

(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2017-143626

(P2017-143626A)

(43) 公開日 平成29年8月17日(2017.8.17)

(51) Int.Cl.	F I	テーマコード(参考)
HO2M 7/12 (2006.01)	HO2M 7/12 A	5H006
	HO2M 7/12 F	
	HO2M 7/12 W	
	HO2M 7/12 X	

審査請求 未請求 請求項の数 6 O L (全 22 頁)

(21) 出願番号 特願2016-22408 (P2016-22408)
 (22) 出願日 平成28年2月9日(2016.2.9)

(71) 出願人 000003078
 株式会社東芝
 東京都港区芝浦一丁目1番1号
 (74) 代理人 100108062
 弁理士 日向寺 雅彦
 (72) 発明者 新井 卓郎
 東京都港区芝浦一丁目1番1号 株式会社東芝内
 (72) 発明者 鈴木 大地
 東京都港区芝浦一丁目1番1号 株式会社東芝内
 Fターム(参考) 5H006 AA05 BB01 BB02 CA01 CA02
 CC03 CC04 DB01 DB07 DC02
 DC05 FA00

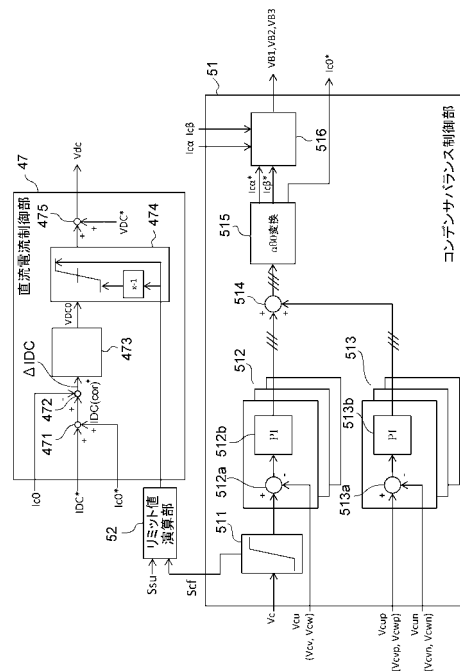
(54) 【発明の名称】 電力変換装置

(57) 【要約】

【課題】交流側に地絡を生じた場合に、安定して運転を継続することができる電力変換装置を提供する。

【解決手段】実施形態の電力変換装置は、充放電を切り替え可能とされたコンデンサを含むセルを含む電力変換部と、前記コンデンサの電圧を制御して出力電圧を制御する制御部と、を備える。前記セルは、直列に接続されて交流の相ごとに接続されている。前記制御部は、前記交流の相間で前記コンデンサの電圧のバランスを制御して、前記電力変換部の中を流れる循環電流のための循環電流指令値を生成するコンデンサバランス制御部と、設定された直流電流指令値および前記循環電流指令値にもとづいて直流出力電圧を生成する直流電流制御部と、を含む。前記コンデンサバランス制御部は、前記循環電流指令値から直流電流成分を抽出する。前記直流電流制御部は、前記直流電流成分を用いて、前記直流電流指令値を補正する。

【選択図】 図4



【特許請求の範囲】**【請求項 1】**

交流電力と直流電力とを相互に変換する電力変換装置であって、
充放電を切り替え可能とされたコンデンサを含むセルを含む電力変換部と、
前記コンデンサの電圧を制御して出力電圧を制御する制御部と、
を備え、
前記セルは、直列に接続されて交流の相ごとに接続され、
前記制御部は、
前記交流の相間で前記コンデンサの電圧のバランスを制御して、前記電力変換部の中を
流れる循環電流のための循環電流指令値を生成するコンデンサバランス制御部と、
設定された直流電流指令値および前記循環電流指令値にもとづいて直流出力電圧を生成
する直流電流制御部と、
を含み、
前記コンデンサバランス制御部は、前記循環電流指令値から直流電流成分を抽出し、
前記直流電流制御部は、前記直流電流成分を用いて、前記直流電流指令値を補正する電
力変換装置。

10

【請求項 2】

前記コンデンサバランス制御部は、前記コンデンサの電圧とあらかじめ設定された第 1
電圧との偏差を検出することによって、前記循環電流指令値から前記直流電流成分を抽出
する請求項 1 記載の電力変換装置。

20

【請求項 3】

前記コンデンサバランス制御部は、
前記交流の各相に接続されたすべての前記セルのコンデンサの電圧の平均値を、その最
大値である前記第 1 電圧に制限する第 1 リミッタと、
前記第 1 リミッタの出力および前記交流の相ごとの前記セルのコンデンサの電圧の平均
値にもとづいて前記直流電流成分を計算する演算部と、
を含む請求項 2 記載の電力変換装置。

【請求項 4】

前記第 1 リミッタは、前記第 1 電圧の値よりも小さい値を有する第 2 電圧をさらに含む
請求項 3 記載の電力変換装置。

30

【請求項 5】

前記直流電流制御部は、前記直流出力電圧の最大値である第 3 電圧に制限する第 2 リミ
ッタ部を含む請求項 3 または 4 に記載の電力変換装置。

【請求項 6】

前記直流電流制御部は、
複数の動作モードを有し、前記複数の動作モードのそれぞれに応じたりミット値を出力
するリミット値演算部を含み、
前記複数の動作モードは、
当該電力変換装置が電流源として動作する場合には、
前記直流出力電圧の最大値を前記第 3 電圧に設定する第 1 モードと、
当該電力変換部が電圧源として動作する場合であって、
前記第 1 リミッタ部が前記第 1 電圧を出力しないときには、
前記第 2 リミッタ部は 0 を出力する第 2 モードと、
前記第 1 リミッタ部が前記第 1 電圧を出力したときには、
前記出力電圧の最大電圧を第 3 電圧よりも高い第 4 電圧に設定する第 3 モードと、
を含む請求項 5 記載の電力変換装置。

40

【発明の詳細な説明】**【技術分野】****【0001】**

50

本発明の実施形態は、電力変換装置に関する。

【背景技術】

【0002】

交流電力を直流電力に変換し、または直流電力を交流電力に変換する双方向の電力変換装置がある。このような電力変換装置の大容量化が望まれている。

【0003】

自己消弧形の半導体スイッチング素子を用いることによって小型化をはかりつつ、大容量化を実現することができる電力変換方式として、モジュラーマルチレベルコンバータ (Modular Multilevel Converter、以下、MMCという。) の実用化が進められている。

【0004】

このような大容量の電力変換装置は、基幹となる電力系統等で用いられる場合があるので、交流側や直流側の地絡等を生じて、安定して運転を継続できることが求められる。

【先行技術文献】

【非特許文献】

【0005】

【非特許文献1】萩原 誠、赤木 泰文 著、「モジュラー・マルチレベル変換器 (MMC) のPWM制御法と動作検証」、電気学会論文誌D, 128巻7号, 2008

【非特許文献2】菊間 俊明、竹中 清、高崎 昌洋、福島 知之、内海 貴徳著、「直流事故電流を抑制可能な自励式直流送電システムの制御保護方式」、電気学会論文誌B, 133巻5号, 2013

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0006】

実施形態は、交流側に地絡を生じた場合であっても、安定して運転を継続することができる電力変換装置を提供する。

【課題を解決するための手段】

【0007】

実施形態に係る電力変換装置は、交流電力と直流電力とを相互に変換する。充放電を切り替え可能とされたコンデンサを含むセルを含む電力変換部と、前記コンデンサの電圧を制御して出力電圧を制御する制御部と、を備える。前記セルは、直列に接続されて交流の相ごとに接続されている。前記制御部は、前記交流の相間で前記コンデンサの電圧のバランスを制御して、前記電力変換部の中を流れる循環電流のための循環電流指令値を生成するコンデンサバランス制御部と、設定された直流電流指令値および前記循環電流指令値にもとづいて直流出力電圧を生成する直流電流制御部と、を含む。前記コンデンサバランス制御部は、前記循環電流指令値から直流電流成分を抽出する。前記直流電流制御部は、前記直流電流成分を用いて、前記直流電流指令値を補正する。

【図面の簡単な説明】

【0008】

【図1】第1の実施形態に係る電力変換装置を例示するブロック図である。

【図2】図2(a)および図2(b)は、第1の実施形態の電力変換装置の一部を例示するブロック図である。

【図3】第1の実施形態の電力変換装置の一部を例示するブロック図である。

【図4】第1の実施形態の電力変換装置の一部を例示するブロック図である。

【図5】第1の実施形態の電力変換装置の動作を説明するためのブロック図である。

【図6】電力変換装置の特性を例示するグラフである。

【図7】直流送電システムを例示するブロック図である。

【図8】図8(a)は、電力変換装置の特性を例示するグラフである。図8(b)は、電力変換装置の動作状態を例示する表である。

【図9】図9(a)は、電力変換装置の動作を説明するためのブロック図である。図9(b)は、電力変換装置の動作を例示するグラフである。

10

20

30

40

50

【図10】図10(a)は、電力変換装置の動作を説明するためのブロック図である。図10(b)は、電力変換装置の動作を例示するグラフである。

【図11】第2の実施形態に係る電力変換装置を例示するブロック図である。

【発明を実施するための形態】

【0009】

以下、図面を参照しつつ、本発明の実施形態について説明する。

なお、図面は模式的または概念的なものであり、各部分の厚みと幅との関係、部分間の大きさの比率などは、必ずしも現実のものと同じとは限らない。また、同じ部分を表す場合であっても、図面により互いの寸法や比率が異なって表される場合もある。

なお、本願明細書と各図において、既出の図に関して前述したものと同様の要素には、同一の符号を付して詳細な説明を適宜省略する。

10

【0010】

(第1の実施形態)

図1は、本実施形態に係る電力変換装置を例示するブロック図である。

図2(a)~図4は、本実施形態の電力変換装置の一部を例示するブロック図である。

図1に示すように、本実施形態の電力変換装置10は、電力変換部20と、制御部40と、を備える。電力変換装置10は、交流端子21a~21cを介して電力系統12に接続される。この例のように、電力変換装置10と電力系統12との間に変圧器14を接続してもよい。電力系統12は、たとえば基幹電力系統である。電力変換装置10は、電力系統12から供給される交流電力を、直流電力に変換して出力する。また、電力変換装置10は、直流電力を交流電力に変換して、電力系統12に供給する。

