

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第6383304号  
(P6383304)

(45) 発行日 平成30年8月29日 (2018. 8. 29)

(24) 登録日 平成30年8月10日 (2018. 8. 10)

(51) Int.Cl.	F I
<b>H02M 7/12 (2006.01)</b>	H02M 7/12 X
	H02M 7/12 H

請求項の数 2 (全 35 頁)

(21) 出願番号	特願2015-38328 (P2015-38328)	(73) 特許権者	000005108
(22) 出願日	平成27年2月27日 (2015. 2. 27)		株式会社日立製作所
(65) 公開番号	特開2016-163391 (P2016-163391A)		東京都千代田区丸の内一丁目6番6号
(43) 公開日	平成28年9月5日 (2016. 9. 5)	(74) 代理人	110001807
審査請求日	平成29年9月21日 (2017. 9. 21)		特許業務法人磯野国際特許商標事務所
		(72) 発明者	井上 重徳
			東京都千代田区丸の内一丁目6番6号 株
			式会社日立製作所内
		(72) 発明者	加藤 修治
			東京都千代田区丸の内一丁目6番6号 株
			式会社日立製作所内
		審査官	麻生 哲朗
			最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 電力変換装置、およびダブルセル

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

直列に接続された第 1、第 2 のオン・オフ制御デバイスと該第 1、第 2 のオン・オフ制御デバイスの直列回路の両端に接続された第 1、第 2 のコンデンサの直列回路と前記第 1、第 2 のオン・オフ制御デバイスの接続点と前記第 1、第 2 のコンデンサの接続点との間に接続された第 1 の機械スイッチとを有する第 1 のハーフブリッジと、

前記第 1、第 2 のコンデンサの直列回路の両端から電力を受けて所定の電圧に変換して出力する第 1 の電力供給手段と、

該第 1 の電力供給手段の出力端子に接続された第 1 の逆流防止ダイオードと、

前記第 1 のコンデンサの両端の電圧を検出する第 1 の電圧検出手段と、

前記第 2 のコンデンサの両端の電圧を検出する第 2 の電圧検出手段と、

を具備する第 1 の単位変換器と、

直列に接続された第 3、第 4 のオン・オフ制御デバイスと該第 3、第 4 のオン・オフ制御デバイスの直列回路の両端に接続された第 3、第 4 のコンデンサの直列回路と前記第 3、第 4 のオン・オフ制御デバイスの接続点と前記第 3、第 4 のコンデンサの接続点との間に接続された第 2 の機械スイッチとを有する第 2 のハーフブリッジと、

前記第 3、第 4 のコンデンサの直列回路の両端から電力を受けて所定の電圧に変換して出力する第 2 の電力供給手段と、

該第 2 の電力供給手段の出力端子に接続された第 2 の逆流防止ダイオードと、

前記第 3 のコンデンサの両端の電圧を検出する第 3 の電圧検出手段と、

10

20

前記第 4 のコンデンサの両端の電圧を検出する第 4 の電圧検出手段と、  
を具備する第 2 の単位変換器と、

前記第 1、第 2、第 3、第 4 のオン・オフ制御デバイス、および前記第 1、第 2 の機械  
スイッチのオン・オフを制御するダブルセル制御手段と、  
を備え、

前記第 1、第 2 のコンデンサの接続点と前記第 3、第 4 のコンデンサの接続点とが共有  
点として接続され、

前記第 1 の電力供給手段の出力端子と前記第 2 の電力供給手段の出力端子とが前記第 1  
の逆流防止ダイオードと前記第 2 の逆流防止ダイオードとを介して並列に接続されて、前  
記ダブルセル制御手段の電源端子に接続され、

10

前記第 1、第 2、第 3、第 4 の電圧検出手段のそれぞれの電圧検出値が前記ダブルセル  
制御手段に入力し、

前記第 1、第 2 のオン・オフ制御デバイスの接続点と、前記第 2、第 3 のオン・オフ制  
御デバイスの接続点とが出力端子となる  
ことを特徴とするダブルセル。

【請求項 2】

請求項 1 に記載のダブルセルを備えた電力変換装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

20

本発明は、電力変換装置に関する。例えば前記電力変換装置の制御電源に関する。

【背景技術】

【0002】

一つまたは複数の単位変換器を直列に接続して構成する電力変換装置がある。

例えば、非特許文献 1 には、モジュラー・マルチレベル・カスケード変換器 (MMCC  
: Modular Multilevel Cascade Converter) の 4 つの回路方式とその技術が開示されてい  
る (abstract、Fig 2 (a)、(b)、Fig 3 (a)、(b) 参照)。

MMCC は、1 つまたは複数の単位変換器 (非特許文献 1 では「cell」と称している)  
を直列に接続して構成したアームを Y 結線、結線、またはブリッジ状 (2 つの Y 結線と  
見なすこともできる) に接続して構成された電力変換回路である。

30

MMCC の特徴は、複数の単位変換器を直列接続しているために、個々の単位変換器に  
用いている IGBT 等の耐圧を超える高電圧、かつ、正弦波に近い電圧を直接出力できる  
点である。

また、特許文献 1 には、電力変換装置である MODULAR MULTILEVEL VOLTAGE SOURCE CONV  
ERTER の単位変換器 (cell) の IGBT (Insulated Gate Bipolar Transistor) のコレク  
タ・エミッタ間に自給電源装置を接続し、該自給電源装置が、前記 IGBT のゲート駆動  
回路に電源を供給する構成、技術が開示されている (FIG. 2 参照)。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0003】

40

【特許文献 1】国際公開 2013/091675 号

【非特許文献】

【0004】

【非特許文献 1】H. Akagi, "Classification, terminology, and applica-tion of the  
modular multilevel cascade converter (MMCC)," IEEE Trans-actions on Power Elec  
tronics, vol. 26, no. 11, Nov. 2011, pp. 3119-3129.

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

しかしながら、非特許文献 1 に開示された技術では、MMCC に備えられた 2 つの双方

50

向チョッパが同一回路構成である場合、オン・オフ制御デバイスの動作に伴って、1つの双方向チョッパのどの点を基準としても、いずれかのコンデンサの電位が変動してしまう。したがって、電力供給手段に印加されるコモンモードノイズが大きくなってしまうという課題があった。

また、特許文献1に開示された技術では、単位変換器を構成するIGBTのコレクタ・エミッタ間電圧からエネルギーを得て、該IGBTのゲート駆動回路に供給しているので、単位変換器が故障し、該単位変換器の出力端子を短絡した場合、前記のIGBTのコレクタ・エミッタ間電圧が低下して、ある時点でゲート駆動回路も動作を停止してしまうという課題があった。また、それにともない単位変換器のモニタリングや追加の制御ができなくなるという課題があった。

10

#### 【0006】

本発明は、前記した課題に鑑みて創案されたものであり、その目的とするところは、信頼性の高い電力変換装置等を提供することである。

#### 【課題を解決するための手段】

#### 【0007】

前記の課題を解決して、本発明の目的を達成するために、以下のように構成した。

すなわち、本発明のダブルセルは、直列に接続された第1、第2のオン・オフ制御デバイスと該第1、第2のオン・オフ制御デバイスの直列回路の両端に接続された第1、第2のコンデンサの直列回路と前記第1、第2のオン・オフ制御デバイスの接続点と前記第1、第2のコンデンサの接続点との間に接続された第1の機械スイッチとを有する第1のハーフブリッジと、前記第1、第2のコンデンサの直列回路の両端から電力を受けて所定の電圧に変換して出力する第1の電力供給手段と、該第1の電力供給手段の出力端子に接続された第1の逆流防止ダイオードと、前記第1のコンデンサの両端の電圧を検出する第1の電圧検出手段と、前記第2のコンデンサの両端の電圧を検出する第2の電圧検出手段と、を具備する第1の単位変換器と、直列に接続された第3、第4のオン・オフ制御デバイスと該第3、第4のオン・オフ制御デバイスの直列回路の両端に接続された第3、第4のコンデンサの直列回路と前記第3、第4のオン・オフ制御デバイスの接続点と前記第3、第4のコンデンサの接続点との間に接続された第2の機械スイッチとを有する第2のハーフブリッジと、前記第3、第4のコンデンサの直列回路の両端から電力を受けて所定の電圧に変換して出力する第2の電力供給手段と、該第2の電力供給手段の出力端子に接続された第2の逆流防止ダイオードと、前記第3のコンデンサの両端の電圧を検出する第3の電圧検出手段と、前記第4のコンデンサの両端の電圧を検出する第4の電圧検出手段と、を具備する第2の単位変換器と、前記第1、第2、第3、第4のオン・オフ制御デバイス、および前記第1、第2の機械スイッチのオン・オフを制御するダブルセル制御手段と、を備え、前記第1、第2のコンデンサの接続点と前記第3、第4のコンデンサの接続点とが共有点として接続され、前記第1の電力供給手段の出力端子と前記第2の電力供給手段の出力端子とが前記第1の逆流防止ダイオードと前記第2の逆流防止ダイオードとを介して並列に接続されて、前記ダブルセル制御手段の電源端子に接続され、前記第1、第2、第3、第4の電圧検出手段のそれぞれの電圧検出値が前記ダブルセル制御手段に入力し、前記第1、第2のオン・オフ制御デバイスの接続点と、前記第2、第3のオン・オフ制御

20

30

40

また、その他の手段は、発明を実施するための形態のなかで説明する。

#### 【発明の効果】

#### 【0008】

本発明によれば、信頼性の高い電力変換装置等を提供することができる。

#### 【図面の簡単な説明】

#### 【0009】

【図1】本発明の第1実施形態に係る電力変換装置の回路構成例を示すとともに、交流系統および直流装置との接続を示す図である。

【図2A】本発明の第1実施形態に係る電力変換装置のアームに用いられるダブルセルの

50

回路構成例を示す図である。

【図2B】本発明の第1実施形態に係る電力変換装置に備えられる電力供給手段の回路構成例を示す図である。

【図3】本発明の第2実施形態に係る電力変換装置の回路構成例を示すとともに、交流系統および直流装置との接続を示す図である。

【図4】本発明の第3実施形態に係る電力変換装置の回路構成例を示すとともに、交流系統および直流装置との接続を示す図である。

【図5】本発明の第4実施形態に係る電力変換装置の回路構成例を示すとともに、交流系統および直流装置との接続を示す図である。

【図6】本発明の第5実施形態に係る電力変換装置の回路構成例を示すとともに、交流系統および直流装置との接続を示す図である。

10

【図7】本発明の第6実施形態に係る電力変換装置が備えるハーフブリッジ形ダブルセルの回路構成例を示す図である。

【図8】本発明の第6実施形態に係る電力変換装置の回路構成例を示すとともに、交流系統との接続を示す図である。

【図9】本発明の第7実施形態に係る電力変換装置が備える2つの単位変換器によるセル群の回路構成例とそれら単位変換器の関連を示す図である。

【図10】本発明の第7実施形態に係る電力変換装置が備える3つの単位変換器によるセル群の回路構成例とそれら単位変換器の関連を示す図である。

【発明を実施するための形態】

20

【0010】

以下、本発明を実施するための形態（以下においては「実施形態」と称する）を、図面を参照して説明する。なお、実施の形態を説明するための全図において、同一の部材には原則として同一の符号を付し、その繰り返しの説明は、適宜、省略する。

【0011】

第1実施形態

本発明の第1実施形態に係る電力変換装置について以下に説明する。

なお、主要な項目の構成としては、＜電力変換装置の構成＞、＜ダブルセルの回路構成＞、＜電力供給手段の詳細＞、＜双方向チョッパ回路の接続についての詳細＞、＜各オン・オフ制御デバイスのオン・オフ状態と、ダブルセルの出力電圧の関係＞、＜電力変換装置が交直変換回路として動作する原理＞、＜補足＞、＜第1実施形態の効果＞の内容と順番で説明する。なお、各項目で、適宜、内容を細分化して記載している。

30

【0012】

＜電力変換装置の構成＞

図1は、本発明の第1実施形態に係る電力変換装置101の回路構成例を示すとともに、交流系統100および直流装置103との接続を示す図である。

図1において、電力変換装置101は、MMCC（Modular Multilevel Cascade Converter）であって、交流系統100から受電した三相交流（U相、V相、W相）の交流電力（電圧）を、直流電力（電圧）に変換する装置である。また、変換した直流電力を直流装置103に供給している。

40

三相交流電力（電圧）を直流電力（電圧）に変換するために、電力変換装置101は、U相正側アーム104up、U相負側アーム104unと、V相正側アーム104vp、V相負側アーム104vnと、W相正側アーム104wp、W相負側アーム104wnと、各相のそれぞれの正側アームと負側アームの接続点側に直列接続した複数のバッファリアクトル（リアクトル）105と、前記の各アームを統一して制御する中央制御手段108とを備えて構成されている。

【0013】

U相正側アーム104upとU相負側アーム104unとは、それぞれバッファリアクトル105を介してU点で接続されている。

V相正側アーム104vpとU相負側アーム104vnとは、それぞれバッファリアク

50

トル 105 を介して V 点で接続されている。

W 相正側アーム 104wp と W 相負側アーム 104wn とは、それぞれバッファリアクトル 105 を介して W 点で接続されている。

U 相正側アーム 104up と V 相正側アーム 104vp と W 相正側アーム 104wp とは、それぞれの正側端子を正側直流端子 110P に接続されている。

U 相負側アーム 104un と U 相負側アーム 104vn と W 相負側アーム 104wn とは、それぞれの負側端子を負側直流端子 110N に接続されている。

なお、前記の各アームにバッファリアクトル 105 を直列に接続しているのは、主として、各レグ（＜アーム 104up とアーム 104un＞、＜アーム 104vp とアーム 104vn＞、＜アーム 104wp とアーム 104wn＞）を循環するスイッチングリプル電流を抑制するためである。

10

#### 【0014】

電力変換装置 101 は、前記の U 点、V 点、W 点において、交流系統 100 の U 相、V 相、W 相の電力線と、それぞれ接続されている。

また、電力変換装置 101 は、正側直流端子 110P と負側直流端子 110N とによって、直流装置 103（正側端子 P 点、負側端子 N 点）と接続されている。ここで、直流装置 103 は、直流負荷、直流電源、他の電力変換装置等を代表して表記している。

#### 【0015】

6 つのアーム、すなわち U 相正側アーム 104up、U 相負側アーム 104un、V 相正側アーム 104vp、V 相負側アーム 104vn、W 相正側アーム 104wp、W 相負側アーム 104wn を特に区別する必要が無い場合、以下において、単に「アーム 104」と、適宜、表記する。

20

各アーム 104 は、ダブルセル 106 の直列回路で構成されている。

なお、ダブルセル 106 の具体的回路構成は後記する。

#### 【0016】

各ダブルセル 106 は、制御通信線 128 を介して、中央制御手段 108 に接続されている。

中央制御手段 108 は、前記したように、各アーム 104、および各アーム 104 に備えられた各ダブルセル 106 を統一して制御する。

この制御によって、電力変換装置 101 は、交流系統 100 から供給される三相交流電力（電圧）を直流電力（電圧）に変換する。変換された直流電力は、直流装置 103 に供給される。

30

なお、図 1 の電力変換装置 101 は、6 つのアームをブリッジ状に構成して三相交流を直流に変換する構成であるので、「三相ブリッジ」と称される構成でもある。

#### 【0017】

また、以降の説明のために、図 1 における各部の電圧・電流を以下のように定義する。

三相交流の交流系統 100 の相電圧を  $V_{Su}$ 、 $V_{Sv}$ 、 $V_{Sw}$ （図 1 では  $V_{Su}$ 、 $v$ 、 $w$  と簡略化して表記）、電流を  $I_u$ 、 $I_v$ 、 $I_w$  と表記する。

