第１から第４のスイッチング素子のオンオフを固定して、第１および第２の直流電源の一方が電力線に電氣的に接続される状態を維持するように動作する。

【発明の効果】

【００１７】

この発明によれば、複数の直流電源と電力線との間に接続された電力変換器が複数の動作モードを有するように構成された電源システムにおいて、複数の動作モード間の切替を円滑に行なうように電力変換器の動作を制御することができる。

【図面の簡単な説明】

【００１８】

【図１】本発明の実施の形態１に従う電力変換器を含む電源システムの構成を示す回路図である。

【図２】図１に示した負荷の構成例を示す概略図である。

10

20

30

40

50

【図 3】図 1 に示した電力変換器が有する複数の動作モードを説明するための図表である。

【図 4】図 1 に示した 2 個の直流電源を異なる種類の電源で構成した場合における両直流電源の特性の一例を示す概念図である。

【図 5】P B モードにおける第 1 の回路動作を説明する回路図である。

【図 6】P B モードにおける第 2 の回路動作を説明する回路図である。

【図 7】P B モードにおける第 1 の直流電源に対する D C / D C 変換（昇圧動作）を説明する回路図である。

【図 8】P B モードにおける第 2 の直流電源に対する D C / D C 変換（昇圧動作）を説明する回路図である。

【図 9】P B モードにおける電力変換器のスイッチング素子の制御動作例を示す波形図である。

【図 10】P B モードにおける各スイッチング素子の制御信号を設定するための論理演算式を説明するための図表である。

【図 11】S B モードにおける回路動作を説明する回路図である。

【図 12】S B モードにおける D C / D C 変換（昇圧動作）を説明する回路図である。

【図 13】S B モードにおける電力変換器のスイッチング素子の制御動作例を示す波形図である。

【図 14】S B モードにおける各スイッチング素子の制御信号を設定するための論理演算式を説明するための図表である。

【図 15】本発明の実施の形態 1 に従う電力変換器制御によるモード選択に関連した制御構成を説明するための機能ブロック図である。

【図 16】コンバータ指令生成部からの動作指令値に従う電力変換器の制御構成を説明するための機能ブロック図である。

【図 17】電力変換器の動作モードの切替に係る本実施の形態 1 に従う制御処理を説明するためのフローチャートである。

【図 18】P B モードからの動作モード切替におけるモード切替要件およびモード切替処理を説明するための図表である。

【図 19】S B モードからの動作モード切替におけるモード切替要件およびモード切替処理を説明するための図表である。

【図 20】a B モードからの動作モード切替におけるモード切替要件およびモード切替処理を説明するための図表である。

【図 21】b B モードからの動作モード切替におけるモード切替要件およびモード切替処理を説明するための図表である。

【図 22】P D モードからの動作モード切替におけるモード切替要件およびモード切替処理を説明するための図表である。

【図 23】S D モードからの動作モード切替におけるモード切替要件およびモード切替処理を説明するための図表である。

【図 24】a D モードからの動作モード切替におけるモード切替要件およびモード切替処理を説明するための図表である。

【図 25】b D モードからの動作モード切替におけるモード切替要件およびモード切替処理を説明するための図表である。

【図 26】本実施の形態 2 に従う電力変換器制御によるキャリア位相制御適用時における P B モードの制御動作例を示す波形図である。

【図 27】本実施の形態 2 に従うキャリア位相制御を適用するための電力変換器の制御構成を説明するための機能ブロック図である。

【図 28】P B モードにおけるキャリア位相制御による電流位相を説明する波形図である。

【図 29】図 28 の所定期間における電流経路を説明する回路図である。

【図 30】図 28 に示した電流位相でのスイッチング素子の電流波形図である。

10

20

30

40

50

【図 3 1】 キャリア波間の位相差 = 0 のときの電流位相を示す波形図である。

【図 3 2】 図 3 1 に示した電流位相でのスイッチング素子の電流波形図である。

【図 3 3】 直流電源の各動作状態における P B モードでのキャリア位相制御を説明するための図表である。

【図 3 4】 S B モードにおける 2 個の直流電源の状態を説明する図である。

【図 3 5】 キャリア位相制御を適用したときの S B モードにおける制御パルス信号を示す波形図である。

【図 3 6】 S B モードでの制御信号の設定を説明するための図表である。

【図 3 7】 電力変換器の動作モードの切替に係る本実施の形態 2 に従う制御処理を説明するためのフローチャートである。

【図 3 8】 キャリア位相要件の判定のための制御処理を詳細に説明するためのフローチャートである。

【発明を実施するための形態】

【0019】

以下に、本発明の実施の形態について図面を参照して詳細に説明する。なお、以下では図中の同一または相当部分には同一符号を付して、その説明は繰返さないものとする。

【0020】

〔実施の形態 1〕

（電力変換器の回路構成）

図 1 は、本発明の実施の形態 1 に従う電力変換器を含む電源システムの構成を示す回路図である。

【0021】

図 1 を参照して、電源システム 5 は、複数の直流電源 10 a および 10 b と、負荷 30 と、電力変換器 50 とを備える。

【0022】

本実施の形態において、直流電源 10 a および 10 b の各々は、リチウムイオン二次電池やニッケル水素電池のような二次電池、あるいは、電気二重層キャパシタやリチウムイオンキャパシタ等の出力特性に優れた直流電圧源要素により構成される。直流電源 10 a および直流電源 10 b は、「第 1 の直流電源」および「第 2 の直流電源」にそれぞれ対応する。

【0023】

電力変換器 50 は、直流電源 10 a および 10 b と、電力線 20 との間に接続される。電力変換器 50 は、負荷 30 と接続された電力線 20 上の直流電圧（以下、出力電圧 V_H と称する）を電圧指令値 V_H^* に従って制御する。すなわち、電力線 20 は、直流電源 10 a および 10 b に対して共通に設けられる。

【0024】

負荷 30 は、電力変換器 50 の出力電圧 V_H を受けて動作する。電圧指令値 V_H^* は、負荷 30 の動作に適した電圧に設定される。電圧指令値 V_H^* は、負荷 30 の動作状態に応じて可変に設定されてもよい。さらに、負荷 30 は、回生発電等によって、直流電源 10 a, 10 b の充電電力を発生可能に構成されてもよい。

【0025】

電力変換器 50 は、スイッチング素子 $S_1 \sim S_4$ と、リアクトル L_1, L_2 とを含む。本実施の形態において、スイッチング素子としては、IGBT (Insulated Gate Bipolar Transistor)、電力用 MOS (Metal Oxide Semiconductor) トランジスタあるいは電力用バイポーラトランジスタ等を用いることができる。スイッチング素子 $S_1 \sim S_4$ に対しては、逆並列ダイオード $D_1 \sim D_4$ が配置されている。また、スイッチング素子 $S_1 \sim S_4$ は、制御信号 $SG_1 \sim SG_4$ にそれぞれ応答して、オンオフを制御することが可能である。すなわち、スイッチング素子 $S_1 \sim S_4$ は、制御信号 $SG_1 \sim SG_4$ がハイレベル（以下、H レベル）のときにオンする一方で、ローレベル（以下、L レベル）のときにオフする。

10

20

30

40

50

【0026】

スイッチング素子S1は、電力線20およびノードN1の間に電氣的に接続される。リアクトルL2は、ノードN1と直流電源10bの正極端子との間に接続される。スイッチング素子S2はノードN1およびN2の間に電氣的に接続される。リアクトルL1はノードN2と直流電源10aの正極端子との間に接続される。

【0027】

スイッチング素子S3は、ノードN2およびN3の間に電氣的に接続される。ノードN3は、直流電源10bの負極端子と電氣的に接続される。スイッチング素子S4は、ノードN3および接地配線21の間に電氣的に接続される。接地配線21は、負荷30および、直流電源10aの負極端子と電氣的に接続される。

10

【0028】

図1から理解されるように、電力変換器50は、直流電源10aおよび直流電源10bの各々に対応して昇圧チョッパ回路を備えた構成となっている。すなわち、直流電源10aに対しては、スイッチング素子S1、S2を上アーム素子とする一方で、スイッチング素子S3、S4を下アーム素子とする電流双方向の第1の昇圧チョッパ回路が構成される。同様に、直流電源10bに対しては、スイッチング素子S1、S4を上アーム素子とする一方で、スイッチング素子S2、S3を下アーム素子とする電流双方向の第2の昇圧チョッパ回路が構成される。

【0029】

そして、第1の昇圧チョッパ回路によって、直流電源10aおよび電力線20の間に形成される電力変換経路と、第2の昇圧チョッパ回路によって、直流電源10bおよび電力線20の間に形成される電力変換経路との両方に、スイッチング素子S1～S4が含まれる。

20

【0030】

制御装置40は、負荷30への出力電圧VHを制御するために、スイッチング素子S1～S4のオンオフを制御する制御信号SG1～SG4を生成する。なお、図1では図示を省略しているが、直流電源10aの電圧（以下、Vaと表記する）および電流（以下、Iaと表記する）、直流電源10bの電圧（以下、Vbと表記する）および電流（以下、Ibと表記する）、ならびに、出力電圧VHの検出器（電圧センサ、電流センサ）が設けられている。さらに、直流電源10aおよび10bの温度（以下、TaおよびTbと表記する）の検出器（温度センサ）についても配置することが好ましい。これらの検出器の出力は、制御装置40へ与えられる。制御装置40は、ECU (Electronic Control Unit) によって構成することができる。

30

【0031】

図1の構成において、スイッチング素子S1～S4は、「第1のスイッチング素子」～「第4のスイッチング素子」にそれぞれ対応し、リアクトルL1およびL2は、「第1のリアクトル」および「第2のリアクトル」にそれぞれ対応する。

【0032】

図2は、負荷30の構成例を示す概略図である。

図2を参照して、負荷30は、たとえば電動車両の走行用電動機を含むように構成される。負荷30は、平滑コンデンサCHと、インバータ32と、モータジェネレータ35と、動力伝達ギヤ36と、駆動輪37とを含む。

40

【0033】

モータジェネレータ35は、車両駆動力を発生するための走行用電動機であり、たとえば、複数相の永久磁石型同期電動機で構成される。モータジェネレータ35の出力トルクは、減速機や動力分割機構によって構成される動力伝達ギヤ36を経由して、駆動輪37へ伝達される。駆動輪37に伝達されたトルクにより電動車両が走行する。また、モータジェネレータ35は、電動車両の回生制動時には、駆動輪37の回転力によって発電する。この発電電力は、インバータ32によってAC/DC変換される。この直流電力は、電源システム5に含まれる直流電源10a、10bの充電電力として用いることができる。

50

【0034】

モータジェネレータの他にエンジン（図示せず）が搭載されたハイブリッド自動車では、このエンジンおよびモータジェネレータ35を協調的に動作させることによって、電動車両に必要な車両駆動力が発生される。この際には、エンジンの回転による発電電力を用いて直流電源10a, 10bを充電することも可能である。

【0035】

このように、電動車両は、走行用電動機を搭載する車両を包括的に示すものであり、エンジンおよび電動機により車両駆動力を発生するハイブリッド自動車と、エンジンを搭載しない電気自動車および燃料電池車との両方を含むものである。

（電力変換器の動作モード）

電力変換器50は、直流電源10a, 10bと電力線20との間での直流電力変換の様相が異なる複数の動作モードを有する。

【0036】

図3には、電力変換器50が有する複数の動作モードが示される。

図3を参照して、動作モードは、スイッチング素子S1～S4の周期的なオンオフ制御に伴って直流電源10aおよび／または10bの出力電圧を昇圧する「昇圧モード（B）」と、スイッチング素子S1～S4のオンオフを固定して直流電源10aおよび／または10bを電力線20と電氣的に接続する「直結モード（D）」とに大別される。

【0037】

昇圧モードには、直流電源10aおよび10bと電力線20との間で並列なDC/DC変換を行なう「パラレル昇圧モード（以下、PBモード）」と、直列接続された直流電源10aおよび10bと電力線20との間でDC/DC変換を行なう「シリーズ昇圧モード（以下、SBモード）」とが含まれる。PBモードは、特許文献4での「パラレル接続モード」に対応し、SBモードは、特許文献4での「シリーズ接続モード」に対応する。

【0038】

さらに、昇圧モードには、直流電源10aのみを用いて電力線20との間でDC/DC変換を行なう「直流電源10aによる単独モード（以下、aBモード）」と、直流電源10bのみを用いて電力線20との間でDC/DC変換を行なう「直流電源10bによる単独モード（以下、bBモード）」とが含まれる。aBモードでは、直流電源10bは、出力電圧VHが直流電源10bの電圧Vbよりも高く制御されている限りにおいて、電力線20と電氣的に切り離された状態を維持されて不使用とされる。同様に、bBモードでは、直流電源10aは、出力電圧VHが直流電源10aの電圧Vaよりも高く制御されている限りにおいて、電力線20と電氣的に切り離された状態を維持されて不使用とされる。

【0039】

昇圧モードに含まれる、PBモード、SBモード、aBモードおよびbBモードの各々では、電力線20の出力電圧VHは、電圧指令値VH*に従って制御される。これらの各モードにおけるスイッチング素子S1～S4の制御については後述する。

【0040】

直結モードには、直流電源10aおよび10bを電力線20に対して並列に接続した状態を維持する「並列直結モード（以下、PDモード）」と、直流電源10aおよび10bを電力線20に対して直列に接続した状態を維持する「シリーズ直結モード（以下、SDモード）」とが含まれる。

【0041】

PDモードでは、スイッチング素子S1, S2, S4をオンに固定する一方で、スイッチング素子S3がオフに固定される。これにより、出力電圧VHは、直流電源10a, 10bの電圧Va, Vb（厳密にはVa, Vbのうちの高い方の電圧）と同等となる。Va, Vb間の電圧差は直流電源10a, 10bに短絡電流を生じさせるので、当該電圧差が小さいときに限定して、PDモードを適用することができる。

【0042】

SDモードでは、スイッチング素子S2, S4がオフに固定される一方で、スイッチン

10

20

30

40

50

グ素子 S_1 , S_3 がオンに固定される。これにより、出力電圧 V_H は、直流電源 $10a$, 10 の電圧 V_a , V_b の和と同等となる ($V_H = V_a + V_b$)。

【0043】

さらに、直結モードには、直流電源 $10a$ のみを電力線 20 と電氣的に接続する「直流電源 $10a$ の直結モード (以下、 aD モード)」と、直流電源 $10b$ のみを電力線 20 と電氣的に接続する「直流電源 $10b$ の直結モード (以下、 bD モード)」とが含まれる。

【0044】

aD モードでは、スイッチング素子 S_1 , S_2 がオンに固定される一方で、スイッチング素子 S_3 , S_4 がオフに固定される。これにより、直流電源 $10b$ は電力線 20 から切り離された状態となり、出力電圧 V_H は、直流電源 $10a$ の電圧 V_a と同等となる ($V_H = V_a$)。 aD モードでは、直流電源 $10b$ は、電力線 20 と電氣的に切り離された状態を維持されて不使用とされる。なお、 $V_b > V_a$ の状態で aD モードを適用すると、スイッチング素子 S_2 を介して直流電源 $10b$ から $10a$ に短絡電流が生じる。このため、 aD モードの適用には、 $V_a > V_b$ が必要条件となる。

【0045】

同様に、 bD モードでは、スイッチング素子 S_1 , S_4 がオンに固定される一方で、スイッチング素子 S_2 , S_3 がオフに固定される。これにより、直流電源 $10a$ は電力線 20 から切り離された状態となり、出力電圧 V_H は、直流電源 $10b$ の電圧 V_b と同等となる ($V_H = V_b$)。 bD モードでは、直流電源 $10a$ は、電力線 20 と電氣的に切り離された状態を維持されて不使用とされる。なお、 $V_a > V_b$ の状態で bD モードを適用すると、ダイオード D_2 を介して直流電源 $10a$ から $10b$ に短絡電流が生じる。このため、 bD モードの適用には、 $V_b > V_a$ が必要条件となる。

【0046】

直結モードに含まれる、 PD モード、 SD モード、 aD モードおよび bD モードの各々では、電力線 20 の出力電圧 V_H は、直流電源 $10a$, $10b$ の電圧 V_a , V_b に依存して決まるため、直接制御することができなくなる。このため、直結モードに含まれる各モードでは、出力電圧 V_H が負荷 30 の動作に適した電圧に設定できなくなることにより、負荷 30 での電力損失が増加する可能性がある。

【0047】

一方で、直結モードでは、スイッチング素子 $S_1 \sim S_4$ がオンオフされないため、電力変換器 50 の電力損失が大幅に抑制される。したがって、負荷 30 の動作状態によっては、直結モードの適用によって、負荷 30 の電力損失増加量よりも電力変換器 50 での電力損失減少量が多くなることにより、電源システム 5 全体での電力損失が抑制できる可能性がある。

【0048】

図3において、 PB モードは「第1のモード」に対応し、 SB モードは「第2のモード」に対応し、 aB モードおよび bB モードは「第3のモード」に対応する。また、 PD モードは「第4のモード」に対応し、 SD モードは「第5のモード」に対応し、 aD モードおよび bD モードは「第6のモード」に対応する。

【0049】

図4は、直流電源 $10a$, $10b$ を異なる種類の電源で構成した場合における両直流電源の特性の一例を示す概念図である。図4には、横軸にエネルギー、縦軸に電力をプロットした、いわゆるラゴンプロットが示される。一般的に、直流電源の出力パワーおよび蓄積エネルギーはトレードオフの関係にあるため、高容量型のバッテリーでは高出力を得ることが難しく、高出力型のバッテリーでは蓄積エネルギーを高めることが難しい。

【0050】

したがって、直流電源 $10a$, $10b$ は、一方が、蓄積エネルギーが高い、いわゆる高容量型の電源で構成されるのに対して、他方が、出力パワーが高い、いわゆる高出力型の電源で構成されることが好ましい。このようにすると、高容量型の電源に蓄積されたエネルギーを平準的に長期間使用する一方で、高出力型の電源をバッファとして使用して、高容量

10

20

30

40

50

型の電源による不足分を出力することができる。

【0051】

図4の例では、直流電源10aが高容量型の電源で構成される一方で、直流電源10bは高出力型の電源で構成される。したがって、直流電源10aの動作領域110は、直流電源10bの動作領域120と比較して、出力可能な電力範囲が狭い。一方で、動作領域120は、動作領域110と比較して、蓄積可能なエネルギー範囲が狭い。

【0052】

負荷30の動作点101では、高パワーが短時間要求される。たとえば、電動車両では、動作点101は、ユーザのアクセル操作による急加速時に対応する。これに対して、負荷30の動作点102では、比較的低パワーが長時間要求される。たとえば、電動車両では、動作点102は、継続的な高速定常走行に対応する。

10

【0053】

動作点101に対しては、主に、高出力型の直流電源10bからの出力によって対応することができる。一方で、動作点102に対しては、主に、高容量型の直流電源10aからの出力によって対応することができる。これにより、電動車両では、高容量型のバッテリーに蓄積されたエネルギーを長時間に亘って使用することによって、電気エネルギーによる走行距離を延ばすことができるとともに、ユーザのアクセル操作に対応した加速性能を速やかに確保することができる。

【0054】

このように、種類および容量の異なる直流電源を組み合わせることにより、各直流電源の特性を活かして、システム全体で有効に蓄積エネルギーを使用することができる。ただし、直流電源10a、10bの組み合わせはこの例に限定されるものではなく、同種および／または同容量の直流電源（蓄電装置）によって構成することも可能である。

20

【0055】

また、直流電源がバッテリーによって構成される場合には、低温時に出力特性が低下する可能性や、高温時に劣化進行を抑制するために充放電が制限される可能性がある。特に、電動車両では、搭載位置の差異によって、直流電源10a、10bの間に温度差が発生するケースも生じる。したがって、電源システム5では、直流電源10a、10bの動作状態（特に温度）に応じて、あるいは、上述したような負荷30の要求に応じて、いずれか一方の直流電源のみを使用した方が、効率的であるケースが存在する。上述したような、直流電源10a、10bの一方のみを使用するモード（aBモード、bBモード、aDモード、bDモード）を設けることによって、これらのケースに対応することができる。

30

【0056】

すなわち、本実施の形態に従う電力変換器50では、直流電源10a、10bおよび負荷30の動作状態に応じて、図3に示した、複数の動作モードのうちのいずれかの動作モードが選択される。

【0057】

（各動作モードでの回路動作）

次に、各動作モードにおける電力変換器50の回路動作を説明する。まず、直流電源10aおよび10bと電力線20との間で並列なDC/DC変換を行なうPBモードでの回路動作について、図5～図8を用いて説明する。

40

【0058】

（PBモードにおける回路動作）

図5および図6に示されるように、スイッチング素子S4またはS2をオンすることによって、直流電源10aおよび10bを電力線20に対して並列に接続することができる。ここで、並列接続モードでは、直流電源10aの電圧Vaと直流電源10bの電圧Vbとの高低に応じて等価回路が異なってくる。

【0059】

図5（a）に示されるように、 $Vb > Va$ のときは、スイッチング素子S4をオンすることにより、スイッチング素子S2、S3を介して、直流電源10aおよび10bが並列

50

に接続される。このときの等価回路が図 5 (b) に示される。

【0060】

図 5 (b) を参照して、直流電源 10 a および電力線 20 の間では、スイッチング素子 S 3 のオンオフ制御によって、下アーム素子のオン期間およびオフ期間を交互に形成できる。同様に、直流電源 10 b および電力線 20 の間では、スイッチング素子 S 2, S 3 を共通にオンオフ制御することによって、昇圧チョッパ回路の下アーム素子のオン期間およびオフ期間を交互に形成できる。なお、スイッチング素子 S 1 は、負荷 30 からの回生を制御するスイッチとして動作する。

【0061】

一方、図 6 (a) に示されるように、 $V_a > V_b$ のときには、スイッチング素子 S 2 をオンすることにより、スイッチング素子 S 3, S 4 を介して、直流電源 10 a および 10 b が並列に接続される。このときの等価回路が図 6 (b) に示される。

10

【0062】

図 6 (b) を参照して、直流電源 10 b および電力線 20 の間では、スイッチング素子 S 3 のオンオフ制御によって、下アーム素子のオン期間およびオフ期間を交互に形成できる。同様に、直流電源 10 a および電力線 20 の間では、スイッチング素子 S 3, S 4 を共通にオンオフ制御することによって、昇圧チョッパ回路の下アーム素子のオン期間およびオフ期間を交互に形成できる。なお、スイッチング素子 S 1 は、負荷 30 からの回生を制御するスイッチとして動作する。