20

【0011】

電力変換部20は、交流端子21a~21cと、直流端子21d, 21eと、を含む。交流端子21a~21cは、三相交流の各相(U相、V相およびW相)に接続される。直流端子21dは、直流のP(Positive)側に接続され、直流端子21eは、直流のN(Negative)側に接続される。交流端子21a~21cは、電力の入力端子ともなり、出力端子ともなる。直流端子21d, 21eは、交流端子21a~21cが電力の入力端子のときには、出力端子となり、交流端子21a~21cが電力の出力端子のときには、入力端子となる。

30

【0012】

電力変換部20は、チョップセル22と、バッファリアクトル24と、を含む。電力変換部20は、チョップセル22を複数個含んでいる。電力変換部20は、アーム26a~26fを含む。各アーム26a~26fは、それぞれ同数かつ複数個のチョップセル22を含んでおり、チョップセル22は直列に接続されている。ひとつのアーム26aは、P側の直流端子21dとN側の直流端子21eとの間に接続されている。他のアーム26bは、アーム26aとN側の直流端子21eとの間に接続されている。

【0013】

アーム26c, 26dおよびアーム26e, 26fもアーム26a, 26bと同様に、直流端子21d, 21e間に直列に接続されている。

【0014】

アーム26aと交流端子21aとの間には、バッファリアクトル24が接続されている。交流端子21aとアーム26bの間には、バッファリアクトル24の一端が接続されている。つまり、アーム26a、2つのバッファリアクトル24, 24、およびアーム26bは、直列に接続され、2つのバッファリアクトル24, 24が接続されているノードが交流端子21aに接続されている。

40

【0015】

同様に、アーム26cと交流端子21bの間には、バッファリアクトル24が接続され、交流端子21bとアーム26dの間にもバッファリアクトル24が接続されている。また、アーム26dと交流端子21cの間には、バッファリアクトル24が接続され、交流端子21cとアーム26fの間にもバッファリアクトル24が接続されている。

50

【 0 0 1 6 】

バッファリアクトル 2 4 は、上下のアームに直流の短絡電流が流れることを防止する。

【 0 0 1 7 】

U相に接続された上下のアーム 2 6 a , 2 6 b をレグ 2 8 a と呼ぶ。つまり、レグ 2 8 a は、直列に接続されたアーム 2 6 a , 2 6 b を含む。同様に、V相に接続された上下のアーム 2 6 c , 2 6 d、W相に接続された上下のアーム 2 6 d , 2 6 f をそれぞれレグ 2 8 b , 2 8 c と呼ぶ。電力変換部 2 0 は、直流端子 2 1 d , 2 1 e 間に、三相交流の各相に接続されたレグ 2 8 a , 2 8 b , 2 8 c を含んでいる。

【 0 0 1 8 】

図 2 (a) に示すように、チョップセル 2 2 は、スイッチング素子 2 2 1 , 2 2 2 と、ダイオード 2 2 3 , 2 2 4 と、コンデンサ 2 2 6 とを含む。スイッチング素子 2 2 1 , 2 2 2 は、たとえば I G B T (Insulated Gate Bipolar Transistor) や I E G T (Injection Enhanced Gate Transistor) 等の自己消弧形の半導体スイッチング素子である。ダイオード 2 2 3 , 2 2 4 は、たとえばファストリカバリダイオードである。スイッチング素子 2 2 1 およびダイオード 2 2 3 は、互いに逆並列に接続されている。つまり、スイッチング素子 2 2 1 のエミッタとダイオード 2 2 3 のアノードが接続され、スイッチング素子 2 2 1 のコレクタとダイオード 2 2 3 のカソードが接続されている。同様に、スイッチング素子 2 2 2 とダイオード 2 2 4 は逆並列に接続されている。

10

【 0 0 1 9 】

スイッチング素子 2 2 1 , 2 2 2 は、カスコードに接続されている。すなわち、スイッチング素子 2 2 1 のエミッタとスイッチング素子 2 2 2 のコレクタが接続されている。

20

【 0 0 2 0 】

カスコード接続されたスイッチング素子 2 2 1 , 2 2 2 は、コンデンサ 2 2 6 に並列に接続されている。すなわち、スイッチング素子 2 2 1 のコレクタがコンデンサ 2 2 6 の一方の端子に接続され、スイッチング素子 2 2 2 のエミッタがコンデンサ 2 2 6 の他方の端子に接続されている。

【 0 0 2 1 】

チョップセル 2 2 は、スイッチング素子 2 2 1 , 2 2 2 を適切に駆動することによって、端子 2 3 a , 2 3 b を介して、コンデンサ 2 2 6 を充電し、コンデンサ 2 2 6 から放電する。たとえば、スイッチング素子 2 2 1 , 2 2 2 は、適切に駆動されてスイッチングすることによって、コンデンサ 2 2 6 の両端の電圧を所望の値に制御する。コンデンサ 2 2 6 は、端子 2 3 a が端子 2 3 b よりも高電位になるように充電される。

30

【 0 0 2 2 】

チョップセル 2 2 は、端子 2 3 a , 2 3 b を介して、他のチョップセル 2 2 と直列に接続され、他の外部回路に接続される。コンデンサ 2 2 6 は、端子 2 3 a には、端子 2 3 b よりも高電位になるように充電される。チョップセル 2 2 が他のチョップセル 2 2 と直列に接続されるときには、チョップセル 2 2 の端子 2 3 b に、他のチョップセル 2 2 の端子 2 3 a を接続する。

【 0 0 2 3 】

チョップセルの回路構成は、上述に限らない。図 2 (b) に示すように、他の回路構成のチョップセル 7 2 は、4つのスイッチング素子 7 2 1 ~ 7 2 4 を含む。4つのスイッチング素子 7 2 1 ~ 7 2 4 はフルブリッジ回路をなしている。すなわち、ハイサイドのスイッチング素子 7 2 1 にローサイドのスイッチング素子 7 2 2 が直列に接続され、ハイサイドのスイッチング素子 7 2 3 にローサイドのスイッチング素子 7 2 4 が直列に接続されている。そして、これら直列接続体は並列に接続されている。コンデンサ 7 2 0 は、直列接続体に並列に接続されている。

40

【 0 0 2 4 】

各スイッチング素子 7 2 1 ~ 7 2 4 には、それぞれ逆並列にダイオード 7 2 5 ~ 7 2 8 が接続されている。

【 0 0 2 5 】

50

チョッパセル 72 は、端子 73 a , 73 b によって、外部の回路と接続される。

【0026】

電力変換装置 10 では、いずれの回路形式のチョッパセルを含むことができるが、以下では、電力変換装置 10 は、2 個のスイッチング素子 221 , 222 を含むハーフブリッジ形式のチョッパセル 22 を含むものとして説明する。

【0027】

本実施形態の電力変換装置 10 において、各部の電圧および電流について次のように定義する。

【0028】

すべてのチョッパセル 22 のコンデンサ 226 の両端の電圧を加算してチョッパセル 22 の個数 $6N$ で除した平均値に対する指令値をセルコンデンサ電圧指令値 Vc^* とする。ここで、 N は、各アーム内のチョッパセル 22 の直列接続数であり、各アーム内に含まれるコンデンサ 226 の数である。

10

【0029】

U 相上側のアーム 26 a 内の個々のコンデンサ 226 の両端の電圧をセルコンデンサ電圧 $Vcup\#$ 、U 相下側のアーム 26 b 内の個々のコンデンサ 226 の両端の電圧をセルコンデンサ電圧 $Vcun\#$ とする。V 相上側のアーム 26 c 内の個々のコンデンサ 226 の両端の電圧をセルコンデンサ電圧 $Vcvp\#$ 、V 相下側のアーム 26 d 内の個々のコンデンサ 226 の両端の電圧をセルコンデンサ電圧 $Vcvn\#$ とする。W 相上側のアーム 26 e 内の個々のコンデンサ 226 の両端の電圧をセルコンデンサ電圧 $Vcwp\#$ 、W 相下側のアーム 26 f 内の個々のコンデンサ 226 の両端の電圧をセルコンデンサ電圧 $Vcwn\#$ とする。ここで、 $\#$ は、1 ~ N の整数である。

20

【0030】

U 相上側のアーム 26 a 内に含まれるすべてのコンデンサ 226 の両端の電圧を加算して個数 N で除した平均値をセルコンデンサ電圧アーム平均値 $Vcup$ とする。U 相下側のアーム 26 b 内に含まれるすべてのコンデンサ 226 の両端の電圧を加算して個数 N で除した平均値をセルコンデンサ電圧アーム平均値 $Vcun$ とする。

【0031】

V 相上側のアーム 26 c 内に含まれるすべてのコンデンサ 226 の両端の電圧を加算して個数 N で除した平均値をセルコンデンサ電圧アーム平均値 $Vcvp$ とする。V 相下側のアーム 26 d 内に含まれるすべてのコンデンサ 226 の両端の電圧を加算して個数 N で除した平均値をセルコンデンサ電圧アーム平均値 $Vcvn$ とする。

30

【0032】

W 相上側のアーム 26 e 内に含まれるすべてのコンデンサ 226 の両端の電圧を加算して個数 N で除した平均値をセルコンデンサ電圧アーム平均値 $Vcwp$ とする。W 相下側のアーム 26 f 内に含まれるすべてのコンデンサ 226 の両端の電圧を加算して個数 N で除した平均値をセルコンデンサ電圧アーム平均値 $Vcwn$ とする。

【0033】

たとえば、 $Vcup$ は、 $Vcup\#$ を用いて以下のように求められる。

$$Vcup = (Vcup1 + Vcup2 + \dots + VcupN) / N$$

40

【0034】

U 相のレグ 28 a 内に含まれるすべてのコンデンサ 226 の両端の電圧を加算して個数 $2N$ で除した平均値を、セルコンデンサ電圧相平均値 Vcu とする。

【0035】

V 相のレグ 28 b 内に含まれるすべてのコンデンサ 226 の両端の電圧を加算して個数 $2N$ で除した平均値を、セルコンデンサ電圧相平均値 Vcv とする。