U 相正側アーム 104up、U 相負側アーム 104un の出力電圧をそれぞれ  $V_{up}$ 、 $V_{un}$  と表記する。

40

V 相正側アーム 104vp、V 相負側アーム 104vn の出力電圧をそれぞれ  $V_{vp}$ 、 $V_{vn}$  と表記する。

W 相正側アーム 104wp、W 相負側アーム 104wn の出力電圧をそれぞれ  $V_{wp}$ 、 $V_{wn}$  と表記する。

また、直流装置 103 を接続している P 点（110P）と N 点（110N）の間の電圧を  $V_{dc}$ 、直流装置 103 に流れている電流を  $I_{dc}$  と表記する。

#### 【0018】

<ダブルセルの回路構成>

次に、図 2A と図 2B を参照して、ダブルセル 106 の内部の回路構成を説明する。

図 2A は、本発明の第 1 実施形態に係る電力変換装置 101 のアーム 104 に用いられ

50

るダブルセル１０６の回路構成例を示す図である。

図２Ａにおいて、ダブルセル１０６は、双方向チョッパ２０９<sub>x</sub>、２０９<sub>y</sub>と、電力供給手段２０４<sub>x</sub>、２０４<sub>y</sub>と、機械スイッチ２０７<sub>x</sub>、２０７<sub>y</sub>と、逆流防止ダイオード（ダイオード）２０５<sub>x</sub>、２０５<sub>y</sub>と、電圧検出手段２０６<sub>x</sub>、２０６<sub>y</sub>と、ダブルセル制御手段２１８とを備えて構成されている。

ダブルセル１０６は、２つの単位変換器（セル）を備えている。すなわち、双方向チョッパ２０９<sub>x</sub>と、電力供給手段２０４<sub>x</sub>と、機械スイッチ２０７<sub>x</sub>と、逆流防止ダイオード２０５<sub>x</sub>と、電圧検出手段２０６<sub>x</sub>とで、一つの単位変換器（第１の単位変換器）を構成している。

また、双方向チョッパ２０９<sub>y</sub>と、電力供給手段２０４<sub>y</sub>と、機械スイッチ２０７<sub>y</sub>と、逆流防止ダイオード２０５<sub>y</sub>と、電圧検出手段２０６<sub>y</sub>とで、もう一つの単位変換器（第２の単位変換器）を構成している。

#### 【００１９】

ただし、機能としての観点から、双方向チョッパ２０９<sub>x</sub>、あるいは２０９<sub>y</sub>を一つの単位変換器とみなすこともある。また、そのように表記することもある。

また、双方向チョッパ２０９<sub>x</sub>、あるいは２０９<sub>y</sub>を特別に区別する必要がない場合、以下において、単に「双方向チョッパ２０９」、あるいは「単位変換器２０９」と、適宜、表記する。

また、機械スイッチ２０７<sub>x</sub>、あるいは２０７<sub>y</sub>を特別に区別する必要がない場合、以下において、単に「機械スイッチ２０７」と、適宜、表記する。

#### 【００２０】

##### 《双方向チョッパ》

図２Ａにおいて、双方向チョッパ２０９<sub>x</sub>（第１の双方向チョッパ）は、それぞれエミッタとカソードで直列に接続されたＩＧＢＴ２０１<sub>x</sub><sub>p</sub>（第１のオン・オフ制御デバイス）、ＩＧＢＴ２０１<sub>x</sub><sub>n</sub>（第２のオン・オフ制御デバイス）と、この接続点と反対側のＩＧＢＴ２０１<sub>x</sub><sub>p</sub>のカソードとＩＧＢＴ２０１<sub>x</sub><sub>n</sub>のエミッタとの間に接続されたコンデンサ（エネルギー貯蔵素子）２０３<sub>x</sub>（第１のコンデンサ）と、ＩＧＢＴ２０１<sub>x</sub><sub>p</sub>、ＩＧＢＴ２０１<sub>x</sub><sub>n</sub>にそれぞれ逆並列に接続された還流ダイオード（ダイオード）２０２<sub>x</sub><sub>p</sub>、２０２<sub>x</sub><sub>n</sub>と、を備えて構成されている。

双方向チョッパ２０９<sub>y</sub>（第２の双方向チョッパ）は、それぞれエミッタとカソードで直列に接続されたＩＧＢＴ２０１<sub>y</sub><sub>p</sub>（第３のオン・オフ制御デバイス）、ＩＧＢＴ２０１<sub>y</sub><sub>n</sub>（第４のオン・オフ制御デバイス）と、この接続点と反対側のＩＧＢＴ２０１<sub>y</sub><sub>p</sub>のカソードとＩＧＢＴ２０１<sub>y</sub><sub>n</sub>のエミッタとの間に接続されたコンデンサ２０３<sub>y</sub>（第２のコンデンサ）と、ＩＧＢＴ２０１<sub>y</sub><sub>p</sub>、ＩＧＢＴ２０１<sub>y</sub><sub>n</sub>にそれぞれ逆並列に接続された還流ダイオード２０２<sub>y</sub><sub>p</sub>、２０２<sub>y</sub><sub>n</sub>と、を備えて構成されている。

なお、オン・オフ制御デバイス（ＩＧＢＴ２０１<sub>x</sub><sub>p</sub>、２０１<sub>x</sub><sub>n</sub>、２０１<sub>y</sub><sub>p</sub>、２０１<sub>y</sub><sub>n</sub>）を特に区別する必要がない場合、適宜、単に「オン・オフ制御デバイス２０１」と表記する。

また、エネルギー貯蔵素子（コンデンサ２０３<sub>x</sub>、２０３<sub>y</sub>）を特に区別する必要がない場合、適宜、単に「エネルギー貯蔵素子２０３」または「コンデンサ２０３」と表記する。

#### 【００２１】

双方向チョッパ２０９<sub>x</sub>のＩＧＢＴ２０１<sub>x</sub><sub>p</sub>のエミッタとＩＧＢＴ２０１<sub>x</sub><sub>n</sub>のカソードとの接続点がダブルセル１０６の一方の出力端子１０６<sub>p</sub>となっている。

双方向チョッパ２０９<sub>y</sub>のＩＧＢＴ２０１<sub>y</sub><sub>p</sub>のエミッタとＩＧＢＴ２０１<sub>y</sub><sub>n</sub>のカソードとの接続点がダブルセル１０６の他方の出力端子１０６<sub>n</sub>となっている。

また、ＩＧＢＴ２０１<sub>x</sub><sub>n</sub>のエミッタ端子とコンデンサ２０３<sub>x</sub>の一端との接続点と、ＩＧＢＴ２０１<sub>y</sub><sub>p</sub>のカソードとコンデンサ２０３<sub>y</sub>の一端との接続点とが、互いに接続されてｍ点として共有する構成となっている。

すなわち、ダブルセル１０６は、２つの双方向チョッパ２０９<sub>x</sub>、２０９<sub>y</sub>がｍ点を共

10

20

30

40

50

有して接続した構成である。このm点で一つの共通電位を作り、この共通電位をダブルセル制御手段の筐体電位（グランド）としてダブルセル制御手段218の回路を構成している。

#### 【0022】

双方向チョッパ209xは、IGBT201xpとIGBT201xnとをオン・オフして出力端子106pとコンデンサ203xとの間で電荷のやり取りをすることによって、等価的に種々の電気的特性を生成する。

同様に、双方向チョッパ209yは、IGBT201ypとIGBT201ynとをオン・オフして出力端子106nとコンデンサ203yとの間で電荷のやり取りをすることによって、等価的に種々の電気的特性を生成する。

10

双方向チョッパ209xと双方向チョッパ209yは、m点を共有化しているので、IGBT201xp、IGBT201xn、IGBT201yp、IGBT201ynを、オン・オフして出力端子106p、出力端子106nと、コンデンサ203x、コンデンサ203yとの間で電荷のやり取りをすることによって、等価的に種々の電気的特性を生成する。

図1の電力変換装置は、図2Aに示した各ダブルセル106を統一的に所定の制御することにより、三相交流電力（電圧）を直流電力（電圧）に変換している。

#### 【0023】

なお、図2Aにおいて、オン・オフ制御デバイスであるIGBT201xnのコレクタ・エミッタ間電圧を $V_{xjk}$ と表記する。

20

また、IGBT201ypのコレクタ・エミッタ間電圧を $V_{yjk}$ と表記する。

ちなみに、電圧 $V_{xjk}$ 、 $V_{yjk}$ における添え字jは、ダブルセル106が属するアームを表わしており $j = up, un, vp, vn, wp, wn$ である。また、添え字kは該アームにおける該ダブルセルの順番を示し、 $k = 1, 2, \dots, N$ である。

また、ダブルセル106の出力電圧である出力端子106pと出力端子106n間の電圧 $V_{jk}$ は、 $V_{xjk}$ と $V_{yjk}$ の和である。

#### 【0024】

##### 《機械スイッチ》

図2Aにおいて、機械スイッチ207x（第1の機械スイッチ）、機械スイッチ207y（第2の機械スイッチ）は、例えばコイルを備えた電磁接触器であり、ダブルセル制御手段218が前記コイルを励磁することでオンして、電圧 $V_{xjk}$ 、または電圧 $V_{yjk}$ を短絡する

30

機械スイッチ207x、207yは、通常はオフの状態であるが、双方向チョッパ209x、もしくは双方向チョッパ209yが故障した場合に、オンすることによって、双方向チョッパ209x、もしくは双方向チョッパ209yを回路から等価的に排除することによって、残りの正常な双方向チョッパのみの動作とする。

例えば、双方向チョッパ209xが故障した場合には、機械スイッチ207xをオンさせて、出力端子106pとm点とを短絡（ショート）する。出力端子106pとm点が短絡すると双方向チョッパ209xの各素子には、電位差がなくなり電氣的な動作ができなくなる。

40

#### 【0025】

また、出力端子106pとm点が短絡すると、m点が出力端子106pと同電位となって、双方向チョッパ209yが出力端子106pと出力端子106nとの間で動作できるようになる。

また、双方向チョッパ209yが故障した場合には、機械スイッチ207yをオンさせて、出力端子106nとm点とを短絡（ショート）する。この場合には、双方向チョッパ209yが回路から排除され、双方向チョッパ209xが出力端子106pと出力端子106nとの間で動作できるようになる。

#### 【0026】

##### 《電力供給手段》

50

図2Aにおいて、電力供給手段204x(第1の電力供給手段)は、双方向チョッパ209xのコンデンサ203xから電力を受けて、適正な電圧に変換してからダブルセル制御手段218に電力を供給する。

一方、電力供給手段204y(第2の電力供給手段)は、双方向チョッパ209yのコンデンサ203yから電力を受けて、適正な電圧に変換してからダブルセル制御手段218に電力を供給する。

逆流防止ダイオード(ダイオード)205x(第1の逆流防止ダイオード)は、電力供給手段204xの一方の出力端子に備えられている。

逆流防止ダイオード205y(第2の逆流防止ダイオード)は、電力供給手段204yの一方の出力端子に備えられている。

電力供給手段204xの出力端子と電力供給手段204yの出力端子は、それぞれ逆流防止ダイオード205x、205yを介して、並列に接続されている。

#### 【0027】

この逆流防止ダイオード205xと逆流防止ダイオード205yを備えるのは、電力供給手段204xと電力供給手段204yは、前記のように逆流防止ダイオード205x、205yを介して、それぞれの出力端子が並列に接続され、同一の配線でダブルセル制御手段218に電力を供給しているからである。

すなわち、双方向チョッパ209xもしくは双方向チョッパ209yが故障した場合に、電力供給手段204xと電力供給手段204yの出力電圧に差がでて、電力供給手段204xと電力供給手段204yとの間に逆流電流が流れるのを防止するためである。

また、電力供給手段(電力供給手段204x、204y)を特に区別する必要がない場合、適宜、単に「電力供給手段204」と表記する。

また、逆流防止ダイオード(ダイオード205x、205y)を特に区別する必要がない場合、適宜、単に「逆流防止ダイオード205」と表記する。

なお、電力供給手段204x、204yについてのより詳細な説明については後記する。

#### 【0028】

##### 《電圧検出手段》

図2Aにおいて、電圧検出手段206x(第1の電圧検出手段)は、双方向チョッパ209xのコンデンサ203xの電圧を検出して、ダブルセル制御手段218にその電圧検出値を入力している。

一方、電圧検出手段206y(第2の電圧検出手段)は、双方向チョッパ209yのコンデンサ203yの電圧を検出して、ダブルセル制御手段218にその電圧検出値を入力している。

#### 【0029】

##### 《ダブルセル制御手段》

図2Aにおいて、ダブルセル制御手段218は、前記したように、電力供給手段204xと電力供給手段204yとから、電力(電力エネルギー)を受けて自身が動作するための電源(エネルギー源)としている。

また、ダブルセル制御手段218は、前記したように、双方向チョッパ209xのコンデンサ203xの電圧の電圧検出値と、双方向チョッパ209yのコンデンサ203yの電圧の電圧検出値と、を入力している。

また、ダブルセル制御手段218は、中央制御手段108(図1)からの制御指示情報を制御通信線128から得ている。

#### 【0030】

このダブルセル制御手段218は、各IGBT201xp、201xn、201yp、201ynのゲート・エミッタ間電圧を制御することで、各IGBT201xp、201xn、201yp、201ynのオン・オフを制御する。

また、IGBT201xp、201xn、201yp、201ynのオン・オフを、制御通信線128を介して、中央制御手段108(図1)からの制御指示情報に基づいて行

10

20

30

40

50



う。

また、ダブルセル制御手段 218 は、電圧検出手段 206 p、206 n を用いて検出したコンデンサ 203 p、203 n の電圧  $V_{Cxjp}$ 、 $V_{Cyjk}$  を、制御通信線 128 を介して中央制御手段 108 に伝送する。

また、ダブルセル制御手段 218 は、電圧検出手段 206 x、206 y の電圧検出値による双方向チョッパ 209 x、双方向チョッパ 209 y が正常か否かの判断情報に基づき、または、中央制御手段 108 の指令に基づき、必要に応じて、機械スイッチ 207 x、もしくは機械スイッチ 207 y をオン（短絡）する。

【0031】

《その他》

なお、図 2 A において、双方向チョッパ 209 x と双方向チョッパ 209 y が共有する m 点は、ダブルセル制御手段 218 の筐体電位  $FG_{jk}$ （ $FG$ ：Frame Ground、j はアーム位置、k はダブルセルの順番）となっている。

図 2 A に示したダブルセル 106 は、図 1 における各ダブルセル 106 のすべてに用いられる。図 1 において、アームの配列の位置を j 番目、同一のアームにおけるダブルセルの順番を k 番目とする。

このとき、各ダブルセル 106 の m 点の電位、すなわち筐体電位  $FG_{jk}$  は、ダブルセル 106 が電力変換装置 101 のどの位置（j, k）に配置されるかによって異なる。

そのため、j, k を添え字として筐体電位  $FG_{jk}$  として、表記している。

【0032】

また、双方向チョッパ 209 x、機械スイッチ 207 x、電力供給手段 204 x、電圧検出手段 206 x、およびダブルセル制御手段 218 によって、一つの単位変換器が構成される。

また、同様に、双方向チョッパ 209 y、機械スイッチ 207 y、電力供給手段 204 y、電圧検出手段 206 y、およびダブルセル制御手段 218 によって、一つの単位変換器が構成される。