20

【0063】

次に、図 7 および図 8 を用いて、電力変換器 50 の P B モードにおける昇圧動作について詳細に説明する。

【0064】

図 7 には、P B モードにおける直流電源 10 a に対する DC / DC 変換（昇圧動作）が示される。

【0065】

図 7 (a) を参照して、スイッチング素子 S 3, S 4 のペアをオンし、スイッチング素子 S 1, S 2 のペアをオフすることによって、リアクトル L 1 にエネルギーを蓄積するための電流経路 150 が形成される。これにより、昇圧チョッパ回路の下アーム素子をオンした状態が形成される。

30

【0066】

これに対して、図 7 (b) を参照して、スイッチング素子 S 3, S 4 のペアをオフするとともに、スイッチング素子 S 1, S 2 のペアをオンすることによって、リアクトル L 1 の蓄積エネルギーを直流電源 10 a のエネルギーとともに出力するための電流経路 151 が形成される。これにより、昇圧チョッパ回路の上アーム素子をオンした状態が形成される。

【0067】

スイッチング素子 S 3, S 4 のペアがオンされる一方で、スイッチング素子 S 1, S 2 の少なくとも一方がオフされている第 1 の期間と、スイッチング素子 S 1, S 2 のペアがオンされる一方で、スイッチング素子 S 3, S 4 の少なくとも一方がオフされている第 2 の期間とを交互に繰返すことにより、図 7 (a) の電流経路 150 および図 7 (b) の電流経路 151 が交互に形成される。

40

【0068】

この結果、スイッチング素子 S 1, S 2 のペアを等価的に上アーム素子とし、スイッチング素子 S 3, S 4 のペアを等価的に下アーム素子とする昇圧チョッパ回路が、直流電源 10 a に対して構成される。図 7 に示される DC / DC 変換動作では、直流電源 10 b への電流流通経路がないため、直流電源 10 a および 10 b は互いに非干渉である。すなわち、直流電源 10 a および 10 b に対する電力の入出力を独立に制御することが可能である。

【0069】

このような DC / DC 変換において、直流電源 10 a の電圧 V_a と、電力線 20 の出力

50

電圧 V_H との間には、下記 (1) 式に示す関係が成立する。(1) 式では、スイッチング素子 S_3 、 S_4 のペアがオンされる期間のデューティ比を D_a とする。

【0070】

$$V_H = 1 / (1 - D_a) \cdot V_a \quad \dots (1)$$

図 8 には、PB モードにおける直流電源 10b に対する DC/DC 変換（昇圧動作）が示される。

【0071】

図 8 (a) を参照して、スイッチング素子 S_2 、 S_3 のペアをオンし、スイッチング素子 S_1 、 S_4 のペアをオフすることによって、リアクトル L_2 にエネルギーを蓄積するための電流経路 160 が形成される。これにより、昇圧チョッパ回路の下アーム素子をオンした状態が形成される。

10

【0072】

これに対して、図 8 (b) を参照して、スイッチング素子 S_2 、 S_3 のペアをオフするとともに、スイッチング素子 S_1 、 S_4 のペアをオンすることによって、リアクトル L_2 の蓄積エネルギーを直流電源 10b のエネルギーとともに出力するための電流経路 161 が形成される。これにより、昇圧チョッパ回路の上アーム素子をオンした状態が形成される。

【0073】

スイッチング素子 S_2 、 S_3 のペアがオンされる一方で、スイッチング素子 S_1 、 S_4 の少なくとも一方がオフされている第 1 の期間と、スイッチング素子 S_1 、 S_4 のペアがオンされる一方で、スイッチング素子 S_2 、 S_3 の少なくとも一方がオフされている第 2 の期間とを交互に繰返すことにより、図 8 (a) の電流経路 160 および図 8 (b) の電流経路 161 が交互に形成される。

20

【0074】

この結果、スイッチング素子 S_1 、 S_4 のペアを等価的に上アーム素子とし、スイッチング素子 S_2 、 S_3 のペアを等価的に下アーム素子とする昇圧チョッパ回路が、直流電源 10b に対して構成される。図 8 に示される DC/DC 変換動作では、直流電源 10a を含む電流経路がないため、直流電源 10a および 10b は互いに非干渉である。すなわち、直流電源 10a および 10b に対する電力の入出力を独立に制御することが可能である。

【0075】

このような DC/DC 変換において、直流電源 10b の電圧 V_b と、電力線 20 の出力電圧 V_H との間には、下記 (2) 式に示す関係が成立する。(2) 式では、スイッチング素子 S_2 、 S_3 のペアがオンされる期間のデューティ比を D_b とする。

30

【0076】

$$V_H = 1 / (1 - D_b) \cdot V_b \quad \dots (2)$$

図 9 には、PB モードにおけるスイッチング素子の制御動作例を説明するための波形図が示される。図 9 には、直流電源 10a の PWM 制御に用いられるキャリア波 CW_a と、直流電源 10b の PWM 制御に用いられるキャリア波 CW_b とは、同一周波数かつ同一位相であるときの例が示される。

【0077】

図 9 を参照して、たとえば、PB モードでは、特許文献 4 に記載されるように、直流電源 10a および 10b の一方の出力を、出力電圧 V_H の電圧偏差 ΔV_H ($\Delta V_H = V_H^* - V_H$) を補償するようにフィードバック制御（電圧制御）するとともに、直流電源 10a および 10b の他方の出力を、電流 I_a または I_b の電流指令値に対する電流偏差を補償するようにフィードバック制御（電流制御）することができる。この際に、電流制御の指令値 (I_a^* または I_b^*) は、当該直流電源の電力を制御するように設定することができる。

40

【0078】

一例として、直流電源 10b の出力を電圧制御する一方で、直流電源 10a の出力を電流制御するようにすると、デューティ比 D_a は電流偏差 ΔI_a ($\Delta I_a = I_a^* - I_a$)

50

に基づいて演算される一方で、デューティ比 D_b は、電圧偏差 ΔV_H ($\Delta V_H = V_H * -V_H$) に基づいて演算される。

【0079】

直流電源 10a の出力を制御するためのデューティ比 D_a と、キャリア波 CW_a との電圧比較に基づいて、制御パルス信号 SD_a が生成される。同様に、直流電源 10b の出力を制御するためのデューティ比 D_b と、キャリア波 CW_b との比較に基づいて制御パルス信号 SD_b が生成される。制御パルス信号 $/SD_a$ 、 $/SD_b$ は、制御パルス信号 SD_a 、 SD_b の反転信号である。

【0080】

図 10 に示されるように、制御信号 $SG_1 \sim SG_4$ は、制御パルス信号 SD_a ($/SD_a$) および SD_b ($/SD_b$) の論理演算に基づいて設定される。

10

【0081】

スイッチング素子 S_1 は、図 7 および図 8 の昇圧チョップ回路の各々で上アーム素子を形成する。したがって、スイッチング素子 S_1 のオンオフを制御する制御信号 SG_1 は、制御パルス信号 $/SD_a$ および $/SD_b$ の論理和によって生成される。この結果、スイッチング素子 S_1 は、図 7 の昇圧チョップ回路 (直流電源 10a) の上アーム素子および、図 8 の昇圧チョップ回路 (直流電源 10b) の上アーム素子の両方の機能を実現するように、オンオフ制御される。

【0082】

スイッチング素子 S_2 は、図 7 の昇圧チョップ回路では上アーム素子を形成し、図 8 の昇圧チョップ回路では下アーム素子を形成する。したがって、スイッチング素子 S_2 のオンオフを制御する制御信号 SG_2 は、制御パルス信号 $/SD_a$ および SD_b の論理和によって生成される。これにより、スイッチング素子 S_2 は、図 7 の昇圧チョップ回路 (直流電源 10a) の上アーム素子および、図 8 の昇圧チョップ回路 (直流電源 10b) の下アーム素子の両方の機能を実現するように、オンオフ制御される。

20

【0083】

同様にして、スイッチング素子 S_3 の制御信号 SG_3 は、制御パルス信号 SD_a および SD_b の論理和によって生成される。これにより、スイッチング素子 S_3 は、図 7 の昇圧チョップ回路 (直流電源 10a) の下アーム素子および、図 8 の昇圧チョップ回路 (直流電源 10b) の下アーム素子の両方の機能を実現するように、オンオフ制御される。

30

【0084】

また、スイッチング素子 S_4 の制御信号 SG_4 は、制御パルス信号 SD_a および $/SD_b$ の論理和によって生成される。これにより、スイッチング素子 S_4 は、図 7 の昇圧チョップ回路 (直流電源 10a) の下アーム素子および、図 8 の昇圧チョップ回路 (直流電源 10b) の上アーム素子の両方の機能を実現するように、オンオフ制御される。

【0085】

PB モードでは、制御信号 SG_2 および SG_4 が相補のレベルに設定されているので、スイッチング素子 S_2 および S_4 は相補的にオンオフされる。これにより、図 5 に示した $V_b > V_a$ のときの動作と、図 6 に示した $V_a > V_b$ の動作とが、自然に切替えられる。さらに、スイッチング素子 S_1 、 S_3 が相補にオンオフされることにより、直流電源 10a、10b について、デューティ比 D_a 、 D_b に従った直流電力変換が実行できる。

40

【0086】

再び図 9 を参照して、制御信号 $SG_1 \sim SG_4$ は、図 10 に示された論理演算式に従って、制御パルス信号 SD_a ($/SD_a$) および SD_b ($/SD_b$) に基づいて生成される。制御信号 $SG_1 \sim SG_4$ に従ってスイッチング素子 $S_1 \sim S_4$ をオンオフすることにより、リアクトル L_1 を流れる電流 $I(L_1)$ およびリアクトル L_2 を流れる電流 $I(L_2)$ が制御される。電流 $I(L_1)$ は直流電源 10a の電流 I_a に相当し、電流 $I(L_2)$ は直流電源 10b の電流 I_b に相当する。

【0087】

このように、PB モードでは、直流電源 10a、10b と電力線 20 との間で並列に直

50

流電力を入出力するDC/DC変換を実行した上で、出力電圧 V_H を電圧指令値 V_H^* に制御することができる。さらに、電流制御の対象となる直流電源の電流指令値に応じて、当該直流電源の入出力電力を制御することができる。

【0088】

PBモードでは、負荷30の入出力電力（以下、負荷電力 P_L とも称する）に対する、電流制御される直流電源からの入出力電力による不足分が、電圧制御される直流電源から入出力されることになる。このため、電流制御での電流指令値の設定によって、直流電源間での電力配分比を間接的に制御することが可能となる。また、電流指令値の設定によって、一方の直流電源からの出力電力によって、他方の直流電源を充電する動作も可能である。なお、以下では、電力 P_a 、 P_b 、直流電源10a、10b全体が電力線20に対して入出力する総電力 P_H （ $P_H = P_a + P_b$ ）、および負荷電力 P_L は、各直流電源10a、10bの放電時および負荷30の力行動作時の電力値を正值で表し、各直流電源10a、10bの充電時および負荷30の回生動作時の電力値を負値で表すこととする。

【0089】

（直結モードにおける回路動作）

直結モードでは、図3に従ってスイッチング素子 $S_1 \sim S_4$ のオンオフを固定することによって、PDモード、SDモード、aDモードおよびbDモードのいずれかが実現されることが理解される。

【0090】

PDモードでは、スイッチング素子 S_1 、 S_2 、 S_4 をオンに固定する一方で、スイッチング素子 S_3 がオフに固定されることにより、 $V_H = \max(V_a, V_b)$ となる。また、SDモードでは、スイッチング素子 S_2 、 S_4 がオフに固定される一方で、スイッチング素子 S_1 、 S_3 がオンに固定されるので、 $V_H = V_a + V_b$ となる。

【0091】

aDモードでは、スイッチング素子 S_1 、 S_2 がオンに固定される一方で、スイッチング素子 S_3 、 S_4 がオフに固定されることにより、 $V_H = V_a$ （ただし、 $V_a > V_b$ ）となる。一方で、bDモードでは、スイッチング素子 S_1 、 S_4 がオンに固定される一方で、スイッチング素子 S_2 、 S_3 がオフに固定されることにより、 $V_H = V_b$ （ただし、 $V_b > V_a$ ）となる。

【0092】

（SBモードにおける回路動作）

次に、SBモードでの回路動作を、図11および図12を用いて説明する。

【0093】

図11(a)に示されるように、スイッチング素子 S_3 をオン固定することによって、直流電源10aおよび10bを電力線20に対して直列に接続することができる。このときの等価回路が図11(b)に示される。

【0094】

図11(b)を参照して、SBモードでは、直列接続された直流電源10aおよび10bと電力線20との間では、スイッチング素子 S_2 、 S_4 を共通にオンオフ制御することによって、昇圧チョッパ回路の下アーム素子のオン期間およびオフ期間を交互に形成できる。なお、スイッチング素子 S_1 は、スイッチング素子 S_2 、 S_4 のオフ期間にオンされることによって、負荷30からの回生を制御するスイッチとして動作する。また、オン固定されたスイッチング素子 S_3 により、リアクトル L_1 をスイッチング素子 S_4 と接続する配線15が等価的に形成される。

【0095】

次に、図12を用いて、SBモードにおけるDC/DC変換（昇圧動作）を説明する。

図12(a)を参照して、直流電源10aおよび10bを直列接続するためにスイッチング素子 S_3 がオン固定される一方で、スイッチング素子 S_2 、 S_4 のペアがオンし、スイッチング素子 S_1 がオフされる。これにより、リアクトル L_1 、 L_2 にエネルギーを蓄積するための電流経路170、171が形成される。この結果、直列接続された直流電源1

10

20

30

40

50

0 a, 10 bに対して、昇圧チョッパ回路の下アーム素子をオンした状態が形成される。

【0096】

これに対して、図12(b)を参照して、スイッチング素子S3をオン固定したままで、図12(a)とは反対に、スイッチング素子S2, S4のペアがオフし、スイッチング素子S1がオンされる。これにより、電流経路172が形成される。電流経路172により、直列接続された直流電源10a, 10bからのエネルギーと、リアクトルL1, L2に蓄積されたエネルギーとの和が電力線20へ出力される。この結果、直列接続された直流電源10a, 10bに対して、昇圧チョッパ回路の上アーム素子をオンした状態が形成される。

【0097】

スイッチング素子S3がオン固定された下で、スイッチング素子S2, S4のペアがオンされる一方でスイッチング素子S1がオフされている第1の期間と、スイッチング素子S1がオンされる一方でスイッチング素子S2, S4がオフされている第2の期間とを交互に繰返すことにより、図12(a)の電流経路170, 171および図12(b)の電流経路172が交互に形成される。

【0098】

SBモードのDC/DC変換では、直流電源10aの電圧Va、直流電源10bの電圧Vb、および、電力線20の出力電圧VHの間には、下記(3)式に示す関係が成立する。(3)式では、スイッチング素子S2, S4のペアがオンされる第1の期間のデューティ比をDcとする。

【0099】

$$VH = 1 / (1 - Dc) \cdot (Va + Vb) \quad \dots (3)$$

ただし、VaおよびVbが異なるときや、リアクトルL1, L2のインダクタンスが異なるときには、図12(a)の動作終了時におけるリアクトルL1, L2の電流値がそれぞれ異なる。したがって、図12(b)の動作への移行直後には、リアクトルL1の電流の方が大きいときには電流経路173を介して差分の電流が流れる。一方、リアクトルL2の電流の方が大きいときには電流経路174を介して、差分の電流が流れる。

【0100】

図13には、SBモードにおけるスイッチング素子の制御動作例を説明するための波形図が示される。

【0101】

SBモードでは、特許文献4に記載されるように、出力電圧VHの電圧偏差 ΔVH ($\Delta VH = VH_{*} - VH$)を補償するように、(3)式のデューティ比Dcが演算される。そして、キャリア波CWとデューティ比Dcとの電圧比較に基づいて、制御パルス信号SDcが生成される。制御パルス信号/SDcは、制御パルス信号SDcの反転信号である。SBモードでは、直流電圧(Va + Vb)と、出力電圧VHとの間のDC/DC変換が、図10に示された昇圧チョッパ回路によって実行される。

【0102】

図14に示されるように、制御信号SG1~SG4は、制御パルス信号SDc (/SDc)の論理演算に基づいて設定することができる。

【0103】

制御パルス信号SDcは、昇圧チョッパ回路の下アーム素子を構成するスイッチング素子S2, S4のペアの制御信号SG2, SG4とされる。同様に、昇圧チョッパ回路の上アーム素子を構成するスイッチング素子S1の制御信号SG1は、制御パルス信号/SDcによって得られる。この結果、下アーム素子を構成するスイッチング素子S2, S4のペアがオンされる期間と、上アーム素子を構成するスイッチング素子S1がオンされる期間とが相補的に設けられる。

【0104】

SBモードでは、直流電源10aおよび10bが直列接続された状態で、電力線20(負荷30)との間で双方向のDC/DC変換が実行される。したがって、直流電源10a

10

20

30

40

50

の電力 P_a および直流電源 10b の電力 P_b を直接制御することができない。すなわち、直流電源 10a, 10b の電力 P_a , P_b の比は、電圧 V_a , V_b の比によって、下記 (4) 式に従って自動的に決まる。なお、直流電源 10a, 10b の入出力電力の和 ($P_a + P_b$) によって、負荷 30 へ電力供給されることは、PB モードと同様である。

【0105】

$$P_a : P_b = V_a : V_b \quad \cdots (4)$$

このように、動作モード間で、直流電源 10a, 10b 全体が電力線 20 に対して入出力する総電力 P_H ($P_H = P_a + P_b$) に対する直流電源 10a および 10b の電力分配は異なってくる。

【0106】

(各動作モードでの電力分配比および出力電圧範囲)

再び図 3 を参照して、各動作モードにおける直流電源 10a, 10b 間での電力分配比 k および出力電圧 V_H の範囲を比較説明する。

【0107】

PB モードでは、電流制御対象となる直流電源での電流指令値の設定により、直流電源 10a, 10b 間の電力分配比 k を制御することができる。なお、電力分配比 k は、総電力 P_H に対する直流電源 10a の出力電力 P_a の比で定義される ($k = P_a / P_H$)。

【0108】

また、PB モードでは、出力電圧 V_H は、電圧 V_a および V_b の最大値である $\max(V_a, V_b)$ から、出力電圧 V_H の制御上限値である上限電圧 V_{Hmax} までの範囲内で制御することができる ($\max(V_a, V_b) \leq V_H \leq V_{Hmax}$)。なお、 $\max(V_a, V_b)$ について、 $V_a > V_b$ のときは $\max(V_a, V_b) = V_a$ であり、 $V_b > V_a$ のときは $\max(V_a, V_b) = V_b$ である。また、上限電圧 V_{Hmax} は、部品の耐圧等を考慮して定められる上限値である。

【0109】

SB モードでは、(4) 式から理解されるように、電力分配比 k は、電圧 V_a , V_b によって固定的に決まる ($k = V_a / (V_a + V_b)$)。したがって、直流電源 10a および 10b の電力 P_a および P_b ならびに電力分配比 k を、DC/DC 変換を通じて独立に制御することはできない。

【0110】

また、SB モードでは、出力電圧 V_H は ($V_a + V_b$) よりも低く設定することができない。SB モードでは、出力電圧 V_H は、($V_a + V_b$) から上限電圧 V_{Hmax} までの範囲内で制御することができる ($V_a + V_b < V_H \leq V_{Hmax}$)。

【0111】

aB モードでは、直流電源 10a のみが使用されるので、電力分配比 $k = 1.0$ に固定される。そして、式 (1) のデューティ比 D_a に基づいて図 7 に示した昇圧チョップ回路を制御することにより、出力電圧 V_H は、 $\max(V_a, V_b)$ から上限電圧 V_{Hmax} までの範囲内で制御することができる ($\max(V_a, V_b) < V_H \leq V_{Hmax}$)。

【0112】

bB モードでは、直流電源 10b のみが使用されるため、電力分配比 $k = 0$ に固定される。そして、式 (2) のデューティ比 D_b に基づいて図 8 に示した昇圧チョップ回路を制御することにより、出力電圧 V_H は、 $\max(V_a, V_b)$ から V_{Hmax} の範囲内で制御することができる ($\max(V_a, V_b) < V_H \leq V_{Hmax}$)。

【0113】

PD モードでは、直流電源 10a および 10b が並列に電力線 20 に対して接続される。このため、電力分配比 k は、直流電源 10a および 10b の内部抵抗に依存して一意に決まるので、各直流電源 10a, 10b の出力電力 P_a , P_b を独立に制御することはできない。具体的には、直流電源 10a の内部抵抗 R_a および直流電源 10b の内部抵抗 R_b を用いると、 $k = R_b / (R_a + R_b)$ となる。また、 $V_H = V_a$ ($V_H = V_b$) に固定されるため、電圧指令値 V_H^* に応じて出力電圧 V_H を制御することはできない。なお

10

20

30

40

50

、上述のように、PDモードは、電圧 V_a および V_b の電圧差が小さいときに限定して適用することができる。

【0114】

SDモードでは、直流電源10aおよび10bが直列に電力線20に対して電氣的に接続される。このため、出力電圧 $V_H = V_a + V_b$ に固定される。すなわち、電圧指令値 V_{H*} に応じて出力電圧 V_H を制御することはできない。また、電力分配比 k は、SBモードと同様に、電圧 V_a および V_b に従って固定的に決まる。したがって、電力分配比 k をDC/DC変換を通じて独立に制御することはできない。

【0115】

aDモードの適用時には、上述のように $V_a > V_b$ が条件であるため、直流電源10bが電力線20から切り離される一方で、直流電源10aが電力線20に対して接続される。このため、出力電圧 $V_H = V_a$ に固定される。また、電力供給は直流電源10aからのみ実行されるので、電力分配比 $k = 1.0$ に固定される。

【0116】

同様に、bDモードの適用時には、上述のように $V_b > V_a$ が条件であるため、直流電源10aが電力線20から切り離される一方で、直流電源10bが電力線20に対して接続される。このため、出力電圧 $V_H = V_b$ に固定される。また、電力供給は直流電源10bからのみ実行されるので、電力分配比 $k = 0$ に固定される。