【0036】

W 相のレグ 28 c 内に含まれるすべてのコンデンサ 226 の両端の電圧を加算して個数 $2N$ で除した平均値を、セルコンデンサ電圧相平均値 Vcw とする。

【0037】

50

たとえば、 V_{cu} は、 V_{cup} 、 V_{cun} を用いて、以下のように求められる。

$$V_{cu} = (V_{cup} + V_{cun}) / 2$$

【0038】

電力変換部20に含まれるすべてのコンデンサ226の両端の電圧を加算して個数6Nで除した平均値をセルコンデンサ電圧平均値 V_c とする。

【0039】

V_c は、 V_{cu} 、 V_{cv} 、 V_{cw} を用いて、以下のように求められる。

$$V_c = (V_{cu} + V_{cv} + V_{cw}) / 3$$

【0040】

U相上側のアーム26aに流れる電流を交流電流 I_{pu} とし、U相下側のアーム26bに流れる電流を交流電流 I_{nu} とする。V相上側のアーム26cに流れる電流を交流電流 I_{pv} とし、V相下側のアーム26dに流れる電流を交流電流 I_{nv} とする。W相上側のアーム26eに流れる電流を交流電流 I_{pw} とし、W相下側のアーム26fに流れる電流を交流電流 I_{nw} とする。

10

【0041】

図示はしないが、各チョップセル22のコンデンサ226には、電圧検出器が接続されており、電圧検出器によって各コンデンサ226の電圧値が検出される。また、各相の上下のアームには、計器用変流器等が設けられており、計器用変流器等を介して、各アームの電流値が検出される。検出された電圧および電流は、アナログデジタル変換されて、デジタルデータとして取得される。上述の V_c 等は、特に断らない限りデジタルデータである。

20

【0042】

図3に示すように、制御部40は、直流電流制御部47と、コンデンサバランス制御部51と、を含む。制御部40は、リミット値演算部52をさらに含む。

【0043】

制御部40は、セルコンデンサ電圧平均値制御部41と、交流電流制御部43と、0変換器50と、アーム内コンデンサバランス制御部56と、PWM変調部58と、をさらに含んでいる。

【0044】

直流電流制御部47は、除算器45の出力に接続されている。除算器45は、送電電力指令値 P_{dp}^* および直流電圧指令値 V_{DC}^* を入力する。除算器45は、送電電力指令値 P_{dp}^* を直流電圧指令値 V_{DC}^* で除することによって、直流電流指令値 I_{DC}^* を生成して直流電流制御部47に供給する。直流電流制御部47には、直流電圧指令値 V_{DC}^* も入力される。

30

【0045】

直流電流制御部47は、0変換器50の出力に接続されている。0変換器50は、各アーム電流 I_{pu} 、 I_{pv} 、 I_{pw} 、 I_{nu} 、 I_{nv} 、 I_{nw} にもとづいて求められた三相の循環電流を直交座標変換して出力する。各相の循環電流は、各相の電流を加算器48によって相ごとに加算し、係数器49で1/2倍することによって求められる。直流電流制御部47には、直交座標変換された循環電流のうち、零相循環電流値が直流電流値 I_{c0} として入力される。

40

【0046】

直流電流制御部47は、コンデンサバランス制御部51の出力に接続されている。コンデンサバランス制御部51は、内部で生成した零相循環電流指令値 I_{c0}^* を直流電流制御部47に供給する。

【0047】

直流電流制御部47は、直流電流指令値 I_{DC}^* 、零相循環電流指令値 I_{c0}^* 、直流電流値 I_{c0} 、および直流電圧指令値 V_{DC}^* を入力して、これらにもとづいて、直流電圧成分 V_{dc} を出力する。

【0048】

50

直流電流制御部 47 は、リミット値演算部 52 の出力に接続されている。リミット値演算部 52 は、直流電流制御部 47 に、直流電流制御部 47 が出力することができる直流電圧成分 V_{dc} の最大値および最小値を設定する。

【0049】

コンデンサバランス制御部 51 には、セルコンデンサ電圧平均値 V_c 、セルコンデンサ電圧相平均値 V_{cu} 、 V_{cv} 、 V_{cw} 、およびセルコンデンサ電圧アーム平均値 V_{cup} 、 V_{cun} 、 V_{cvp} 、 V_{cvn} 、 V_{cwp} 、 V_{cwn} が入力される。

【0050】

コンデンサバランス制御部 51 には、0 変換器 50 の他の出力が接続されている。コンデンサバランス制御部 51 は、0 変換器 50 によって直交座標変換された循環電流値、すなわち 相循環電流指令値 I_c^* および 相循環電流指令値 I_c^* が入力される。

10

【0051】

コンデンサバランス制御部 51 の出力は、リミット値演算部 52 に接続されている。コンデンサバランス制御部 51 は、いずれかのチョップセル 22 のコンデンサ 226 の電圧が所定のリミット値を超えたときに、コンデンサ電圧が異常である旨の信号（コンデンサ電圧異常信号 S_{cf} ）をリミット値演算部 52 に供給する。

【0052】

コンデンサバランス制御部 51 は、セルコンデンサ電圧平均値 V_c 、セルコンデンサ電圧相平均値 V_{cu} 、 V_{cv} 、 V_{cw} 、セルコンデンサ電圧アーム平均値 V_{cup} 、 V_{cun} 、 V_{cvp} 、 V_{cvn} 、 V_{cwp} 、 V_{cwn} 、および 相 相循環電流値 I_c 、 I_c を入力し、これらにもとづいて、零相循環電流指令値 I_{c0}^* および相ごとの出力電圧 V_{B1} 、 V_{B2} 、 V_{B3} を生成して出力する。

20

【0053】

リミット値演算部 52 は、コンデンサ 226 の電圧が異常である旨の信号のほかに、電力変換装置 10 がいずれのモードで動作するかを設定する信号（制御端子設定信号 S_{su} ）が入力される。リミット値演算部 52 は、これらの信号にもとづいて、直流電流制御部 47 が出力することができる電圧の範囲を設定する。これらの信号は、電力変換装置 10 の動作モードに対応して設定されている。つまり、リミット値演算部 52 は、電力変換装置 10 の動作モードに応じて異なるリミット値を出力する。

30

【0054】

図 4 に示すように、直流電流制御部 47 は、加算器 471、475 と、加減算器 472 と、比例要素 473 と、リミッタ部 474 と、を含む。

【0055】

加算器 471 には、直流電流指令値 I_{DC}^* および零相循環電流指令値 I_{c0}^* が入力される。加算器 471 は、直流電流指令値 I_{DC}^* および零相循環電流指令値 I_{c0}^* の加算値を、直流電流指令値 I_{DC}^* の補正值、すなわち補正後の直流電流指令値 $I_{DC}(cor)^*$ として出力する。

【0056】

加算器 471 の出力は、加減算器 472 の加算入力に接続されている。加減算器 472 の減算入力には、直流電流値 I_{c0} が入力される。加減算器 472 は、補正後の直流電流指令値 $I_{DC}(cor)^*$ と、直流電流値 I_{c0} との偏差 I_{DC} を出力する。

40

【0057】

加減算器 472 の出力は、比例要素 473 に接続されている。加減算器 472 から出力された偏差 I_{DC} は、あらかじめ設定されている係数（ゲイン）倍されて直流電圧成分 V_{dc} に関する制御量 V_{DC0} として出力される。

【0058】

比例要素 473 の出力は、リミッタ部 474 を介して加算器 475 の一方の加算入力に接続されている。加算器 475 のもう一方の加算入力には、直流電圧指令値 V_{DC}^* が入力される。

50

【 0 0 5 9 】

つまり、直流電流制御部 4 7 は、直流電流値 I_{c0} を、補正後の直流電流指令値 I_{DC} (cor) * に近づけるように、比例制御を行う。そして、比例制御された制御量 V_{DC0} および直流電圧指令値 V_{DC}^* を用いて、電力変換部 2 0 が出力する直流電圧成分 V_{dc} を生成する。

【 0 0 6 0 】

比例要素 4 7 3 と加算器 4 7 5 との間には、リミッタ部 4 7 4 が設けられている。リミッタ部 4 7 4 は、リミット値演算部 5 2 の出力に接続されている。本実施形態の電力変換装置 1 0 では、リミット値演算部 5 2 の出力にもとづいて、直流電流制御部 4 7 は、制御量 V_{DC0} に対してさらに補正を行う。制御量 V_{DC0} に対する補正は、後に詳述するように、リミット値演算部 5 2 の異なる出力にしたがい、複数のリミット値で制御量 V_{DC0} の最大値および最小値を制限することによって実現される。

10

【 0 0 6 1 】

コンデンサバランス制御部 5 1 は、リミッタ部 5 1 1 と、相間コンデンサバランス制御部 5 1 2 と、PN間コンデンサバランス制御部 5 1 3 と、加算器 5 1 4 と、 0 変換部 5 1 5 と、PI制御部 5 1 6 と、を含む。

【 0 0 6 2 】

セルコンデンサ電圧平均値 V_c は、リミッタ部 5 1 1 に入力される。リミッタ部 5 1 1 の出力は、相間コンデンサバランス制御部 5 1 2 に接続されている。リミッタ部 5 1 1 は、2つのリミット値を有する。2つのリミット値は、最大値（最大リミット値）および最小値（最小リミット値）である。リミッタ部 5 1 1 は、入力されたセルコンデンサ電圧平均値 V_c の大きさが2つのリミット値の範囲内のときには、セルコンデンサ電圧平均値 V_c をそのまま出力する。リミッタ部 5 1 1 は、入力されたセルコンデンサ電圧平均値 V_c の大きさが最大リミット値に等しいか、最大リミット値を超えるときには、その最大リミット値を出力する。また、リミッタ部 5 1 1 は、入力されたコンデンサ電圧平均値 V_c の大きさが最小リミット値に等しいか、最小リミット値を下回るときには、その最小リミット値を出力する。最大リミット値および最小リミット値は、任意に設定することができる。最大リミット値は、たとえば、セルコンデンサ電圧平均値 V_c の定格電圧値の 110% 等に設定される。最小リミット値は、たとえば、セルコンデンサ電圧平均値 V_c の定格電圧値の 90% 等に設定される。