この二つの単位変換器をひとつにまとめて、ダブルセル 106 が構成されている。なお、ダブルセル 106 においては、前記のダブルセル制御手段 218 は共用されている。

【0033】

<電力供給手段の詳細>

電力供給手段について、より詳しく説明する。

【0034】

《電力供給手段の回路構成例》

図 2 B は、本発明の第 1 実施形態に係る電力変換装置 101 に備えられる電力供給手段 204（204 x、204 y）の回路構成の一例を示す図である。

図 2 B において、抵抗 1001、ツェナーダイオード（定電圧ダイオード）1002、コンデンサ 1003、変圧器 1006、IGBT 1005、3 個のダイオード 1004、平滑コンデンサ 1007 によって、絶縁型フォワードコンバータの電力供給手段 204 が構成されている。

まず、コンデンサ 203 x（図 2 A）の電圧  $V_{Cxjk}$ 、またはコンデンサ 203 y（図 2 A）の電圧  $V_{Cyjk}$  のいずれかを電圧  $V_{Cpj k}$  と表記するものとする。

この電圧  $V_{Cpj k}$  を、抵抗 1001 とツェナーダイオード 1002 を用いて分圧し、コンデンサ 1003 の両端に電圧  $V_{zd}$  を得る。

【0035】

オン・オフ制御デバイス（スイッチング素子）である IGBT 1005 は、スイッチングによって、電圧  $V_{zd}$  から交流電圧を作り、変圧器 1006 の 1 次コイル 1006 a に印加する。

変圧器 1006 の 2 次コイル 1006 b 側では、二次側に伝達された前記の交流電圧（電力）を 2 個のダイオード 1004 b によって整流し、コンデンサ（平滑コンデンサ）1007 の両端に電圧  $V_{psp}$  を得る。

10

20

30

40

50

## 【 0 0 3 6 】

以下、より具体的な動作を説明する。

I G B T 1 0 0 5 がオンである場合、電圧  $V_{zd}$  が 1 次コイル 1 0 0 6 a に印加される。

また、変圧器 1 0 0 6 の 2 次コイル側では、2 次コイル 1 0 0 6 b に巻数比に応じた電圧が誘起される。

誘起された電圧は、ダイオード 1 0 0 4 b を介してコンデンサ 1 0 0 7 を充電する。

## 【 0 0 3 7 】

I G B T 1 0 0 5 がオフになると、1 次コイル 1 0 0 6 a に流れていた電流は零となり、変圧器 1 0 0 6 の鉄心に蓄積されていた磁束の変化によってリセットコイル 1 0 0 6 c に電圧が誘起され、ダイオード 1 0 0 4 a に電流が流れる。

この場合、2 次コイル 1 0 0 6 b には、I G B T 1 0 0 5 がオンである場合とは逆極性の電圧が誘起されるが、ダイオード 1 0 0 4 b が逆バイアスされるため、2 次コイル 1 0 0 6 b には電流が流れない。

変圧器 1 0 0 6 の鉄心に蓄積された磁気エネルギーは、コンデンサ 1 0 0 3 に流入し、リセットコイル 1 0 0 6 c の電流は零に減衰する。

## 【 0 0 3 8 】

I G B T 1 0 0 5 が再びオンすると、前記のようにコンデンサ 1 0 0 7 が充電される。

以上のように、オン・オフ制御デバイスである I G B T 1 0 0 5 がオン、オフを繰り返すことにより、変圧器 1 0 0 6 によって電氣的絶縁を確保しつつ、コンデンサ 2 0 3 x またはコンデンサ 2 0 3 y ( 図 2 A ) の電圧  $V_{Cpjk}$  から電圧 ( 直流電圧 )  $V_{psp}$  を得られる。

また、変圧器 1 0 0 6 の巻数比や I G B T 1 0 0 5 のオン時間比率によって、電圧  $V_{psp}$  の電圧値を制御できる。

## 【 0 0 3 9 】

なお、図 2 B に示した電力供給手段 2 0 4 ( 2 0 4 x 、 2 0 4 y ) の回路構成は一例であって、前記したフォワードコンバータ以外にも、フライバックコンバータ、あるいはシャントレギュレータとフォワードコンバータの組み合わせ、シャントレギュレータとフォワードコンバータの組み合わせ等が考えられる。

また、図 2 B における出力電圧の直流電圧  $V_{psp}$  は、図 2 A において、電力供給手段 2 0 4 x 、 2 0 4 y のそれぞれ出力電圧  $V_{psx}$  、  $V_{psy}$  となる。この出力電圧  $V_{psx}$  、  $V_{psy}$  は、コンデンサ 2 0 3 x 、 2 0 3 y と電氣的に絶縁されていることが望ましいので、図 2 B のようにトランス ( 変圧器 ) 1 0 0 6 を用いる回路方式が望ましい。

## 【 0 0 4 0 】

《 2 つの電力供給手段 2 0 4 x 、 2 0 4 y の接続について 》

以下、本発明に特徴的な、2 つの電力供給手段 2 0 4 x 、 2 0 4 y の接続について説明する。

## 【 0 0 4 1 】

図 2 A において、電力供給手段 2 0 4 x 、 2 0 4 y のそれぞれの出力電圧  $V_{psx}$  と  $V_{psy}$  は、逆流防止ダイオード 2 0 5 x 、 2 0 5 y を介して突き合わされ ( 並列接続 ) 、電圧  $V_{ps}$  を得る。

すなわち、電圧  $V_{ps}$  は、 $V_{psx}$  と  $V_{psy}$  のうち高い方の電圧となる。電圧  $V_{ps}$  は、ダブルセル制御手段 2 1 8 に、ダブルセル 1 0 6 が自給する電源電圧 ( 電力 ) として供給される。

## 【 0 0 4 2 】

例えば、電力供給手段 2 0 4 x が故障、あるいは、コンデンサ 2 0 3 x が放電し、電圧が零となると、電力供給手段 2 0 4 x は動作を停止し、 $V_{psx}$  は零となる。

しかし、ダブルセル制御手段 2 1 8 の電源電圧  $V_{ps}$  は、 $V_{ps} = V_{psy}$  に維持できるため、ダブルセル制御手段 2 1 8 は動作を継続できる。

## 【 0 0 4 3 】

10

20

30

40

50

また、電力供給手段 204y が故障、あるいはコンデンサ 203y が放電し、電圧が零となった場合も同様に、 $V_{ps} = V_{psx}$  に維持できる。

したがって、本発明の第 1 実施形態では、一つの電力供給手段 204 が動作を停止しても、ダブルセル制御手段 218 は、動作を継続できるという効果を得られる。

【0044】

前記したように、電力変換装置 101 は、例えば 1 つのオン・オフ制御デバイス (IGBT) が故障した場合には、該オン・オフ制御デバイスを含む双方向チョッパ 209 (209x、209y のいずれか) を、機械スイッチ 207 (207x、207y のいずれか) で短絡して、全体としては運転を継続できる。

本発明の第 1 実施形態に係る電力変換装置 101 のように、電力供給手段 204x、204y のいずれかが停止しても、ダブルセル制御手段 218 に電源を供給できる場合、機械スイッチ 207x、207y を確実にオンできる (コイルを励磁できる) という効果が得られる。

すなわち、電力変換装置 101 として、信頼性が向上する効果がある。

【0045】

< 双方向チョッパ 209x、209y の接続についての詳細 >

次に、本発明のもう一つの特徴である、ダブルセル 106 内における双方向チョッパ 209x、209y の接続について説明する。

【0046】

図 2A において、2 つの双方向チョッパ 209x、209y は、前記したように、m 点を共有して接続されている。したがって、m 点は 2 つの双方向チョッパ 209x、209y の共通電位である。

【0047】

例えば m 点をダブルセル 106 の筐体電位 FGjk (FG: Frame Ground、j はアーム位置、k はダブルセルの順番) に接続し、ダブルセル制御手段 218 も筐体電位 FGjk に接続すれば、ダブルセル制御手段 218 から各オン・オフ制御デバイスまでの電位は、コンデンサ 203x、203y の 1 つ分の電位 ( $V_{Cxjk}$  あるいは  $-V_{Cyjk}$ ) にできる。

【0048】

また、コンデンサ 203x、203y のそれぞれの 1 端子は、m 점에接続されているため、この m 点を基準としたコンデンサ 203x、203y の電位は変動しない。

このため、コンデンサ 203x、203y にそれぞれ接続している電力供給手段 204x、204y の電位も変動しない。

したがって、電力供給手段 204x、204y に印加されるコモンモードノイズが低減されるという効果が得られる。

なお、前記した背景技術 (非特許文献 1) のように、2 つの双方向チョッパが共通電位を持たない場合、オン・オフ制御デバイスの動作に伴って、1 つの双方向チョッパのどの点を基準としても、いずれかのコンデンサの電位が変動してしまい、電力供給手段に印加されるコモンモードノイズが大きくなっていた。

それに対し、第 1 実施形態の電力変換装置 101 は、前記のように、コンデンサ 203x、203y に接続している電力供給手段 204x、204y の電位も変動せず、電力供給手段 204x、204y に印加されるコモンモードノイズを低減できるという効果が得られる。

【0049】

さらに、オン・オフ制御デバイス 201 を圧接型の IGBT や GCT (Gate Commutated Turn-off thyristor) 等で構成した場合、4 つのオン・オフ制御デバイス 201 を 1 つのスタックとして構成できるという効果を得られる。すなわち、デバイスとしてのコンパクト化や低コスト化に効果がある。

【0050】

< 各オン・オフ制御デバイスのオン・オフ状態と、ダブルセルの出力電圧  $V_{jk}$  の関係 >

以下、図 2 A を参照して、各オン・オフ制御デバイス ( I G B T ) 2 0 1 のオン・オフ状態と、ダブルセル 1 0 6 の出力電圧  $V_{jk}$  の関係を説明する。

【 0 0 5 1 】

《 双方向チョッパ 2 0 9 x の出力電圧  $V_{xjk}$  について 》

まず、双方向チョッパ 2 0 9 x の出力電圧  $V_{xjk}$  について説明する。

オン・オフ制御デバイスである I G B T 2 0 1 x p がオン、I G B T 2 0 1 x n がオフの場合、出力電圧  $V_{xjk}$  はコンデンサ 2 0 3 x の電圧  $V_{Cxjk}$  と概ね等しくなる。すなわち、概ね  $V_{xjk} = V_{Cxjk}$  である。

【 0 0 5 2 】

I G B T 2 0 1 x p がオフ、I G B T 2 0 1 x n がオンの場合、出力電圧  $V_{xjk}$  は概ね零となる。すなわち、概ね  $V_{xjk} = 0$  である。

10

【 0 0 5 3 】

したがって、I G B T 2 0 1 x p、2 0 1 x n を制御することで、双方向チョッパ 2 0 9 x の出力電圧  $V_{xjk}$  を制御できる。

【 0 0 5 4 】

《 双方向チョッパ 2 0 9 y の出力電圧  $V_{yjk}$  について 》

次に、双方向チョッパ 2 0 9 y の出力電圧  $V_{yjk}$  について説明する。

オン・オフ制御デバイスである I G B T 2 0 1 y p がオン、I G B T 2 0 1 y n がオフの場合、出力電圧  $V_{yjk}$  は概ね零となる。すなわち、概ね  $V_{yjk} = 0$  である。

【 0 0 5 5 】

20

I G B T 2 0 1 y p がオフ、I G B T 2 0 1 y n がオンの場合、 $V_{yjk}$  はコンデンサ 2 0 3 y の電圧  $V_{Cyjk}$  と概ね等しくなる。すなわち、概ね  $V_{yjk} = V_{Cyjk}$  である。

【 0 0 5 6 】

したがって、I G B T 2 0 1 y p、2 0 1 y n を制御することで、双方向チョッパ 2 0 9 y の出力電圧  $V_{yjk}$  を制御できる。

【 0 0 5 7 】

ダブルセル 1 0 6 の出力電圧  $V_{jk}$  は、 $V_{xjk}$  と  $V_{yjk}$  の和であるから、I G B T 2 0 1 x p、2 0 1 x n、2 0 1 y p、2 0 1 y n のそれぞれのオン・オフ状態を制御することにより、 $V_{jk} = 0$ 、 $V_{Cxjk}$ 、 $V_{Cyjk}$ 、 $(V_{Cxjk} + V_{Cyjk})$  の 4 通りに制御できる。

30

【 0 0 5 8 】

なお、 $V_{Cxjk} = V_{Cyjk} = V_C$  である場合は、0、 $V_C$ 、 $2V_C$  の 3 通りに制御できる。

【 0 0 5 9 】

< 電力変換装置 1 0 1 が交直変換回路として動作する原理 >

次に、図 1 を参照して、電力変換装置 1 0 1 が交直変換回路として動作する原理を説明する。

【 0 0 6 0 】

前記のように、ダブルセル 1 0 6 の出力電圧は、オン・オフ制御デバイス ( I G B T ) 2 0 1 のオン・オフ状態を制御することで制御できる。

40

【 0 0 6 1 】

各アーム 1 0 4 は、ダブルセル 1 0 6 の直列回路であるから、ダブルセル 1 0 6 の出力電圧を制御することで、アーム 1 0 4 の出力電圧  $V_{up}$ 、 $V_{un}$ 、 $V_{vp}$ 、 $V_{vn}$ 、 $V_{wp}$ 、 $V_{wn}$  を制御できる。

このように、アーム 1 0 4 の出力電圧  $V_{up}$ 、 $V_{un}$ 、 $V_{vp}$ 、 $V_{vn}$ 、 $V_{wp}$ 、 $V_{wn}$  を制御できるので、これらを適切に制御することによって、電力変換装置 1 0 1 として三相交流電力 ( 電圧 ) を受けながら、所定の電圧を出力して直流電力 ( 電圧 ) を出力することができる。

【 0 0 6 2 】

50

前記したように、図 1 において、電力変換装置 101 は、交流系統から三相交流電力（電圧： $V_{Su}$ 、 $V_{Sv}$ 、 $V_{Sw}$ 、図 1 では  $V_{Su}$ 、 $v$ 、 $w$  と表記）を受けて、直流電力（電圧： $V_{dc}$ ）に変換し、直流装置 103 に直流電力（電圧）を供給している。

これらの過程をより具体的に、「交流系統 100 と電力変換装置 101 の間の電力授受」と「直流装置 103 と電力変換装置 101 の間の電力授受」として、次に、より詳しく説明する。

#### 【0063】

《交流系統 100 と電力変換装置 101 の間の電力授受について》

まず、以下において、交流系統 100 と電力変換装置 101 の間の電力授受について説明する。

10

#### 【0064】

三相交流の U 相に着目すると、交流系統 100 の U 相に流れる電流  $I_u$  は、次に示す (1) 式に従う。

$$V_{Su} = L_b / 2 \times (d / dt) I_u + (V_{un} - V_{up}) / 2 \quad \dots (1)$$

ここで、 $V_{Su}$  は交流系統 100 の U 相の電圧、 $V_{un}$ 、 $V_{up}$  はそれぞれ U 相の上アームと下アームの出力電圧、 $L_b$  はバッファリアクトル 105 のインダクタンス（値）である。

#### 【0065】

したがって、U 相正側アーム 104<sub>up</sub> と U 相負側アーム 104<sub>un</sub> の出力電圧  $V_{up}$  と出力電圧  $V_{un}$  を制御することによって、(1) 式の右辺第 3 項を制御すれば、U 相に流れる電流  $I_u$  を任意の振幅、位相に制御できる。