【0117】

このように、電力変換器50に適用される動作モードは、 V_H 制御のためのDC/DC変換を通じて直流電源10a、10b間での電力配分（電力分配比 k ）が制御可能である電力配分制御モードと、直流電源10a、10b間での電力配分が固定的に決まる電力配分固定モードとに分類される。PBモードは、電力配分制御モードに含まれる。一方で、その他のSBモード、SDモード、aBモード、bBモード、aDモード、bDモードおよびPDモードは、電力配分固定モードに含まれる。電力配分制御モード（PBモード）は、「第1の動作モード」に対応し、電力配分固定モードは「第2の動作モード」に対応する。

【0118】

図3に示されるように、電力変換器50では、各動作モードにおいて、電力変換器50が出力可能な出力電圧 V_H の範囲が異なる。したがって、要求される出力電圧 V_H に応じて、動作モードの選択も制約を受ける。

【0119】

昇圧モードに属するaBモード、bBモードおよびPBモードでは、出力電圧 V_H は、 $\max(V_a, V_b) \sim V_{H\max}$ の範囲内において、電圧指令値 V_{H*} に従って制御することができる。一方で、SBモードでは、出力電圧 V_H を $(V_a + V_b)$ より低く制御することができない。すなわち、SBモードでは、出力電圧 V_H は、 $(V_a + V_b) \sim V_{H\max}$ の範囲内であれば、電圧指令値 V_{H*} に従って制御することができる。

【0120】

直結モードでは、出力電圧 V_H は、直流電源10a、10bの電圧 V_a 、 V_b に従って固定される。すなわち、直結モードの適用時には、出力電圧 V_H は任意の電圧に制御することができない。

【0121】

図15は、本発明の実施の形態に従う電力変換器制御によるモード選択に関連した制御構成を説明するための機能ブロック図である。なお、図15を始めとする各機能ブロック図に記載された各機能ブロックは、制御装置40によるハードウェアおよび／またはソフトウェア処理によって実現されるものとする。

【0122】

図15を参照して、動作モード選択部600は、負荷の30の動作状態（負荷状態）および直流電源10a、10bの動作状態（電源状態）に基づいて動作モードを選択する。動作モード選択部600は、動作モードの選択結果を示すモード選択信号MD#を生成す

10

20

30

40

50

る。

【0123】

図2の構成例のように、負荷30がモータジェネレータ35を含む場合には、動作モード選択部600は、モータジェネレータ35の回転数およびトルクに基づいて、動作モードを選択することができる。あるいは、負荷30の動作状態として、モータジェネレータ35が搭載された電動車両の動作状態（車速、アクセル開度等）を用いて、動作モードを選択することができる。

【0124】

たとえば、動作モード選択部600による動作モードの選択は、下記のように、負荷30の動作指令に従った動作を確保した上で、電源システム5の全体損失が最小となるように実行される。

10

【0125】

負荷30の動作指令に従った動作を確保するために、負荷30へ供給される出力電圧 V_H は、負荷30の動作状態に応じた一定の電圧以上に設定することが必要となる。負荷30が、モータジェネレータ35を含んで構成される場合には、インバータ32の直流リンク側電圧に相当する出力電圧 V_H が、モータジェネレータ35のコイル巻線（図示せず）に生じる誘起電圧以上であることが必要である。

【0126】

また、モータジェネレータ35が出力可能なトルク範囲は、出力電圧 V_H に応じて変化する。具体的には、出力電圧 V_H を高くすると出力可能なトルクも大きくなる。したがって、たとえば、出力電圧 V_H は、電動車両の走行制御によって定められたトルク指令値に相当するトルクをモータジェネレータ35が出力可能な電圧範囲とすることが必要である。

20

【0127】

これらの観点から、負荷30の動作状態（図2の構成例では、モータジェネレータ35のトルクおよび回転数）に応じて、動作指令に従って負荷30を動作させるために必要な出力電圧 V_H の最小値（最低電圧）が設定される。

【0128】

さらに、モータジェネレータ35のトルク制御において、同一トルクを出力する際の電流位相は、インバータ32の直流リンク電圧（出力電圧 V_H ）によって変化する。また、モータジェネレータ35での電流振幅に対する出力トルクの比、すなわち、モータ効率は、電流位相に応じて変化する。したがって、モータジェネレータ35のトルク指令値が設定されると、当該トルク指令値に対応させて、インバータ32およびモータジェネレータ35での効率が最大、すなわち、電力損失が最小となる最適な電流位相、および、この最適な電流位相を実現するための出力電圧 V_H を定めることができる。

30

【0129】

一方で、電力変換器50での電力損失は、直結モードの適用により大幅に減少する。したがって、 $V_H = V_a$ あるいは V_b （ aD 、 bD あるいは PD モード）、または、 $V_H = V_a + V_b$ （ SD モード）とすることによる電力変換器50での電力損失低減量が、最適電流位相から外れることによるモータジェネレータ35での電力損失増加量よりも大きければ、電源システム5全体の効率を低減することができる。

40

【0130】

このように、負荷30の動作状態（たとえば、トルクおよび回転数）に応じて、最適な出力電圧 V_H および動作モードが変わってくる。動作モード選択部600では、上記最低電圧以上の電圧範囲で電源システム5の全体損失が最小となるように、最適な出力電圧（以下では、最適動作電圧 $V_H\#$ とも表記する）の設定および動作モードの選択が実行される。最適動作電圧 $V_H\#$ は、上記最低電圧以上かつ V_{Hmax} 以下の電圧範囲に設定される。

【0131】

たとえば、上記最低電圧は、負荷30の動作状態（たとえば、トルクおよび回転数）に

50

対応させた設定マップを予め作成することができる。さらに、出力電圧 V_H に対する、インバータ32およびモータジェネレータ35の電力損失、ならびに、電力変換器50の電力損失を推定することによって、現在の負荷状態および電源状態に応じた最適動作電圧 V_H および最適な動作モードを選択することができる。

【0132】

電力上限値設定部720は、直流電源10a、10bの電源状態に基づいて、電力上限値 P_{max} 、 P_{bmax} を設定する。各電力上限値は、放電電力の上限値を示しており、0または正に設定される。電力上限値=0に設定されたときは、直流電源からの放電が禁止されることを意味する。たとえば、電力上限値 P_{max} は、直流電源10aのSOCaおよび温度 T_a に基づいて設定することができる。電力上限値 P_{bmax} についても、 P_{max} と同様に、直流電源10bの状態(SOCb、 T_b 、 I_b 、 V_b)に基づいて設定することができる。

10

【0133】

電力下限値設定部730は、直流電源10a、10bの電源状態に基づいて、電力下限値 P_{min} 、 P_{bmin} を設定する。各電力下限値は、充電電力の上限値を示しており、0または負に設定される。電力下限値=0に設定されたときは、直流電源の充電が禁止されることを意味する。たとえば、電力下限値 P_{min} は、直流電源10aのSOCaおよび温度 T_a に基づいて設定される。電力下限値 P_{bmin} についても、 P_{min} と同様に、直流電源10bの状態(SOCb、 T_b 、 I_b 、 V_b)に基づいて設定することができる。

20

【0134】

なお、電力上限値 P_{max} 、 P_{bmax} および電力下限値 P_{min} 、 P_{bmin} に従って、直流電源10a、10b全体の総電力PHの電力上限値 PH_{max} ($PH_{max} = P_{max} + P_{bmax}$) および電力下限値 PH_{min} ($PH_{min} = P_{min} + P_{bmin}$) を設定することができる。負荷30の動作指令は、負荷電力指令値 PL^* が $PH_{min} \leq PL^* \leq PH_{max}$ の範囲内となるように制限される。これにより、直流電源10a、10bの過充電および過放電をさせることなく、負荷30を動作させることができる。たとえば、モータジェネレータ35が搭載された電動車両の動作状態(車速、アクセル開度等)に応じて、 $PH_{min} \leq PL^* \leq PH_{max}$ の範囲内となるように制限して、モータジェネレータ35のトルク指令値が設定される。

30

【0135】

動作モード切替制御部710は、電力変換器50の動作モードを指定するためのモード制御信号MDを生成する。電力変換器50の動作モードは、モード制御信号MDによって決められる。

【0136】

動作モード切替制御部710は、動作モード選択部600によって選択された動作モード(すなわち、モード選択信号MD#に従う動作モード)が、現在の動作モード(すなわち、モード制御信号MDに従う動作モード)と異なるときに、動作モードの移行を制御する。以下では、モード選択信号MD#に従う動作モードを「移行先の動作モード」とも称する。

40

【0137】

後述するように、動作モード切替制御部710は、現在の出力電圧 V_H 、電圧 V_a 、 V_b 、直流電源10a、10bの内部抵抗 R_a 、 R_b 、負荷電力指令値 PL^* 、電力上限値 P_{max} 、 P_{bmax} および電力下限値 P_{min} 、 P_{bmin} に基づいて、現在の動作モードから移行先の動作モードへの切替可否を判定する。

【0138】

コンバータ指令生成部700は、負荷電力指令値 PL^* と、モード選択信号MDと、電力上限値 P_{max} 、 P_{bmax} と、電力下限値 P_{min} 、 P_{bmin} とに基づいて、電流制御される直流電源10aの電力指令値 Pa^* を設定する。

【0139】

50

コンバータ指令生成部 700 は、モード制御信号 MD によって指定された動作モードに応じて電圧指令値 VH^* を設定する。基本的には、スイッチング制御による出力電圧制御が実行される PB モード、SB モード、aB モードおよび bB モードでは、電圧指令値 VH^* は、最適動作電圧 $VH\#$ に従って設定される。一方、SD モード、PD モード、aD モードおよび bB モードでは、図 3 に示されるように、出力電圧 VH は、電圧 Va および／または Vb によって一意的に決まる。したがって、これらの直結モードでは、電圧指令値 VH^* は、各モードでの電圧 Va および／または Vb に従った電圧値に設定される。

【0140】

さらに、コンバータ指令生成部 700 は、PB モードでは、電力指令値 Pa^* を適切に設定することによって、直流電源 10a, 10b 間での電力分配比 k を制御することができる。

10

【0141】

図 16 は、コンバータ指令生成部 700 からの動作指令値に従う電力変換器 50 の制御構成を説明するための機能ブロック図である。

【0142】

図 16 を参照して、デューティ比演算部 300 は、コンバータ指令生成部 700 によって設定された電力指令値 Pa^* 、電圧指令値 VH^* に従って、直流電源 10a の電力 Pa (電圧 Va , 電流 Ia) および出力電圧 VH のフィードバック制御により、式 (1), (2) のデューティ比 Da , Db を演算する。

【0143】

20

上述のように、PB モードでは、電流制御される直流電源 (ここでは直流電源 10a) の電流指令値 Ia^* を、 $Ia^* = Pa^* / Va$ と設定することにより、電流 Ia のフィードバック制御によるデューティ比 Da の演算によって、電力 Pa を電力指令値 Pa^* に制御することができる。

【0144】

一方で、電圧制御される直流電源 (ここでは直流電源 10b) については、出力電圧 VH のフィードバック制御によるデューティ比 Db の演算によって、出力電圧 VH を電圧指令値 VH^* に制御することができる。

【0145】

PWM 制御部 400 は、デューティ比演算部 300 によって設定されたデューティ比 Da , Db 、ならびに、キャリア波発生部 410 からのキャリア波 CWa , CWb に基づくパルス幅変調制御によって、スイッチング素子 $S1 \sim S4$ の制御信号 $SG1 \sim SG4$ を生成する。PWM 制御部 400 によるパルス幅変調制御および制御信号 $SG1 \sim SG4$ の生成は、図 9 および図 10 で説明したのと同様に実行されるので、詳細な説明は繰り返さない。

30

【0146】

これにより、出力電圧 VH を電圧指令値 VH^* にフィードバック制御するとともに、直流電源 10a の電力 Pa を電力指令値 Pa^* にフィードバック制御することができる。また、直流電源 10b の電力 Pb についても、電圧指令値 Pa^* に従った直流電源 10a の出力制御と、電圧指令値 VH に従った直流電源 10b の出力制御との結果、 $Pb = PL^* - Pa^*$ に制御することができる。したがって、直流電源 10a, 10b の電力 Pa , Pb は、電力指令値 Pa^* および $(PL^* - Pa^*)$ に従って、すなわち、電力分配比 k に従って制御される。

40

【0147】

なお、SB モードでは、デューティ比演算部 300 は、コンバータ指令生成部 700 によって設定された電圧指令値 VH^* に従って、出力電圧 VH のフィードバック制御により、式 (3) のデューティ比 Dc を演算する。さらに、PWM 制御部 400 は、デューティ比演算部 300 によって設定されたデューティ比 Dc ならびに、キャリア波発生部 410 からのキャリア波 CWa に基づくパルス幅変調制御 (図 13) によって、スイッチング素子 $S1 \sim S4$ の制御信号 $SG1 \sim SG4$ を生成する。PWM 制御部 400 によるパルス幅

50

変調制御および制御信号SG1～SG4の生成は、図14で説明したのと同様に実行されるので、詳細な説明は繰り返さない。

【0148】

また、aBモードでは、デューティ比演算部300は、コンバータ指令生成部700によって設定された電圧指令値VH*に従って、出力電圧VHのフィードバック制御により、式(1)のデューティ比Daを演算する。そして、PWM制御部400は、デューティ比演算部300によって設定されたデューティ比Daおよびキャリア波発生部410からのキャリア波Cwaに基づくパルス幅変調制御によって、図7に示した昇圧チョッパ回路を制御するように、スイッチング素子S1～S4の制御信号SG1～SG4を生成する。PWM制御部400によるパルス幅変調制御および制御信号SG1～SG4の生成は、図10での制御パルス信号SDa、/SDaに従って実行される。

10

【0149】

同様に、bBモードでは、デューティ比演算部300は、コンバータ指令生成部700によって設定された電圧指令値VH*に従って、出力電圧VHのフィードバック制御により、式(2)のデューティ比Dbを演算する。そして、PWM制御部400は、デューティ比演算部300によって設定されたデューティ比Dbおよびキャリア波発生部410からのキャリア波Cwbに基づくパルス幅変調制御によって、図8に示した昇圧チョッパ回路を制御するように、スイッチング素子S1～S4の制御信号SG1～SG4を生成する。PWM制御部400によるパルス幅変調制御および制御信号SG1～SG4の生成は、図10での制御パルス信号SDb、/SDbに従って実行される。

20

【0150】

図17は、電力変換器の動作モードの切替に係る本実施の形態1に従う制御処理を説明するためのフローチャートである。図17に示すフローチャートに従う制御処理は、制御装置40によって周期的に実行される。

【0151】

図17を参照して、制御装置40は、ステップS100により、現在の負荷30の動作状態および直流電源10a、10bの電源状態を読み込む。これにより、直流電源10a、10bの制約値として、電力上限値Pamax、Pbmaxおよび電力下限値Pamin、Pbminも読み込まれる。さらに、負荷電力指令値PL*についても取得される。

【0152】

30

制御装置40は、さらに、ステップS200により、負荷の30の動作状態および直流電源10a、10bの動作状態(電源状態)に基づいて、負荷30の動作指令に従った動作を確保した上で電源システム5の全体損失が最小となるように、動作モードを選択する。すなわち、ステップS200による処理は、図15に示された動作モード選択部600の機能に相当する。ステップS200により、現在の動作状態に適した動作モードを選択するためのモード選択信号MD#が設定される。

【0153】

制御装置40は、ステップS300により、モード制御信号MDに従う動作モード(すなわち、現在の動作モード)と、ステップS200で設定されたモード選択信号MD#に従う動作モード(すなわち、移行先の動作モード)とが一致しているかどうかを判定する。

40

【0154】

制御装置40は、両者が一致している場合(MD=MD#)、すなわちS300がYES判定時のときには、ステップS500に処理を進めて、モード制御信号MDを維持する。すなわち、現在適用されている動作モードを維持して、電力変換器50は動作する。

【0155】

一方、制御装置40は、現在の動作モードと、移行先の動作モードとが異なる場合(S300のNO判定時)には、ステップS400により、移行先の動作モードへの切替可否を判定する。

【0156】

50

ステップ S 4 0 0 は、出力電圧 V H に関する要件（V H 要件）を判定するステップ S 4 1 0 と、直流電源 1 0 a，1 0 b 間の電力分配比 k に関する要件（電力配分要件）を判定するステップ S 4 2 0 と、直流電源 1 0 a，1 0 b の電力保護に関する要件（電力保護要件）を判定するステップ S 4 3 0 とを含む。後程説明するように、V H 要件（S 4 1 0）、電力配分要件（S 4 2 0）および電力保護要件（S 4 3 0）は、現在の動作モードおよび移行先の動作モードの組み合わせ毎に予め設定される。

【0157】

制御装置 4 0 は、V H 要件（S 4 1 0）、電力配分要件（S 4 2 0）および電力保護要件（S 4 3 0）のすべてがクリアされている場合には、移行先の動作モードへの切替を許可して、ステップ S 6 0 0 に処理を進める。制御装置 4 0 は、ステップ S 6 0 0 では、モード選択信号 M D # に従う動作モードを指定するように、モード制御信号 M D を変更する。これにより、電力変換器 5 0 において、現在の動作モードから移行先の動作モードへ切替が実行される。

10

【0158】

これに対して、制御装置 4 0 は、V H 要件、電力配分要件および電力保護要件の少なくともいずれかがクリアされていない場合（S 4 1 0 ～ S 4 3 0 のいずれかの N O 判定時）には、ステップ S 7 0 0 に処理を進める。

【0159】

制御装置 4 0 は、ステップ S 7 0 0 では、現在のモードから移行先の動作モードへの切替を禁止して、モード切替処理を実行する。したがって、モード選択信号 M D # に従ったモード切替は待機されて、現在のモード制御信号 M D が維持される。後述するように、モード切替処理では、移行先の動作モードへ切替えるための V H 要件、電力配分要件および電力保護要件をクリアするために、電力変換器 5 0 の動作が制御される。

20

【0160】

次に、各動作モード切替におけるモード切替要件およびモード切替処理の詳細について順に説明する。

【0161】

図 1 8 は、P B モードからの動作モード切替におけるモード切替要件およびモード切替処理を説明するための図表である。

【0162】

図 1 8 を参照して、P B モードから S B モードへ移行する際には、V H 要件、電力配分要件および、電力保護要件がチェックされる。S B モードの V H 範囲（ $(V a + V b) \sim V H_{max}$ ）は、P B モードの V H 範囲（ $max(V a, V b) \sim V H_{max}$ ）よりも狭いため、 $V H > V a + V b$ であることが V H 要件とされる。

30

【0163】

$V H < V a + V b$ のときには、ステップ S 4 1 0（図 1 7）が N O 判定とされるので、V H 要件の不成立により、S B モードへの切替は許可されない。そして、ステップ S 7 0 0（図 1 7）によるモード切替処理として、 $(V a + V b)$ へ向けて電圧指令値 $V H^*$ が上昇される。通常、出力電圧 V H の急変を回避するために、1 回の制御周期での $V H^*$ の上昇量は制限される。以降の制御周期において、電圧指令値 $V H^*$ の上昇に伴って出力電圧 V H が、 $V a + V b$ よりも高くなると、V H 要件はクリアされる。これにより、ステップ S 4 1 0 が Y E S 判定に転ずる。

40

【0164】

上述のように、S B モードでは、直流電源 1 0 a，1 0 b 間の電力分配比 k が、電圧 V a および V b に従って固定的に決まる。このときの電力分配比を k_1 とすると、 k_1 は、下記（5）式で示される。

【0165】

$$k_1 = V a / (V a + V b) \quad \dots (5)$$

したがって、現在の電力分配比 k が k_1 から離れている状態で S B モードへ移行すると、直流電源 1 0 a，1 0 b の出力電力が急激に変化する。これにより、負荷 3 0 への出力

50

(電圧および／または電流)が変動して不安定になる虞がある。

【0166】

したがって、PBモードからSBモードへ移行する際には、PBモードにおいて電力配分比 k が k_1 と同等となってから、SBモードへの切替が許可される。すなわち、電力配分要件として、ステップS420(図17)により、現在の電力配分比 k と、SBモード移行後の電力配分比推定値(k_1)との差が、所定の判定値よりも小さいか否かが判定される。電力配分比 k は、直流電源10a, 10bの電圧 V_a , V_b および電流 I_a , I_b から逐次求めることができる。また、 k_1 は、直流電源10a, 10bの電圧 V_a , V_b から上記(5)式に従って求めることができる。

【0167】

電力配分比 k および k_1 の差が判定値より大きいときには、ステップS420(図17)がNO判定とされるので、電力配分要件の不成立により、SBモードへの切替は許可されない。そして、ステップS700(図17)によるモード切替処理として、電力配分比 k が k_1 へ近づく方向に、電力フィードバック(直流電源10a)の電力指令値 P_{a*} が調整される。通常、出力電力 P_a , P_b の急変を回避するために、1回の制御周期での P_{a*} の変化量は制限される。以降の制御周期において、電力指令値 P_{a*} の変化に伴って電力配分比 k が k_1 とほぼ一致すると、電力配分要件はクリアされる。これにより、ステップS420がYES判定に転ずる。

【0168】

SBモードでは、電力配分比が固定されるので、直流電源10a, 10bの電力も、下記(6), (7)式に従って、 $P_a(SB)$, $P_b(SB)$ に固定的に決まる。

【0169】

$$P_a(SB) = P_L * k_1 \quad \dots (6)$$

$$P_b(SB) = P_L * (1 - k_1) \quad \dots (7)$$

したがって、PBモードからSBモードへ移行する際には、電力保護要件として、式(6), (7)で決まる電力 $P_a(SB)$, $P_b(SB)$ が、直流電源10a, 10bの制約値(すなわち、電力上限値 P_{amax} , P_{bmax} および電力下限値 P_{amin} , P_{bmin})に達しているかどうかを判定する必要がある。

【0170】

ステップS430(図17)では、電力 $P_a(SB)$ が $P_{amin} \sim P_{amax}$ の範囲内であるか否か、および、電力 $P_b(SB)$ が $P_{bmin} \sim P_{bmax}$ の範囲内であるかが、電力保護要件として判定される。