20

30

【 0 0 6 3 】

リミッタ部 5 1 1 は、出力に応じて変化するコンデンサ電圧異常信号 S_{cf} を出力する。コンデンサ電圧異常信号 S_{cf} は、リミット値演算部 5 2 に供給される。リミッタ部 5 1 1 は、セルコンデンサ電圧平均値 V_c の大きさが2つのリミット値の範囲内にあるときには、コンデンサ電圧異常信号 S_{cf} を非アクティブにする。リミッタ部 5 1 1 は、セルコンデンサ電圧平均値 V_c の大きさが最大リミット値に等しいか、最大リミット値を超えるときには、コンデンサ電圧異常信号 S_{cf} をアクティブにする。リミッタ部 5 1 1 は、セルコンデンサ電圧平均値 V_c の大きさが最小リミット値に等しいか、最小リミット値よりも小さいときには、コンデンサ電圧異常信号 S_{cf} をアクティブにする。

【 0 0 6 4 】

リミッタ部 5 1 1 の出力は、相間コンデンサバランス制御部 5 1 2 に接続されている。相間コンデンサバランス制御部 5 1 2 は、電力系統 1 2 の各相に応じて設けられている。つまり、相間コンデンサバランス制御部 5 1 2 は、3つ設けられている。

40

【 0 0 6 5 】

各相間コンデンサバランス制御部 5 1 2 は、加減算器 5 1 2 a と、PI制御器 5 1 2 b と、を含む。U相に対応する相間コンデンサバランス制御部 5 1 2 の加減算器 5 1 2 a には、リミッタ部 5 1 1 から出力されたセルコンデンサ電圧平均値 V_c およびセルコンデンサ電圧相平均値 V_{cu} が入力される。加減算器 5 1 2 a は、セルコンデンサ電圧平均値 V_c およびセルコンデンサ電圧相平均値 V_{cu} の偏差を出力してPI制御器 5 1 2 b に供給する。PI制御器 5 1 2 b は、入力された偏差にPI制御を行い、U相に対応した相間バ

50

ランス制御操作量を出力する。

【0066】

V相、W相に対応する相間コンデンサバランス制御部512も同様に構成されている。

【0067】

PN間コンデンサバランス制御部513は、電力系統12の各相に応じて設けられている。つまり、PN間コンデンサバランス制御部513は、3つ設けられている。

【0068】

PN間コンデンサバランス制御部513は、加減算器513aと、PI制御器513bと、を含む。

【0069】

加減算器513aは、U相に対応するPN間コンデンサバランス制御部513の加減算器513aには、上側のセルコンデンサ電圧アーム平均値 V_{cup} および下側のセルコンデンサ電圧アーム平均値 V_{cun} が入力される。加減算器513aは、上側のセルコンデンサ電圧アーム平均値 V_{cup} および下側のセルコンデンサ電圧アーム平均値 V_{cun} の偏差を出力してPI制御器513bに供給する。PI制御器513bは、入力された偏差にPI制御を行い、U相に対応したPN間バランス制御操作量を出力する。

【0070】

V相、W相に対応するPN間コンデンサバランス制御部513も同様に構成されている。

【0071】

相間コンデンサバランス制御部512およびPN間コンデンサバランス制御部513によって生成された各相に対応する制御操作量は、相ごとに加算器514によって加算される。加算された操作量は、0変換部515によって、3軸から2軸に座標変換される。0変換部515は、平面上で直交する循環電流指令値を計算する。循環電流指令値は、相循環電流指令値 I_{c^*} 、相循環電流指令値 I_{c^*} 、および零相循環電流指令値 I_{c0^*} として生成され出力される。

【0072】

相間コンデンサバランス制御部512は、PN間コンデンサバランス制御部513とともに、各相の間の閉回路を流れる循環電流に対する指令値を生成する。各相のコンデンサの電圧が上昇し、セルコンデンサ電圧平均値 V_c が最大リミット値を超えて、各相の加減算器512aが出力する偏差が大きくなったときに、循環電流には、偏差に応じて零相分が直流電流成分として生成される。生成された循環電流の零相分は、零相循環電流指令値 I_{c0^*} として、直流電流指令値 I_{DC^*} の補正のために用いられる。

【0073】

各相のコンデンサの電圧が低下した場合も同様に、セルコンデンサ電圧平均値 V_c が最小リミット値を下回ったときに、各相の加減算器512aが出力する偏差は、負の値となり、絶対値が大きくなる。循環電流には、この偏差に応じた零相分が直流電流成分として生成される。この場合の零相分は、上述の場合とは、逆方向の電流となる。

【0074】

0変換部515において直交変換されて生成された循環電流指令値 I_{c^*} 、 I_{c^*} は、0変換器50において直交変換されて生成された実測の循環電流値 I_c 、 I_c とともに、PI制御部516に入力される。PI制御部516では、相ごとにPI制御し、逆変換することによって、各相に対応した出力電圧 V_{B1} 、 V_{B2} 、 V_{B3} を生成する。

【0075】

リミッタ部511において生成されたコンデンサ電圧異常信号 S_{cf} は、リミット値演算部52に供給される。そのため、リミット値演算部52は、たとえば電力系統12において地絡等の異常が発生し、いずれかのセルコンデンサ電圧に異常が生じていることを認識することができる。

【0076】

10

20

30

40

50

リミット値演算部 5 2 には、コンデンサ電圧異常信号 S_{cf} のほかに制御端子設定信号 S_{su} が入力される。制御端子設定信号 S_{su} は、電力変換装置 1 0 の動作モードを設定する信号である。詳細は後述するが、電力変換装置 1 0 が直流電流指令値 I_{DC}^* にもとづく電流源として動作する場合には、電力変換装置 1 0 の動作モードは、電流制御端モード（たとえば $S_{su} = H$ レベル）であり、直流電圧指令値 V_{DC}^* にもとづく電圧源として動作する場合には、電圧制御端モード（たとえば $S_{su} = L$ レベル）である。

【 0 0 7 7 】

リミット値演算部 5 2 は、制御端子設定信号 S_{su} およびコンデンサ電圧異常信号 S_{cf} にもとづいて、直流電流成分 V_{dc} のための電圧の制御量 V_{DC0} のリミット値を設定する。

10

【 0 0 7 8 】

図 3 に戻って、制御部 4 0 の構成について説明を続ける。交流電流制御部 4 3 には、上下のアームの交流電流の差が加減算器 4 4 によって計算され、各相の交流電流の測定値として入力される。

【 0 0 7 9 】

また、交流電流制御部 4 3 には、交流無効電流指令値 I_{Q}^* が入力される。交流無効電流指令値 I_{Q}^* は、たとえば潮流方向および送電電力指令値等を考慮して外部の操作端末等から入力される。

【 0 0 8 0 】

さらに、交流電流制御部 4 3 には、セルコンデンサ電圧平均値制御部 4 1 の出力が接続されている。セルコンデンサ電圧平均値制御部 4 1 は、セルコンデンサ電圧指令値 V_{c}^* およびセルコンデンサ電圧平均値 V_{c} を入力して、これらにもとづいて交流有効電流指令値 I_{P}^* を生成し、交流電流制御部 4 3 に供給する。

20

【 0 0 8 1 】

交流電流制御部 4 3 は、交流有効電流指令値 I_{P}^* 、交流無効電流指令値 I_{Q}^* および各アームの交流電流の測定値にもとづいて、電力変換部 2 0 が出力すべき交流電圧成分を生成して出力する。交流電流制御部 4 3 が出力する交流電圧成分は、U 相、V 相、W 相それぞれについて V_{ac1} 、 V_{ac2} 、 V_{ac3} となる。

【 0 0 8 2 】

交流電流制御部 4 3 の出力、直流電流制御部 4 7 の出力およびコンデンサバランス制御部 5 1 の出力は、加算器 5 3 に接続されている。加算器 5 3 は、これらの各相の電圧をそれぞれ加算して出力する。

30

【 0 0 8 3 】

加算器 5 3 は、電力変換部 2 0 の各アームが出力する電圧を出力する。U 相上側アームは、 $-V_{ac1} + V_{B1} + V_{dc1}$ を出力する。U 相下側アームは、 $V_{ac1} + V_{B1} + V_{dc}$ を出力する。V 相上側アームは、 $-V_{ac2} + V_{B2} + V_{dc}$ を出力し、V 相下側アームは、 $V_{ac2} + V_{B2} + V_{dc}$ を出力する。W 相上側アームは、 $-V_{ac3} + V_{B3} + V_{dc}$ を出力し、W 相下側アームは、 $V_{ac3} + V_{B3} + V_{dc}$ を出力する。

【 0 0 8 4 】

制御部 4 0 は、さらに加算器 5 3 から出力されたアームごとに出力される電圧にもとづいて、各チョップセル 2 2 のコンデンサ 2 2 6 の電圧を適切な値に調整する。この例では、コンデンサ 2 2 6 の電圧を PWM 変調技術を用いて所望の値に設定する。多段に接続されたチョップセルを位相をずらして順次動作させる 1 パルス制御を行うようにしてもよい。

40

【 0 0 8 5 】

加算器 5 3 の出力は、係数 $(1/N)$ の係数器 5 4 に接続されており、アームごとにコンデンサ 2 2 6 の直列接続数 N で除することによって、コンデンサ当たりの電圧を算出する。

【 0 0 8 6 】

係数器 5 4 の出力は、加算器 5 5 によって、アーム内コンデンサバランス制御部 5 6 の

50

出力に加算され、コンデンサ 226 ごとに電圧値が補正される。コンデンサ 226 ごとの電圧値は、係数器 57 で正規化されて、PWM 変調部 58 に入力される。

【0087】

アーム内コンデンサバランス制御部 56 は、アームごとに、そのアーム内のすべてのコンデンサ 226 の電圧をバランスさせる。そのため、アーム内コンデンサバランス制御部 56 は、アームの数 (6) × コンデンサ 226 の数 (N) 個設けられている。アーム内コンデンサバランス制御部 56 では、同一のアーム内の各コンデンサ 226 の電圧値がたとえば等しくなるように、セルコンデンサ電圧アーム平均値 V_{cup} , V_{cvp} , V_{cwp} , V_{cun} , V_{cvn} , V_{cwn} 、各コンデンサ電圧 $V_{cup\#}$, $V_{cvp\#}$, $V_{cwp\#}$, $V_{cun\#}$, $V_{cvn\#}$, $V_{cwn\#}$ 、および各アーム電流 I_{pu} , I_{pv} , I_{pw} , I_{nu} , I_{nv} , I_{nw} にもとづいて、各コンデンサの電圧を計算する。

