

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B1)

(11) 特許番号

特許第6312956号
(P6312956)

(45) 発行日 平成30年4月18日 (2018. 4. 18)

(24) 登録日 平成30年3月30日 (2018. 3. 30)

(51) Int. Cl.		F I			
H02J	1/00	(2006.01)	H02J	1/00	301B
H02J	3/38	(2006.01)	H02J	3/38	160
			H02J	1/00	306B

請求項の数 15 (全 19 頁)

(21) 出願番号	特願2018-503267 (P2018-503267)	(73) 特許権者	000006013 三菱電機株式会社 東京都千代田区丸の内二丁目7番3号
(86) (22) 出願日	平成29年9月7日 (2017. 9. 7)	(74) 代理人	110001195 特許業務法人深見特許事務所
(86) 国際出願番号	PCT/JP2017/032199	(72) 発明者	田中 美和子 東京都千代田区丸の内二丁目7番3号 三 菱電機株式会社内
審査請求日	平成30年1月22日 (2018. 1. 22)	(72) 発明者	藤井 俊行 東京都千代田区丸の内二丁目7番3号 三 菱電機株式会社内
(31) 優先権主張番号	特願2017-7373 (P2017-7373)	審査官	田中 慎太郎
(32) 優先日	平成29年1月19日 (2017. 1. 19)		
(33) 優先権主張国	日本国 (JP)		
早期審査対象出願			

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 直流送電システムおよびそれに用いられるDC/DC変換器

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

発電機で発電された交流電力を直流電力を用いて交流配電システムおよび直流配電システムに送電する直流送電システムであって、

前記発電機からの交流電力を直流電力に変換するAC/DC変換器と、

前記AC/DC変換器で変換された第1電圧を有する直流電力を第2電圧の直流電力に変換するDC/DC変換器と、

前記DC/DC変換器で変換された直流電力を交流電力に変換して前記交流配電システムへ出力するDC/AC変換器とを備え、

前記DC/DC変換器で変換された直流電力は、前記直流配電システムにも送電され、

前記DC/DC変換器は、前記第2電圧が変動した場合に、前記第2電圧の変動に応答して前記第1電圧を制御する、直流送電システム。

【請求項2】

前記DC/DC変換器は、前記第2電圧がしきい値以上になった場合に、前記第1電圧の指令値を低下させることによって、前記DC/DC変換器に流入する電力量を低減する、請求項1に記載の直流送電システム。

【請求項3】

前記DC/DC変換器は、前記DC/DC変換器の入出力電力量の差分に応じて、前記第1電圧の指令値を補正する、請求項2に記載の直流送電システム。

【請求項4】

10

20

前記 DC / DC 変換器は、前記第 2 電圧についての指令値と検出値との差分に相当する補正量を、前記 DC / DC 変換器の制御量に加えることによって前記第 2 電圧の変動を低減する、請求項 3 に記載の直流送電システム。

【請求項 5】

前記 AC / DC 変換器は、前記 AC / DC 変換器に流れる電流を制限する電流制限回路を含む、請求項 1 ~ 4 のいずれか 1 項に記載の直流送電システム。

【請求項 6】

前記 DC / AC 変換器は、前記第 2 電圧の変動に応答して前記第 2 電圧を制御し、

前記 DC / DC 変換器は、前記第 1 電圧の変動に応答して前記第 1 電圧を制御する、請求項 1 ~ 5 のいずれか 1 項に記載の直流送電システム。

10

【請求項 7】

前記 DC / DC 変換器は、

複数の半導体スイッチング素子を含み、前記第 1 電圧の直流電力を受けて交流電力に変換する第 1 変換部と、前記第 1 変換部からの交流電力を転送する変圧器と、複数の半導体スイッチング素子を含み、前記変圧器で転送された交流電力を受けて前記第 2 電圧の直流電圧に変換する第 2 変換部と、パルス信号を用いて前記第 1 変換部および前記第 2 変換部を制御する制御部とを含み、

前記制御部は、前記第 2 変換部のパルス信号と前記第 1 変換部のパルス信号との間の位相角を調整することによって、前記第 1 電圧と前記第 2 電圧との間の電圧比を制御する、請求項 1 ~ 6 のいずれか 1 項に記載の直流送電システム。

20

【請求項 8】

前記 DC / DC 変換器は、前記第 1 電圧の指令値を補正して前記第 1 電圧を制御している間に前記第 2 電圧が前記 DC / DC 変換器の二次側定格電圧以下になった場合には、前記第 1 電圧の指令値を前記 DC / DC 変換器の一次側定格電圧に設定するとともに、前記第 1 電圧の変動に応答して前記第 1 電圧を制御する、請求項 3 または 4 に記載の直流送電システム。