【0171】

電力 $P_a(SB)$, $P_b(SB)$ の少なくともいずれかが制約値に達している場合、すなわち、 $P_a(SB)$ が $P_{amin} \sim P_{amax}$ の範囲外であるか、または、 $P_b(SB)$ が $P_{bmin} \sim P_{bmax}$ の範囲外であるときには、ステップS430(図17)がNO判定とされるので、電力保護要件の不成立により、SBモードへの切替は禁止される。

【0172】

一方で、電力 $P_a(SB)$, $P_b(SB)$ の両方が制約値に達していない場合、すなわち、 $P_a(SB)$ が $P_{amin} \sim P_{amax}$ の範囲内であり、かつ、 $P_b(SB)$ が $P_{bmin} \sim P_{bmax}$ の範囲内であるときには、電力保護要件はクリアされるので、ステップS430(図17)がYES判定とされる。

【0173】

次に、PBモードからaBモードへ移行する際には、VH要件はチェックされず、電力配分要件および電力保護要件がチェックされる。

【0174】

上述のように、PBモードおよびaBモードともVH範囲は $max(V_a, V_b) \sim V_{VHmax}$ であるので、モード切替における出力電圧VHの制限は不要である。したがって、VH要件は設定されないため、PBモードからaBモードへの移行時には、ステップS410(図17)は、無条件にYES判定とされる。

10

20

30

40

50

【0175】

a Bモードでは、直流電源10aのみが用いられるので、電力配分比 $k = 1.0$ となる。さらに、直流電源10aの電力 $P_a = P_L^*$ となる($P_b = 0$)。したがって、現在の電力分配比 k が 1.0 から離れている状態でa Bモードへ移行すると、直流電源10a, 10bの出力電力が急激に変化することにより、負荷30への出力(電圧および/または電流)が変動して不安定になる虞がある。

【0176】

したがって、PBモードからa Bモードへ移行する際には、PBモードにおいて電力配分比 $k = 1.0$ となってから、a Bモードへの切替が許可される。すなわち、電力配分要件として、ステップS420(図17)により、現在の電力分配比 k とa Bモード移行後の電力分配比(1.0)との差が、所定の判定値よりも小さいか否かが判定される。

10

【0177】

電力分配比 k がほぼ 1.0 となるまで、ステップS420(図17)がNO判定とされるので、電力配分要件の不成立により、a Bモードへの切替は許可されない。そして、ステップS700(図17)によるモード切替処理として、電力分配比 k が 1.0 へ近付く方向に、電力フィードバック(直流電源10a)の電力指令値 P_a^* が調整される。以降の制御周期において、電力指令値 P_a^* の変化に伴って電力分配比 k が 1.0 にほぼ一致すると、電力配分要件はクリアされる。これにより、ステップS420がYES判定に転ずる。

【0178】

20

直流電源10aのみが使用されるa Bモードでは、 $P_a = P_L^*$, $P_b = 0$ となるので、PBモードからa Bモードへ移行する際には、電力保護要件として、直流電源10aの電力、すなわち、負荷電力指令値 P_L^* が、直流電源10aの制約値(すなわち、電力上限値 P_{amax} および電力下限値 P_{amin})に達しているかどうかを判定する必要がある。

【0179】

ステップS430(図17)では、負荷電力指令値 P_L^* が $P_{amin} \sim P_{amax}$ の範囲内であるか否かが、電力保護要件として判定される。負荷電力指令値 P_L^* が $P_{amin} \sim P_{amax}$ の範囲外であるときには、ステップS430(図17)がNO判定とされるので、電力保護要件の不成立により、a Bモードへの切替は禁止される。一方で、負荷電力指令値 P_L^* が $P_{amin} \sim P_{amax}$ の範囲内であるときには、電力保護要件はクリアされるので、ステップS430(図17)がYES判定とされる。

30

【0180】

PBモードからb Bモードへ移行する際にも、a Bモードへの移行の際と同様に、VH要件はチェックされず、電力配分要件および電力保護要件がチェックされる。

【0181】

上述のように、PBモードおよびb BモードともVH範囲は $max(V_a, V_b) \sim V_{VHmax}$ である。したがって、PBモードからb Bモードへの移行時にも、VH要件は設定されず、ステップS410(図17)は、無条件にYES判定とされる。

【0182】

40

b Bモードでは、直流電源10bのみが用いられるので、電力配分比 $k = 0$ となる。さらに、直流電源10bの電力 $P_b = P_L^*$ となる($P_a = 0$)。したがって、PBモードからb Bモードへ移行する際には、直流電源10a, 10bの電力の急激な変化を回避するために、PBモードにおいて電力配分比 $k = 0$ となってから、b Bモードへの切替が許可される。すなわち、電力配分要件として、ステップS420(図17)により、現在の電力分配比 k とa Bモード移行後の電力分配比(0)との差が、所定の判定値よりも小さいか否かが判定される。

【0183】

電力分配比 k がほぼ 0 となるまで、ステップS420(図17)がNO判定とされるので、電力配分要件の不成立により、b Bモードへの切替は許可されない。そして、ステッ

50

プ S 7 0 0 (図 1 7) によるモード切替処理として、電力分配比 k が 0 へ近付く方向に、電力フィードバック (直流電源 1 0 a) の電力指令値 $P a *$ が調整される。以降の制御周期において、電力指令値 $P a *$ の変化に伴って電力分配比 k が 0 にほぼ一致すると、電力配分要件はクリアされる。これにより、ステップ S 4 2 0 が Y E S 判定に転ずる。

【 0 1 8 4 】

直流電源 1 0 b のみが使用される b B モードでは、 $P b = P L *$ 、 $P a = 0$ となるので、b B モードが移行先の動作モードである場合には、電力保護要件として、直流電源 1 0 b の電力、すなわち、負荷電力指令値 $P L *$ が、直流電源 1 0 b の制約値 (すなわち、電力上限値 $P b m a x$ および電力下限値 $P b m i n$) に達しているかどうかを判定する必要がある。

10

【 0 1 8 5 】

ステップ S 4 3 0 (図 1 7) では、負荷電力指令値 $P L *$ が $P b m i n \sim P b m a x$ の範囲内であるか否かが、電力保護要件として判定される。負荷電力指令値 $P L *$ が $P b m i n \sim P b m a x$ の範囲外であるときには、ステップ S 4 3 0 (図 1 7) が N O 判定とされるので、電力保護要件の不成立により、b B モードへの切替は禁止される。一方で、負荷電力指令値 $P L *$ が $P b m i n \sim P b m a x$ の範囲内であるときには、電力保護要件はクリアされるので、ステップ S 4 3 0 (図 1 7) が Y E S 判定とされる。

【 0 1 8 6 】

次に、P B モードから P D モードへの移行の際には、V H 要件、電力配分要件および電力保護要件がチェックされる。

20

【 0 1 8 7 】

P D モードでは、出力電圧 $V H = m a x (V a, V b)$ に固定される。したがって、出力電圧 $V H$ が $m a x (V a, V b)$ とほぼ一致することが、V H 要件とされる。

【 0 1 8 8 】

ステップ S 4 1 0 (図 1 7) では、出力電圧 $V H$ と $m a x (V a, V b)$ との電圧差が所定の判定値よりも小さいか否かが判定される。出力電圧 $V H$ が $m a x (V a, V b)$ から離れているときには、V H 要件の不成立により、P D モードへの切替は許可されない。そして、ステップ S 7 0 0 (図 1 7) によるモード切替処理として、 $m a x (V a, V b)$ へ向けて電圧指令値 $V H *$ が調整される。以降の制御周期において、電圧指令値 $V H *$ の変化に伴って出力電圧 $V H$ が $m a x (V a, V b)$ とほぼ等しくなると、V H 要件はク

30

【 0 1 8 9 】

上述のように、P D モードでは、直流電源 1 0 a, 1 0 b 間の電力分配比 k が、内部抵抗 $R a, R b$ に従って固定的に決まる。このときの電力分配比 $k 2$ は、下記 (8) 式で

$$k 2 = R b / (R a + R b) \quad \cdots (8)$$

したがって、P B モードから P D モードへ移行する際には、P B モードにおいて電力配分比 k が $k 2$ と同等となってから、P D モードへの切替が許可される。すなわち、電力配分要件として、ステップ S 4 2 0 (図 1 7) により、現在の電力分配比 k と、P D モード移行後の電力分配比推定値 ($k 2$) との差が、所定の判定値よりも小さいか否かが判定される。なお、直流電源 1 0 a, 1 0 b の内部抵抗 $R a, R b$ は、予め求められた温度依存特に従って温度 $T a, T b$ の検出値に基づいて推定することができる。あるいは、直流電源 1 0 a, 1 0 b の使用中における電圧 $V a, V b$ および電流 $I a, I b$ に基づいて、($V a / I a$) および ($V b / I b$) の傾きを求めることによって推定することも可能である。

40

【 0 1 9 0 】

電力分配比 k および $k 2$ の差が判定値より大きいときには、ステップ S 4 2 0 (図 1 7) が N O 判定とされるので、電力配分要件の不成立により、P D モードへの切替は許可されない。そして、ステップ S 7 0 0 (図 1 7) によるモード切替処理として、電力分配比 k が $k 2$ へ近付く方向に、電力指令値 $P a *$ が調整される。以降の制御周期において、電力指令値 $P a *$ の変化に伴って電力分配比 k が $k 2$ にほぼ一致すると、電力配分要件はク

50

リアされる。これにより、ステップ S 4 2 0 が Y E S 判定に転ずる。

【0191】

S Dモードでは、電力配分比が k_2 に固定されるので、直流電源 $10a$ 、 $10b$ の電力は、上記 (9)、(10) 式に従って、 $P_a(PD)$ 、 $P_b(PD)$ に固定的に決まる。

【0192】

$$P_a(PD) = P_L * \cdot k_2 \quad \dots (9)$$

$$P_b(PD) = P_L * \cdot (1 - k_2) \quad \dots (10)$$

したがって、P Bモードから P Dモードへ移行する際には、S Bモードへの移行の際と同様の電力保護要件が設定される。すなわち、電力分配比 k_2 に従う電力 $P_a(PD)$ 、 $P_b(PD)$ が、直流電源 $10a$ 、 $10b$ の制約値（すなわち、電力上限値 P_{amax} 、 P_{bmax} および電力下限値 P_{amin} 、 P_{bmin} ）に達しているかどうか、ステップ S 4 3 0（図 1 7）により判定される。

【0193】

したがって、電力 $P_a(PD)$ 、 $P_b(PD)$ の両方が制約値に達していない場合、すなわち、 $P_a(PD)$ が $P_{amin} \sim P_{amax}$ の範囲内であり、かつ、 $P_b(PD)$ が $P_{bmin} \sim P_{bmax}$ の範囲内であるときには、電力保護要件はクリアされるので、ステップ S 4 3 0（図 1 7）が Y E S 判定とされる。これに対して、電力 $P_a(PD)$ 、 $P_b(PD)$ の少なくともいずれかが制約値に達している場合、すなわち、 $P_a(PD)$ が $P_{amin} \sim P_{amax}$ の範囲外であるか、または、 $P_b(PD)$ が $P_{bmin} \sim P_{bmax}$ の範囲外であるときには、ステップ S 4 3 0（図 1 7）が N O 判定とされるので、電力保護要件の不成立により、P Dモードへの切替は禁止される。

【0194】

次に、P Bモードから S Dモードへの移行の際には、V H要件、電力配分要件および電力保護要件がチェックされる。

【0195】

S Dモードでは、出力電圧 $V_H = V_a + V_b$ に固定される。したがって、出力電圧 V_H が $V_a + V_b$ とほぼ一致していることが、V H要件とされる。ステップ S 4 1 0（図 1 7）では、出力電圧 V_H と $V_a + V_b$ との電圧差が所定の判定値よりも小さいか否かが判定される。出力電圧 V_H が $V_a + V_b$ から離れているときには、V H要件の不成立により、S Dモードへの切替は許可されない。そして、ステップ S 7 0 0（図 1 7）によるモード切替処理として、 $V_a + V_b$ へ向けて電圧指令値 V_H^* が調整される。以降の制御周期において、電圧指令値 V_H^* の変化に伴って出力電圧 V_H が $V_a + V_b$ とほぼ等しくなると、V H要件はクリアされる。これにより、ステップ S 4 1 0 が Y E S 判定に転ずる。

【0196】

S Dモードでは、直流電源 $10a$ 、 $10b$ 間の電圧分配比は、S Bモードと同様に、電圧 V_a および V_b に従って固定的に k_1 に決まる。したがって、P Bモードから S Dモードへ移行する際には、P Bモードにおいて電力配分比 k が k_1 と同等となってから、S Bモードへの切替が許可される。すなわち、電力配分要件として、ステップ S 4 2 0（図 1 7）により、現在の電力分配比 k と、S Dモード移行後の電力分配比推定値 (k_1) との差が、所定の判定値よりも小さいか否かが判定される。

【0197】

電力分配比 k および k_1 の差が判定値より大きいときには、電力配分要件の不成立により（S 4 2 0 が N O 判定）、S Bモードへの切替は許可されない。そして、モード切替処理（S 7 0 0）として、電力分配比 k が k_1 へ近付く方向に、電力指令値 P_a^* が調整される。以降の制御周期において、電力指令値 P_a^* の変化に伴って電力分配比 k が k_1 にほぼ一致すると、電力配分要件はクリアされる。これにより、ステップ S 4 2 0 が Y E S 判定に転ずる。

【0198】

S Dモードへの移行時における電力 $P_a(SD)$ 、 $P_b(SD)$ は、下記 (11)、(12) 式によって示される。すなわち、 $P_a(SD)$ 、 $P_b(SD)$ は、S Bモードへの

移行後における電力 $P_a(SB)$ および $P_b(SB)$ と同じである。

【0199】

$$P_a(SD) = PL * \cdot k1 \quad \dots (11)$$

$$P_b(SD) = PL * \cdot (1 - k1) \quad \dots (12)$$

したがって、SDモードへの移行時における電力保護要件は、SBモードへの移行時における電力保護要件と同様に設定される。すなわち、電力 $P_a(SD)$ 、 $P_b(SD)$ が、直流電源 $10a$ 、 $10b$ の制約値（すなわち、電力上限値 P_{amax} 、 P_{bmax} および電力下限値 P_{amin} 、 P_{bmin} ）に達しているかどうか、ステップ $S430$ （図 17 ）により判定される。

【0200】

電力 $P_a(SD)$ 、 $P_b(SD)$ の両方が制約値に達していない場合、すなわち、 $P_a(SD)$ が $P_{amin} \sim P_{amax}$ の範囲内であり、かつ、 $P_b(SD)$ が $P_{bmin} \sim P_{bmax}$ の範囲内であるときには、電力保護要件はクリアされるので、ステップ $S430$ （図 17 ）がYES判定とされる。これに対して、電力 $P_a(SD)$ 、 $P_b(SD)$ の少なくともいずれかが制約値に達している場合、すなわち、 $P_a(SD)$ が $P_{amin} \sim P_{amax}$ の範囲外であるか、または、 $P_b(SD)$ が $P_{bmin} \sim P_{bmax}$ の範囲外であるときには、ステップ $S430$ （図 17 ）がNO判定とされるので、電力保護要件の不成立により、SDモードへの切替は禁止される。

【0201】

PBモードからaDモードへ移行する際には、VH要件、電力配分要件および電力保護要件がチェックされる。

【0202】

aDモードでは、出力電圧 $VH = Va$ に固定される。したがって、出力電圧 VH が Va とほぼ一致することが、VH要件とされる。ステップ $S410$ （図 17 ）では、出力電圧 VH と Va との電圧差が所定の判定値よりも小さいか否かが判定される。出力電圧 VH が Va から離れているときには、VH要件の不成立により、aDモードへの切替は許可されない。そして、ステップ $S700$ （図 17 ）によるモード切替処理として、 Va へ向けて電圧指令値 $VH*$ が調整される。以降の制御周期において、電圧指令値 $VH*$ の変化に伴って出力電圧 VH が Va とほぼ等しくなると、VH要件はクリアされる。これにより。ステップ $S410$ がYES判定に転ずる。

【0203】

aDモードでは、直流電源 $10a$ のみが用いられるので、電力配分比 $k = 1.0$ となる。したがって、PBモードにおいて電力配分比 $k = 1.0$ となってから、aDモードへの切替が許可される。すなわち、電力配分要件として、ステップ $S420$ （図 17 ）により、現在の電力分配比 k とaDモード移行後の電力分配比（ 1.0 ）との差が、所定の判定値よりも小さいか否かが判定される。

【0204】

電力分配比 k がほぼ 1.0 となるまで、ステップ $S420$ （図 17 ）がNO判定とされるので、電力配分要件の不成立によりaDモードへの切替は許可されない。そして、ステップ $S700$ （図 17 ）によるモード切替処理として、電力分配比 k が 1.0 へ近づく方向に、電力（電流）フィードバックの電力指令値 $Pa*$ が上昇される。以降の制御周期において、電力指令値 $Pa*$ の変化に伴って電力分配比 k が 1.0 にほぼ一致すると、電力配分要件はクリアされる。これにより、ステップ $S420$ がYES判定に転ずる。

【0205】

aDモードでは、 $Pa = PL*$ 、 $Pb = 0$ となるので、PBモードからaDモードへ移行する際には、電力保護要件として、負荷電力指令値 $PL*$ が、直流電源 $10a$ の制約値（すなわち、電力上限値 P_{amax} および電力下限値 P_{amin} ）に達しているかどうか判定される。

【0206】

負荷電力指令値 $PL*$ が $P_{amin} \sim P_{amax}$ の範囲外であるときには、ステップ S

10

20

30

40

50

430 (図17) がNO判定とされるので、電力保護要件の不成立により、aDモードへの切替は禁止される。一方で、負荷電力指令値 PL^* が $P_{amin} \sim P_{amax}$ の範囲内であるときには、電力保護要件はクリアされるので、ステップS430 (図17) がYES判定とされる。

【0207】

PBモードからbDモードへ移行する際には、VH要件、電力配分要件および電力保護要件がチェックされる。

【0208】

bDモードでは、出力電圧 $VH = Vb$ に固定される。したがって、出力電圧 VH が Vb とほぼ一致することが、VH要件とされる。ステップS410 (図17) では、出力電圧 VH と Vb との電圧差が所定の判定値よりも小さいか否かが判定される。出力電圧 VH が Vb から離れているときには、VH要件の不成立により、bDモードへの切替は許可されない。そして、ステップS700 (図17) によるモード切替処理として、 Vb へ向けて電力指令値 VH^* が調整される。以降の制御周期において、電力指令値 VH^* の変化に伴って出力電圧 VH が Vb とほぼ等しくなると、VH要件はクリアされる。これにより、ステップS410がYES判定に転ずる。

【0209】

bDモードでは、直流電源10bのみが用いられるので、電力配分比 $k = 0$ となる。したがって、PBモードにおいて電力配分比 $k = 0$ となってから、bDモードへの切替が許可される。すなわち、電力配分要件として、ステップS420 (図17) により、現在の電力分配比 k とbDモード移行後の電力分配比 (0) との差が、所定の判定値よりも小さいか否かが判定される。

【0210】

電力分配比 k がほぼ0となるまで、ステップS420 (図17) がNO判定とされるので、電力配分要件の不成立によりbDモードへの切替は許可されない。そして、ステップS700 (図17) によるモード切替処理として、電力分配比 k が0へ近づく方向に、電力指令値 Pa^* が上昇される。以降の制御周期において、電力指令値 Pa^* の変化に伴って電力分配比 k が0にほぼ一致すると、電力配分要件はクリアされる。これにより、ステップS420がYES判定に転ずる。

【0211】

bDモードでは、 $Pb = PL^*$ 、 $Pa = 0$ となるので、PBモードからbDモードへ移行する際には、電力保護要件として、負荷電力指令値 PL^* が、直流電源10bの制約値 (すなわち、電力上限値 Pb_{max} および電力下限値 Pb_{min}) に達しているかどうか判定される。

【0212】

負荷電力指令値 PL^* が $Pb_{min} \sim Pb_{max}$ の範囲外であるときには、ステップS430 (図17) がNO判定とされるので、電力保護要件の不成立により、bDモードへの切替は禁止される。一方で、負荷電力指令値 PL^* が $Pb_{min} \sim Pb_{max}$ の範囲内であるときには、電力保護要件はクリアされるので、ステップS430 (図17) がYES判定とされる。

【0213】

図19は、SBモードからの動作モード切替におけるモード切替要件およびモード切替処理を説明するための図表である。

【0214】

SBモードからPBモードへ移行する際には、VH要件、電力配分要件および電力保護要件はいずれも設定されない。図3に示されるように、SBモードにおけるVH範囲 ($Va + Vb$) $\sim VH_{max}$) は、PBモードへのVH範囲 ($max(Va, Vb) \sim VH_{max}$) に含まれる。したがって、出力電圧 VH については、特に制限を設けることなく、PBモードへの切替えることができる。また、SBモードでは、電力分配比が k_1 (式(5)) に固定される一方で、PBモードでは、電力指令値 Pa^* によって電力分配比 k

10

20

30

40

50

を任意に制御することができる。したがって、電力分配要件および電力保護要件についても特に設定することなく、S BモードからP Bモードへ切替えることができる。なお、P Bモードへの切替時における電力分配比 k の初期値は、S Bモードにおける k_1 に設定することが、円滑なモード移行の点から好ましい。ただし、電力分配比 k は、電力 P_a ($P_L \cdot k$) および P_b ($P_L \cdot (1 - k)$) が、それぞれ $P_{a \min} \sim P_{a \max}$ および $P_{b \min} \sim P_{b \max}$ の範囲内となるように設定する必要がある。

【0215】

したがって、S Bモードの適用時に、ステップS 2 0 0（動作モード選択部6 0 0）によりP Bモードが選択されると、ステップS 4 1 0～S 4 3 0はいずれもY E S判定とされて、即座に動作モードが切替えられる（S 6 0 0）。

10

【0216】

S Bモードからa Bモードへ移行する際には、現在の動作モードおよび移行先の動作モードの両方が「電力配分固定モード」である。そして、S Bモードでの電力配分比 k_1 と、a Bモードでの電力配分比 1.0 とは異なるため、電力配分比 k の調整が必要である。