10

【0088】

PWM 変調部 58 は、キャリア信号生成部 58a とコンパレータ 58b とを含む。キャリア信号生成部 58a では、 $6 \times N$ 次元に応じて位相が設定されたキャリア信号が生成される。キャリア信号は、たとえばそれぞれ振幅 1 の三角波である。コンパレータ 58b は、 $6 \times N$ 次元の各コンデンサ 226 に対応した信号およびキャリア信号を入力し、これらと比較することによって、PWM 信号を出力する。生成された PWM 信号は、各チョッパセル 22 のスイッチング素子 221, 222 を駆動するためのゲート駆動信号 $V_{Gup\#}$, $V_{Gvp\#}$, $V_{Gwp\#}$, $V_{Gun\#}$, $V_{Gvn\#}$, $V_{Gwn\#}$ とされる ($\# = 1 \sim N$)。なお、各ゲート駆動信号は、ハイサイドのスイッチング素子 221 およびローサイドのスイッチング素子 222 をそれぞれ駆動するために、デッドタイムを含む相補的な駆動信号として生成される。したがって、駆動信号ごとに 2 つの駆動信号に分解されるので、実際の出力数は $6 \times N \times 2$ となる。

20

【0089】

上述の構成は、一例であり、制御部の構成等は、これに限らない。また、制御部 40 等の各ブロックや要素は、回路素子を用いたハードウェアで構成されてもよく、ハードウェアに CPU (Central Processing Unit) およびメモリを含んでもよい。CPU およびメモリを含む場合には、各ブロックや要素の全部または一部は、CPU およびメモリ上で動作するソフトウェアやプログラムモジュールであってもよい。

【0090】

電力変換装置 10 では、電力変換部 20 および制御部 40 は、1 つの筐体に収納される場合に限らず、制御部 40 の全部または一部が、電力変換部 20 が収納される本体から隔離した場所、たとえば制御盤内に設置されてもよい。

30

【0091】

本実施形態の電力変換装置 10 の動作について説明する。

図 5 は、本実施形態の電力変換装置の動作を説明するためのブロック図である。

図 6 は、電力変換装置の特性を例示するグラフである。

図 7 は、直流送電システムを例示するブロック図である。

図 8 (a) は、電力変換装置の特性を例示するグラフである。図 8 (b) は、電力変換装置の動作状態を例示する表である。

40

図 9 (a) および図 10 (a) は、電力変換装置の動作を説明するためのブロック図である。図 9 (b) および図 10 (b) は、電力変換装置の動作を例示するグラフである。

【0092】

まず、電力変換装置 10 の一般的な動作について説明する。電力変換装置 10 は、たとえば図 5 に示すように、電力系統 12 から交流電力を受電し、直流負荷 80 に直流電力を供給する。この場合に、電力変換装置 10 は、直流負荷 80 に応じて送電電力指令値 P_{dp^*} が与えられる。直流負荷 80 は、たとえば直流送電の送電線であり、送電線の先には、他の電力変換装置が接続され直流交流変換をしている場合等がある。

【0093】

電力変換装置 10 では、与えられた送電電力指令値 P_{dp^*} にもとづいて、交流有効電

50

流、交流無効電流、直流電圧および直流電流の各指令値が設定される。上述した構成により、これら各指令値にしたがい、制御部 40 は、電力変換部 20 の各コンデンサ 226 が必要な電圧値となるように動作する。

【0094】

通常の状態では、電力変換装置 10 から出力される直流電力および電力変換装置 10 の変換効率にしたがって、電力変換装置 10 は交流電力を受電する。

【0095】

ここで、電力系統 12 のうち、たとえば 1 つの相に地絡事故が発生した場合に、いずれかの相のチョッパセル 22 のコンデンサ 226 の電圧が上昇する場合がある。その場合には、電圧の上昇にまかせて相間コンデンサバランス制御部 512 において制御を行った場合には、相間のコンデンサ電圧のバランスをとることが不能となり、電力変換装置 10 は過負荷制限等により運転不能となる。つまり、電力変換装置 10 は稼働停止となり、電力変換装置 10 によって電力供給を受けている直流負荷も稼働停止せざるを得ない。

【0096】

本実施形態の電力変換装置 10 は、リミッタ部 511 を含む制御部 40 を備える。リミッタ部 511 は、相間コンデンサバランス制御部 512 のセルコンデンサ電圧平均値 V_c の入力をあらかじめ設定された最大リミット値 $V_{lmt}(max)$ および最小リミット値 $V_{lmt}(min)$ で制限する。そのため、セルコンデンサ電圧平均値 V_c は、最大リミット値 $V_{lmt}(max)$ を超えて上昇したり、最小リミット値 $V_{lmt}(min)$ を下回って下降したりすることはない。

【0097】

図 6 に示すように、リミッタ部 511 の入出力特性は、最大リミット値 $V_{lmt}(max)$ および最小リミット値 $V_{lmt}(min)$ を有する。リミッタ部 511 は、 $V_c(min) < V_c < V_c(max)$ の範囲では、入力された電圧値をそのまま出力する。リミッタ部 511 は、 $V_c < V_c(min)$ の場合には、一定の最小リミット値 $V_{lmt}(min)$ を出力し、 $V_c > V_c(max)$ の場合には、一定の最大リミット値 $V_{lmt}(max)$ を出力する。つまり、相間コンデンサバランス制御部 512 に入力されるセルコンデンサ電圧平均値 V_c は、最小リミット値 $V_{lmt}(min)$ ~ 最大リミット値 $V_{lmt}(max)$ の範囲内に制限される。一方、セルコンデンサ電圧相平均値 V_{cu} 、 V_{cv} 、 V_{cw} は、制限されずにそのままの値が相間コンデンサバランス制御部 512 に入力される。最大リミット値および最小リミット値は、任意に設定することができる。これらのリミット値は、典型的には、セルコンデンサ電圧平均値 V_c の標準的な値、たとえば定格電圧値に対して、 $\pm 10\%$ や $\pm 15\%$ となるように設定される。リミット値は、最大値または最小値の一方を設定するようにしてもよい。

【0098】

各相の PI 制御器 512b には、制限されたセルコンデンサ電圧平均値 V_c と、過大な電圧であるセルコンデンサ電圧相平均値 V_{cu} 等との偏差が入力され、PI 制御器 512b は、偏差に応じた制御操作量を出力する。

【0099】

0 変換部 515 には、上述の制御操作量が入力されるので、0 変換部 515 は、循環電流の零相成分である零相循環電流指令値 I_{c0}^* を生成する。零相循環電流指令値 I_{c0}^* は、直流電流指令値 I_{DC}^* に対する補正量とされる。コンデンサ電圧が上昇する場合、加減算器 512a の出力は負の値となるので、零相循環電流指令値 I_{c0}^* は負の値となる。

【0100】

負の値を有する零相循環電流指令値 I_{c0}^* は、設定された直流電流指令値 I_{DC}^* に加算される。そのため、補正された直流電流指令値 $I_{DC}(cor)^*$ は、補正前の直流電流指令値 I_{DC}^* よりも小さい値を有する。

【0101】

直流電流制御部 47 では、補正された直流電流指令値 $I_{DC}(cor)^*$ に、直流電流

10

20

30

40

50

値 I_{c0} を近づけるように、制御量 V_{DC0} を生成し、直流電圧指令値 V_{DC}^* と加算することによって、出力の直流電圧成分 V_{dc} を出力する。つまり、電力変換装置 10 は、出力する直流電流値を、事故前よりも小さい値に設定して動作し、送電電力を低減することによって、動作状態を維持する。

【0102】

また、電力変換装置 10 のリミット値演算部 52 には、直流電流制御部 47 のリミッタ部 474 に対して、リミット値 $\pm V_{limt2}$ を設定するように信号が入力されているものとする。より具体的には、後述するが、制御端子設定信号 S_{su} は、電流制御端モードとなるように設定されている。コンデンサ電圧異常信号 S_{cf} は、セルコンデンサ電圧平均値 V_c が $V_{limt(min)} \sim V_{limt(max)}$ で制限されているので、コンデンサの電圧が異常である旨の信号となっている。

10

【0103】

電力変換装置 10 は、直流負荷 80 の特性に応じて、動作点を修正する。たとえば、直流負荷 80 が定抵抗負荷である場合には、電力変換装置 10 は、直流電流の減少とともに、直流電圧を低下させるように動作する。動作点として、修正し得る範囲は、直流電圧指令値 $V_{DC}^* \pm V_{limt2}$ に対応して設定される出力電圧の範囲となる。

【0104】

上述では、セルコンデンサ電圧平均値 V_c が最大リミット値 $V_{limt(max)}$ を超えた場合の動作について説明したが、セルコンデンサ電圧平均値 V_c が最小リミット値 $V_{limt(min)}$ を下回る場合についても同様に考えることができる。すなわち、セルコンデンサ電圧平均値 V_c が最小リミット値 $V_{limt(min)}$ を下回る場合には、相間コンデンサバランス制御部 512 は、正の値を有する操作制御量を生成するので、零相循環電流指令値 I_{c0}^* も正の値を有する。したがって、直流電流制御部 47 は、出力電流を大きくするように、直流電流指令値 I_{DC}^* を補正する。このことは、以下の動作においても同様である。

20

【0105】

次に、電力変換装置 10 を、直流送電システム 100 に用いた場合の動作について説明する。

図 7 に示すように、直流送電システム 100 は、電力変換装置 10a, 10b と、電力系統 12a, 12b と、直流送電線 16p, 16n と、を備える。電力変換装置 10a, 10b は、いずれも上述した構成を備えた電力変換装置 10 である。電力系統 12a, 12b は、いずれも三相の電力系統である。