【請求項 9】

発電機で発電された交流電力を直流電力を用いて交流配電システムおよび直流配電システムに送電する直流送電システムであって、

前記発電機からの交流電力を直流電力に変換する AC / DC 変換器と、

前記 AC / DC 変換器で変換された第 1 電圧を有する直流電力を第 2 電圧の直流電力に変換する第 1 の DC / DC 変換器と、

前記第 1 の DC / DC 変換器で変換された前記第 2 電圧の直流電力を第 3 電圧の直流電力に変換する第 2 の DC / DC 変換器と、

前記第 2 の DC / DC 変換器で変換された直流電力を交流電力に変換して前記交流配電システムへ出力する DC / AC 変換器とを備え、

前記第 2 の DC / DC 変換器で変換された直流電力は、前記直流配電システムにも送電され、

前記第 3 電圧が変動した場合に、

前記第 2 の DC / DC 変換器は、前記第 3 電圧の変動に応答して前記第 3 電圧を制御し、

前記第 1 の DC / DC 変換器は、前記第 2 電圧の変動に応答して前記第 1 電圧を制御する、直流送電システム。

40

【請求項 10】

前記第 2 の DC / DC 変換器は、前記第 3 電圧がしきい値以上になった場合に、前記第 2 電圧についての指令値と検出値との差分に応じて前記第 3 電圧の指令値を補正する、請求項 9 に記載の直流送電システム。

【請求項 11】

前記第 1 の DC / DC 変換器は、前記第 2 電圧が基準値以上になった場合に、前記第 1 の DC / DC 変換器の入出力電力の差分に応じて、前記第 1 電圧の指令値を低下させるこ

50

とによって、前記第1のDC/DC変換器に流入する電力を低減する、請求項9または10に記載の直流送電システム。

【請求項12】

前記第2のDC/DC変換器は、前記第3電圧を制御している間に、前記第3電圧と補正された前記第3電圧の指令値との差分が基準差分値以上となり、さらに前記第2のDC/DC変換器の出力電流が基準電流値以下となった場合に、前記第2電圧の変動にตอบสนองして前記第2電圧を制御する、請求項9～11のいずれか1項に記載の直流送電システム。

【請求項13】

前記第1のDC/DC変換器は、前記第1電圧を制御している間に、前記第2電圧が前記第1のDC/DC変換器の二次側定格電圧以下になると、前記第1電圧の指令値を前記第1のDC/DC変換器の一次側定格電圧に設定するとともに、前記第1電圧の変動にตอบสนองして前記第1電圧を制御する、請求項9～12のいずれか1項に記載の直流送電システム。

【請求項14】

発電機からの交流電力を直流電力に変換するAC/DC変換器と、直流電力を交流電力に変換して交流配電システムへ出力するDC/AC変換器との間に接続されるDC/DC変換器であって、

複数の半導体スイッチング素子を含み、前記AC/DC変換器から出力される第1電圧の直流電力を受けて交流電力に変換する第1変換部と、

前記第1変換部からの交流電力を転送する変圧器と、

複数の半導体スイッチング素子を含み、前記変圧器で転送された交流電力を受けて第2電圧の直流電圧に変換して前記DC/AC変換器に出力する第2変換部と、

パルス信号を用いて前記第1変換部および前記第2変換部を制御する制御部とを備え、

前記制御部は、前記第2変換部のパルス信号と前記第1変換部のゲートパルス信号との間の位相角を調整することによって、前記第1電圧と前記第2電圧との間の電圧比を制御し、

前記制御部は、前記第2電圧の変動にตอบสนองして前記第1電圧の指令値を補正するとともに、補正した前記第1電圧の指令値に前記第1電圧が従うように前記位相角を制御する、DC/DC変換器。

【請求項15】

発電機からの交流電力を直流電力に変換するAC/DC変換器と、直流電力を交流電力に変換して交流配電システムへ出力するDC/AC変換器との間に接続されるDC/DC変換器であって、

複数の半導体スイッチング素子を含み、前記AC/DC変換器から出力される第1電圧の直流電力を受けて交流電力に変換する第1変換部と、

前記第1変換部からの交流電力を転送する変圧器と、

複数の半導体スイッチング素子を含み、前記変圧器で転送された交流電力を受けて第2電圧の直流電圧に変換して前記DC/AC変換器に出力する第2変換部と、

パルス信号を用いて前記第1変換部および前記第2変換部を制御する制御部とを備え、

前記制御部は、前記第2変換部のパルス信号と前記第1変換部のゲートパルス信号との間の位相角を調整することによって、前記第1電圧と前記第2電圧との間の電圧比を制御し、