【0217】

したがって、電力固定モード同士の間での動作モード切替では、一旦P Bモードへ移行して電力配分比 k を調整した後に、移行先の動作モードへの切替が行なわれる。

【0218】

すなわち、S Bモードからa Bモードへの移行が指示されると、少なくとも電力配分要件（S 4 2 0）によって切替が許可されないとともに、ステップS 7 0 0によって、P Bモードへの移行が切替処理として実行される。上述のように、S BモードからP Bモードへの移行時には、モード切替要件は設定されない。

20

【0219】

そして、P Bモードに移行した後、P Bモードからa Bモードへの移行は、図1 8で示されたモード切替要件およびモード切替処理に従って、電力配分要件および電力保護要件がクリアされたときに許可されることになる。

【0220】

同様に、S Bモードからb Bモードへの移行時にも、電力分配比 k の変化を伴う電力固定モード同士の間での動作モード切替であるため、一旦P Bモードへ移行して電力配分比 k を調整した後に、移行先の動作モードへの切替が行なわれる。

30

【0221】

したがって、P Bモードに移行した後、図1 8に示したモード切替要件およびモード切替処理に従って、電力配分要件および電力保護要件がクリアされると、b Bモードへの移行が許可されることになる。

【0222】

さらに、S BモードからP Dモードへの移行についても、電力分配比 k の変化を伴う電力固定モード同士の間での動作モード切替であるため、一旦P Bモードへ移行して電力配分比 k を調整した後に、移行先の動作モードへの切替が行なわれる。そして、P Bモードへの移行後、図1 8に示したモード切替要件およびモード切替処理に従って、V H要件、電力配分要件および電力保護要件のすべてがクリアされると、S Dモードへの移行が許可される。

40

【0223】

S BモードからS Dモードへの移行では、電力配分比が両モード間で同一（ k_1 ）であるため、電力配分要件および電力保護要件については設定が不要である。したがって、ステップS 4 2 0，S 4 3 0（図1 7）は、無条件にY E S判定とされる。

【0224】

一方で、S BモードでのV H範囲が $V_a + V_b \sim V_{H \max}$ であるのに対して、S Dモードでは、 $V_H = V_a + V_b$ に固定される。したがって、出力電圧V Hが $V_a + V_b$ とほぼ一致していることが、V H要件として設定される。このため、ステップS 4 1 0（図1 7）では、出力電圧V Hと $V_a + V_b$ との電圧差が所定の判定値よりも小さいか否かが判

50

定される。出力電圧 V_H が $V_a + V_b$ から離れているときには、 V_H 要件の不成立により、 S_D モードへの切替は許可されない。

【0225】

ステップ $S700$ (図17) によるモード切替処理として、 $V_a + V_b$ へ向けて電力指令値 V_H^* が調整される。これにより、以降の制御周期において、電力指令値 V_H^* の変化に伴って出力電圧 V_H が $V_a + V_b$ とほぼ等しくなると、 S_D モードへの切替が許可される。

【0226】

S_B モードから a_D モードへの移行、および、 S_B モードから b_D モードへの移行についても、電力分配比 k の変化を伴う電力固定モード同士の間での動作モード切替である。したがって、一旦、 P_B モードへ移行して、出力電圧 V_H および電力配分比 k を調整した後に、移行先の a_D モードまたは b_D モードへの切替が行なわれる。図18に示したモード切替要件およびモード切替処理に従って、 V_H 要件、電力配分要件および電力保護要件のすべてがクリアされると、 a_D モードまたは b_D モードへの移行が許可される。

【0227】

図20は、 a_B モードからの動作モード切替におけるモード切替要件およびモード切替処理を説明するための図表である。

【0228】

図20を参照して、 a_B モードから P_B モードへ移行する際には、 V_H 要件、電力配分要件および電力保護要件はいずれも設定されない。図3に示されるように、 a_B モードおよび P_B モードの V_H 範囲 ($\max(V_a + V_b) \sim V_{H\max}$) は同じであるので、 V_H 要件の設定は不要である。また、 a_B モードでは、電力分配比が1.0に固定される一方で、 P_B モードでは、電力指令値 P_a^* によって電力分配比 k を任意に制御することができる。したがって、電力配分要件および電力保護要件についても特に設定することなく、 a_B モードから P_B モードへ切替えることができる。なお、 P_B モードへの切替時における電力分配比 k の初期値は、 a_B モードにおける1.0に設定することが、円滑なモード移行の点から好ましい。

【0229】

したがって、 a_B モードの適用時に、ステップ $S200$ (動作モード選択部600) により P_B モードが選択されると、ステップ $S410 \sim S430$ はいずれも YES 判定とされて、即座に動作モードが切替えられる ($S600$)。

【0230】

a_B モードから S_B モードへの移行、 a_B モードから P_D モードへの移行、および、 a_B モードから S_D モードへの移行は、いずれも、電力分配比 k の変化を伴う電力固定モード同士の間での動作モード切替である。

【0231】

したがって、これらの動作モード切替は、一旦 P_B モードへ移行して電力配分比 k を調整した後に、移行先の動作モードへの切替が行なわれる。すなわち、 a_B モードから S_B モードへの移行が指示されると、少なくとも電力配分要件 ($S420$) によって切替が許可されないとともに、ステップ $S700$ によって、 P_B モードへの移行が切替処理として実行される。そして、 P_B モードに移行した後、図18で示されたモード切替要件およびモード切替処理に従って、 V_H 要件、電力配分要件および電力保護要件がクリアされると、 S_B モードへの移行が許可されることになる。

【0232】

同様に、 a_B モードから P_D モードへの移行時には、一旦 P_B モードへ移行して電力配分比 k が k_2 に調整される。そして、図18で示されたモード切替要件およびモード切替処理に従って、 V_H 要件、電力配分要件および電力保護要件がクリアされると、 P_D モードへの移行が許可されることになる。

【0233】

また、 a_B モードから S_D モードへの移行時には、一旦 P_B モードへ移行して電力配分

10

20

30

40

50

比 k が k_1 に調整される。そして、図 18 で示されたモード切替要件およびモード切替処理に従って、VH 要件、電力配分要件および電力保護要件がクリアされると、SD モードへの移行が許可されることになる。

【0234】

a B モードから a D モードへの移行では、電力配分比が両モード間で同一 (1.0) であるため、電力配分要件および電力保護要件については設定が不要である。したがって、ステップ S420, S430 (図 17) は、無条件に YES 判定とされる。

【0235】

一方で、a B モードでの VH 範囲が $\max(V_a + V_b) \sim V_{H\max}$ であるのに対して、a D モードでは、 $VH = V_a$ に固定される。したがって、出力電圧 VH が V_a とほぼ一致していることが、VH 要件として設定される。このため、ステップ S410 (図 17) では、出力電圧 VH および V_a の電圧差が所定の判定値よりも小さいか否かが判定される。出力電圧 VH が V_a から離れているときには、VH 要件の不成立により、a D モードへの切替は許可されない。ステップ S700 (図 17) によるモード切替処理として、 V_a へ向けて電力指令値 VH^* が調整されることにより、以降の制御周期において、出力電圧 VH が V_a とほぼ等しくなると、a D モードへの切替が許可される。

【0236】

a B モードから b D モードへの移行、および、a B モードから b B モードへの移行についても、電力分配比 k の変化を伴う電力固定モード同士の間での動作モード切替である。したがって、一旦、PB モードへ移行して、出力電圧 VH および電力分配比 k を調整した後、移行先の b D モードまたは b B モードへの切替が行なわれる。図 18 に示したモード切替要件およびモード切替処理に従って、b D モードまたは b B モードへの移行が許可される。

【0237】

図 21 は、b B モードからの動作モード切替におけるモード切替要件およびモード切替処理を説明するための図表である。

【0238】

図 21 を参照して、b B モードから PB モードへ移行する際には、VH 要件、電力配分要件および電力保護要件はいずれも設定されない。図 3 に示されるように、a B モードおよび PB モードの VH 範囲 ($\max(V_a + V_b) \sim V_{H\max}$) は同じであるので、VH 要件の設定は不要である。また、b B モードでは、電力分配比が 0 に固定される一方で、PB モードでは、電力指令値 Pa^* によって電力分配比 k を任意に制御することができる。したがって、電力分配要件および電力保護要件についても特に設定することなく、b B モードから PB モードへ切替えることができる。なお、PB モードへの切替時における電力分配比 k の初期値は、b B モードにおける 0 に設定することが、円滑なモード移行の点から好ましい。

【0239】

したがって、b B モードの適用時に、ステップ S200 (動作モード選択部 600) により PB モードが選択されると、ステップ S410 ~ S430 はいずれも YES 判定とされて、即座に動作モードが切替えられる (S600)。

【0240】

b B モードから SB モードへの移行、b B モードから PD モードへの移行、および、b B モードから SD モードへの移行は、いずれも、電力分配比 k の変化を伴う電力固定モード同士の間での動作モード切替である。

【0241】

したがって、これらの動作モード切替は、一旦 PB モードへ移行して電力分配比 k を調整した後に、移行先の動作モードへの切替が行なわれる。すなわち、b B モードから SB モードへの移行が指示されると、少なくとも電力配分要件 (S420) によって切替が許可されないとともに、ステップ S700 によって、PB モードへの移行が切替処理として実行される。そして、PB モードに移行した後、図 18 で示されたモード切替要件および

10

20

30

40

50

モード切替処理に従って、VH要件、電力配分要件および電力保護要件がクリアされると、SBモードへの移行が許可されることになる。

【0242】

同様に、bBモードからPDモードへの移行時には、一旦PBモードへ移行して電力配分比 k が k_2 に調整される。そして、図18で示されたモード切替要件およびモード切替処理に従って、VH要件、電力配分要件および電力保護要件がクリアされると、PDモードへの移行が許可されることになる。

【0243】

また、bBモードからSDモードへの移行時には、一旦PBモードへ移行して電力配分比 k が k_1 に調整される。そして、図18で示されたモード切替要件およびモード切替処理に従って、VH要件、電力配分要件および電力保護要件がクリアされると、SDモードへの移行が許可されることになる。

【0244】

bBモードからbDモードへの移行では、電力配分比が両モード間で同一(0)であるため、電力配分要件および電力保護要件については設定が不要である。したがって、ステップS420、S430(図17)は、無条件にYES判定とされる。

【0245】

一方で、bBモードでのVH範囲が $\max(V_a + V_b) \sim VH_{\max}$ であるのに対して、bDモードでは、 $VH = V_b$ に固定される。したがって、出力電圧VHが V_b とほぼ一致していることが、VH要件として設定される。このため、ステップS410(図17)では、出力電圧VHおよび V_b の電圧差が所定の判定値よりも小さいか否かが判定される。出力電圧VHが V_b から離れているときには、VH要件の不成立により、bDモードへの切替は許可されない。ステップS700(図17)によるモード切替処理として、 V_b へ向けて電力指令値 VH^* が調整されることにより、以降の制御周期において、出力電圧VHが V_b とほぼ等しくなると、bDモードへの切替が許可される。

【0246】

bBモードからaDモードへの移行、および、bBモードからaBモードへの移行についても、電力分配比 k の変化を伴う電力固定モード同士の間での動作モード切替である。したがって、一旦、PBモードへ移行して、出力電圧VHおよび電力分配比 k を調整した後に、移行先のaDモードまたはaBモードへの切替が行なわれる。図18に示したモード切替要件およびモード切替処理に従って、aDモードまたはaBモードへの移行が許可される。

【0247】

図22は、PDモードからの動作モード切替におけるモード切替要件およびモード切替処理を説明するための図表である。

【0248】

図22を参照して、PDモードからPBモードへ移行する際には、VH要件、電力配分要件および電力保護要件はいずれも設定されない。図3に示されるように、PDモードのVH範囲($VH = \max(V_a, V_b)$)は、PBモードのVH範囲($\max(V_a + V_b) \sim VH_{\max}$)に含まれるので、VH要件の設定は不要である。また、PDモードでは、電力分配比が内部抵抗 R_a 、 R_b に応じた k_2 に固定される一方で、PBモードでは、電力指令値 Pa^* によって電力分配比 k を任意に制御することができる。したがって、電力分配要件および電力保護要件についても特に設定することなく、PDモードからPBモードへ切替えることができる。なお、PBモードへの切替時における電力分配比 k の初期値は、PDモードにおける k_2 に設定することが、円滑なモード移行の点から好ましい。

【0249】

したがって、PDモードの適用時に、ステップS200(動作モード選択部600)によりPBモードが選択されると、ステップS410～S430はいずれもYES判定とされて、即座に動作モードが切替えられる(S600)。

【0250】

P DモードからS Bモードへの移行、P Dモードからa Bモードへの移行、P Dモードからb Bモードへの移行、および、P DモードからS Dモードへの移行は、いずれも、電力分配比 k の変化を伴う電力固定モード同士の間での動作モード切替である。

【0251】

したがって、これらの動作モード切替は、一旦P Bモードへ移行して電力分配比 k を調整した後に、移行先の動作モードへの切替が行なわれる。すなわち、P DモードからS Bモードへの移行が指示されると、少なくとも電力分配要件（S 4 2 0）によって切替が許可されないとともに、ステップS 7 0 0によって、P Bモードへの移行が切替処理として実行される。そして、P Bモードに移行した後、図18で示されたモード切替要件およびモード切替処理に従って、V H要件、電力分配要件および電力保護要件がクリアされると、S Bモードへの移行が許可されることになる。

10

【0252】

同様に、P Dモードからa Bモードまたはb Bモードへの移行時には、一旦P Bモードへ移行して電力分配比 k が1.0または0に調整される。そして、図18で示されたモード切替要件およびモード切替処理に従って、電力分配要件および電力保護要件がクリアされると、b Bモードへの移行が許可されることになる。

【0253】

また、P DモードからS Dモードへの移行時には、一旦P Bモードへ移行して電力分配比 k が k_1 に調整される。そして、図18で示されたモード切替要件およびモード切替処理に従って、V H要件、電力分配要件および電力保護要件がクリアされると、S Dモードへの移行が許可されることになる。

20

【0254】

P Dモードからa Dモードへの移行は、電圧 V_a 、 V_b の関係に応じて発生する。すなわち、P Dモード時に $V_a > V_b$ になると、直流電源10bから電力線20へ電流が流れなくなる。したがって、スイッチング素子S 4をオフすることにより、自然にa Dモードへ移行することができる。

【0255】

同様に、すなわち、P Dモード時に $V_b > V_a$ になると、直流電源10aから電力線20へ電流が流れなくなる。したがって、スイッチング素子S 2をオフすることにより、自然にb Dモードへ移行することができる。

30

【0256】

図23は、S Dモードからの動作モード切替におけるモード切替要件およびモード切替処理を説明するための図表である。

【0257】

図23を参照して、S DモードからP Bモードへ移行する際には、V H要件、電力分配要件および電力保護要件はいずれも設定されない。図3に示されるように、S DモードのV H範囲（ $V_H = V_a + V_b$ ）は、P BモードのV H範囲（ $\max(V_a + V_b) \sim V_{H\max}$ ）に含まれるので、V H要件の設定は不要である。また、S Dモードでは、電力分配比が電圧 V_a 、 V_b に応じた k_1 に固定される一方で、P Bモードでは、電力指令値 P_{a*} によって電力分配比 k を任意に制御することができる。したがって、電力分配要件および電力保護要件についても特に設定することなく、S DモードからP Bモードへ切替えることができる。なお、P Bモードへの切替時における電力分配比 k の初期値は、S Dモードにおける k_1 に設定することが、円滑なモード移行の点から好ましい。

40

【0258】

したがって、S Dモードの適用時に、ステップS 2 0 0（動作モード選択部600）によりP Bモードが選択されると、ステップS 4 1 0～S 4 3 0はいずれもY E S判定とされて、即座に動作モードが切替えられる（S 6 0 0）。

【0259】

S DモードからS Bモードへの移行では、現在の動作モードと移行先の動作モードとの

50

間で電力分配比が共通 (k_1) である。また、SDモードのVH範囲 ($V_H = V_a + V_b$) は、SBモードのVH範囲 ($\max(V_a, V_b) \sim V_{H\max}$) に含まれる。したがって、SDモードからSBモードへの移行では、VH要件、電力配分要件および電力保護要件はいずれも設定不要である。すなわち、SDモードの適用時に、ステップS200 (動作モード選択部600) によりSBモードが選択されると、ステップS410～S430はいずれもYES判定とされて、即座に動作モードが切替えられる (S600)。

【0260】

SDモードからaBモードへの移行、および、SDモードからbBモードへの移行、PDモードからPDモードへの移行、SDモードからaDモードへの移行、および、SDモードからbDモードへの移行は、いずれも、電力分配比kの変化を伴う電力固定モード同士の間での動作モード切替である。

10

【0261】

これらの動作モード切替は、一旦PBモードへ移行して電力配分比kを調整した後に、移行先の動作モードへの切替が行なわれる。すなわち、SDモードから、aBモードまたはbBモードへの移行が指示されると、少なくとも電力配分要件 (S420) によって切替が許可されないとともに、ステップS700によって、PBモードへの移行が切替処理として実行される。

【0262】

SDモードから、PDモード、aDモード、または、bDモードへの移行時には、一旦PBモードへ移行して電力配分比kを k_2 、1.0または0に調整する。そして、図18で示された、モード切替要件およびモード切替処理に従って、VH要件、電力配分要件および電力保護要件がクリアされると、PDモード、aDモード、または、bDモードへの移行が許可されることになる。

20

【0263】

図24は、aDモードからの動作モード切替におけるモード切替要件およびモード切替処理を説明するための図表である。

【0264】

図24を参照して、aDモードからPBモードへ移行する際には、VH要件、電力配分要件および電力保護要件はいずれも設定されない。図3に示されるように、aDモードのVH範囲 ($V_H = V_a$) は、PBモードのVH範囲 ($\max(V_a + V_b) \sim V_{H\max}$) に含まれるので、VH要件の設定は不要である。また、aDモードでは、電力分配比が1.0に固定される一方で、PBモードでは、電力指令値 P_a^* によって電力分配比kを任意に制御することができる。したがって、電力配分要件および電力保護要件についても特に設定することなく、aDモードからPBモードへ切替えることができる。なお、PBモードへの切替時における電力分配比kの初期値は、aDモードにおける1.0に設定することが、円滑なモード移行の点から好ましい。

30

【0265】

したがって、aDモードの適用時に、ステップS200 (動作モード選択部600) によりPBモードが選択されると、ステップS410～S430はいずれもYES判定とされて、即座に動作モードが切替えられる (S600)。

40

【0266】

aDモードからSBモードへの移行、aDモードからbBモードへの移行、aDモードからPDモードへの移行、および、aDモードからSDモードへの移行は、いずれも、電力分配比kの変化を伴う電力固定モード同士の間での動作モード切替である。したがって、これらの動作モード切替は、一旦PBモードへ移行して電力配分比kを調整した後に、移行先の動作モードへの切替が行なわれる。

【0267】

すなわち、aDモードから、SBモード、PDモードまたはSDモードへの移行が指示されると、少なくとも電力配分要件 (S420) によって切替が許可されないとともに、ステップS700によって、PBモードへの移行が切替処理として実行される。そして、

50

P Bモードに移行した後、電力配分比 k が k_1 または k_2 に調整される。そして、図 18 で示されたモード切替要件およびモード切替処理に従って、V H要件、電力配分要件および電力保護要件がクリアされると、S Bモード、P DモードまたはS Dモードへの移行が許可されることになる。

【0268】

同様に、a Dモードからb Bモードへの移行時には、一旦P Bモードへ移行して電力配分比 k が0に調整される。そして、図 18 で示されたモード切替要件およびモード切替処理に従って、電力配分要件および電力保護要件がクリアされると、b Bモードへの移行が許可されることになる。

【0269】

a Dモードからa Bモードへの移行では、現在の動作モードと移行先の動作モードとの間で電力分配比が共通 (1. 0) である。また、a DモードのV H範囲 ($V_H = V_a$) は、a BモードのV H範囲 ($\max(V_a, V_b) \sim V_{H\max}$) に含まれる。したがって、a Dモードからa Bモードへの移行では、V H要件、電力配分要件および電力保護要件はいずれも設定不要である。すなわち、a Dモードの適用時に、ステップS 200 (動作モード選択部600) によりa Bモードが選択されると、ステップS 410～S 430はいずれもYES判定とされて、即座に動作モードが切替えられる (S 600)。

【0270】

a Dモードからb Dモードへの移行は、電圧 V_a 、 V_b の関係に応じて発生する。すなわち、a Dモード時に、 $V_b > V_a$ になると、直流電源10aから電力線20へ電流が流れなくなるとともに、ダイオードD 4が導通することによって直流電源10bから電力線20へ電流が流れるようになる。これにより、a Dモードからb Dモードへ自然に移行することができる。

【0271】

同様に、a Dモード時に電圧 V_b および V_a が同等になると、ダイオードD 4の導通により、直流電源10aからも電力線20へ電流が流れるようになる。したがって、a DモードからP Dモードへ自然に移行することができる。

【0272】

図 25 は、b Dモードからの動作モード切替におけるモード切替要件およびモード切替処理を説明するための図表である。

【0273】

図 24 を参照して、b DモードからP Bモードへ移行する際には、V H要件、電力配分要件および電力保護要件はいずれも設定されない。図 3 に示されるように、b DモードのV H範囲 ($V_H = V_b$) は、P BモードのV H範囲 ($\max(V_a + V_b) \sim V_{H\max}$) に含まれるので、V H要件の設定は不要である。また、b Dモードでは、電力分配比が0に固定される一方で、P Bモードでは、電力指令値 P_a^* によって電力分配比 k を任意に制御することができる。したがって、電力分配要件および電力保護要件についても特に設定することなく、b DモードからP Bモードへ切替えることができる。なお、P Bモードへの切替時における電力分配比 k の初期値は、b Dモードにおける0に設定することが、円滑なモード移行の点から好ましい。

【0274】

したがって、b Dモードの適用時に、ステップS 200 (動作モード選択部600) によりP Bモードが選択されると、ステップS 410～S 430はいずれもYES判定とされて、即座に動作モードが切替えられる (S 600)。

【0275】

b DモードからS Bモードへの移行、b Dモードからa Bモードへの移行、b DモードからP Dモードへの移行、および、b DモードからS Dモードへの移行は、いずれも、電力分配比 k の変化を伴う電力配分固定モード同士の間での動作モード切替である。したがって、これらの動作モード切替は、一旦P Bモードへ移行して電力配分比 k を調整した後に、移行先の動作モードへの切替が行なわれる。