20

$I_u$  の振幅と位相を制御できれば、交流系統 100 と電力変換装置 101 の U 相が授受する電力を制御できる。

#### 【0066】

V 相、W 相についても同様に、各アーム（104<sub>vp</sub>、104<sub>vn</sub>、104<sub>wp</sub>、104<sub>wn</sub>）の各出力電圧（ $V_{vp}$ 、 $V_{vn}$ 、 $V_{wp}$ 、 $V_{wn}$ ）を制御することで、V 相、W 相がそれぞれ授受する電力を制御できる。

#### 【0067】

《直流装置 103 と電力変換装置 101 の間の電力授受について》

次に、直流装置 103 と電力変換装置 101 の間の電力授受について説明する。ただし、直流装置 103 を電圧源であるとし、その電圧を  $V_{dc}$  として説明する。

30

#### 【0068】

直流装置 103 に流れる電流  $I_{dc}$  は、次に示す (2) 式に従う。

$$(2/3) \times L_b \times (d / dt) I_{dc} = (V_{up} + V_{un} + V_{vp} + V_{vn} + V_{wp} + V_{wn}) / 6 - V_{dc} \quad \dots (2)$$

#### 【0069】

したがって、各アーム 104 の電圧を制御することで、(2) 式の右辺第 1 項を制御すれば、 $I_{dc}$  を制御できる。

$I_{dc}$  を制御すれば、電力変換装置 101 と直流装置 103 が授受する電力を制御できる。

40

#### 【0070】

なお、図 1 の中央制御手段 108 は、制御通信線 128 を介して得られた各ダブルセル 106（ $j$ 、 $k$ ）のコンデンサ 203<sub>x</sub>、203<sub>y</sub> のそれぞれの電圧  $V_{Cxjk}$ 、 $V_{Cyjk}$  に基づき、制御通信線 128 を介して各ダブルセル 106（ $j$ 、 $k$ ）の IGBT 201<sub>xp</sub>、201<sub>xn</sub>、201<sub>yp</sub>、201<sub>yn</sub> のオン・オフを統一的に制御する指示を各ダブルセル 106（ $j$ 、 $k$ ）に対して送信する。

また、制御通信線 128 を介して得られた前記の電圧  $V_{Cxjk}$ 、 $V_{Cyjk}$  によって、いずれかのダブルセル 106 の故障、不具合を検出した場合には、制御通信線 128 を介して該当するダブルセル 106 の機械スイッチ 207<sub>x</sub>、207<sub>y</sub> のいずれか、または両方にオン（短絡）する指示を該当するダブルセル 106 に対して送信する。

50

なお、機械スイッチ 207x、207y のいずれか、または両方がオン（短絡）されている場合には、その状態を前提に、中央制御手段 108 は、各ダブルセル 106 の IGBT のオン・オフを統一的に制御する。

#### 【0071】

< 補足 >

図 1 に示した第 1 実施形態の電力変換装置 101 において、交流電力側を、交流系統 100 として説明したが、これに限定されない。

交流系統 100 に代えて、電動機などの交流負荷を接続しても、電力変換装置 101 は、同様の効果が得られる。

また、前記したように、図 1 における直流装置 103 は、直流負荷、直流電源、他の電力変換装置等を代表しているので、直流装置 103 が何であるかに関わらず、電力変換装置 101 は、同様の効果が得られる。

また、図 1 の電力変換装置 101 は、三相交流電力（電圧）を直流電力（電圧）変換する装置として説明したが、中央制御手段 108 の制御方法を変えることによって、電力変換装置 101 は、直流電力（電圧）を、三相交流電力（電圧）に変換することもできる。

#### 【0072】

< 第 1 実施形態の効果 >

以上、第 1 実施形態の電力変換装置 101 によれば、ある単位変換器が故障した場合においても、他の健全な単位変換器が、該故障した単位変換器の出力電圧を分担して肩代わりすることによって、MMC 全体としての運転を継続できる。

また、一つの電力供給手段 204 が動作を停止しても、ダブルセル制御手段 218 は動作を継続できるという効果がある。

また、電力供給手段 204x、204y のいずれかが停止しても、ダブルセル制御手段 218 に電源を供給できるので、機械スイッチ 207x、207y を確実にオン（短絡）できるという効果がある。

この m 点を基準としたコンデンサ 203x、203y の電位は変動しないので、コンデンサ 203x、203y にそれぞれ接続している電力供給手段 204x、204y の電位も変動しない。すなわち安定した電位が得られる。したがって、電力供給手段 204x、204y に印加されるコモンモードノイズが低減されるという効果が得られる。

さらに、オン・オフ制御デバイス 201 を圧接型の IGBT や GCT 等で構成した場合、4 つのオン・オフ制御デバイス 201 を 1 つのスタックとして構成できるという効果を得られる。すなわち、デバイスとしてのコンパクト化や低コスト化に効果がある。

#### 【0073】

##### 第 2 実施形態

本発明の第 2 実施形態に係る電力変換装置 301 について、以下に説明する。

#### 【0074】

##### 《電力変換装の構成》

図 3 は、本発明の第 2 実施形態に係る電力変換装置 301 の回路構成例を示すとともに、交流系統 100 および直流装置 103 との接続を示す図である。

以下、図 3 を参照して、本発明の第 2 実施形態の電力変換装置 301 の全体構成を説明する。ただし、第 1 実施形態の電力変換装置を示した図 1 との相違点について、主として説明し、図 1 と重複する箇所については、適宜、説明を省略する。

#### 【0075】

図 3 において、電力変換装置 301 は、変圧器 302 を介して交流系統 100 に接続している。交流系統 100 は A 相、B 相、C 相からなる三相交流である。

変圧器 302 の交流系統 100 側が例えば 結線であり、アーム 104u、104v、104w 側が千鳥結線である。

以下、便宜上、変圧器 302 の交流系統 100 側を 1 次側あるいは 1 次巻線、変圧器 303 のアーム 104u、104v、104w 側を 2 次側あるいは 2 次巻線と称する。

#### 【0076】

各アーム 104u、104v、104w の一端は、それぞれ変圧器 302 の 2 次側の U、V、W 点の各点に接続されており、他端はそれぞれ正側直流端子 310p を介して P 点に接続している。

また、変圧器 302 の 2 次巻線の中性点を引き出し、中性側直流端子 310n を介して N 点に接続している。

P 点と N 点の間には、図 1 と同様に直流装置 103 が接続している。

各アーム 104u、104v、104w は、それぞれダブルセル 106 の直列回路である。

なお、図 3 の電力変換装置 301 は、図 1 の電力変換装置 101 が 6 つのアームをブリッジ状に構成して三相交流を直流に変換する構成であるのに対し、3 つのアームを片側だけに用いた構成であるので、「ハーフブリッジ」または「三相ハーフブリッジ」と称される構成でもある。

#### 【0077】

以下、図 3 各部の電圧・電流を定義する。

交流系統 100 の相電圧を  $V_{Sa}$ 、 $V_{Sb}$ 、 $V_{Sc}$ 、交流系統 100 の各相（A 相、B 相、C 相）の電流を  $I_a$ 、 $I_b$ 、 $I_c$ 、各アーム 104u、104v、104w の出力電圧を  $V_u$ 、 $V_v$ 、 $V_w$  と表記する。

図 1 に示した第 1 実施形態と同様に、各アーム 104u、104v、104w の出力電圧  $V_u$ 、 $V_v$ 、 $V_w$  は、ダブルセル 106 のオン・オフ制御デバイス 201 のオン・オフ状態を制御することによって、制御可能である。

#### 【0078】

《交流系統 100 と電力変換装置 301 の電力授受について》

図 3 に示した第 2 実施形態における、交流系統 100 と電力変換装置 301 の電力授受について説明する。

交流系統 100 の A 相に着目すると、電流  $I_a$  は、次に示す (3) 式に従う。ただし、 $m$  は変圧器 302 の変圧比、 $L$  は変圧器 302 の漏れインダクタンスである。

$$V_{Sa} = L \times (d / dt) I_a + m (V_u - V_{dc}) \quad \cdots (3)$$

#### 【0079】

したがって、アーム 104u の電圧  $V_u$  を制御することで電流  $I_a$  を制御できる。

同様に、交流系統 100 の B 相、C 相についても電流  $I_b$ 、電流  $I_c$  を制御できる。

電流  $I_a$ 、電流  $I_b$ 、電流  $I_c$  のそれぞれの振幅と位相を制御することで、交流系統 100 と電力変換装置 301 が授受する電力を制御できる。

#### 【0080】

《直流装置 103 と電力変換装置 301 の間の電力授受について》

次に、直流装置 103 と電力変換装置 301 の間の電力授受について説明する。ただし、直流装置 103 を電圧源であるとし、その電圧を  $V_{dc}$  として説明する。

#### 【0081】

直流装置 103 に流れる電流  $I_{dc}$  は、次に示す (4) 式に従う。ただし、 $L_0$  は変圧器 302 の 2 次巻線の零相電流に対するインダクタンスである。

$$L_0 / 3 \times (d / dt) I_{dc} = (V_u + V_v + V_w) / 3 - V_{dc} \quad \cdots (4)$$

#### 【0082】

したがって、各アーム 104 の電圧 ( $V_u$ 、 $V_v$ 、 $V_w$ ) を制御することで、(4) 式の右辺第 1 項を制御すれば、直流装置 103 に流れる電流  $I_{dc}$  を制御できる。

電流  $I_{dc}$  を制御すれば、電力変換装置 301 と直流装置 103 が授受する電力を制御できる。

#### 【0083】

< 第 2 実施形態の効果 >

本発明の第 2 実施形態では、各アームにダブルセル 106 を用いることにより、第 1 実施形態と同様の効果を得られる。

また、第 2 実施形態においては、変圧器 302 の 2 次側は、千鳥結線となっているので

10

20

30

40

50

、 3 次高調波を打ち消し、リップルが少なくなるという特徴がある。

【 0 0 8 4 】

第 3 実施形態

本発明の第 3 実施形態に係る電力変換装置について以下に説明する。

図 4 は、本発明の第 3 実施形態に係る電力変換装置 4 0 1 の回路構成例を示すとともに、交流系統 1 0 0 および直流装置 1 0 3 との接続を示す図である。

図 4 において、図 3 と異なるのは、アームの構成と変圧器 4 0 2 の 2 次側の巻線の構成である。

図 3 の電力変換装置 3 0 1 は、 3 つのアームを片側だけに用いたハーフブリッジと称される構成であるのに対し、図 4 の電力変換装置 5 0 1 は、 6 つのアームを正側と負側の両側に用いてブリッジ状（フルブリッジ）に構成していることである。

また、変圧器 4 0 2 の 2 次側の巻線を正側の 3 本で千鳥結線を構成し、また負側の 3 本で千鳥結線を構成している。

そして、 2 次側の巻線の正側の 3 本を、それぞれ正側の 3 つのアームに接続するとともに、 2 次側の巻線の負側の 3 本を、それぞれ負側の 3 つのアームに接続している。

ただし、それ以外は同一であるので、図 4 に示した第 3 実施形態の電力変換装置 4 0 1 は、図 3 に示した第 2 実施形態の電力変換装置 3 0 1 と同じ動作をして、同じ効果がある。重複する説明は省略する。

【 0 0 8 5 】

なお、前記したように、図 4 において、 6 つのアームを正側と負側の両側に用いてブリッジ状（フルブリッジ）に構成であり、図 3 においては、 3 つのアームを片側だけに用いたハーフブリッジと称される構成である。そのため、第 3 実施形態の電力変換装置 4 0 1 は、より高い値の直流電圧と、脈流の少ない直流電力（電圧）を直流装置 1 0 3 に供給できるという特徴がある。

【 0 0 8 6 】

第 4 実施形態

本発明の第 4 実施形態に係る電力変換装置について以下に説明する。

図 5 は、本発明の第 4 実施形態に係る電力変換装置 5 0 1 の回路構成例を示すとともに、交流系統 1 0 0 および直流装置 1 0 3 との接続を示す図である。

図 5 において、図 4 と異なるのは、変圧器 5 0 2 の一次側の結線である。

図 4 における、変圧器 4 0 2 の一次側は、結線であるのに対し、図 5 の変圧器 5 0 2 の一次側は、Y 結線である。ただし、それ以外は同一であるので、図 5 に示した第 4 実施形態の電力変換装置 5 0 1 は、図 4 に示した第 3 実施形態の電力変換装置 4 0 1 と同じ動作をして、同じ効果がある。重複する説明は省略する。

なお、前記したように、図 5 において、変圧器 5 0 2 の一次側の結線は Y 結線であり、図 4 における変圧器 4 0 2 の一次側の結線は結線である。そのため、変圧器 5 0 2 の一次側に Y 結線を用いた第 4 実施形態の電力変換装置 5 0 1 は、より高圧の交流系統 1 0 0 に対応できるという特徴がある。

【 0 0 8 7 】

第 5 実施形態

本発明の第 5 実施形態に係る電力変換装置について以下に説明する。

図 6 は、本発明の第 5 実施形態に係る電力変換装置 6 0 1 の回路構成例を示すとともに、交流系統 1 0 0 および直流装置 1 0 3 との接続を示す図である。

【 0 0 8 8 】

以下、図 6 を参照して、本発明の第 5 実施形態の電力変換装置の全体構成を説明する。ただし、第 1 実施形態の電力変換装置を示した図 1 との相違点について、主として説明し、図 1 と重複する箇所については、適宜、説明を省略する。

【 0 0 8 9 】

図 6 において、電力変換装置 6 0 1 は、変圧器 6 0 2 を介して交流系統 1 0 0 に接続している。



変圧器 602 の交流系統 100 側が 結線であり、アーム 104up、104vp、104wp 側がスター結線（Y 結線）、アーム 104un、104vn、104wn 側がスター結線（Y 結線）である。以下、便宜上、変圧器 602 の交流系統 100 側を 1 次側あるいは 1 次巻線、変圧器 602 のアーム 104up、104vp、104wp 側を 2 次側あるいは 2 次巻線、変圧器 602 のアーム 104un、104vn、104wn 側を 3 次側あるいは 3 次巻線と称する。

#### 【0090】

変圧器 602 の 2 次巻線と 3 次巻線の中性点（n2 点と n3 点）は接続されている。

アーム 104up、vp、wp 側の一端は、それぞれ変圧器 602 の 2 次側の U2、V2、W2 点の各点に接続されており、他端はそれぞれ P 点（610p）に接続している。

アーム 104un、vn、wn 側の一端は、それぞれ変圧器 602 の 3 次側の U3、V3、W3 点の各点に接続されており、他端はそれぞれ N 点（610n）に接続している。

P 点と N 点の間には、図 1 と同様に直流装置 103 が接続している。

各アーム 104up、104un、104vp、104vn、104wp、104wn は、それぞれダブルセル 106 の直列回路である。

#### 【0091】

《各部の電圧・電流を定義》

以下、図 6 の各部における電圧・電流を定義する。

交流系統 100 の相電圧を  $V_{Sa}$ 、 $V_{Sb}$ 、 $V_{Sc}$ 、交流系統 100 の各相の電流を  $I_a$ 、 $I_b$ 、 $I_c$ 、各アーム 104up、104un、104vp、104vn、104wp、104wn の出力電圧を  $V_{up}$ 、 $V_{un}$ 、 $V_{vp}$ 、 $V_{vn}$ 、 $V_{wp}$ 、 $V_{wn}$  と表記する。