30

【0106】

直流送電システム 100 では、直流電力を送電することができる。すなわち、電力変換装置 10a は、電力系統 12a から直流に変換し、直流送電線 16p, 16n を介して、電力変換装置 10b に送電する。電力変換装置 10b は、受電した直流電力を交流電力に変換し、電力系統 12b に連系する。同様に、電力変換装置 10b は、電力系統 12b から直流に変換し、直流送電線 16p, 16n を介して、電力変換装置 10a に送電する。電力変換装置 10a は、受電した直流電力を交流電力に変換し、電力系統 12a に連系する。交流電力から直流電力に変換することを順変換動作または整流動作ともいい、直流電力から交流電力に変換することを逆変換動作ともいう。

40

【0107】

以下では、電力変換装置 10a が交流電力を直流電力に変換し、電力変換装置 10b に直流送電し、電力変換装置 10b が直流電力を交流電力に変換して電力系統 12b に連系するものとして説明する。

【0108】

一般的に、直流電力の送電側と受電側とで、直流動作点を設定するために、送電側の電力変換装置 10a および受電側の電力変換装置 10b は、それぞれ動作モードが設定される。すなわち、送電側の電力変換装置 10a は、電流源として動作する電流制御端として動作し、また、受電側の電力変換装置 10b は、電圧として動作する電圧源として動作す

50

る。以下では、電流源として動作する場合を電流制御端での動作（電流制御端モード）とも呼び、電圧源として動作する場合を電圧制御端での動作（電圧制御端モード）とも呼ぶ。

【0109】

直流電流制御部47のリミッタ部474は、3つの動作モードを有している。リミッタ部474は、3つの動作モードのそれぞれに対応する入出力特性を有する。リミット値演算部52は、これらの入出力特性のうちの一つを選択し、対応するリミット値を出力することによって異なる動作モードを実現している。

【0110】

図8(a)および図8(b)に示すように、リミッタ部474の3つの動作モードは、第1モード～第3モードである。これら3つの動作モードは、制御端子設定信号 Ssu およびコンデンサ電圧異常信号 Scf にもとづいて設定される。制御端子設定信号 Ssu およびコンデンサ電圧異常信号 Scf に対して、適切な論理値が設定される。たとえば、電力変換装置10を電圧制御端モードに設定する場合には、制御端子設定信号 Ssu をHレベルとし、電力変換装置10を電流制御端モードに設定する場合には、制御端子設定信号 Ssu をLレベルとする。また、リミッタ部511がコンデンサ電圧異常を検出した場合には、コンデンサ電圧異常信号 Scf をHレベルとし、リミッタ部511がコンデンサ電圧異常を検出していない場合には、コンデンサ電圧異常信号 Scf をLレベルとする。

【0111】

制御端子設定信号 Ssu の設定が電流制御端モードの場合には、リミット値演算部52は、第1モードを選択する。この場合には、リミッタ値として $\pm V_{lim2}$ を出力する。リミッタ部474は、制御量 $VDC0$ が $-V_1 \sim V_1$ の範囲の場合には、リミッタ部474は、制御量 $VDC0$ をそのまま出力する。リミッタ部474は、制御量 $VDC0$ が $-V_1$ 以下の場合には、 $-V_{lim2}$ を出力する。リミッタ部474は、制御量 $VDC0$ が V_1 以上の場合には、 V_{lim2} を出力する。第1モードは、電力変換装置10を電流源として動作させる場合のモードである。

【0112】

第1モードでは、送電側の電力変換装置10aの動作モードとして設定された場合には、電力変換装置10aは、零相循環電流指令値 I_{c0}^* によって補正された直流電流指令値 $IDC(cor)^*$ によって設定される電流源として動作する。このときの電流源の動作電圧範囲は、リミッタ値 V_{lim2} によって設定される。

【0113】

第1モードでは、コンデンサ電圧異常信号 Scf がいずれの設定であっても、上述の動作をする。

【0114】

制御端子設定信号 Ssu の設定が電圧制御端モードであり、コンデンサ電圧異常信号 Scf がコンデンサ電圧異常を示していない場合には、リミット値演算部52は、第2モードを選択し、リミット値として0を出力する。リミッタ部474は、リミット値0が設定されるので、どのような制御量 $VDC0$ が入力された場合であっても、0を出力する。

【0115】

第2モードでは、制御量 $VDC0$ の入力にかかわらず、リミッタ部474は0を出力する。第2モードは、電力変換装置10を電圧源として動作させるモードである。

【0116】

第2モードでは、受電側の電力変換装置10bの動作モードとして設定された場合には、電力変換装置10bは、直流電圧指令値 VDC^* を、直流電圧成分 V_{dc} として出力する電圧源として動作する。

【0117】

制御端子設定信号 Ssu の設定が電圧制御端モードであり、コンデンサ電圧異常信号 Scf がコンデンサ電圧異常を示している場合には、リミット値演算部52は、第3モードを選択する。第3モードでは、リミッタ部474は、制御量 $VDC0$ が、 $-V_2 < VDC$

10

20

30

40

50

0 < V₂ の範囲内の場合には、出力は制御量 V_{DC0} がそのまま出力される。制御量 V_{DC0} が V_{DC0} - V₂ の場合には、リミッタ部 474 は、一定のリミッタ値 - V_{1mt3} を出力する。制御量 V_{DC0} が V₂ - V_{DC0} の場合には、リミッタ部 474 は、一定のリミッタ値 V_{1mt3} を出力する。リミッタ値の絶対値 | V_{1mt3} | は、リミッタ値の絶対値 | V_{1mt2} | よりも大きな値に設定されている。

【0118】

第3モードでは、受電側の電力変換装置 10b の動作モードとして設定された場合には、電力変換装置 10b は、- V_{1mt3} ~ V_{1mt3} の出力電圧範囲で動作する電流源として機能する。

【0119】

電力変換装置 10 の動作モードについて、より詳細に説明する。

図9(a)および図9(b)は、送電側の電力変換装置 10a が電流制御端に設定され、受電側の電力変換装置 10b が電圧制御端に設定され、送電側の電力系統 12a において地絡等の事故が発生した場合を示している。

【0120】

図9(a)に示すように、電力変換装置 10a は、直流出力電流 I_{dc_ref} とする定電流源として動作し、電力変換装置 10b は、直流出力電圧 V_{dc_ref} とする定電圧源として動作している。

【0121】

図9(b)の実線で示す電流制御端のグラフは、電力変換装置 10a の出力特性を模式的に示している。電圧制御端のグラフは、電力変換装置 10b の出力特性を模式的に示している。直流出力電流 I_{dc_ref} は、送電側の電力変換装置 10a の出力特性と、受電側の電力変換装置 10b の出力特性との交点で設定される。

【0122】

電力変換装置 10a が出力することが可能な最小の電圧は、動作点の出力電圧 V_{dc_ref} よりもリミット値 V_{1mt2} だけ低い電圧である。また、電力変換装置 10a が出力することが可能な最大の電圧は、動作点の出力電圧 V_{dc_ref} からリミット値 V_{1mt2} だけ高い電圧である。

【0123】

ここで、送電側の電力系統 12a に事故等が発生し、チョップセル 22 のコンデンサ 226 の電圧が上昇すると、コンデンサバランス制御部 51 は、零相循環電流指令値 I_{c0*} を生成し、直流電流制御部 47 に供給する。

【0124】

直流電流制御部 47 は、直流電流指令値 I_{DC*} に零相循環電流指令値 I_{c0*} を加算して補正された直流電流指令値 I_{DC(corr)*} を生成する。ここで、上述したように、コンデンサの電圧が上昇した場合には、零相循環電流指令値 I_{c0*} は、負の値であるため、補正後の直流電流指令値 I_{DC(corr)*} は、補正前の値よりも小さい値となる。

【0125】

直流電流制御部 47 は、補正前の直流電流指令値 I_{DC*} よりも小さい零相循環電流指令値 I_{c0*} となるように、出力電圧を調整するように動作する。つまり、電力変換装置 10a は、直流出力電流 I_{dc_ref} を低下させるように動作する。負荷である電力変換装置 10b は、定電圧源として動作しているので、図9(b)の一点鎖線のように V_{dc_ref} に沿って低電流となる方向に動作点に変化する。このときの出力電流値は、I_{dc_ref'} (< I_{dc_ref}) となり、電力変換装置 10a は、動作を継続することができる。

【0126】

図10(a)および図10(b)は、送電側の電力変換装置 10a が電流制御端に設定され、受電側の電力変換装置 10b が電圧制御端に設定された後、受電側の電力系統 12b において地絡等の事故が発生した場合を示している。受電側の電力系統 12b に異常が

10

20

30

40

50

発生することによって、受電側の電力変換装置 10 b のチョッパセル 22 のコンデンサ 226 の電圧が上昇して、リミッタ部 511 が動作した場合には、コンデンサ電圧異常信号 S_{cf} がアクティブになるので、電力変換装置 10 b は第 3 モードに入る。そのため、電力変換装置 10 b は、定電流源として動作するようになる。

【0127】

図 10 (b) に示すように、送電側の電力変換装置 10 a は、電流制御端に設定され、受電側の電力変換装置 10 b は、事故前には、二点鎖線のように定電圧源として動作している。受電側の異常により、第 3 モードに入った電力変換装置 10 b は、リミット値 $\pm V_{lmt3}$ を有する定電流源として動作する。

【0128】

受電側の電力系統 12 b に事故等が発生し、電力変換装置 10 b のチョッパセル 22 のコンデンサ 226 電圧が上昇すると、コンデンサバランス制御部 51 は、零相循環電流指令値 I_{c0}^* を生成し、直流電流制御部 47 に供給する。

【0129】

直流電流制御部 47 は、直流電流指令値 I_{DC}^* に零相循環電流指令値 I_{c0}^* を加算して補正された直流電流指令値 $I_{DC}(cor)^*$ を生成する。ここで、上述したように、零相循環電流指令値 I_{c0}^* は、負の値であるため、補正後の直流電流指令値 $I_{DC}(cor)^*$ は、補正前の値よりも小さい値となる。つまり、電力変換装置 10 b は、直流出力電流 I_{dc_ref} を低下させるように動作する。