10

20

30

40

50

【0276】

すなわち、b DモードからS Bモード、P Dモード、またはS Dモードへの移行が指示されると、少なくとも電力配分要件（S 4 2 0）によって切替が許可されないとともに、ステップS 7 0 0によって、P Bモードへの移行が切替処理として実行される。そして、P Bモードに移行した後、電力配分比 k が k_1 または k_2 に調整される。そして、図18で示されたモード切替要件およびモード切替処理に従って、V H要件、電力配分要件および電力保護要件がクリアされると、S Bモード、P Dモード、またはS Dモードへの移行が許可されることになる。

【0277】

同様に、b Dモードからa Bモードへの移行時には、一旦P Bモードへ移行して電力配分比 k が1. 0に調整される。そして、図18で示されたモード切替要件およびモード切替処理に従って、電力配分要件および電力保護要件がクリアされると、a Bモードへの移行が許可されることになる。

【0278】

b Dモードからb Bモードへの移行では、現在の動作モードと移行先の動作モードとの間で電力分配比が共通（0）である。また、b DモードのV H範囲（ $V_H = V_b$ ）は、b BモードのV H範囲（ $\max(V_a, V_b) \sim V_{H\max}$ ）に含まれる。したがって、b Dモードからb Bモードへの移行では、V H要件、電力配分要件および電力保護要件はいずれも設定不要である。すなわち、b Dモードの適用時に、ステップS 2 0 0（動作モード選択部600）によりb Bモードが選択されると、ステップS 4 1 0～S 4 3 0はいずれもY E S判定とされて、即座に動作モードが切替えられる（S 6 0 0）。

【0279】

b Dモードからa Dモードへの移行は、電圧 V_a 、 V_b の関係に応じて発生する。すなわち、b Dモード時に、 $V_a > V_b$ になると、直流電源10bから電力線20へ電流が流れなくなるとともに、ダイオードD 2が導通することによって直流電源10aから電力線20へ電流が流れるようになる。これにより、b Dモードからa Dモードへ自然に移行することができる。

【0280】

同様に、b Dモード時に電圧 V_b および V_a が同等になると、ダイオードD 2の導通により、直流電源10aからも電力線20へ電流が流れるようになる。したがって、b DモードからP Dモードへ自然に移行することができる。

【0281】

このように、本実施の形態による電源システムによれば、負荷状態および電源状態に応じて、たとえば、電源システム全体での損失が最低となるように動作モードを適切に選択することができる。さらに、所定のモード切替条件が成立していることを確認してから動作モードを切替えるので、動作モード選択に伴う動作モードの切替を、電力変換器50の動作ないし出力に不都合が生じないように、円滑に実行することができる。

【0282】

特に、直流電源10a、10b間での電力配分比が固定的に決まる動作モード（電力配分固定モード）への移行時に、各直流電源10a、10bの入出力電力が急激に変化することを防止できる。これにより、動作モード切替によって、電源システム5から負荷30への出力（電圧および／または電流）が変動して不安定になることを回避できる。

【0283】

また、各動作モード間での出力電圧V Hの設定可能範囲の違いを反映して、動作モード切替を制限するので（V H要件）、動作モード切替によって出力電圧V Hが急激に変化することを防止できる。

【0284】

さらに、電力配分固定モードへの動作モード切替時には、移行後における電力分配比に従ったときに、各直流電源10a、10bの電力が電力制約値 $P_{\max}$ 、 $P_{\min}$ 、 $P_{\max}$ 、 $P_{\min}$ に達するときには、当該動作モード切替を禁止することができる

。これにより、動作モード切替に起因して過充電ないし過放電が生じないように、各直流電源 10a, 10b を保護することができる。

【0285】

〔実施の形態 2〕

実施の形態 2 の変形例では、直流電源 10a, 10b の両方を使用する PB モードおよび SB モードでのパルス幅変調制御におけるキャリア波の位相制御（以下、キャリア位相制御）について説明する。まず、PB モードにおけるキャリア位相制御を説明する。

【0286】

図 26 には、キャリア波 CWa, CWb 間に意図的に位相差を設けた場合における PB モードの制御動作例が示される。

10

【0287】

図 26 を参照して、キャリア波 CWa およびキャリア波 CWb は、同一周波数であるが、両者の間には位相差 ϕ が設けられている。図 26 の例では、位相差 $\phi = 180$ 度である。

【0288】

図 9 に示された $\phi = 0$ 度のときと同様に、キャリア波 CWa およびデューティ比 Da の比較に基づいて制御パルス信号 SDa が生成されるとともに、キャリア波 CWb およびデューティ比 Db の比較に基づいて、制御パルス信号 SDb が生成される。

【0289】

図 26 において、デューティ比 Da, Db は図 9 と同一値である。したがって、図 26 の制御パルス信号 SDa は、図 9 の制御パルス信号 SDa と比較して、位相は異なるものの H レベル期間の長さは同じである。同様に、図 26 での制御パルス信号 SDb は、図 9 の制御パルス信号 SDb と比較して、位相は異なるものの H レベル期間の長さは同じである。

20

【0290】

したがって、キャリア波 CWa, CWb 間に位相差 ϕ を設けることにより、図 26 の制御信号 SG1 ~ SG4 は、図 9 の制御信号 SG1 ~ SG4 とは異なった波形となる。図 9 および図 26 の比較から、キャリア波 CWa, CWb の間の位相差 ϕ を変化させることにより、電流 I (L1) および電流 I (L2) の位相関係（電流位相）が変化することが理解される。

30

【0291】

一方で、同一のデューティ比 Da, Db に対して、電流 I (L1), I (L2) の平均値は、図 9 および図 26 の間で同等となることが理解される。すなわち、直流電源 10a, 10b の出力は、デューティ比 Da, Db によって制御されるものであり、キャリア波 CWa, CWb の位相差 ϕ を変化させても影響が生じない。

【0292】

このため、実施の形態 2 では、PB モードにおいて、キャリア波 CWa および CWb の間の位相差 ϕ を適切に調整するキャリア位相制御によって、スイッチング素子 S1 ~ S4 のスイッチング損失の低減を図る。

【0293】

図 27 には、実施の形態 2 に従うキャリア位相制御を適用するための電力変換器の制御構成が示される。

40

【0294】

図 27 を図 15 と比較して、実施の形態 2 に従う電力変換器の制御構成では、図 17 に示された、デューティ比演算部 300、PWM 制御部 400、および、キャリア波発生部 410 に加えて、キャリア位相制御部 420 がさらに求められる。

【0295】

キャリア位相制御部 420 は、SB モードおよび PB モードにおいて、キャリア波 CWa, CWb 間の位相差 ϕ を設定する。キャリア波発生部 410 は、キャリア位相制御部 420 によって設定された位相差 ϕ を有するように、キャリア波 CWa および CWb を発生

50

する。

【0296】

なお、実施の形態1と同様に、a Bモードおよびb Bモードでは、PWM制御におけるキャリア波は単一でよい。したがって、a Bモードおよびb Bモードでは、位相差 ϕ は設定されない。

【0297】

まず、PBモードにおける、スイッチング素子S1～S4のスイッチング損失の低減を図るための位相差 ϕ の設定について説明する。ここでは、直流電源10aおよび10bの両方が力行状態、すなわち電流 $I(L1) > 0$ かつ電流 $I(L2) > 0$ である状態での制御について説明する。

10

【0298】

図28は、電力変換器50においてPBモードにおけるキャリア位相制御による電流位相を説明する波形図である。

【0299】

図28を参照して、時刻Taまでは、スイッチング素子S2～S4がオンされるので、直流電源10a、10bの両方に対して、昇圧チョップ回路の下アーム素子がオンされた状態となる、このため、電流 $I(L1)$ および $I(L2)$ の両方は上昇する。

【0300】

時刻Taにおいて、スイッチング素子S2がターンオフされることにより、直流電源10bに対して昇圧チョップ回路の下アーム素子がオフされた状態となるので、電流 $I(L2)$ が下降を開始する。スイッチング素子S2のターンオフと入替わりに、スイッチング素子S1がターンオンされる。

20

【0301】

時刻Ta以降では、直流電源10aに対して昇圧チョップ回路の下アーム素子がオンされ、直流電源10bに対して昇圧チョップ回路の下アーム素子がオフされた状態となる。すなわち、電流 $I(L1)$ が上昇する一方で、電流 $I(L2)$ が下降する。このとき、電力変換器50での電流経路は、図29(a)のようになる。

【0302】

図29(a)から理解されるように、時刻Ta以降では、スイッチング素子S4には、電流 $I(L1)$ および $I(L2)$ の差電流が通過することになる。すなわち、スイッチング素子S4の通過電流が小さくなる。

30

【0303】

再び図28を参照して、時刻Ta以降の状態から、スイッチング素子S4がターンオフすると、直流電源10aに対して昇圧チョップ回路の下アーム素子がオフされた状態となるので、電流 $I(L1)$ が下降を開始する。また、スイッチング素子S2がターンオンすると、直流電源10bに対して昇圧チョップ回路の下アーム素子がオンされた状態となるので、電流 $I(L2)$ が再び上昇を開始する。すなわち、電力変換器50での電流経路が、図29(a)の状態から、図29(b)の状態に変化する。図29(b)の状態では、スイッチング素子S2には、電流 $I(L1)$ および $I(L2)$ の差電流が通過することになるため、スイッチング素子S2の通過電流が小さくなる。

40

【0304】

図29(a)の状態でスイッチング素子S4をターンオフさせることにより、スイッチング素子S4のターンオフ時の電流、すなわち、スイッチング損失を低減できる。また、図29(b)の状態でスイッチング素子S2をターンオンさせることにより、スイッチング素子S2のターンオン時の電流、すなわち、スイッチング損失を低減できる。

【0305】

したがって、電流 $I(L1)$ の下降開始タイミング(極大点)と、電流 $I(L2)$ の上昇タイミング(極小点)とが重なるように、電流位相、すなわち、キャリア波Cwa、CWbの位相差 ϕ を調整する。これにより、図28の時刻Tbにおいて、スイッチング素子S2がターンオンされるとともに、スイッチング素子S4がターンオフされる。

50

【0306】

再び図28を参照して、時刻 T_c では、スイッチング素子 S_1 がターンオフされるとともに、スイッチング素子 S_4 がターンオンされる。これにより、直流電源 $10a$ 、 $10b$ の各々に対して昇圧チョッパ回路の下アーム素子がオンされた状態となる。これにより、上述した時刻 T_a 以前の状態が再現されて、電流 $I(L_1)$ および $I(L_2)$ の両方が上昇する。

【0307】

図30には、図28に示した電流位相におけるスイッチング素子 S_2 、 S_4 の電流波形が示される。図30(a)には、スイッチング素子 S_2 の電流 $I(S_2)$ の波形が示され、図30(b)には、スイッチング素子 S_4 の電流 $I(S_4)$ の波形が示される。

10

【0308】

図30(a)を参照して、電流 $I(S_2)$ は、時刻 T_a までの期間および時刻 T_c 以降の期間では、 $I(S_2) = I(L_2)$ となる。時刻 $T_a \sim T_b$ の期間では、スイッチング素子 S_2 がオフされるので、 $I(S_2) = 0$ である。そして、時刻 $T_b \sim T_c$ の期間では、図30(b)に示すように、 $I(S_2) = -(I(L_1) - I(L_2))$ となる。

【0309】

図30(b)を参照して、電流 $I(S_4)$ は、時刻 T_a までの期間および時刻 T_c 以降の期間では、 $I(S_4) = I(L_1)$ となる。時刻 $T_a \sim T_b$ の期間では、図30(a)に示したように、 $I(S_4) = -(I(L_2) - I(L_1))$ となる。そして、時刻 $T_b \sim T_c$ の期間では、スイッチング素子 S_4 がオフされるので、 $I(S_4) = 0$ である。

20

【0310】

図31には、図28と比較するための、図28と同等のデューティ比の下でキャリア波間の位相差 $\phi = 0$ としたときの電流位相が示される。

【0311】

図31を参照して、キャリア波 CW_a 、 CW_b の位相差 $\phi = 0$ のときには、電流 $I(L_1)$ 、 $I(L_2)$ が上昇／下降するタイミング(T_x 、 T_y 、 T_z 、 T_w)はそれぞれ別個のものとなる。

【0312】

具体的には、時刻 T_x 以前での、スイッチング素子 S_1 がオフしスイッチング素子 $S_2 \sim S_4$ がオンしている状態では、電流 $I(L_1)$ および $I(L_2)$ の両方が上昇する。そして、時刻 T_x でスイッチング素子 S_4 がターンオフすることによって、電流 $I(L_1)$ が下降を開始する。スイッチング素子 S_1 は、スイッチング素子 S_4 のターンオフと入替わりにターンオンする。

30

【0313】

そして、時刻 T_y では、スイッチング素子 S_3 がターンオフすることによって、電流 $I(L_2)$ が下降を開始する。スイッチング素子 S_4 は、スイッチング素子 S_3 のターンオフと入替わりにターンオンする。これにより、電流 $I(L_1)$ および $I(L_2)$ の両方が下降する。

【0314】

時刻 T_z では、スイッチング素子 S_2 がターンオフするとともに、スイッチング素子 S_3 がターンオンする。これにより、直流電源 $10a$ に対して昇圧チョッパ回路の下アーム素子がオンした状態となるので、電流 $I(L_1)$ が再び上昇する。さらに、時刻 T_w では、スイッチング素子 S_1 がターンオフするとともに、スイッチング素子 S_2 がターンオンする。これにより、時刻 T_x 以前の状態が再現されるので、電流 $I(L_1)$ および $I(L_2)$ の両方が上昇する。

40

【0315】

図32には、図31に示した電流位相におけるスイッチング素子 S_2 、 S_4 の電流波形が示される。図32(a)には、スイッチング素子 S_2 の電流 $I(S_2)$ の波形が示され、図32(b)には、スイッチング素子 S_4 の電流 $I(S_4)$ の波形が示される。

【0316】

50

図 3 2 (a) を参照して、電流 $I(S2)$ は、時刻 T_x までの期間および時刻 T_w 以降の期間では、 $I(S2) = I(L2)$ となる。時刻 $T_x \sim T_y$ の期間では、図 2 9 (b) と同様の電流経路が形成されるので、 $I(S2) = -(I(L1) - I(L2))$ となる。そして、時刻 $T_y \sim T_z$ の期間では、直流電源 10 a に対する上アーム素子として動作するので、 $I(S2) = -I(L1)$ となる。電流 $I(L1)$ 、 $I(L2)$ の両方が下降する時刻 $T_y \sim T_z$ の期間では、スイッチング素子 $S2$ は直流電源 10 a に対して上アーム素子として動作するので、 $I(S2) = -I(L1)$ となる。時刻 $T_z \sim T_w$ の期間では、スイッチング素子 $S2$ がオフされるので、 $I(S2) = 0$ である。

【0317】

図 3 2 (b) を参照して、電流 $I(S4)$ は、時刻 T_x までの期間および時刻 T_w 以降の期間では、 $I(S4) = I(L1)$ となる。時刻 $T_x \sim T_y$ の期間では、スイッチング素子 $S4$ がオフされるので、 $I(S4) = 0$ である。電流 $I(L1)$ 、 $I(L2)$ の両方が下降する時刻 $T_y \sim T_z$ の期間では、スイッチング素子 $S4$ は直流電源 10 b に対する上アーム素子として動作するので、 $I(S4) = -I(L2)$ となる。時刻 $T_z \sim T_w$ の間では、図 2 9 (a) と同様の電流経路が形成されるので、 $I(S2) = -(I(L2) - I(L1))$ となる。

【0318】

図 3 0 (a) の時刻 T_b で生じる電流 $I(S2)$ と、図 3 2 (a) の時刻 T_w で生じる電流 $I(S2)$ との比較から、図 2 8 の電流位相となるように位相差 ϕ を調整することによって、スイッチング素子 $S2$ のターンオン電流、すなわち、ターンオン時のスイッチング損失が低減されることが理解される。さらに、図 3 0 (a) の時刻 $T_b \sim T_c$ での電流 $I(S2)$ と、図 3 2 (a) の時刻 $T_y \sim T_z$ での電流 $I(S2)$ との比較から、スイッチング素子 $S2$ の導通損失についても低減されることが理解される。

【0319】

同様に、図 3 0 (b) の時刻 T_b での電流 $I(S4)$ と、図 3 2 (b) の時刻 T_x での電流 $I(S4)$ との比較から、図 2 8 の電流位相となるように位相差 ϕ を調整することによって、スイッチング素子 $S4$ のターンオフ電流、すなわち、ターンオフ時のスイッチング損失が低減されることが理解される。さらに、図 3 0 (b) の時刻 $T_a \sim T_b$ での電流 $I(S4)$ と、図 3 2 (a) の時刻 $T_y \sim T_z$ での電流 $I(S4)$ との比較から、スイッチング素子 $S4$ の導通損失についても低減されることが理解される。

【0320】

このように、キャリア波 CW_a 、 CW_b の間に位相差 ϕ を設けることにより、スイッチング素子 $S1 \sim S4$ での損失を低減できる。たとえば、図 2 8 に示したように、直流電源 10 a および 10 b の両方が力行となる状態では、電流 $I(L1)$ の下降開始タイミング（極大点）と、電流 $I(L2)$ の上昇タイミング（極小点）が重なるように、すなわち、スイッチング素子 $S2$ のターンオンタイミングと、スイッチング素子 $S4$ のターンオフタイミングとが一致するように、位相差 ϕ を設定することによって、スイッチング素子 $S1 \sim S4$ での損失が抑制される。

【0321】

このような位相差 ϕ では、制御パルス信号 SD_a の立下りタイミング（または立上りタイミング）と、制御パルス信号 SD_b の立上りタイミング（または立下りタイミング）とが重なることになる。言い換えると、制御パルス信号 SD_a および SD_b の間でパルスの遷移タイミング（すなわち、パルスの H レベル / L レベルが切り換わるタイミング）を合わせるように、位相差 ϕ を調整することが必要となる。

【0322】

図 9 および図 2 5 から理解されるように、制御パルス信号 SD_a 、 SD_b は、デューティ比 D_a 、 D_b によって変化する。したがって、図 2 6 のような電流位相が実現できる位相差 ϕ 、すなわち、キャリア位相制御による位相差 ϕ についても、デューティ比 D_a 、 D_b に応じて決定されることが理解できる。このため、デューティ比 D_a 、 D_b と、キャリア位相制御による位相差 ϕ との関係を予め求めるとともに、その対応関係を予めマップ

(以下、「位相差マップ」とも称する)あるいは関数式(以下、「位相差算出式」とも称する)として制御装置40に記憶することが可能である。

【0323】

そして、キャリア位相制御部420は、PBモードでのPWM制御では、算出されたデューティ比 D_a 、 D_b に基づいて、上記位相差マップないし位相差算出式に従って、キャリア位相制御のための位相差 ϕ を算出することができる。そして、算出された位相差 ϕ を有するようにキャリア波 CW_a 、 CW_b を発生させることにより、スイッチング素子 $S_1 \sim S_4$ での損失を抑制した高効率のDC/DC変換を実現することができる。

【0324】

図28～図32では、直流電源10aおよび10bの両方が力行の状態を説明したが、その他の状態においても、同様のキャリア位相制御が実行できる。

10

【0325】

図33は、直流電源の各動作状態における本発明の実施の形態1に従うキャリア位相制御を説明するための図表である。

【0326】

図33を参照して、状態Aでは、上述した、直流電源10aおよび10bの両方が力行状態である。図26に示したように、電流 $I(L_1)$ の下降タイミング(極大点)と、電流 $I(L_2)$ の上昇タイミング(極小点)とが図中の T_b で重なるような電流位相となるように、キャリア波の位相差 ϕ を調整する。これにより、 T_b におけるスイッチング素子 S_2 のターンオン損失およびスイッチング素子 S_4 のターンオフ損失を低減できる。さらに、上述のように、 $T_a \sim T_b$ の期間におけるスイッチング素子 S_4 の導通損失および、 $T_b \sim T_c$ の期間におけるスイッチング素子 S_2 の導通損失を低減することができる。

20

【0327】

状態Bでは、直流電源10aおよび10bの両方が回生状態である。この状態では、電流 $I(L_1)$ の上昇タイミング(極小点)と、電流 $I(L_2)$ の下降タイミング(極大点)とが図中の T_b で重なるような電流位相となるように、キャリア波の位相差 ϕ を調整する。これにより、 T_b におけるスイッチング素子 S_4 のターンオン損失およびスイッチング素子 S_2 のターンオフ損失を低減できる。さらに、上述のように、 $T_a \sim T_b$ の期間におけるスイッチング素子 S_2 の導通損失および、 $T_b \sim T_c$ の期間におけるスイッチング素子 S_4 の導通損失を低減することができる。

30

【0328】

状態Cでは、直流電源10aが回生状態である一方で、直流電源10bは力行状態である。この状態では、電流 $I(L_1)$ の下降タイミング(極大点)と、電流 $I(L_2)$ の下降タイミング(極小点)とが図中の T_a で重なるような電流位相となるように、キャリア波の位相差 ϕ を調整する。これにより、 T_a におけるスイッチング素子 S_3 のターンオン損失およびスイッチング素子 S_1 のターンオフ損失を低減できる。さらに、上述のように、 $T_a \sim T_b$ の期間におけるスイッチング素子 S_1 の導通損失および、 $T_c \sim T_a$ の期間におけるスイッチング素子 S_3 の導通損失を低減することができる。

【0329】

さらに、状態Dでは、直流電源10aが力行状態である一方で、直流電源10bは回生状態である。この状態では、電流 $I(L_1)$ の上昇タイミングと、電流 $I(L_2)$ の上昇タイミングとが図中の T_c で重なるような電流位相となるように、キャリア波の位相差 ϕ を調整する。これにより、 T_c におけるスイッチング素子 S_1 のターンオン損失およびスイッチング素子 S_3 のターンオフ損失を低減できる。さらに、上述のように、 $T_b \sim T_c$ の期間におけるスイッチング素子 S_1 の導通損失および、 $T_c \sim T_a$ の期間におけるスイッチング素子 S_3 の導通損失を低減することができる。