第 1 実施形態と同様に、各アーム 104up、104un、104vp、104vn、104wp、104wn の出力電圧  $V_{up}$ 、 $V_{un}$ 、 $V_{vp}$ 、 $V_{vn}$ 、 $V_{wp}$ 、 $V_{wn}$  は、ダブルセル 106 のオン・オフ制御デバイス 201 のオン・オフ状態を制御することによって、制御可能である。

#### 【0092】

《交流系統 100 と電力変換装置 601 の電力授受について》

以下、交流系統 100 と電力変換装置 601 の電力授受について説明する。

交流系統 100 を三相交流 A 相、B 相、C 相として、この A 相（a 相）に着目すると、電流  $I_a$  は（5）式に従う。ただし、m は変圧器 602 の変圧比、L は変圧器 602 の漏れインダクタンスである。

$$V_{Sa} = L \times (d/dt) I_a + m(V_{un} - V_{up}) / 2 \quad \dots (5)$$

#### 【0093】

したがって、アーム 104u の電圧  $V_u$ （ $V_{un}$ 、 $V_{up}$ ）を制御することで、電流  $I_a$  を制御できる。

電流  $I_a$  の振幅と位相を制御することで、交流系統 100 と電力変換装置 601 が授受する電力を制御できる。

#### 【0094】

《直流装置 103 と電力変換装置 601 の間の電力授受について》

次に、直流装置 103 と電力変換装置 601 の間の電力授受について説明する。ただし、直流装置 103 を電圧源であるとし、その直流電圧を電圧  $V_{dc}$  として説明する。

#### 【0095】

直流装置 103 に流れる電流  $I_{dc}$  は、次に示す（6）式に従う。ただし、 $L_0$  は変圧器 402 の 2 次巻線と 3 次巻線の零相電流に対するインダクタンスである。

$$L_0 / 3 \times (d/dt) I_{dc} = (V_{up} + V_{un} + V_{vp} + V_{vn} + V_{wp} + V_{wn}) / 6 - V_{dc} \quad \dots (6)$$

#### 【0096】

したがって、各アーム 104 の電圧（ $V_{up}$ 、 $V_{un}$ 、 $V_{vp}$ 、 $V_{vn}$ 、 $V_{wp}$ 、 $V_{wn}$ ）を制御することで、（6）式の右辺第 1 項を制御すれば、 $I_{dc}$  を制御できる、 $I_d$

cを制御すれば、電力変換装置601と直流装置103が授受する電力を制御できる。

【0097】

<第5実施形態の効果>

以上の第5実施形態では、各アームにダブルセル106を用いることにより、第1実施形態と同様の効果を得られる。例えば、1つの単位変換器の故障時にも、ダブルセル制御手段の動作を継続できるという効果を得られる。その他の重複する説明は省略する。

なお、図6においては、変圧器602の1次側に対して、2次側と3次側とに二つ(n2、n3)に分かれている。したがって、上アーム(104up、104vp、104wp)から下アーム(104un、104uv、104wn)に直接、流れる経路が存在しない。

10

すなわち、上アームから下アームを循環するスイッチングリプル電流がなく、ノイズの少ない直流電力(電圧)を直流装置103に供給できるという効果がある。

【0098】

第6実施形態

本発明の第6実施形態に係る電力変換装置について以下に説明する。

図7は、本発明の第6実施形態に係る電力変換装置が備えるハーフブリッジ形ダブルセル706の回路構成例を示す図である。

また、図8は、本発明の第6実施形態に係る電力変換装置801の回路構成例を示すとともに、交流系統100との接続を示す図である。

なお、第6実施形態の電力変換装置801は、例えばSTATCOM(Static Synchronous Compensator: 静止形無効電力補償装置)として機能する回路である。すなわち、電力変換装置801は、交流系統100に等価的に無効電力を供給し、交流系統100の力率の改善と、電圧の調整を行う機能を有するものである。

20

【0099】

まず、図7を参照して、ハーフブリッジ形ダブルセル(ダブルセル)706の構成を説明する。その後、図8を参照して、第6実施形態の電力変換装置の全体構成を説明する。

【0100】

<ハーフブリッジ形ダブルセル>

図7において、ハーフブリッジ形ダブルセル(ダブルセル)706は、2つのハーフブリッジ709x、709yのそれぞれの直列接続したコンデンサ(<203x1, 203x2>、<203y1, 203y2>)の中点を互いに接続した構成である。

30

【0101】

ハーフブリッジ形ダブルセル706は、ハーフブリッジ709x(第1のハーフブリッジ)、ハーフブリッジ709y(第2のハーフブリッジ)と、電力供給手段204x(第1の電力供給手段)、電力供給手段204y(第2の電力供給手段)と、逆流防止ダイオード205x(第1の逆流防止ダイオード)、逆流防止ダイオード205y(第2の逆流防止ダイオード)と、電圧検出手段206x1(第1の電圧検出手段)、電圧検出手段206x2(第2の電圧検出手段)、電圧検出手段206y1(第3の電圧検出手段)、電圧検出手段206y2(第4の電圧検出手段)と、ダブルセル制御手段718とを備えて構成されている。

40

また、ハーフブリッジ形ダブルセル706は、2つの単位変換器(セル)を備えている。すなわち、ハーフブリッジ709xと、電力供給手段204xと、逆流防止ダイオード205xと、電圧検出手段206x1、206x2とで、一つの単位変換器(第1の単位変換器)を構成している。

また、ハーフブリッジ709yと、電力供給手段204yと、逆流防止ダイオード205yと、電圧検出手段206y1、206y2とで、もう一つの単位変換器(第2の単位変換器)を構成している。

【0102】

《ハーフブリッジ》

ハーフブリッジ709xは、それぞれエミッタとカソードで直列に接続されたIGBT

50

201x p (第1のオン・オフ制御デバイス)、IGBT201x n (第2のオン・オフ制御デバイス)と、それぞれ的一端で直列に接続されたコンデンサ203x 1 (第1のコンデンサ)、コンデンサ203x 2 (第2のコンデンサ)と、IGBT201x p、IGBT201x nにそれぞれ逆並列に接続された還流ダイオード202x p、202x nと、機械スイッチ207xと、を備えて構成されている。

なお、IGBT201x pのカソードとコンデンサ203x 1の他端は接続され、IGBT201x nのエミッタとコンデンサ203x 2の他端は接続されている。

また、機械スイッチ207x (第1の機械スイッチ)は、IGBT201x p、IGBT201x nの接続点と、コンデンサ203x 1、コンデンサ203x 2の接続点との間に設けられている。

10

#### 【0103】

ハーフブリッジ709yは、それぞれエミッタとカソードで直列に接続されたIGBT201y p (第3のオン・オフ制御デバイス)、IGBT201y n (第4のオン・オフ制御デバイス)と、それぞれ的一端で直列に接続されたコンデンサ203y 1 (第3のコンデンサ)、コンデンサ203y 2 (第4のコンデンサ)と、IGBT201y p、IGBT201y nにそれぞれ逆並列に接続された還流ダイオード202y p、202y nと、機械スイッチ207yと、を備えて構成されている。

なお、IGBT201y pのカソードとコンデンサ203y 1の他端は接続され、IGBT201y nのエミッタとコンデンサ203y 2の他端は接続されている。

また、機械スイッチ207y (第2の機械スイッチ)は、IGBT201y p、IGBT201y nの接続点と、コンデンサ203y 1、コンデンサ203y 2の接続点との間に設けられている。

20

#### 【0104】

ハーフブリッジ709xのIGBT201x pのエミッタとIGBT201x nのカソードとの接続点がハーフブリッジ形ダブルセル706の一方の出力端子706pとなっている。

ハーフブリッジ509yのIGBT201y pのエミッタとIGBT201y nのカソードとの接続点がハーフブリッジ形ダブルセル706の他方の出力端子706nとなっている。

また、コンデンサ203x 1、コンデンサ203x 2との接続点と、コンデンサ203y 1、コンデンサ203y 2との接続点とが、接続されてm点となっている。

30

#### 【0105】

ハーフブリッジ709xは、IGBT201x pとIGBT201x nとをオン・オフして出力端子706pとコンデンサ203xとの間で電荷のやり取りをすることによって、等価的に種々の電気的特性を生成する。

同様に、ハーフブリッジ709yは、IGBT201y pとIGBT201y nとをオン・オフして出力端子706nとコンデンサ203yとの間で電荷のやり取りをすることによって、等価的に種々の電気的特性を生成する。

ハーフブリッジ709xとハーフブリッジ709yは、m点を共有化しているので、IGBT201x p、IGBT201x n、IGBT201y p、IGBT201y nを、オン・オフして出力端子706p、出力端子706nと、コンデンサ203x 1、203x 2、コンデンサ203y 1、203y 2との間で電荷のやり取りをすることによって、等価的に種々の電気的特性を生成する。

40

なお、ハーフブリッジ709x、709yを特に区別する必要がない場合、適宜、単に「ハーフブリッジ709」と表記する。

#### 【0106】

また、オン・オフ制御デバイスであるIGBT201x nのコレクタ・エミッタ間電圧をVxjkと表記する。

また、IGBT201y pのコレクタ・エミッタ間電圧をVyjkと表記する。これは、y点を基準としたm点の電圧をVyjkと表記することでもある。

50

ただし、添え字  $j$  は、ハーフブリッジ形ダブルセル 706 が属するアームを表わしており  $j = up, un, vp, vn, wp, wn$  である。また、添え字  $k$  は、前記アームにおけるハーフブリッジ形ダブルセル 706 の順番を示し、 $k = 1, 2, \dots, N$  である。

また、ハーフブリッジ形ダブルセル 706 の出力電圧である出力端子 706 p と出力端子 706 n 間の電圧  $V_{jk}$  は、 $V_{xjk}$  と  $V_{yjk}$  の和である。

#### 【0107】

なお、ハーフブリッジ 709 x とハーフブリッジ 709 y とで共有する  $m$  点は、ダブルセル制御手段 718 の筐体電位  $FG_{jk}$  ( $FG$ : Frame Ground、 $j$  はアーム位置、 $k$  はハーフブリッジ形ダブルセルの順番) となっている。

図 7 に示したハーフブリッジ形ダブルセル 706 は、図 8 に示した電力変換装置 801 における各ハーフブリッジ形ダブルセル 706 のすべてに用いられる。

このとき、各ハーフブリッジ形ダブルセル 706 の  $m$  点の電位、すなわち筐体電位  $FG_{jk}$  は、ハーフブリッジ形ダブルセル 706 が電力変換装置 801 のどの位置 ( $j, k$ ) に配置されるかによって、異なる。そのため、 $j, k$  を添え字として筐体電位  $FG_{jk}$  として、表記している。

#### 【0108】

##### 《機械スイッチ》

図 7 において、機械スイッチ 207 x は、ハーフブリッジ形ダブルセル 706 の一方の出力端子 706 p と  $m$  点との間をオン・オフする。

機械スイッチ 207 y は、ハーフブリッジ形ダブルセル 706 の他方の出力端子 706 n と  $m$  点との間をオン・オフする。

機械スイッチ 207 x、207 y は、例えばコイルを備えた電磁接触器であり、ダブルセル制御手段 718 が、前記のコイルを励磁することでオンして、 $V_{xjk}$ 、または  $V_{yjk}$  を短絡する。

なお、図 7 では、機械スイッチ 207 x、207 y は、それぞれハーフブリッジ 709 x、709 y の構成要素として含まれている。

#### 【0109】

##### 《電力供給手段》

電力供給手段 204 x は、ハーフブリッジ 709 x のコンデンサ 203 x 1 の他端とコンデンサ 203 x 2 の他端とから電力を受けて、適正な電圧に変換してからダブルセル制御手段 718 に電力を供給する。

電力供給手段 204 y は、ハーフブリッジ 709 y のコンデンサ 203 y 1 の他端とコンデンサ 203 y 2 の他端とから電力を受けて、適正な電圧に変換してからダブルセル制御手段 718 に電力を供給する。

逆流防止ダイオード 205 x は、電力供給手段 204 x の出力端子に備えられている。

逆流防止ダイオード 205 y は、電力供給手段 204 y の出力端子に備えられている。

逆流防止ダイオード 205 x、205 y を備える理由は、第 1 実施形態と同様であって、電力供給手段 204 x と電力供給手段 204 y の高い方の電圧を出力することと、電圧が低い方への逆流を防止するためである。

#### 【0110】

##### 《電圧検出手段》

電圧検出手段 206 x 1 は、ハーフブリッジ 709 x のコンデンサ 203 x 1 の電圧を検出して、ダブルセル制御手段 718 にその電圧検出値を入力している。

電圧検出手段 206 x 2 は、ハーフブリッジ 709 x のコンデンサ 203 x 2 の電圧を検出して、ダブルセル制御手段 718 にその電圧検出値を入力している。

電圧検出手段 206 y 1 は、ハーフブリッジ 709 y のコンデンサ 203 y 1 の電圧を検出して、ダブルセル制御手段 718 にその電圧検出値を入力している。

電圧検出手段 206 y 2 は、ハーフブリッジ 709 y のコンデンサ 203 y 2 の電圧を検出して、ダブルセル制御手段 718 にその電圧検出値を入力している。

#### 【0111】

### 《ダブルセル制御手段》

ダブルセル制御手段 718 は、前記したように、電力供給手段 204x と電力供給手段 204y とから、電力（電力エネルギー）を受けて動作するための電源（エネルギー源）としている。

#### 【0112】

また、ダブルセル制御手段 718 は、前記したように、ハーフブリッジ 709x のコンデンサ 203x1、203x2 の電圧検出値と、ハーフブリッジ 709y のコンデンサ 203y1、203y2 の電圧検出値と、を入力している。

また、ダブルセル制御手段 718 は、中央制御手段 808（図 8）からの制御指示情報を制御通信線 128 から得ている。

10

また、ダブルセル制御手段 718 は、各 IGBT 201xp、201xn、201yp、201yn のゲート・エミッタ間電圧を制御することで、各 IGBT 201xp、201xn、201yp、201yn のオン・オフを制御する。

また、各 IGBT 201xp、201xn、201yp、201yn のオン・オフを、制御通信線 128 を介して、中央制御手段 808（図 8）からの制御指示情報に基づいて行う。

#### 【0113】

また、ダブルセル制御手段 718 は、電圧検出手段 206x1、206x2、206y1、206y2 を用いて検出したコンデンサ 203x1、203x2、203y1、203y2 の電圧 VCx1、VCx2、VCy1、VCy2 を、制御通信線 128 を介して中央制御手段 808（図 8）に伝送する。

20

また、ダブルセル制御手段 718 は、電圧検出手段 206x1、206x2、206y1、206y2 の電圧検出値によるハーフブリッジ 709x、ハーフブリッジ 709y が正常か否かの判断情報に基づき、または、中央制御手段 808 の指令に基づき、必要に応じて、機械スイッチ 207x、もしくは機械スイッチ 207y をオンする。

#### 【0114】

##### 《電力供給手段 204x、204y の接続について》

図 7 のハーフブリッジ形ダブルセル 706 における 2 つの電力供給手段 204x、204y については、エネルギー源となる入力電力をコンデンサ 203x1、203x2 の両端から得ていること以外は、図 2A のダブルセル 106 における電力供給手段 204x、204y と同じであるので、重複する説明は省略する。

30

ただし、重要なポイントは、電力供給手段 204x、204y のいずれか一つが動作を停止しても、ダブルセル制御手段 718 は動作を継続できるという効果があることである。