【0130】

ここで、リミット値演算部 52 は、第 3 モードに入る条件を満たしたことを認識するので、リミット値を $\pm V_{lmt3}$ に設定する。

【0131】

送電側の電力変換装置 10 a は第 1 モードに設定されているので、リミット値 $|V_{lmt2}|$ を有する定電流源として動作している。

【0132】

リミット値 $|V_{lmt3}|$ は、リミット値 $|V_{lmt2}|$ よりも大きく、電力変換装置 10 b の出力電流 I_{dc_ref}' は、事故前の出力電流 I_{dc_ref} よりも小さい値となるので、図 10 (b) の実線のような特性となる。

【0133】

したがって、当初の動作点よりも低い電流値 I_{dc_ref}' に動作点が修正され、電力変換装置 10 b は、安定して動作を継続することができる。

【0134】

本実施形態の電力変換装置の作用および効果について説明する。

本実施形態の電力変換装置 10 は、過大なコンデンサ電圧が入力されたときに、その電圧を制限するリミッタ部 511 を含むコンデンサバランス制御部 51 を含む制御部 40 を備える。また、電力変換装置 10 の制御部 40 は、リミッタ部 511 によって、制限された電圧値にもとづく補正值を計算して、出力電圧および出力電流を設定する直流電流制御部 47 を含む。このため、電力系統 12 側で地絡等の事故を生じ、コンデンサ電圧が上昇しても、出力電流を絞って動作を継続することができる。

【0135】

また、電力変換装置 10 の制御部 40 は、リミッタ部 511 によって、コンデンサに過大な電圧が入力されたことを示すコンデンサ電圧異常信号 S_{cf} を生成し、この信号をリミット値演算部 52 に供給する。そのため、リミット値演算部 52 は、システムに異常が生じたことを認識することができる。そして、リミット値演算部 52 は、電流制御端として動作するときよりも制限範囲を広げたリミット値を設定する。そのため、電力変換装置 10 (10 b) は、電圧制御端として動作している場合に、電力系統 12 において地絡等の事故が生じたときにも、自動的に電流制御端の動作に切り替えて、安定した動作点を形成することによって、動作を継続することができる。

【0136】

10

20

30

40

50

このように、本実施形態の電力変換装置 10 では、電力系統 12 において地絡等の事故を生じた場合であっても、動作条件を自動的に変更することによって、動作を継続することができるので、送配電システム等の信頼性向上に寄与することができる。

【0137】

(第2の実施形態)

図 11 は、本実施形態の電力変換装置を例示するブロック図である。

図 11 に示すように、本実施形態の電力変換装置 110 は、電力変換部 120 と、制御部 40 と、を備える。本実施形態の電力変換装置 110 では、電力変換部 120 の構成が第 1 の実施形態の場合と相違し、他の点では同一である。同一の構成要素には同一の符号を付して、詳細な説明を適宜省略する。

10

【0138】

電力変換部 120 は、交流端子 121 a ~ 121 c と、直流端子 121 d , 121 e と、を含む。交流端子 121 a ~ 121 c は、三相交流の各相 (U 相、V 相および W 相) に接続される。直流端子 121 d は、直流の P 側に接続され、直流端子 121 e は、直流の N 側に接続される。交流端子 121 a ~ 121 c は、電力の入力端子ともなり、出力端子ともなる。直流端子 121 d , 121 e は、交流端子 121 a ~ 121 c が電力の入力端子のときには、出力端子となり、交流端子 121 a ~ 121 c が電力の出力端子のときには、入力端子となる。

【0139】

電力変換部 120 は、チョップパセル 22 と、3巻線トランス 241 と、を含む。チョップパセル 22 は、複数個含まれる。チョップパセル 22 は、フルブリッジ構成のチョップパセル 72 であってもよい (図 6)。チョップパセル 22 は、複数個直列に接続されてアーム 26 となる。1つのアーム 26 a は、P 側の直流端子 21 d と N 側の直流端子 21 e との間に接続されている。他のアーム 26 b は、アーム 26 a と N 側の直流端子 21 e との間に接続されている。アーム 26 c , 26 d およびアーム 26 e , 26 f もアーム 26 a , 26 b と同様に、直流端子 21 d , 21 e 間に直列に接続されている。

20

【0140】

3巻線トランス 241 は、一次巻線 242 a と、2つの二次巻線 242 b , 242 c と、を含む。一次巻線 242 a および二次巻線 242 b , 242 c は、同一の鉄心に巻回されている。2つの二次巻線 242 b , 242 c は、電流が流れたときに、鉄心に発生する磁界の方向が逆向きになるような向きに巻回され接続されている。二次巻線 242 b の一端は、上側のアーム 26 a に接続され、二次巻線 242 c の一端は、下側のアーム 26 b に接続されている。他のアームについても同様である。二次巻線 242 b , 242 c の他端同士が接続されているノードは、3巻線トランス 241 同士で接続されている。つまり、3巻線トランス 241 の二次巻線 242 b , 242 c は、スター結線されている。

30

【0141】

一次巻線 242 a は、一端が交流端子 21 a を介して、電力系統 12 の 1つの相に接続されている。他端は、他の 3巻線トランス 241 の一次巻線に接続されている。つまり、3つのレグに対応する一次巻線 242 a は、スター結線されて、電力系統の各相に接続されている。

40

【0142】

本実施形態の電力変換装置 110 は、第 1 の実施形態の電力変換装置 10 と同様に動作する。すなわち、交流側に地絡事故等が生じて、制御部 40 の直流電流制御部 47 およびコンデンサバランス制御部 51 によって直流電流指令値 I_{DC}^* を補正して、出力電圧成分および出力電流を適切に制御して、電力変換装置 110 の運転を継続する。

【0143】

本実施形態の電力変換装置 110 では、電力変換部 120 が 3巻線トランス 241 を含んでおり、二次巻線 242 b , 242 c に流れる電流による磁界を打ち消すように二次巻線 242 b , 242 c が巻回されている。そのため、二次巻線 242 b , 242 c をそれぞれ流れる直流電流による起磁力がキャンセルされ、鉄心内に直流磁束が生じないように

50

することができる。また、同一相内で直流起磁力を打ち消すことができるので、事故等により交流系統に不平衡が生じた場合であっても鉄心に偏磁を生じたり、飽和したりすることを防止することができる。したがって、交流系統の事故等が生じた場合であっても、電力変換装置 110 は、安全に運転を継続することができる。

【0144】

なお、本実施形態の場合において、フルブリッジ形式のチョッパセルを用いることができる。

【0145】

上述の実施形態の場合では、スター結線のトランスを用いたが、デルタ結線のトランスに置き換えることもでき、同様の効果を得ることができる。

10

【0146】

以上説明した実施形態によれば、交流側に地絡を生じた場合であっても、安定して運転を継続できる電力変換装置を実現することができる。

【0147】

以上、本発明のいくつかの実施形態を説明したが、これらの実施形態は、例として提示したものであり、発明の範囲を限定することは意図していない。これら新規な実施形態は、その他のさまざまな形態で実施されることが可能であり、発明の要旨を逸脱しない範囲で、種々の省略、置き換え、変更を行うことができる。これら実施形態やその変形は、発明の範囲や要旨に含まれるとともに、特許請求の範囲に記載された発明およびその等価物の範囲に含まれる。また、前述の各実施形態は、相互に組み合わせて実施することができる。

20

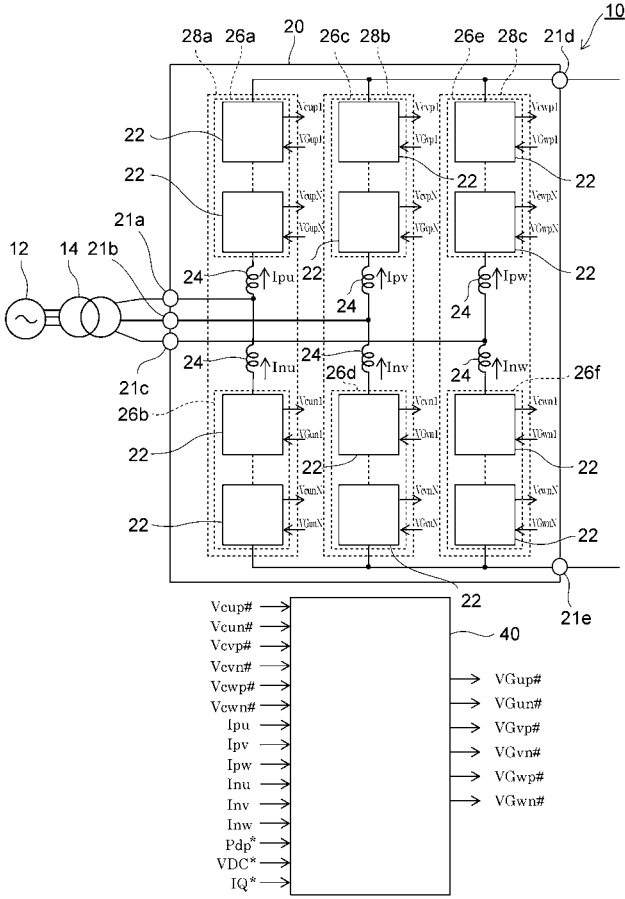
【符号の説明】

【0148】

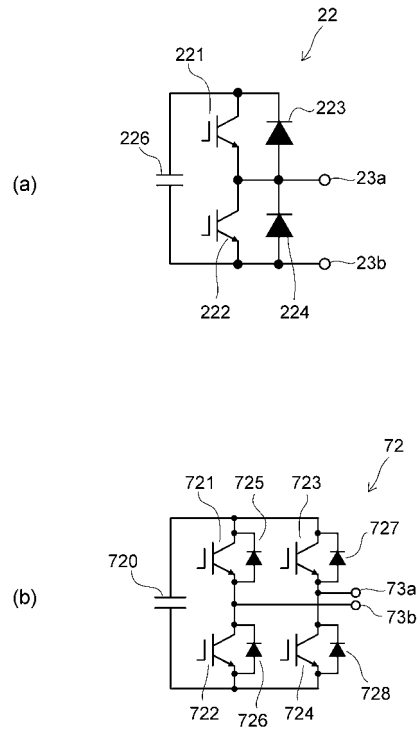
10, 10a, 10b 電力変換装置、12, 12a, 12b 電力系統、14 変圧器、20 電力変換部、21a~21c 交流端子、21d, 21e 直流端子、22 チョッパセル、24 バッファリアクトル、26a~26f アーム、28a~28c レグ、40 制御部、41 セルコンデンサ電圧平均値制御部、43 交流電流制御部、44 加算器、45 除算器、47 直流電流制御部、471 加算器、472 加減算器、473 比例要素、474 リミッタ部、475 加算器、48 加算器、49 係数器、50 0変換器、51 コンデンサバランス制御部、511 リミッタ部、512 相間コンデンサバランス制御部、513 PN間コンデンサバランス制御部、514 加算器、515 0変換部、516 PI制御部、52 リミット値演算部、53 加算器、54 係数器、55 加算器、56 アーム内コンデンサバランス制御部、57 係数器、58 PWM変調部、72 チョッパセル、110 電力変換装置、120 電力変換部、241 3巻線トランス