40

【0330】

このように、直流電源10aおよび10bの力行/回生状態の組合せによって、スイッチング素子 $S_1 \sim S_4$ での損失を低減するための位相差 ϕ が異なる。したがって、力行/回生状態の組合せ(図31での状態A～D)ごとに、上述した、位相差マップまたは位相

50

差算出式を設定することが好ましい。

【0331】

実施の形態2に従う電力変換器制御によれば、出力電圧 V_H を電圧指令値 V_H^* に制御するためのPBモードでのDC/DC変換において、上述のキャリア位相制御を組み合わせることができる。これにより、スイッチング素子 $S_1 \sim S_4$ の損失が低減された高効率のDC/DC変換を実行することができる。

【0332】

なお、図33の例によらず、SBモードにおいて、電力変換器50の動作が最適となる位相差 ϕ は、 $0 \sim 180$ 度の範囲内で任意に設定できる。すなわち、上記位相差マップないし位相差算出式によって設定される位相差 ϕ は、必ずしも、電流 $I(L_1)$ の極大点すなわち下降タイミングと、電流 $I(L_2)$ の極小点すなわち上昇タイミングとが一致するような電流位相、ないし、電流 $I(L_1)$ の極小点すなわち上昇タイミングと、電流 $I(L_2)$ の極大点すなわち下降タイミングとが一致するような電流位相に限定されるものではない。

【0333】

次にSBモードにおけるキャリア位相制御を説明する。以下に説明するように、実施の形態2に従うキャリア位相制御が適用された電力変換器制御では、SBモードにおいても、デューティ比 D_a 、 D_b に基づくパルス幅変調制御によってスイッチング素子 $S_1 \sim S_4$ のオンオフが制御される。

【0334】

図34に示されるように、SBモードでは直流電源10aおよび10bが直列に接続されるので、直流電源10aおよび10bの両方が力行となる状態（図33での状態A）および直流電源10aおよび10bの両方が回生となる状態（図33の状態B）のいずれかの状態しか存在しない。

【0335】

したがって、SBモードにおける制御動作では、キャリア波間の位相差 ϕ は、図33の状態A、Bに示されるように、電流 $I(L_1)$ の極大点すなわち下降タイミングと、電流 $I(L_2)$ の極小点すなわち上昇タイミングとが一致するような電流位相、ないし、電流 $I(L_1)$ の極小点すなわち上昇タイミングと、電流 $I(L_2)$ の極大点すなわち下降タイミングとが一致する電流位相となるように設定される。

【0336】

すなわち、制御パルス信号 SD_a の立下りタイミングと制御パルス信号 SD_b の立上りタイミング、または、制御パルス信号 SD_a の立上りタイミングと制御パルス信号 SD_b の立下りタイミングとが重なるように、キャリア波 CW_a 、 CW_b の位相差 ϕ を設定することによって、図32の状態A、Bに示した電流位相が実現されることになる。これにより、スイッチング素子 S_2 のターンオンとスイッチング素子 S_4 のターンオフとが重なるように、あるいは、スイッチング素子 S_4 のターンオンとスイッチング素子 S_2 のターンオフとが重なるように、位相差 ϕ が設定される。

【0337】

このときのデューティ比 D_a 、 D_b を考える。式(1)を変形することにより、 D_a について下記(13)式が得られる。

【0338】

$$D_a = (V_H - V_a) / V_H \quad \dots (13)$$

同様に、式(2)を変形することにより、 D_b について下記(14)式が得られる。

【0339】

$$D_b = (V_H - V_b) / V_H \quad \dots (14)$$

図10に示されるように、PBモードにおける制御信号 SG_3 は、制御パルス信号 SD_a および SD_b の論理和に基づいて生成される。したがって、制御パルス信号 SD_a の立下り（または立上り）タイミングと、制御パルス信号 SD_b の立上り（または立下り）タイミングとが重なるように位相差 ϕ を設定すると、 $V_H > (V_a + V_b)$ が成立するとき

、P Bモードにおける制御信号S G 3のHレベル期間の比率が1. 0を超えることが理解される。すなわち、 $VH > (Va + Vb)$ のときには、デューティ比D a, D bによるP Bモードと共通のP W M制御によっても、制御信号S G 3がHレベルに固定される。

【0340】

図35には、キャリア位相制御を適用したときのS Bモードにおける制御パルス信号を示す波形図が示される。

【0341】

図35に示されるように、P Bモードにおける制御信号S G 1は、制御パルス信号／S D aおよび／S D bの論理和に基づいて生成される。上述のように位相差 ϕ を設定すると、制御パルス信号／S D aの立上りタイミングと、制御パルス信号／S D bの立上りタイ

10

【0342】

$$DSG1 = (Va + Vb) / VH \quad \dots (15)$$

一方で、デューティ比D cは、式(3)を変形することにより、下記(16)式で示される。

【0343】

$$Dc = 1 - (Va + Vb) / VH \quad \dots (16)$$

したがって、図14のS Bモードでの論理演算に従って、 $SG1 = \neg SGc$ とすると、制御信号S G 1のデューティ比D S G 1は、下記(17)式で示される。

20

【0344】

$$DSG1 = 1 - Dc = (Va + Vb) / VH \quad \dots (17)$$

このように、上述のキャリア位相制御に従って位相差 ϕ を設定した場合には、デューティ比D a, D bによる制御パルス信号S D a, S D bに基づく論理演算、具体的には、／S D aおよび／S D bの論理和によって、デューティ比D cに基づく制御パルス信号／S D cとデューティ比が等しい信号を生成することができる。すなわち、制御パルス信号S D a, S D bに基づいて、S Bモードにおける制御信号S G 1を生成することができる。

【0345】

また、図36に示されるように、S Bモードにおける制御信号S G 2, S G 4は、制御信号S G 1の反転信号である。 $\neg (\neg SDb \text{ or } \neg SDa)$ の論理演算結果は、S D aおよびS D bの論理積($SDb \text{ and } SDa$)となる。したがって、制御パルス信号S D cに従って設定されるべき制御信号S G 2, S G 4についても、制御パルス信号S D aおよびS D bの論理演算に基づいて生成することができる。

30

【0346】

このように、S Bモードでは、キャリア位相制御を適用して、制御パルス信号S D a (／S D a)および制御パルス信号S D b (／S D b)の間でパルスの遷移タイミングを合わせるように、位相差 ϕ が設定される。このような位相差 ϕ を有するようにキャリア波C W a, C W bを生成することにより、図36に示されるように、S Bモードにおける、デューティ比D cに基づいて設定されるべき制御信号S G 1～S G 4を、デューティ比D a, D bに基づく制御パルス信号S D a, S D bから生成することが可能である。

40

【0347】

具体的には、上述のように、制御信号S G 3は、制御パルス信号S D aおよびS D bの論理和によって、Hレベルに固定された信号となる。また、制御信号S G 1は、制御パルス信号／S D aおよび／S D bの論理和によって、デューティ比D cに基づくP W M制御と同等のデューティを有するように生成できる。また、S Bモードにおいて、制御信号S G 1と相補に設定される制御信号S G 2, S G 4についても、制御パルス信号S D aおよびS D bの論理積によって生成できる。

【0348】

したがって、S Bモードにおいても、図27の制御構成に従って、電力変換器50の動作が制御される。P W M制御部400は、P BモードおよびS Bモードで共通に、位相差

50

ϕ が設定されたキャリア波CWa, CWbと、デューティ比Da, Dbとの比較に従って、制御パルス信号SDa (／SDa), SDb (／SDb)を生成する。さらに、図35に示した論理演算式に従って、PBモードおよびSBモードのそれぞれにおいて、制御パルス信号SDa (／SDa), SDb (／SDb)から制御信号SG1～SG4が生成される。

【0349】

なお、SBモードにおける位相差 ϕ についても、PBモードにおけるキャリア位相制御と同様に、予め設定された、デューティ比Da, Dbと位相差 ϕ との関係を記憶する位相差マップないし位相差算出式に従って、SBモードにおいて算出されたデューティ比Da, Dbに基づいて算出することができる。上述のように、SBモードにおける位相差 ϕ は、電流I(L1)の極大点すなわち下降タイミングと、電流I(L2)の極小点すなわち上昇タイミングとが一致するような電流位相、ないし、電流I(L1)の極小点すなわち上昇タイミングと、電流I(L2)の極大点すなわち下降タイミングとが一致する電流位相となるように設定される。

【0350】

したがって、電力変換器50にキャリア位相制御を適用した場合には、実施の形態1で説明した動作モードの切替制御において、キャリア位相制御に関する条件をさらに追加する必要がでてくる。すなわち、SBモードへの切替時には、PBモードを適用してキャリア波の位相差 ϕ をSBモード用の位相差としておくことが必要となる。

【0351】

図37は、電力変換器50の動作モードの切替に係る本実施の形態2に従う制御処理を説明するためのフローチャートである。図37に示すフローチャートに従う制御処理についても、制御装置40によって周期的に実行される。

【0352】

図37を図17と比較して、実施の形態2に従う、キャリア位相制御が適用された電力変換器制御では、動作モードの切替制御において、ステップS400が、キャリア位相要件を判定するステップS440をさらに含む。ステップS440では、移行先の動作モードがSBモードであるときに、キャリア波CWa, CWb間の位相差 ϕ がSBモードでの動作に対応したものとなっているか否かが判定される。

【0353】

したがって、実施の形態2に従う制御処理では、制御装置40は、VH要件(S410)、電力配分要件(S420)、電力保護要件(S430)およびキャリア位相要件(S440)のすべてがクリアされている場合には、ステップS600に処理を進めて、モード選択信号MD#に従う動作モードへの切替を実行する。一方で、制御装置40は、VH要件、電力配分要件、電力保護要件および、キャリア位相要件の少なくともいずれかがクリアされていない場合(S410～S440のいずれかのNO判定時)には、ステップS700に処理を進めて、移行先の動作モードへの切替を許可しない。

【0354】

図38は、キャリア位相要件の判定のための制御処理(S440)を詳細に説明するためのフローチャートである。すなわち、図38には、図37のステップS440による制御処理の詳細が示される。

【0355】

図38を参照して、図37のS440は、以下のステップS441～S446を含む。

制御装置40は、ステップS441において、移行先の動作モード(MD#)が、SBモードであるかどうかを判定する。制御装置40は、移行先の動作モードがSBモードでない場合(S441のNO判定時)には、ステップS446に処理を進めて、キャリア位相要件がクリアされたと判定する。すなわち、キャリア位相要件は、SBモードへの切替時のみに設定される。したがって、移行先の動作モードがSBモード以外であるときには、ステップS440は無条件にYES判定とされる。

【0356】

制御装置 40 は、移行先のモードが S B モードであるとき (S 4 4 1 の Y E S 判定時) には、ステップ S 4 4 2 に処理を進めて、現在の動作モードが P B モードであるか否かを判定する。P B モード以外では、位相差 ϕ の調整ができないからである。

【0357】

制御装置 40 は、現在 P B モードでないとき (S 4 4 2 の N O 判定時) には、ステップ S 4 4 5 に処理を進めて、ステップ S 4 4 0 を N O 判定とする。すなわち、キャリア位相要件 (S 4 4 0) がクリアされていないと判定して、ステップ S 7 0 0 へ処理が進められる。ステップ S 7 0 0 では、現在の動作モードが P B モードでないときには、動作モードが P B モードへ切替えられる。

【0358】

ステップ S 4 4 2 での判定により、S D モードから S B モードへの切替においても、動作モードが一旦 P B モードへ切替えられてから、S B モードへの切替が実行されることになる。したがって、キャリア位相制御が適用される実施の形態 2 に従う電力変換器制御では、各動作モードから S B モードへの切替時において、動作モードが一旦 P B モードに切り替えられる。

【0359】

制御装置 40 は、現在 P B モードであるとき (S 4 4 2 の Y E S 判定時) には、ステップ S 4 4 3 により、現在の位相差 ϕ と S B モードを適用できる位相 ϕ (S B) とを比較する。上述のように、 ϕ (S B) は、力行モード ($P a > 0$, $P b > 0$) においては、電流 I (L 1) の極大点すなわち下降タイミングと、電流 I (L 2) の極小点すなわち上昇タイミングとが一致するような電流位相となるとき位相差に相当する。また、力行モード ($P a < 0$, $P b < 0$) においては、 ϕ (S B) は、電流 I (L 1) の極小点すなわち上昇タイミングと、電流 I (L 2) の極大点すなわち下降タイミングとが一致する電流位相となるとき位相差である。上述のように、 ϕ (S B) は、デューティ比 $D a$, $D b$ と、電力 $P a$, $P b$ の正負とによって予め一意に求めることができる。

【0360】

図 27 に示したキャリア位相制御部 420 は、S B モードでは、デューティ比 $D a$, $D b$ と電力 $P a$, $P b$ とに基づいて、 $\phi = \phi$ (S B) とするための位相差マップに従って、位相差 ϕ を設定する。一方で、キャリア位相制御部 420 は、P B モードでは、電力変換器 50 の損失が最小となる位相差となるように、位相差 ϕ を設定する。このため、P B モードでの位相差 ϕ が、S B モードで必要な位相差 ϕ (S B) と一致している保証はない。

【0361】

制御装置 40 は、現在の位相差 ϕ と ϕ (S B) との差が所定の判定値よりも小さい場合には (S 4 4 3 の Y E S 判定時)、ステップ S 4 4 6 に処理を進めて、ステップ S 4 4 0 を Y E S 判定とする。さらに、図 18 に示された、P B モードから S B モードへ移行するための V H 要件 (S 4 1 0)、電力配分要件 (S 4 2 0) および電力保護要件 (S 4 3 0) のすべてがクリアされると、S B モードへの切替が許可される。

【0362】

一方で、制御装置 40 は、現在の位相差 ϕ と ϕ (S B) との差が所定の判定値よりも大きい場合には (S 4 4 3 の N O 判定時)、ステップ S 4 4 4 により、位相差 ϕ を ϕ (S B) に近付けるように変更する。このとき、一回の制御周期での位相差 ϕ の変更量には上限が設けられることが好ましい。したがって、 ϕ (S B) に向かう位相差 ϕ の変更は、一定の変化レートに従ったレート処理となる。さらに、制御装置 40 は、ステップ S 4 4 5 により、ステップ S 4 4 0 を N O 判定とする。これにより、位相差 ϕ が ϕ (S B) とほぼ一致して S B モードに対応できる位相差が実現されるまで、キャリア位相要件がクリアされないため、S B モードへの切替は許可されない。

【0363】

このようにすると、実施の形態 2 に従う電力変換器の動作モード切替によれば、P B モードでの動作時にキャリア位相制御を適用して電力損失を低減させるとともに、S B モードへの切替時には、キャリア波間の位相差が急激に変動することを防止できる。したがっ

10

20

30

40

50

て、キャリア位相制御適用時においても、S Bモードへの動作モードの切替を、電力変換器50の動作ないし出力に不都合が生じないように、円滑に実行することができる。

【0364】

なお、本実施の形態では、2個の直流電源10a, 10bと、共通の電力線20との間でDC/DC変換を実行する電力変換器50を例示したが、本発明が適用される電力変換器の構成はこの例示に限定されるものではない。すなわち、複数の直流電源を含むとともに複数の動作モードが選択的に適用されるように構成された電力変換器であって、複数の動作モードが、直流電源間での電力配分が制御可能である電力配分制御モードと、直流電源間での電力配分が固定的に決まる電力配分固定モードとの両方を含むものであれば、本発明を適用した動作モード切替を実行することができる。

10

【0365】

さらに、負荷30は、直流電圧VHによって動作する機器であれば、任意の機器によって構成できる点について確認的に記載する。すなわち、本実施の形態では、電動車両の走行用電動機を含むように負荷30が構成される例を説明したが、本発明の適用はこのような場合に限定されるものではない。

【0366】

今回開示された実施の形態はすべての点で例示であって制限的なものではないと考えられるべきである。本発明の範囲は上記した説明ではなくて特許請求の範囲によって示され、特許請求の範囲と均等の意味および範囲内でのすべての変更が含まれることが意図される。

20

【符号の説明】

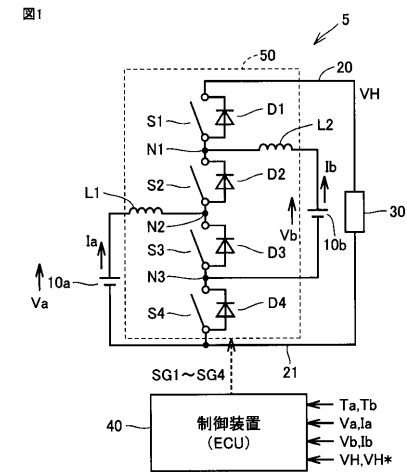
【0367】

5 電源システム、10a, 10b 直流電源、15 配線、20 電力線、21 接地配線、30 負荷、32 インバータ、35 モータジェネレータ、36 動力伝達ギヤ、37 駆動輪、40 制御装置、50 電力変換器、101, 102 動作点、110, 120 動作領域、150, 151, 160, 161, 170~174 電流経路、300 デューティ比演算部、400 制御部、410 キャリア波発生部、420 キャリア位相制御部、600 動作モード選択部、700 コンバータ指令生成部、710 動作モード切替制御部、720 電力上限値設定部、730 電力下限値設定部、CH 平滑コンデンサ、CW, CWa, CWb キャリア波、D1~D4 逆並列ダイオード、Da, Db, Dc デューティ比、Ia, Ib 電流（直流電源）、I(L1), I(L2) リアクトル電流、Ia* 電流指令値、L1, L2 リアクトル、MD モード制御信号、MD# モード選択信号、N1~N3 ノード、PHmax, Pamax, Pbmamax 電力上限値、PL* 負荷電力指令値、Pa, Pb 電力（直流電源）、Ra, Rb 内部抵抗（直流電源）、S1~S4 電力用半導体スイッチング素子、SDa, SDb, SDc 制御パルス信号、SG1~SG4 制御信号、Ta, Tb 温度（直流電源）、VH 直流電圧（出力電圧）、VH* 電圧指令値（出力電圧）、VH# 最適動作電圧、VHmax 上限電圧（出力電圧）、Va, Va 電圧（直流電源）、k 電力分配比、k1 電力分配比（S Bモード、S Dモード）、k2 電力分配比（P Dモード）。

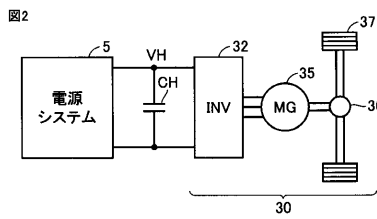
30

40

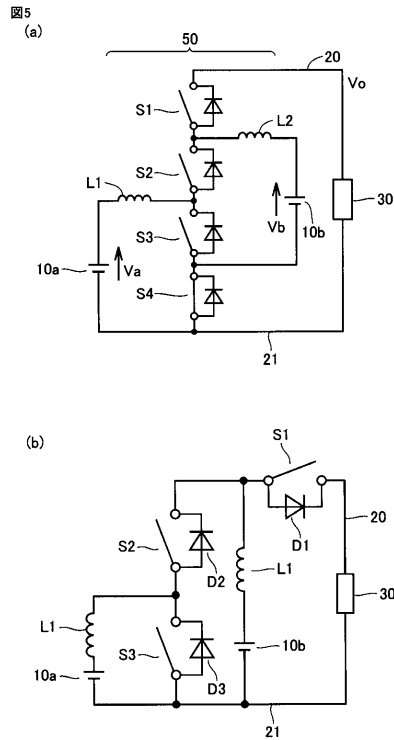
【 図 1 】



【 図 2 】



【 図 5 】

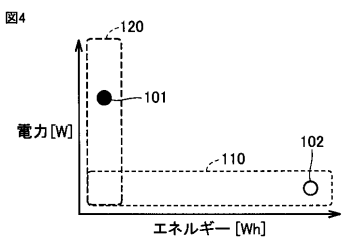


【 図 3 】

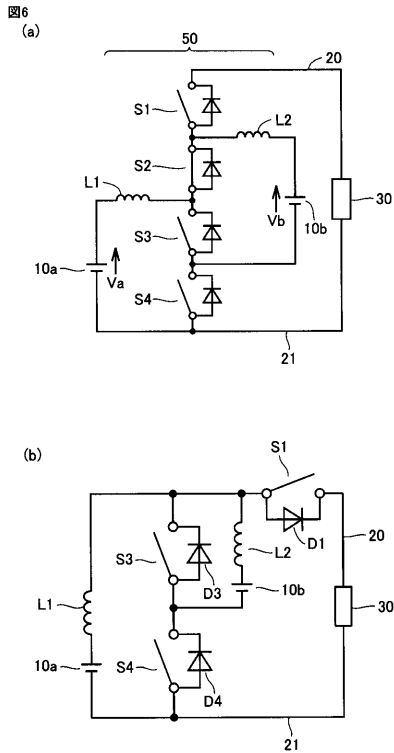
図3

動作モード	使用電源	S1	S2	S3	S4	k	出力電圧範囲
PB	10aおよび10b (並列)	PWM制御				制御可能	$\max(Va, Vb) \sim VH_{\max}$
SB	10aおよび10b (直列)	PWM制御				$\frac{Va}{Va+Vb}$	$Va+Vb \sim VH_{\max}$
aB	10aのみ	PWM制御				1.0	$\max(Va, Vb) \sim VH_{\max}$
bB	10bのみ	PWM制御				0.0	$\max(Va, Vb) \sim VH_{\max}$
PD	10aおよび10b	オン	オン	オフ	オン	内部抵抗比	$\max(Va, Vb)$
SD	10aおよび10b	オン	オフ	オン	オフ	$\frac{Va}{Va+Vb}$	$Va+Vb$
aD	10aのみ	オン	オン	オフ	オフ	1.0	$Va(Va > Vb)$
bD	10bのみ	オン	オフ	オフ	オン	0.0	$Vb(Vb > Va)$

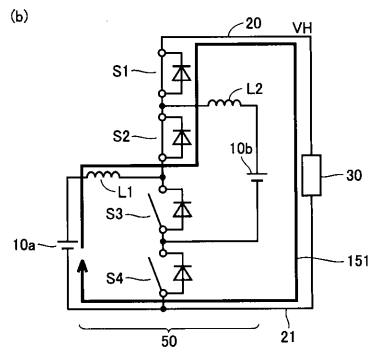
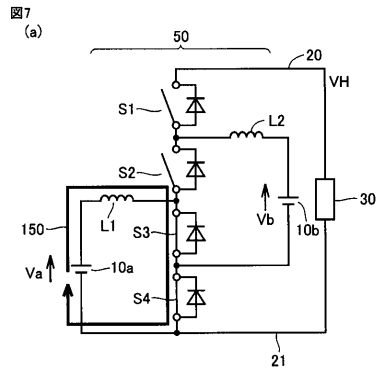
【 図 4 】