そのため、機械スイッチ 207x、207y を確実にオンできて、オン・オフ制御デバイス 201 のひとつが故障した場合にも、機械スイッチ 207 で短絡して、電力変換装置 801（図 8）全体としては運転を継続できるという利点を有する。

#### 【0115】

##### 《ハーフブリッジ 709x、709y の接続について》

次に、本発明のもう一つの特徴である、ハーフブリッジ 709x、709y の接続について説明する。

40

#### 【0116】

2 つのハーフブリッジ 709x、709y は m 点を共有して接続されている。したがって、m 点は 2 つのハーフブリッジ 709x、709y の共通電位である。

#### 【0117】

例えば m 点をハーフブリッジ形ダブルセル 706 の筐体電位 FGjk（FG：Frame Ground、j はアーム位置、k はハーフブリッジ形ダブルセルの順番）に接続し、ダブルセル制御手段 718 も FGjk に接続すれば、ダブルセル制御手段 718 から各オン・オフ制御デバイス 201 までの電位は、コンデンサ 203x1、203x2、203y1、203y2 の 1 つ分の電位（VCx1、-VCx2、VCy1、あるいは -VCy2）にでき

50

る。

【0118】

また、コンデンサ203x1、203x2、203y1、203y2のm点に対する電位は変動しないため、コンデンサ203x1、203x2、203y1、203y2に接続している電力供給手段204x、204yの電位も変動しない。

このため、電力供給手段204x、204yに印加されるコモンモードノイズを低減できるという効果が得られる。

【0119】

<各オン・オフ制御デバイスのオン・オフ状態と、ハーフブリッジ形ダブルセルの出力電圧 $V_{jk}$ の関係>

10

次に、各オン・オフ制御デバイス201のオン・オフ状態と、ハーフブリッジ形ダブルセル706の出力電圧 $V_{jk}$ の関係について説明する。

【0120】

まず、ハーフブリッジ709xの出力電圧 $V_{xjk}$ について説明する。

IGBT201xpがオン、IGBT201xnがオフの場合、出力電圧 $V_{xjk}$ は、コンデンサ203x1の電圧 $V_{Cx1}$ と概ね等しくなる。すなわち、概ね、 $V_{xjk} = V_{Cx1}$ である。

【0121】

IGBT201xpがオフ、IGBT201xnがオンの場合、出力電圧 $V_{xjk}$ は、コンデンサ203x2の電圧 $V_{Cx2}$ の逆極性の電圧と概ね等しくなる。すなわち、概ね  $V_{xjk} = -V_{Cx2}$ である。

20

【0122】

したがって、オン・オフ制御デバイスであるIGBT201xp、201xnを制御することで、出力電圧 $V_{xjk}$ を制御できる。

【0123】

次に、ハーフブリッジ709yの出力電圧 $V_{yjk}$ について説明する。

IGBT201ypがオン、IGBT201ynがオフの場合、出力電圧 $V_{yjk}$ は、コンデンサ203y1の電圧 $V_{Cy1}$ の逆極性の電圧と概ね等しくなる。すなわち、概ね  $V_{yjk} = -V_{Cy1}$ である。

【0124】

IGBT201ypがオフ、IGBT201ynがオンの場合、出力電圧 $V_{yjk}$ は、コンデンサ203y2の電圧 $V_{Cy2}$ と概ね等しくなる。すなわち、概ね  $V_{yjk} = V_{Cy2}$ である。

30

【0125】

したがって、オン・オフ制御デバイスであるIGBT201yp、201ynを制御することで、出力電圧 $V_{yjk}$ を制御できる。

【0126】

ハーフブリッジ形ダブルセル706の出力電圧 $V_{jk}$ は、 $V_{xjk}$ と $V_{yjk}$ の和である。

したがって、オン・オフ制御デバイスであるIGBT201xp、201xn、201yp、201ynのオン・オフ状態を制御することにより、 $V_{jk} = V_{Cx1} + V_{Cy2}$ 、 $-V_{Cx1} + V_{Cy2}$ 、 $-V_{Cx2} - V_{Cy1}$ 、 $-V_{Cx2} + V_{Cy2}$ の4通りに制御できる。

40

【0127】

ただし、 $V_{Cx1} = V_{Cx2} = V_{Cy1} = V_{Cy2} = V_C$ である場合は、 $V_C$ 、0、 $-V_C$ の3通りに制御できる。

【0128】

<第6実施形態の全体の回路構成>

次に、図8を参照して、第6実施形態の全体構成を説明する。

【0129】

50

なお、第１～第５実施形態とは異なり、第６実施形態の電力変換装置８０１は交直電力変換回路ではない。

前記したように、第６実施形態の電力変換装置８０１は、例えばＳＴＡＴＣＯＭ（Static Synchronous Compensator：静止形無効電力補償装置）として機能する回路である。すなわち、電力変換装置８０１は、交流系統１００に等価的に無効電力を供給し、交流系統１００の力率の改善と、電圧の調整を行う機能を有するものである。

図７のハーフブリッジ７０９×（７０９ｙ）は、ＩＧＢＴ２０１×ｐとＩＧＢＴ２０１×ｎ（ＩＧＢＴ２０１ｙｐとＩＧＢＴ２０１ｙｎ）とをオン・オフして出力端子７０６ｐ（出力端子７０６ｎ）とコンデンサ２０３×１、２０３×２（コンデンサ２０３ｙ１、２０３ｙ２）との間で電荷のやり取りをすることによって、等価的に種々の電気的特性を生成する。

10

図８の電力変換装置は、図７に示した各ハーフブリッジ形ダブルセル７０６を統一的に所定の制御することにより、交流系統１００に無効電力を生成している。

#### 【０１３０】

前記したように、図８は、本発明の第６実施形態に係る電力変換装置８０１の回路構成例を示すとともに、交流系統１００との接続を示す図である。

図８に示した電力変換装置８０１の回路構成は、ＭＭＣＣ－ＳＤＢＣ（modular multilevel cascade converter based on single-delta bridge-cells）と呼称されるものである。図８における単位変換器（７０６）に、図７で説明したハーフブリッジ形ダブルセル７０６を用いるのが本発明の第６実施形態に係る電力変換装置８０１の特徴である。

20

なお、ハーフブリッジ形ダブルセル７０６は、前記したように２つの単位変換器を有していると説明したが、繰り返せば図７のハーフブリッジ形ダブルセル７０６を図８における単位変換器（７０６）に用いる。

#### 【０１３１】

図８において、電力変換装置８０１は、変圧器８０２と、アーム８０４ｕｖ、アーム８０４ｖｗ、アーム８０４ｗｕと、３個のリアクトル８０５と、中央制御手段８０８とを備えている。

電力変換装置８０１は、内部に備えられた変圧器８０２を介して交流系統１００に接続している。

変圧器８０２の交流系統１００側は、例えば結線であり、電力変換装置６０１に備えられたアーム１０４ｕｖ、１０４ｖｗ、１０４ｗｕ側は、例えば結線である。

30

以下において、便宜上、変圧器８０２の交流系統１００側を１次側あるいは１次巻線、変圧器８０２のアーム８０４ｕｖ、８０４ｖｗ、８０４ｗｕ側を２次側あるいは２次巻線と表記する。

#### 【０１３２】

アーム８０４ｕｖと第１のリアクトル８０５は直列に接続され、この直列回路のアーム８０４ｕｖ側の一端は、変圧器８０２の２次側のＶ点に接続され、リアクトル８０５側の他端は、変圧器８０２の２次側のＵ点に接続されている。

アーム８０４ｖｗと第２のリアクトル８０５は直列に接続され、この直列回路のアーム８０４ｖｗ側の一端は、変圧器８０２の２次側のＷ点に接続され、リアクトル８０５側の他端は、変圧器８０２の２次側のＶ点に接続されている。

40

アーム８０４ｗｕと第３のリアクトル８０５は直列に接続され、この直列回路のアーム８０４ｗｕ側の一端は、変圧器８０２の２次側のＵ点に接続され、リアクトル８０５側の他端は、変圧器８０２の２次側のＷ点に接続されている。

#### 【０１３３】

換言すれば、電力変換装置８０１は、アーム８０４ｕｖ、８０４ｖｗ、８０４ｗｕの各々とリアクトル８０５との直列回路で結線を構成した回路を、変圧器８０２を介して交流系統１００に接続した回路である。

#### 【０１３４】

アーム８０４ｕｖ、８０４ｖｗ、８０４ｗｕは、それぞれ図７に示したハーフブリッジ

50

形ダブルセル 706 の直列回路である。

【0135】

また、中央制御手段 808 は、制御通信線 128 を介して、アーム 804 uv、804 vw、804 wu の各ハーフブリッジ形ダブルセル 706 に備えられたダブルセル制御手段 718 を制御する。

前記したようにダブルセル制御手段 718 は、ダブルセル制御手段 718 に備えられた IGBT 201 xp、201 xn、201 yp、201 yn を中央制御手段 808 の制御指示情報に基づいて行う。

すなわち、中央制御手段 808 は、ダブルセル制御手段 718 を介して、すべての IGBT 201 xp、201 xn、201 yp、201 yn を統一的に制御する。

10

また、各ダブルセル制御手段 718 が取得した電圧検出手段 206 x1、206 x2、206 y1、206 y2 の電圧検出値は、制御通信線 128 を介して、中央制御手段 808 に集約される。

【0136】

< 数値解析による説明 >

図 8 に示した第 6 実施形態を数値解析によって、より詳しい動作、機能の説明をする。

以下、図 8 の各部の電圧・電流を定義する。

各アーム 804 uv、804 vw、804 wu の出力電圧をそれぞれ  $V_{uv}$ 、 $V_{vw}$ 、 $V_{wu}$  と表記することにする。

また、交流系統 100 の各相に流れる電流を  $I_a$ 、 $I_b$ 、 $I_c$ 、各アーム 804 uv、804 vw、804 wu に流れる電流を  $I_{uv}$ 、 $I_{vw}$ 、 $I_{wu}$ 、変圧器 802 の U、V、W 点に流れる電流をそれぞれ  $I_u$ 、 $I_v$ 、 $I_w$  と表記することにする。

20

【0137】

以下、交流系統 100 と電力変換装置 801 の電力授受について説明する。

変圧器 802 の 2 次側の U、V 相に着目すると、電流  $I_{uv}$  は、次に示す (7) 式に従う。ただし、 $m$  は変圧器 802 の変圧比、 $L$  はリアクトル 805 のインダクタンスである。

$$V_{Sa} - V_{Sb} = m \{ L \times (d/dt) I_{uv} + V_{uv} \} \quad \dots (7)$$

【0138】

同様に、変圧器 802 の 2 次側の W、U 相に着目すると、電流  $I_{wu}$  は、次に示す (8) 式に従う。

30

$$V_{Sc} - V_{Sa} = m \{ L \times (d/dt) I_{wu} + V_{wu} \} \quad \dots (8)$$

【0139】

(7)、(8) 式より、出力電圧  $V_{uv}$  を制御することで電流  $I_{uv}$  を制御でき、また出力電圧  $V_{wu}$  を制御することで電流  $I_{wu}$  を制御できることが分かる。

【0140】

ここで、変圧器 802 の 2 次側の U 点に流れる電流  $I_u$  は、

$$I_u = I_{uv} - I_{wu}$$

である。したがって、電流  $I_{uv}$ 、 $I_{wu}$  を制御することで、電流  $I_u$  を制御できる。

【0141】

40

また、変圧器 802 の 1 次側の A 相の電流  $I_a$  は、変圧器 802 の変圧比を  $m$  とすれば、

$$I_a = I_u / m$$

である。したがって、電流  $I_u$  を制御できれば、電流  $I_a$  を制御できる。

【0142】

以上より、アーム 804 uv とアーム 804 wu の出力電圧  $V_{uv}$ 、 $V_{wu}$  を制御することで、電流  $I_a$  を制御できる。

電流  $I_a$  の振幅と位相を制御すれば、交流系統 100 と電力変換装置 801 が授受する電力を制御できる。

【0143】

50



以上では、変圧器 802 の 1 次側の A 相に着目して説明したが、B、C 相についても同様に制御可能である。

【0144】

< 第 6 実施形態の効果 >

図 8 に示した第 6 実施形態は、前記したように、無効電力補償装置 (STATCOM) として機能する回路であるが、図 7 に示すハーフブリッジ形ダブルセル 706 を用いることによって、電力変換装置の第 1 実施形態と同様に、1 つの単位変換器の故障時にも、ダブルセル制御手段 718 (図 7) の動作を継続できるという効果を得られる。

したがって、無効電力補償装置として動作の信頼性が向上する効果がある。

【0145】

第 7 実施形態

本発明の第 7 実施形態に係る電力変換装置について以下に説明する。

図 9 は、本発明の第 7 実施形態に係る電力変換装置が備える 2 つの単位変換器 (911、912) によるセル群の回路構成例とそれら単位変換器の関連を示す図である。

なお、図 9 に示す 2 つの単位変換器によるセル群を備える電力変換装置の回路構成は、図 1 の回路を準用するものとする。すなわち、電力変換装置としては図 1 の回路構成であって、図 1 のダブルセル 106 の箇所に図 9 に示した回路を用いるものである。

図 9 のセル群の回路構成は、単位変換器 911 と単位変換器 912 とセル制御手段 928 とを備えて構成されている。

【0146】

単位変換器 911 は、双方向チョッパ 909x と、電力供給手段 204x と、逆流防止ダイオード 205x と、電圧検出手段 206x とを備えて構成されている。

また、単位変換器 912 は、双方向チョッパ 909y と、電力供給手段 204y と、逆流防止ダイオード 205y と、電圧検出手段 206y とを備えて構成されている。

単位変換器 911 と単位変換器 912 とは、同一の構成である。

【0147】

双方向チョッパ 909x は、それぞれエミッタとカソードで直列に接続された IGBT (オン・オフ制御デバイス) 201xp、IGBT 201xn と、この接続点と反対側の IGBT 201xp のカソードと IGBT 201xn のエミッタとの間に接続されたコンデンサ (エネルギー貯蔵素子) 203x と、IGBT 201xp、IGBT 201xn にそれぞれ逆並列に接続された還流ダイオード 202xp、202xn と、IGBT 201xn のエミッタとカソード間に接続された機械スイッチ 207x と、を備えて構成されている。

なお、IGBT 201xn のカソードとエミッタに、それぞれ出力端子 911p、911n を有している。

【0148】

双方向チョッパ 909y は、それぞれエミッタとカソードで直列に接続された IGBT 201yp、IGBT 201yn と、この接続点と反対側の IGBT 201yp のカソードと IGBT 201yn のエミッタとの間に接続されたコンデンサ 203y と、IGBT 201yp、IGBT 201yn にそれぞれ逆並列に接続された還流ダイオード 202yp、202yn と、IGBT 201yn のエミッタとカソード間に接続された機械スイッチ 207y と、を備えて構成されている。

なお、IGBT 201yn のカソードとエミッタに、それぞれ出力端子 912p、912n を有している。

また、双方向チョッパ 909x の出力端子 911n と双方向チョッパ 909y の出力端子 912p とは接続されている。この接続により、2 個の単位変換器 911、912 の出力端子は直列に接続される。

また、双方向チョッパ 909x の出力端子 911p と双方向チョッパ 909y の出力端子 912n が、図 1 におけるダブルセル 106 の 2 本の出力端子に相当する。

【0149】

第7実施形態の図9における電力供給手段204x、204yと電圧検出手段206x、206yは、第1実施形態の図1における電力供給手段204x、204y、電圧検出手段206x、206yと、それぞれ同じ構成、機能であるので重複する説明は省略する。