前記制御部は、前記第2電圧の変動を検出すると、前記第1電圧についての検出値と指令値との差分に応じて前記第2電圧の指令値を補正するとともに、補正した前記第2電圧の指令値に前記第2電圧が従うように前記位相角を制御する、DC/DC変換器。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、直流送電システムおよびそれに用いられるDC/DC変換器に関し、より特定のには、風力発電によって発電された交流電力を直流電力に変換して送電して交流配電

10

20

30

40

50

系統に電力を供給する直流送電システムにおいて、交流配電系統の異常が生じた場合のシステムの安定化制御に関する。

【背景技術】

【0002】

大容量の電力変換装置を直流で連系し、高電圧の電力を直流電力で送電する直流送電システムが知られている。直流電力による送電は、交流電力による送電と比較して、表皮効果による電流損失がないために、長距離送電における送電損失を低減できるというメリットがある。また、三相電力を用いる交流送電では3本の電力線が必要である一方、直流送電では2本の電力線で足りるという点でもメリットがある。

【0003】

特に近年では、太陽光発電または風力発電などの再生可能エネルギーの普及により、大電力送電に適した直流送電を採用する場合が増加しつつある。

【0004】

特開2016-1981号公報(特許文献1)では、洋上の風力発電装置で発電された電力を陸上の電力系統に送電するシステムについて開示する。特許文献1のシステムにおいては、洋上の変換所において、風力発電設備で発電された交流電力をAC/DC変換器で直流に変換するとともに、当該直流電力をDC/DC変換器で集電しかつ昇圧し、洋上または海底の送電ケーブルを介して陸上の電力系統へ送電するシステムが提案されている。

【0005】

図11は、特許文献1で開示される直流送電システム500の概略図である。特許文献1の直流送電システム500は、風車(ブレード)14に結合された発電機12を含む風力発電設備10からの交流電力をAC/DC変換器510により直流電力に変換し、当該直流電力をDC/DC変換器520で昇圧して、送電線540を用いて陸上へ送電する。陸上においては、直流送電システム500は、DC/AC変換器530によって送電された直流電力を交流電力に変換して陸上の電力系統へ電力を供給する。供給された交流電力は、トランス40により適宜電圧が調整されて、交流機器50へ供給される。

【0006】

図11に示される直流送電システム500の制御装置550は、通常運転時においては、DC/AC変換器530によって直流送電系統の電圧(送電電圧)を制御し、DC/DC変換器520が直流集電系統の電圧(集電電圧)を制御する。一方で、交流配電系統あるいはDC/AC変換器530に異常が発生し、DC/AC変換器530が停止した場合には、DC/AC変換器530による直流送電系統の電圧の制御ができなくなる。そのため、特許文献1のシステムにおいては、図12に示すように、DC/AC変換器530が停止した場合には、DC/DC変換器520が送電電圧を制御し、AC/DC変換器510が集電電圧を制御するように切換えられる。このような制御の切換えによって、異常発生時においても直流系統電圧を安定化するようにしている。

【0007】

また、特開2014-27762号公報(特許文献2)には、太陽光発電設備を有する分散電源システムが開示されている。特許文献2の分散電源システムでは、太陽光発電設備により発電された直流電力をDC/DC変換器で昇圧し、インバータを用いて交流電力に変換して、負荷系統と交流配電系統へ電力を供給する。交流配電系統に異常が生じた場合には、インバータと交流配電系統を連系するスイッチを切り離すとともに、DC/DC変換器およびインバータの運転モードを切換えることによって、負荷系統への送電を継続する構成となっている。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0008】

【特許文献1】特開2016-1981号公報

【特許文献2】特開2014-27762号公報

10

20

30

40

50

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0009】

上記の特許文献1の直流送電システムにおいては、交流配電系統等に異常が生じてDC/AC変換器が停止した場合に、DC/DC変換器により送電電圧を制御し、AC/DC変換器により集電電圧を制御することによって、直流電圧の変動が抑制される。しかしながら、特許文献1の構成においては、風力発電設備による発電電力を異常発生時に調整するような構成とはなっていない。異常発生時に直流系統電圧を調整したとしても、風力発電設備の発電電力が直流配電系統で消費される電力よりも大きいと、直流系統に入力される過剰な電力のために、結果として直流系統電圧が上昇してしまう可能性がある。