30

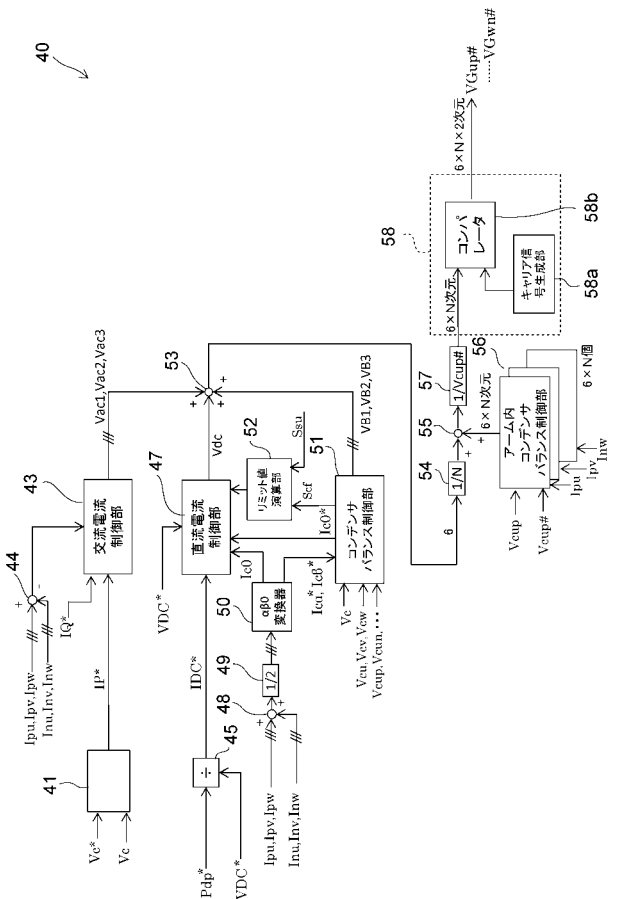
【図1】



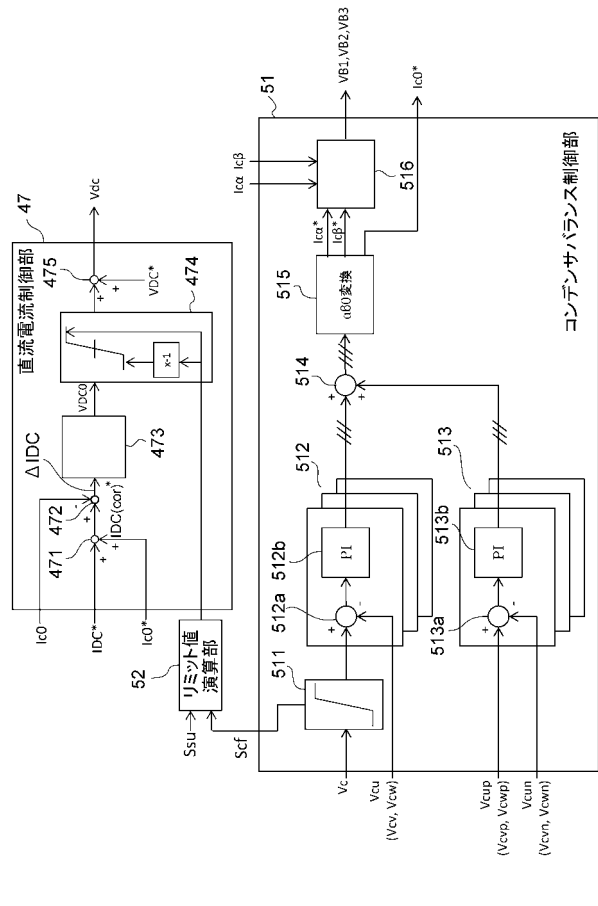
【図2】



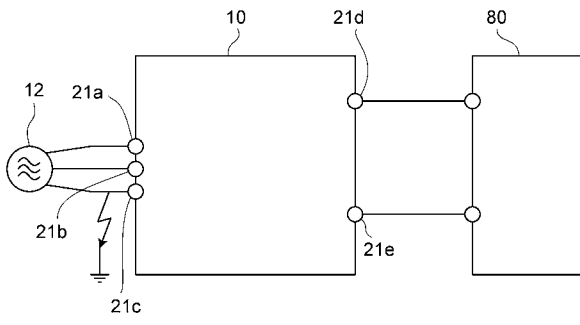
【図3】



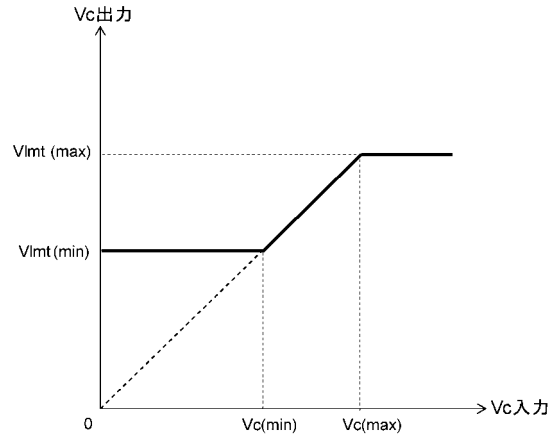
【図4】



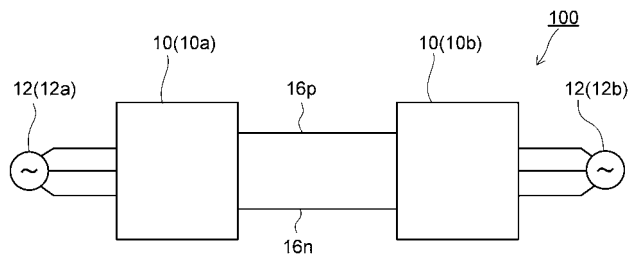
【 図 5 】



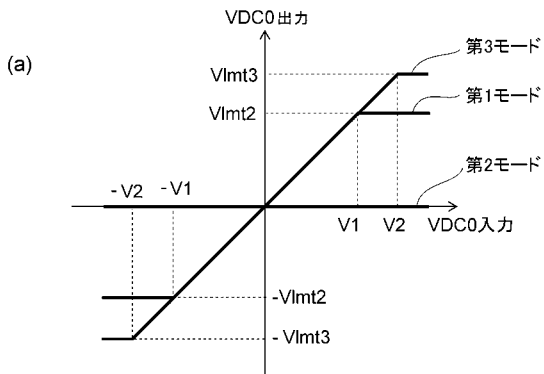
【 図 6 】



【 図 7 】

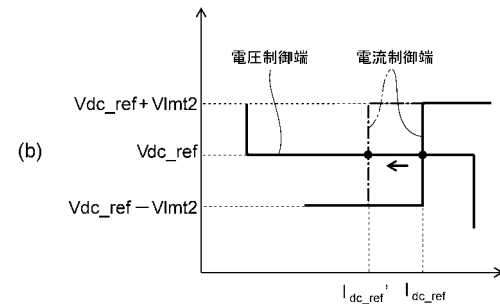
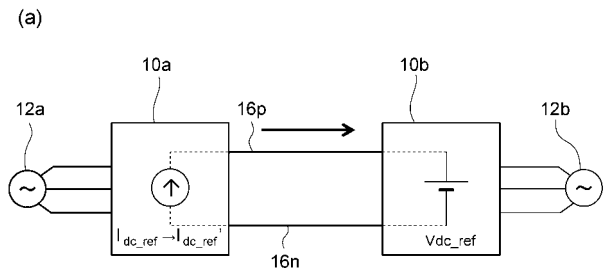


【 図 8 】

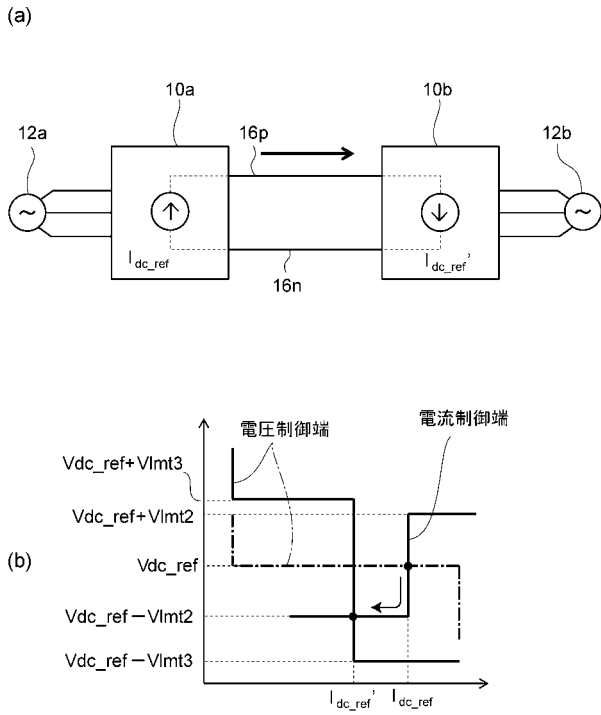


Ssu	Scf	リミッタ値	動作モード
電流制御端	異常なし	$\pm Vlimt2$	第1モード
電流制御端	異常あり	$\pm Vlimt2$	第1モード
電圧制御端	異常なし	0	第2モード
電圧制御端	異常あり	$\pm Vlimt3$	第3モード

【 図 9 】



【 図 1 0 】



【 図 1 1 】