#### 【0150】

セル制御手段928は、双方向チョッパ909xにおけるIGBT201xp、201xnと、機械スイッチ207x、および双方向チョッパ909yにおけるIGBT201yp、201ynと、機械スイッチ207yのそれぞれのオン・オフを制御している。

また、セル制御手段928には、電力供給手段204xの出力電圧 $V_{psx}$ と、電力供給手段204yの出力電圧 $V_{psy}$ が、それぞれ逆流防止ダイオード205xと逆流防止ダイオード205yを介して、並列接続され出力電圧 $V_{ps}$ として、入力している。

10

また、セル制御手段928には、電圧検出手段206x、206yが、それぞれ検出した双方向チョッパ909xのコンデンサ203xの電圧検出値と、双方向チョッパ909yのコンデンサ203yの電圧検出値とを入力している。

また、セル制御手段928は、中央制御手段108(図1)に制御通信線128を介して、前記の電圧検出値を送る。また、セル制御手段928は、中央制御手段108(図1)から双方向チョッパ909x、909yにおけるIGBT201xp、201xn、201yp、201ynのオン・オフの制御指示情報を、制御通信線128を介して、得ている。

#### 【0151】

20

以上の第7実施形態である図9の単位変換器911と単位変換器912によるセル群の回路構成は、第1実施形態の図2Aに示したダブルセル106の構成とは、主に次の点に相違がある。すなわち、共通電位をとっていないこと、および単位変換器911と単位変換器912が同一の回路構成であることである。

このように、第1実施形態の図2Aと異なる第7実施形態の図9の回路構成でも、セル制御手段928の電源確保に有効であること、およびオン・オフ制御デバイスであるIGBT201xp、201xn、201yp、201ynの制御によって、単位変換器911の出力電圧 $V_{xjk}$ と、単位変換器912の出力電圧 $V_{yj}(k+1)$ の制御が可能であることを次に説明する。

なお、図9の回路構成においては、2個の単位変換器911と単位変換器912があるという意味で単位変換器911にはアームにおける単位変換器の位置をk番目とし、単位変換器912にはアームにおける単位変換器の位置を $(k+1)$ 番目としている。

30

そのため、前記のように、単位変換器911の出力電圧 $V_{xjk}$ に対して、単位変換器912の出力を出力電圧 $V_{yj}(k+1)$ として、異なるアームにおける単位変換器の位置の番号を割り当てた表記となっている。

#### 【0152】

《電力供給手段204x、204yの接続》

#### 【0153】

図9において、前記したように、電力供給手段204xの出力の電圧 $V_{psx}$ と電力供給手段204yの出力の電圧 $V_{psy}$ は、それぞれ逆流防止ダイオード205xと、逆流防止ダイオード205yとを介して突き合わされ(並列に接続され)、電圧 $V_{ps}$ を得る。

40

すなわち、電圧 $V_{ps}$ は電圧 $V_{psx}$ と電圧 $V_{psy}$ のうち高い方の電圧となる。電圧 $V_{ps}$ は、セル制御手段928に自給の電源電圧として供給される。

#### 【0154】

例えば、電力供給手段204xが故障、あるいは、コンデンサ203xが放電し、電圧が零となると、電力供給手段204xは、動作を停止し、 $V_{psx}$ は零となる。

しかし、電力供給手段204yが正常であれば、セル制御手段928の電源電圧 $V_{ps}$ は、 $V_{ps} = V_{psy}$ に維持できるため、セル制御手段928は動作を継続できる。

#### 【0155】

50

また、逆に電力供給手段 204y が故障、あるいはコンデンサ 203y が放電し、電圧が零となった場合も同様に、電力供給手段 204x が正常であれば、 $V_{ps} = V_{psx}$  に維持できる。

したがって、本発明の第 7 実施形態では、1つの電力供給手段 204 (204x、204y) が動作を停止しても、セル制御手段 928 は動作を継続できるという効果を得られる。

すなわち、電力供給手段 204x、204y のいずれかが停止しても、セル制御手段 928 に電源を供給できるので、機械スイッチ 207x、207y を確実にオンできる (コイルを励磁できる) という効果が得られる。

#### 【0156】

そのため、図 9 に示した 2 個の単位変換器をアームに用いた電力変換装置 101 (図 1) は、例えば、図 9 における 1 つのオン・オフ制御デバイスが故障した場合には、該オン・オフ制御デバイスを含む双方向チョッパ 909x、909y のいずれかを、機械スイッチ 207x、機械スイッチ 207y のいずれかで短絡して、電力変換装置 101 (図 1) の全体としては運転を継続できるという利点を有する。

#### 【0157】

##### 《双方向チョッパの出力電圧》

以下、各オン・オフ制御デバイスである IGBT 201xp、201xn のオン・オフ状態と、双方向チョッパ 909x の出力電圧  $V_{xjk}$  の関係を説明する。

なお、IGBT 201xn のコレクタ・エミッタ間電圧を  $V_{xjk}$  と表記する。

また、IGBT 201yn のコレクタ・エミッタ間電圧を  $V_{xj}(k+1)$  と表記する。

また、コンデンサ 203x の両端の電圧を  $V_{Cjk}$  と表記する。

また、コンデンサ 203y の両端の電圧を  $V_{Cj}(k+1)$  と表記する。

以上において、添え字 j は、単位変換器 (911、912) が属するアームを表わしており  $j = up, un, vp, vn, wp, wn$  である。また、添え字 k は、該アームにおける該単位変換器の順番を示し、 $k = 1, 2, \dots, N$  である。

#### 【0158】

図 9 において、IGBT 201xp がオン、IGBT 201xn がオフの場合、 $V_{xjk}$  はコンデンサ 203x の電圧  $V_{Cjk}$  と概ね等しくなる。すなわち、概ね  $V_{xjk} = V_{Cjk}$  である。

また、IGBT 201xp がオフ、IGBT 201xn がオンの場合、 $V_{xjk}$  は概ね零となる。すなわち、概ね  $V_{xjk} = 0$  である。

したがって、IGBT 201xp、201xn を制御することで、 $V_{xjk}$  を制御できる。

#### 【0159】

同様に、図 9 において、IGBT 201yp がオン、IGBT 201yn がオフの場合、 $V_{yj}(k+1)$  はコンデンサ 203y の電圧  $V_{Cj}(k+1)$  と概ね等しくなる。すなわち、概ね  $V_{yj}(k+1) = V_{Cj}(k+1)$  である。

また、IGBT 201yp がオフ、IGBT 201yn がオンの場合、 $V_{yj}(k+1)$  は概ね零となる。すなわち、概ね  $V_{yj}(k+1) = 0$  である。

したがって、IGBT 201yp、201yn を制御することで、 $V_{yj}(k+1)$  を制御できる。

#### 【0160】

すなわち、図 1 において、ダブルセル 106 の箇所に、図 9 に示した 2 個の単位変換器 911 と単位変換器 912 とセル制御手段 928 とによる回路を用いて、図 1 の中央制御手段 108 で、図 9 のセル制御手段 928 をそれぞれ制御すれば、ある単位変換器が故障した場合においても、他の健全な単位変換器が、該故障した単位変換器の出力電圧を分担して肩代わりすることによって、電力変換装置 (MMC) 全体としての運転を継続できるという効果がある。

10

20

30

40

50

また、一つの電力供給手段 204 (204x、204y) が動作を停止しても、セル制御手段 928 は動作を継続できるので、信頼性が高いという効果がある。

なお、電力変換装置 (101) としては、図 1 の回路構成で説明をしたが、図 3、図 4、図 5、図 6 の回路構成に、図 9 に示した 2 個の単位変換器 911 と単位変換器 912 とセル制御手段 928 とによる回路を適用してもよい。

#### 【0161】

##### 第 8 実施形態

本発明の第 8 実施形態に係る電力変換装置について以下に説明する。

図 10 は、本発明の第 7 実施形態に係る電力変換装置が備える 3 つの単位変換器 (911、912、913) によるセル群の回路構成例とそれら単位変換器の関連を示す図である。

10

なお、図 10 に示す 3 つの単位変換器によるセル群を備える電力変換装置の回路構成は、図 1 の回路を準用するものとする。

図 10 において、図 9 に示した 2 個の単位変換器 911、912 に対して、さらに単位変換器 913 を備えたものである。

単位変換器 913 は、双方向チョッパ 909z と、電力供給手段 204z と、逆流防止ダイオード 205z と、電圧検出手段 206z とを備えて構成されている。

単位変換器 913 の回路構成は、単位変換器 911、あるいは、単位変換器 912 と同じ構成である。

#### 【0162】

20

また、双方向チョッパ 909x の出力端子 911n と双方向チョッパ 909y の出力端子 912p とは接続されている。双方向チョッパ 909y の出力端子 912n と双方向チョッパ 909z の出力端子 913p とは接続されている。この接続により、3 個の単位変換器 911、912、913 の出力端子は直列に接続される。

また、双方向チョッパ 909x の出力端子 911p と双方向チョッパ 909z の出力端子 913n が、図 1 におけるダブルセル 106 の 2 本の出力端子に相当する。

#### 【0163】

第 8 実施形態の図 10 における電力供給手段 204z と電圧検出手段 206z は、第 7 実施形態の図 10 における電力供給手段 204x、204y、電圧検出手段 206x、206y と、それぞれ同じ構成、機能であるので重複する説明は省略する。

30

#### 【0164】

セル制御手段 938 は、双方向チョッパ 909x、909y と同様に、双方向チョッパ 909z における IGBT 201zp、201zn と、機械スイッチ 207z のオン・オフを制御している。

また、セル制御手段 938 には、電力供給手段 204z の出力電圧  $V_{psz}$  が、電力供給手段 204x の出力電圧  $V_{psx}$  と、電力供給手段 204y の出力電圧  $V_{psy}$  とともに、それぞれ逆流防止ダイオード 205z とダイオード 205x とダイオード 205y を介して、並列接続され出力電圧  $V_{ps}$  として、入力している。

また、セル制御手段 938 には、電圧検出手段 206z が、検出した双方向チョッパ 909z のコンデンサ 203z の電圧検出値を入力している。

40

#### 【0165】

以上の構成により、本発明の第 8 実施形態では、1 つの電力供給手段 204 (204x、204y、204z) が動作を停止しても、セル制御手段 938 は動作を継続できるという効果を得られる。

すなわち、電力供給手段 204x、204y、204z のいずれかが停止しても、セル制御手段 938 に電源を供給できるので、機械スイッチ 207x、207y、207z を確実にオンできる (コイルを励磁できる) という効果を得られる。

#### 【0166】

そのため、図 10 に示した 3 個の単位変換器をアームに用いた電力変換装置 101 (図 1) は、例えば、図 10 における 1 つのオン・オフ制御デバイスが故障した場合には、該

50

オン・オフ制御デバイスを含む双方向チョッパ209x、209y、209zのいずれかを、機械スイッチ207x、207y、207zのいずれかで短絡して、電力変換装置101(図1)の全体としては運転を継続できるという利点を有する。

#### 【0167】

前記の第7実施形態においては2個の単位変換器が2個の電力供給手段204x、204yがセル制御手段928に電源電力を供給しているのに対し、この第8実施形態においては、3個の単位変換器が3個の電力供給手段204x、204y、204zがセル制御手段938に電源電力を供給している。

したがって、3個の電力供給手段204x、204y、204zからセル制御手段938に電源電力を供給される第8実施形態の方が、第7実施形態よりも、電力供給手段に関連する異常に対しては、より信頼性が高い。

#### 【0168】

その他の実施形態

以上、本発明は、前記した実施形態に基づき具体的に説明したが、本発明は前記実施形態に限定されるものではなく、その要旨を逸脱しない範囲で種々変更可能である。

以下に、その他の実施形態や変形例について、さらに説明する。

#### 【0169】

《交流系統100への接続》

#### 【0170】

第1実施形態では、図1に示したように、交流系統100と電力変換装置101が直接接続しているが、交流系統100と電力変換装置101の間に変圧器を設けても、第1実施形態で説明した同様の効果を得られる。

また、逆に第6実施形態では、図8に示したように、変圧器802を介して交流系統100に接続しているが、変圧器802を用いることなく、各アーム804uv、804vw、804wvとリアクトル805の直列回路が、直接に交流系統100に接続する場合にも、第6実施形態で説明した同様の効果を得られる。

#### 【0171】

《ハーフブリッジの組数について》

図8に示した第6実施形態において、ハーフブリッジ形ダブルセル706(図7)の構成を2つのハーフブリッジ709x、709yの組としたが、これに限定されない。

3つ以上のハーフブリッジ709を1組とする場合にも、本発明の効果をj得ることがjできる。

#### 【0172】

《双方向チョッパの組数について》

図1に示した第1実施形態、図3に示した第2実施形態、および図6に示した第5実施形態において、ダブルセル106の構成を2つの双方向チョッパ209x、209yの組としたが、これに限定されない。

3つ以上の双方向チョッパ209を1組とする場合にも、本発明の効果をj得ることがjできる。

#### 【0173】

《セル群を構成する単位変換器の個数》

第7実施形態の図9においては、単位変換器が2個、第8実施形態の図10においては、単位変換器が3個でセル群を構成する回路例を示したが、これらの単位変換器の個数に限定されない。単位変換器が4個以上で構成してもよい。構成する単位変換器の数が大きい程、一つの電力供給手段の故障に対する信頼性は向上する。

また、図9、図10のセル群を構成する単位変換器の個数は、必ずしも同一の個数に限定されない。単位変換器が2個で構成されたセル群と、単位変換器が3個で構成されたセル群が混在してもよい。この場合には、アームにおいて単位変換器の数が奇数や素数を含めて任意の個数の場合においても、適用できて、前記した本発明の実施形態の効果と同様の効果が得られる。

10

20

30

40

50

## 【 0 1 7 4 】

## 《機械スイッチの配置》

第 1 実施形態におけるダブルセルの構成を示した図 2 A では、機械スイッチ 2 0 7 x、2 0 7 y は、双方向チョッパ 2 0 9 x、2 0 9 y には含まれていない。

一方、第 7 実施形態における 2 個の単位変換器の構成を示した図 9 では、機械スイッチ 2 0 7 x、2 0 7 y は、双方向チョッパ 9 0 9 x、9 0 9 y に含まれて配置されている。

すなわち、機械スイッチが双方向チョッパに含まれているか、独立しているかは本質的な問題ではない。

そのため、図 2 A では、機械スイッチ 2 0 7 x、2 0 7 y を、双方向チョッパ 2 0 9 x、2 0 9 y にそれぞれ含まれている回路構成も可能である。

また、図 9 において、機械スイッチ 2 0 7 x、2 0 7 y を、双方向チョッパ 9 0 9 x、9 0 9 y から除いて、独立させた回路構成も可能である。

## 【 0 1 7 5 】

## 《オン・オフ制御デバイス、エネルギー貯蔵素子》

第 1 実施形態において、オン・オフ制御デバイス（スイッチング素子）として I G B T で説明したが、I G B T に限定されない。例えば、M O S F E T（Metal-Oxide-Semiconductor Field-Effect Transistor）、スーパージャンクション M O S F E T、バイポーラトランジスタ、B i C M O S（バイポーラ CMOS）、サイリスタ、G T O（Gate Turn-Off thyristor）、G C T（Gate Commutated Turn-off thyristor）等のスイッチング素子でもよい。