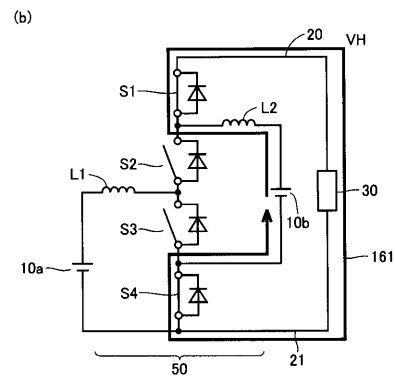
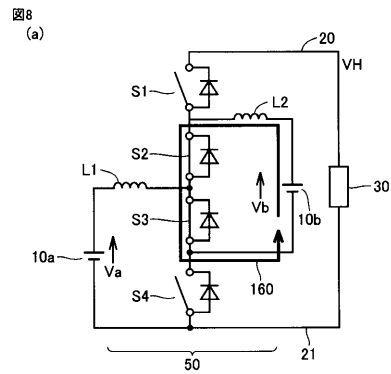
【 図 6 】



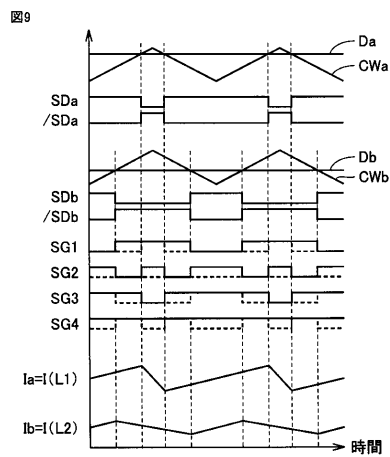
【図 7】



【図 8】



【図 9】

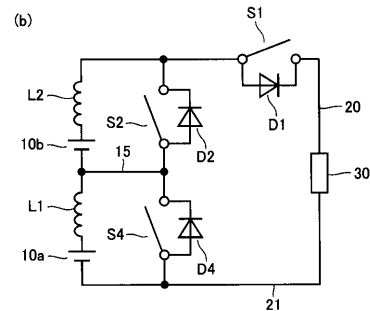
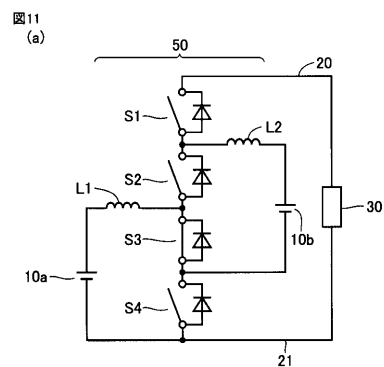


【図 10】

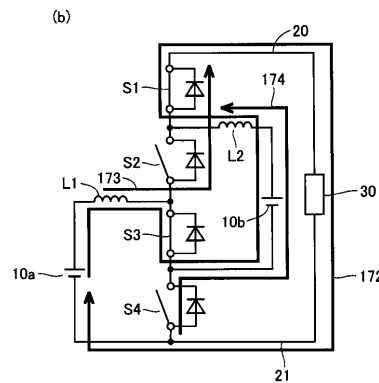
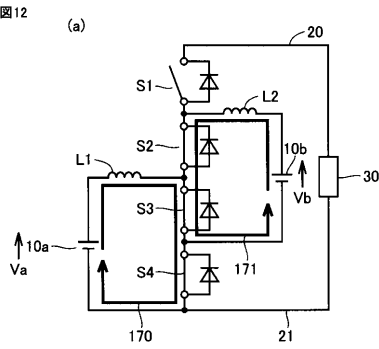
図10

	演算式
SG1	/SDa or /SDb
SG2	/SDa or SDb
SG3	SDa or SDb
SG4	SDa or /SDb

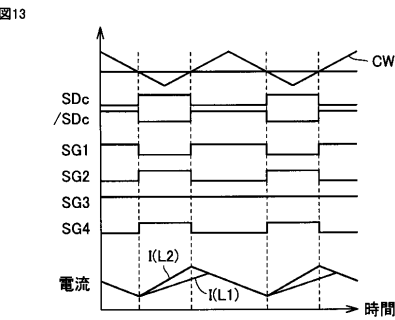
【図 11】



【図 1 2】



【図 1 3】

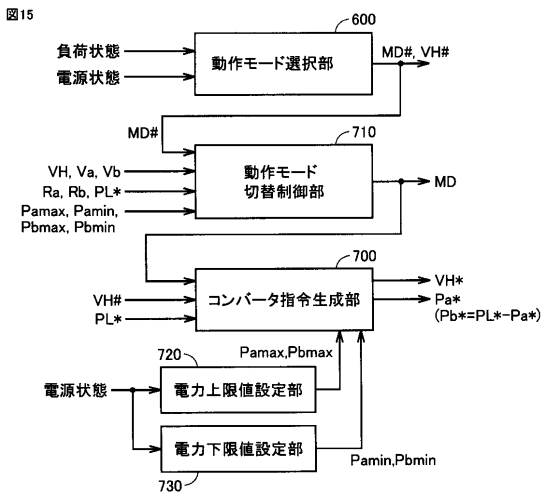


【図 1 4】

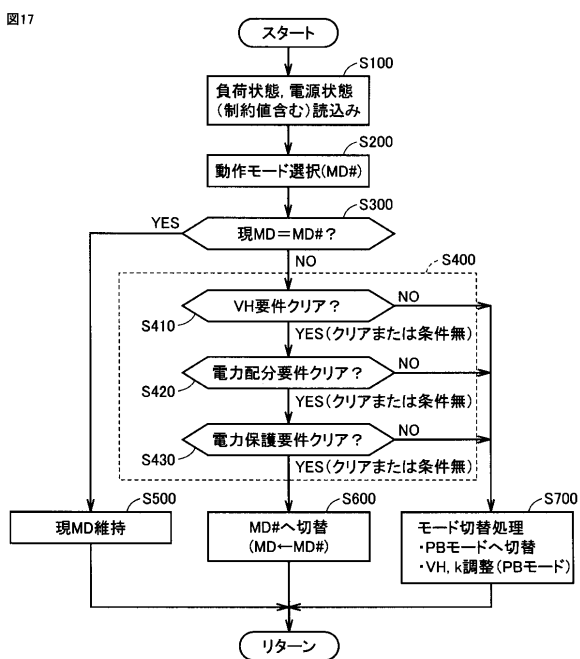
図14

	演算式
SG1	/SDc
SG2	SDc
SG3	H固定
SG4	SDc

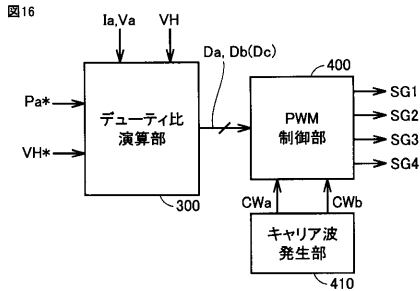
【図 1 5】



【図 1 7】



【図 1 6】



【図 18】

図18

現モード	移行先モード	VH要件	電力配分要件	電力保護要件
PB	SB	$VH > Va + Vb$ (VH*上昇)	$k = k1$ (Pa*調整)	・Pa(SB)上下限チェック (Pamin~Pamax) ・Pb(SB)上下限チェック (Pbmin~Pbmax)
	aB	—	$k = 1.0$ (Pa*上昇)	PL*上下限チェック (Pamin~Pamax)
	bB	—	$k = 0$ (Pa*→0)	PL*上下限チェック (Pbmin~Pbmax)
	PD	$VH = \max(Va, Vb)$	$k = k2$ (Pa*調整)	・Pa(PD)上下限チェック (Pamin~Pamax) ・Pb(PD)上下限チェック (Pbmin~Pbmax)
	SD	$VH = Va + Vb$ (VH*調整)	$k = k1$ (Pa*調整)	・Pa(SD)上下限チェック (Pamin~Pamax) ・Pb(SD)上下限チェック (Pbmin~Pbmax)
	aD	$VH = Va$ (VH*低下)	$k = 1.0$ (Pa*上昇)	PL*上下限チェック (Pamin~Pamax)
	bD	$VH = Vb$ (VH*低下)	$k = 0.0$ (Pa*→0)	PL*上下限チェック (Pbmin~Pbmax)

【図 19】

図19

現モード	移行先モード	VH要件	電力配分要件	電力保護要件
SB	PB	—	— ($k = k1$ 維持)	—
	aB	SB → PB	—	→ aB (図18)
	bB	SB → PB	—	→ bB (図18)
	PD	SB → PB	—	→ PD (図18)
	SD	$VH = Va + Vb$ (VH*調整)	— ($k \neq$ 変わらず)	—
	aD	SB → PB	—	→ aD (図18)
	bD	SB → PB	—	→ bD (図18)

【図 20】

図20

現モード	移行先モード	VH要件	電力配分要件	電力保護要件
aB	PB	—	— ($k = 1.0$)	—
	SB	aB → PB	—	→ SB (図18)
	PD	aB → PB	—	→ PD (図18)
	SD	aB → PB	—	→ SD (図18)
	aD	$VH = Va$ (VH*調整)	—	—
	bD (bB)	aB → PB	—	→ bD(bB) (図18)

【図 21】

図21

現モード	移行先モード	VH要件	電力配分要件	電力保護要件
bB	PB	—	— ($k = 0$)	—
	SB	bB → PB	—	→ SB (図18)
	PD	bB → PB	—	→ PD (図18)
	SD	bB → PB	—	→ SD (図18)
	bD	$VH = Va$ (VH*調整)	—	—
	aD (aB)	bB → PB	—	→ aD(aB) (図18)

【図 22】

図22

現モード	移行先モード	VH要件	電力配分要件	電力保護要件
PD	PB	—	— ($k = k2$ 維持)	—
	SB	PD → PB	—	→ SB (図18)
	aB	PD → PB	—	→ aB (図18)
	bB	PD → PB	—	→ bB (図18)
	SD	PD → PB	—	→ SD (図18)
	aD	電圧関係によって移行 ($Va > Vb$)		
	bD	電圧関係によって移行 ($Vb > Va$)		

【図 23】

図23

現モード	移行先モード	VH要件	電力配分要件	電力保護要件
SD	PB	—	— ($k = k\#$ 維持)	—
	SB	—	—	—
	aB	SD → PB	—	→ aB (図18)
	bB	SD → PB	—	→ bB (図18)
	PD	SD → PB	—	→ PD (図18)
	aD	SD → PB	—	→ aD (図18)
	bD	SD → PB	—	→ bD (図18)

【図 24】

図24

現モード	移行先モード	VH要件	電力配分要件	電力保護要件
aD	PB	—	— ($k = 1.0$ 維持)	—
	SB	aD → PB	—	→ SB (図18)
	aB	—	—	—
	bB	aD → PB	—	→ bB (図18)
	PD	aD → PB	—	→ PD (図18)
	SD	aD → PB	—	→ SD (図18)
	bD, PD	電圧関係によって移行		

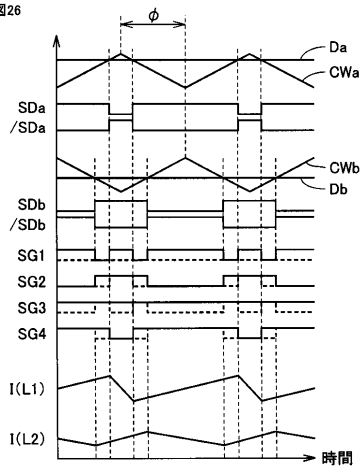
【図 25】

図25

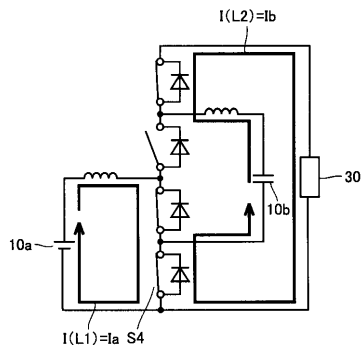
現モード	移行先モード	VH要件	電力配分要件	電力保護要件
bD	PB	—	— ($k=0$ 維持)	—
	SB	bD → PB (図18)	→ SB	—
	aB	bD → PB (図18)	→ aB	—
	bB	—	—	—
	PD	bD → PB (図18)	→ PD	—
	SD	bD → PB (図18)	→ SD	—
	aD, PD	電圧関係によって移行		

【図 26】

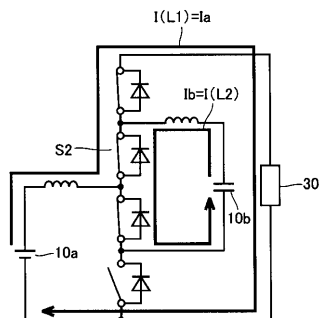
図26



【図 29】

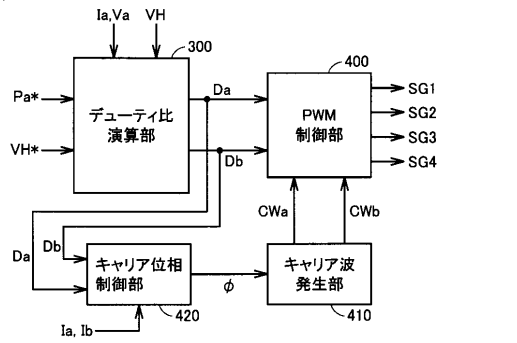
図29
(a)

(b)



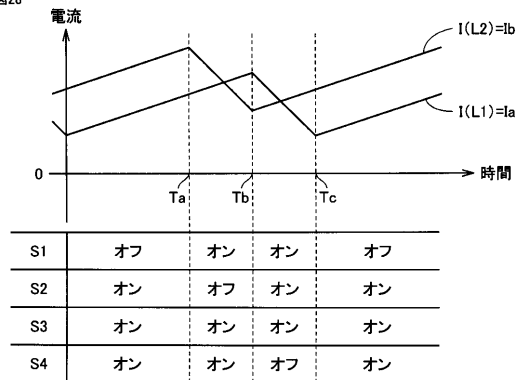
【図 27】

図27

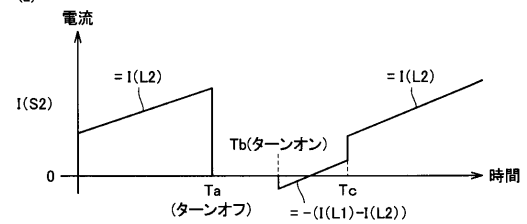


【図 28】

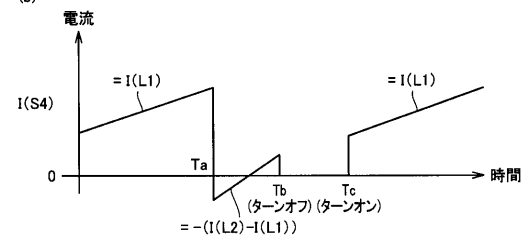
図28



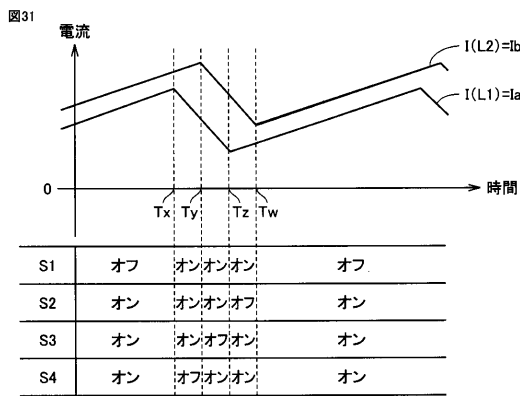
【図 30】

図30
(a)

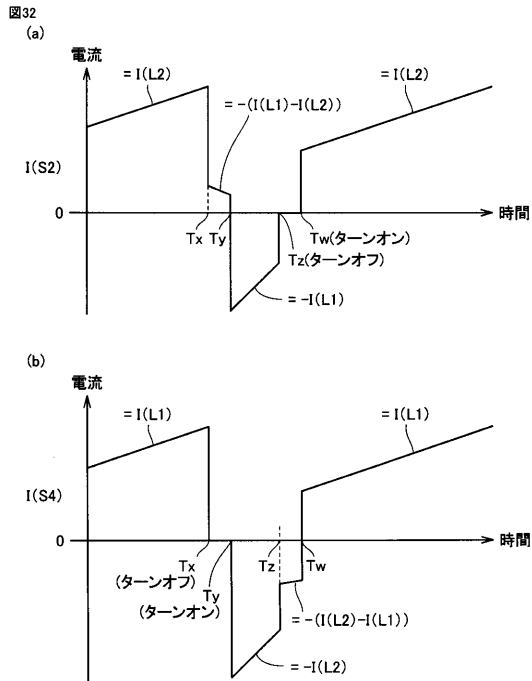
(b)



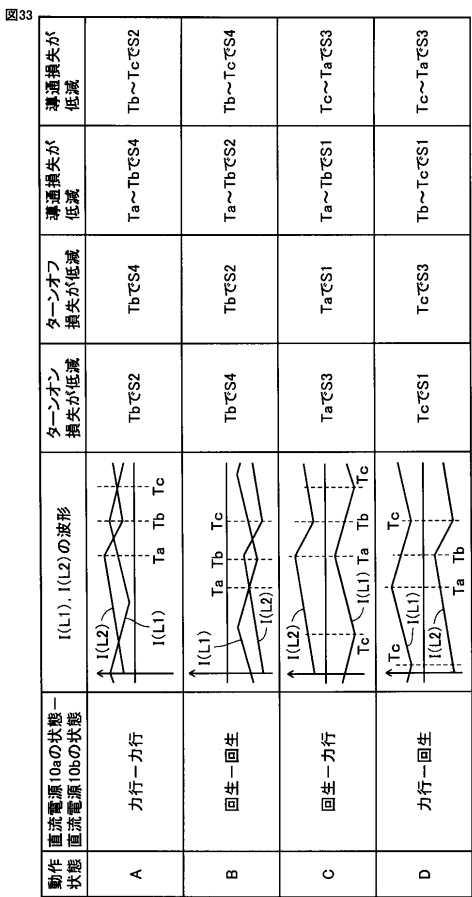
【図 3 1】



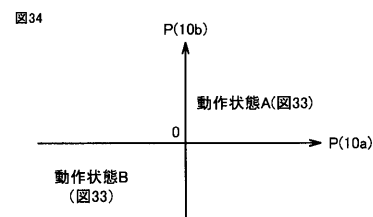
【図 3 2】



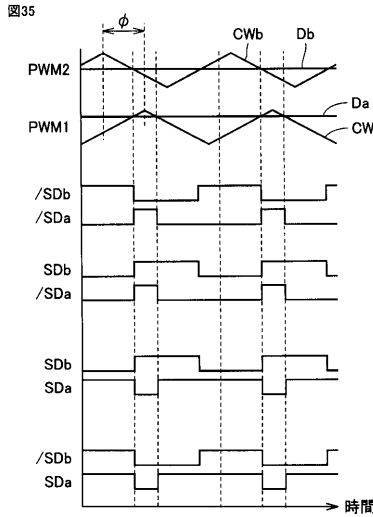
【図 3 3】



【図 3 4】



【図 3 5】



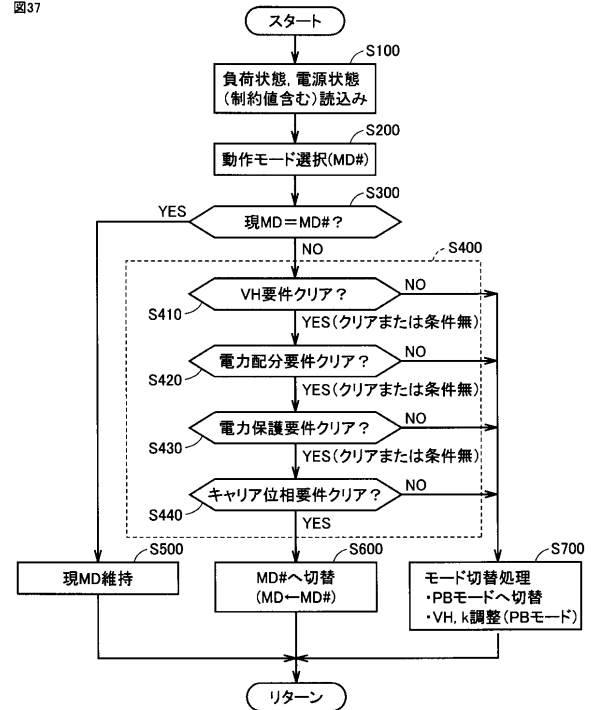
【図 36】

図36

	PBモード	SBモード
SG1	/SDa or /SDb	/SDc→/SDa or /SDb
SG2	/SDa or /SDb	SDc→SDa and SDb
SG3	SDa or /SDb	H固定→SDa or /SDb
SG4	SDa or /SDb	SDc→SDa and SDb

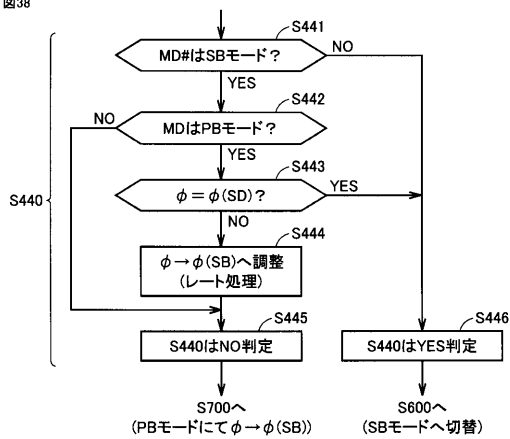
【図 37】

図37



【図 38】

図38



フロントページの続き

(72)発明者 柳沢 直樹

愛知県長久手市横道4-1番地の1 株式会社豊田中央研究所内

(72)発明者 岡村 賢樹

愛知県豊田市トヨタ町1番地 トヨタ自動車株式会社内

Fターム(参考) 5H730 AS04 BB14 BB82 BB86 BB98 FD01 FG05