また、エネルギー貯蔵素子として単にコンデンサとして説明したが、各種のコンデンサ、および等価の機能を有する素子であればよい。

## 【 0 1 7 6 】

第 2 実施形態を示した図 3 において、変圧器 3 0 2 の 2 次側の巻線を千鳥結線の場合について説明したが、変圧器 3 0 2 の 2 次側の巻線を Y 結線とした場合についても、ダルセル 1 0 6（図 2 A）を用いる効果のある電力変換装置となる。

すなわち、図 3 において、変圧器 3 0 2 の 2 次側の巻線を Y 結線とした回路図の構成の電力変換装置も有効である。

同様に、第 3 実施形態として示した図 4 の変圧器 4 0 2 の 2 次側を Y 結線とした場合についても、ダルセル 1 0 6（図 2 A）を用いる効果のある電力変換装置となる。

また、同様に、第 4 実施形態として示した図 5 の変圧器 5 0 2 の 2 次側を Y 結線とした場合についても、ダルセル 1 0 6（図 2 A）を用いる効果のある電力変換装置となる。

## 【 0 1 7 7 】

## 《ハーフブリッジ形ダブルセルの他の装置への応用》

第 6 実施形態では、図 8 に示した M M C C - S D B C（modular multilevel cascade converter based on single-delta bridge-cells）の装置の単位変換器をハーフブリッジ形ダブルセル 7 0 6 とした場合を説明した。

しかし、単位変換器をハーフブリッジ形ダブルセル 7 0 6 とするのは、前記の M M C C - S D B C（3 つのアームを Y 結線）に限定されない。

3 つのアームを Y 結線している M M C C - S S B C（modular multilevel cascade converter based on single-star bridge-cells）の単位変換器をハーフブリッジ形ダブルセル 7 0 6 とした場合にも、本発明の効果をえられる。

## 【 0 1 7 8 】

## 《交流の相数》

図 1、図 3、図 4 の電力変換装置は、三相交流を直流に電力変換している回路構成であるが、三相に限定されない。すなわち、単相（一相）でも二相でもよい。また、四相以上でもよい。

## 【符号の説明】

## 【 0 1 7 9 】

1 0 0 交流系統

10

20

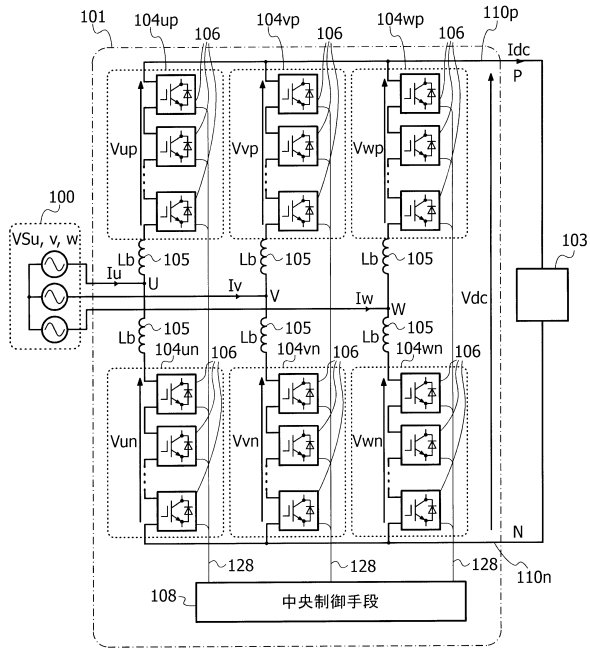
30

40

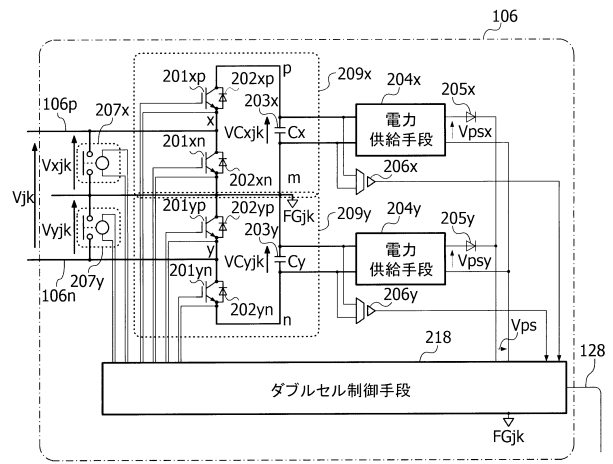
50

101、301、401、501、601、801	電力変換装置	
103	直流装置	
104、104u、104v、104w、104up、104un、104vp、104vn、104wp、104wn、804uv、804vw、804wu	アーム	
105、805	リアクトル、バリアリアクトル	
106	ダブルセル	
108、308、408、508、608、808	中央制御手段	
128	制御通信線	
201、201xp、201xn、201yp、201yn、201zp、201zn、1005	I G B T、オン・オフ制御デバイス	10
202xp、202xn、202yp、202yn、202zp、202zn	環流ダイオード	
203、203x、203y、203x1、203x2、203y1、203y2、203z、1003、1007	コンデンサ(エネルギー貯蔵素子)	
204、204x、204y、204z	電力供給手段	
205、205x、205y、205z	逆流防止ダイオード	
206x、206y、206x1、206x2、206y1、206y2、206z	電圧検出手段	
207x、207y、207z	機械スイッチ	
218、718	ダブルセル制御手段	20
209、209x、209y、909x、909y、909z	双方向チョッパ(単位変換器)	
302、402、502、602、802、1006	変圧器	
706	ハーフブリッジ形ダブルセル、ダブルセル	
709x、709y	ハーフブリッジ	
911、912、913	単位変換器	
928、938	セル制御手段	
1001	抵抗	
1002	ツェナーダイオード	
1004a、1004b	ダイオード	30

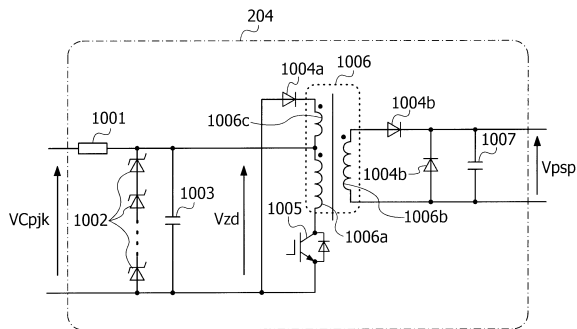
【図 1】



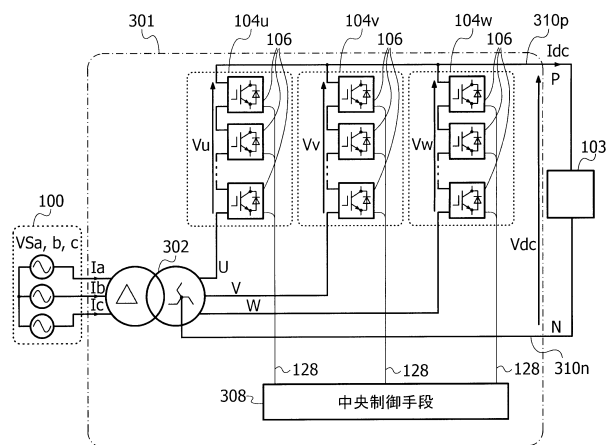
【図 2 A】



【図 2 B】

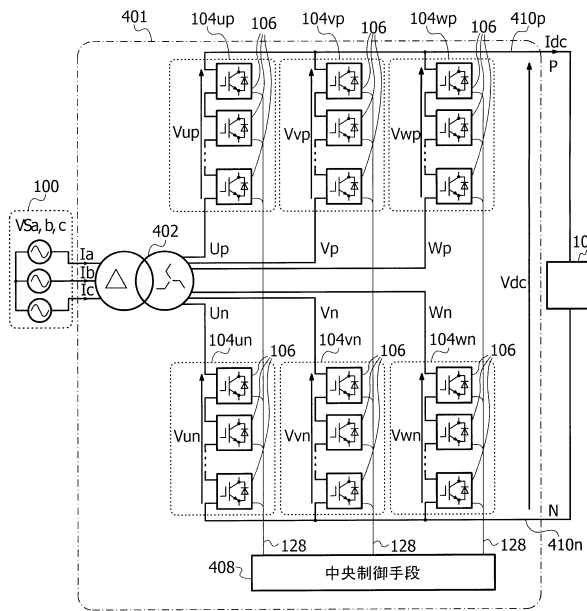


【図 3】

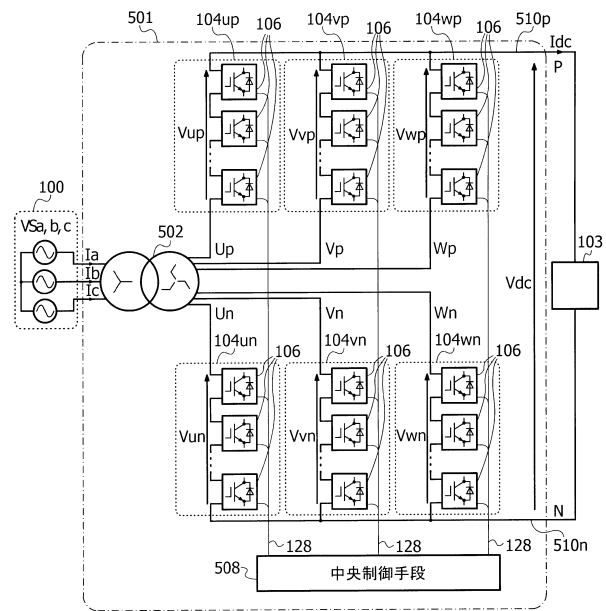




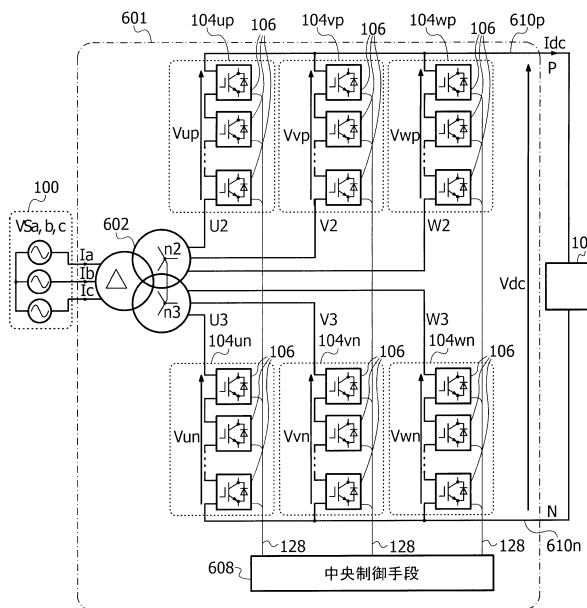
【図 4】



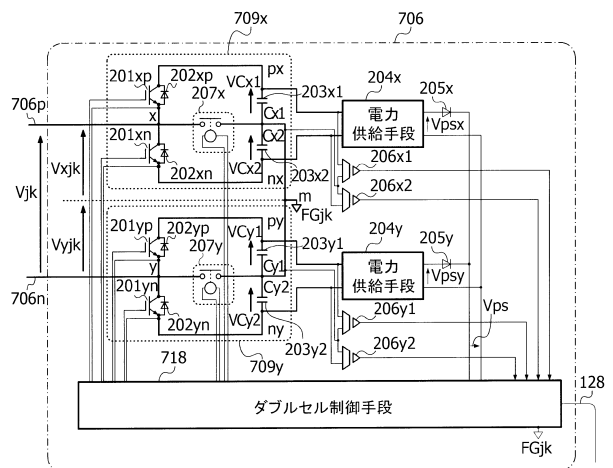
【図 5】



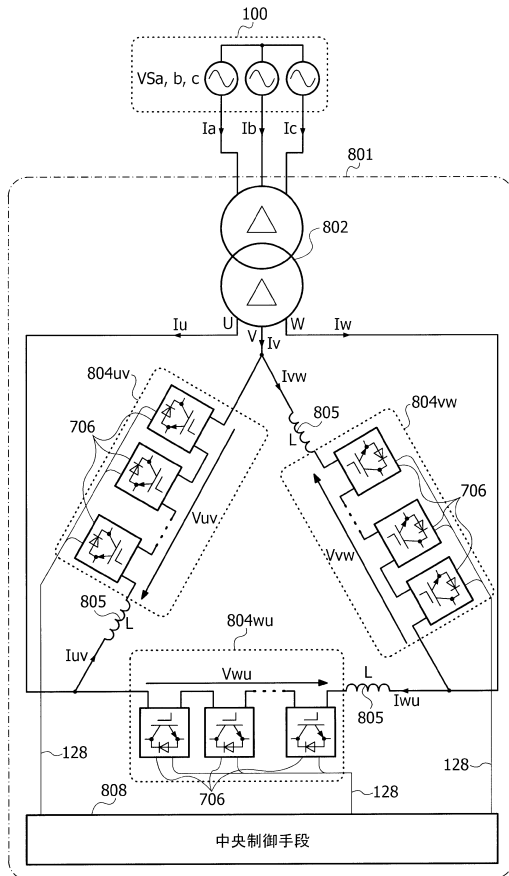
【図 6】



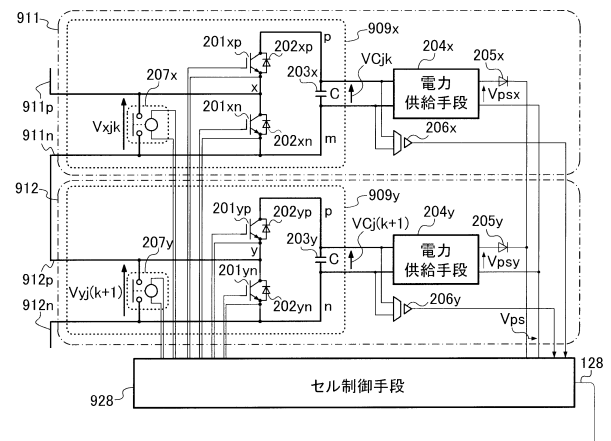
【図 7】



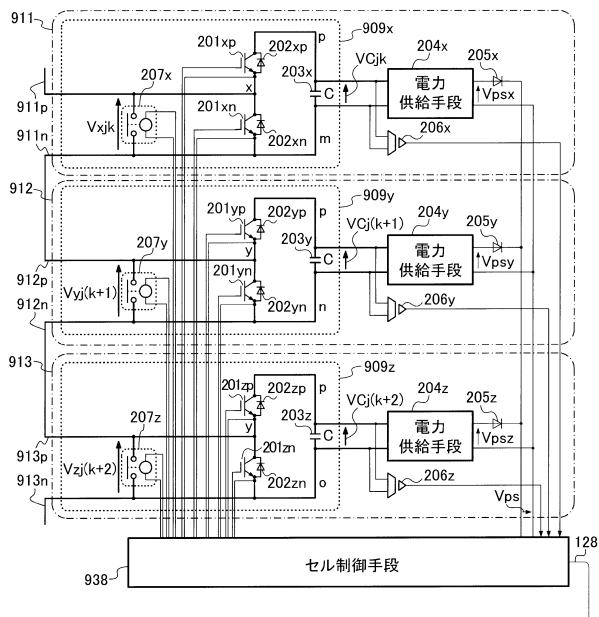
【図 8】



【図 9】



【図 10】



---

フロントページの続き

(56)参考文献 国際公開第2014/091801(WO, A1)

特表2013-532949(JP, A)

特開2014-143864(JP, A)

特開2011-176955(JP, A)

特開2011-223761(JP, A)

特開2011-193615(JP, A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H02M 7/12