10

【0010】

風力発電設備においては発電電力を低下させる場合、一般的には、風車のピッチ制御やストール制御によって風車自体の回転速度を低下させる手法が採用される。しかしながら、DC/AC変換器の停止を検出してから風車側の制御装置に指令を出力するまでに少なからず遅れ時間が発生し、また風車自体のイナーシャが大きく実際の回転速度が低下するまでに時間がかかるため、発電電力を短時間で低下できない状態となりやすい。そのため、特許文献1のようにDC/AC変換器の停止時に、DC/DC変換器およびAC/DC変換器の制御を切替えたとしても、風力発電設備から流入する過剰な発電電力により直流系統電圧が上昇し得る。そして、直流系統電圧が過電圧保護のためのしきい値を超えてしまうと、DC/DC変換器およびAC/DC変換器が停止してしまい、直流配電系統に適切に電力供給ができなくなってしまう状態となる。

20

【0011】

本発明は、このような課題を解決するためになされたものであって、その目的は、発電機で発電された交流電力を直流電力に変換して送電する直流送電システムにおいて、交流配電系統へ電力を供給するDC/AC変換器が停止した場合であっても、適切に直流系統電圧を調整して直流送電を継続させることである。

【課題を解決するための手段】

【0012】

本発明に係る直流送電システムは、発電機で発電された交流電力を直流電力を用いて交流配電系統および直流配電系統に送電する。直流送電システムは、AC/DC変換器と、DC/DC変換器と、DC/AC変換器とを備える。AC/DC変換器は、発電機からの交流電力を直流電力に変換する。DC/DC変換器は、AC/DC変換器で変換された第1電圧を有する直流電力を第2電圧の直流電力に変換する。DC/AC変換器は、DC/DC変換器で変換された直流電力を交流電力に変換して交流配電系統へ出力する。DC/DC変換器で変換された直流電力は、直流配電系統にも送電される。DC/DC変換器は、DC/AC変換器が停止したことに伴って第2電圧が変動した場合に、第2電圧の変動にตอบสนองして第1電圧を制御する。

30

【0013】

また、本発明の他の局面に係る直流送電システムは、発電機で発電された交流電力を直流電力を用いて交流配電系統および直流配電系統に送電する。直流送電システムは、AC/DC変換器と、第1および第2のDC/DC変換器と、DC/AC変換器とを備える。AC/DC変換器は、発電機からの交流電力を直流電力に変換する。第1のDC/DC変換器は、AC/DC変換器で変換された第1電圧を有する直流電力を第2電圧の直流電力に変換する。第2のDC/DC変換器は、第1のDC/DC変換器で変換された第2電圧の直流電力を第3電圧の直流電力に変換する。DC/AC変換器は、第2のDC/DC変換器で変換された直流電力を交流電力に変換して交流配電系統へ出力する。第2のDC/DC変換器で変換された直流電力は、直流配電系統にも送電される。DC/AC変換器が停止した場合に、第2のDC/DC変換器は第2電圧の変動にตอบสนองして第3電圧を制御し、第1のDC/DC変換器は第2電圧の変動にตอบสนองして第1電圧を制御する。

40

【発明の効果】

50

【 0 0 1 4 】

本発明によれば、発電機で発電された交流電力を直流電力に変換して送電する直流送電システムにおいて、交流配電系統へ電力を供給するDC/AC変換器が停止した場合であっても、直流系統電圧の変動に応じてDC/DC変換器に入力される電力を調整することによって直流系統電圧の上昇を適切に抑制することができる。これによって、各変換器が過電圧保護機能によって停止することが防止されるので、直流送電を継続させることができる。

【 図面の簡単な説明 】

【 0 0 1 5 】

【 図 1 】 実施の形態 1 に従う直流送電システムの概略図である。 10

【 図 2 】 図 1 における AC/DC 変換器の詳細構成の一例を示す図である。

【 図 3 】 図 1 における DC/DC 変換器の詳細構成の一例を示す図である。

【 図 4 】 図 1 に示す直流送電システムにおいて、交流配電系統の異常が発生した場合の各変換器の制御状態を説明するための図である。

【 図 5 】 制御装置における、DC/DC 変換器の制御に関する機能ブロック図である。

【 図 6 】 実施の形態 1 における第 1 の DC/DC 変換器 (DC/DC 変換器 120) の直流電圧制御の詳細を説明するための機能ブロック図である。

【 図 7 】 実施の形態 1 における第 2 の DC/DC 変換器 (DC/DC 変換器 130) の直流電圧制御の詳細を説明するための機能ブロック図である。

【 図 8 】 実施の形態 2 に従う直流送電システムの概略図である。 20

【 図 9 】 図 8 に示す直流送電システムにおいて、交流配電系統の異常が発生した場合の各変換器の制御状態を説明するための図である。

【 図 10 】 実施の形態 2 における DC/DC 変換器の直流電圧制御の詳細を説明するための機能ブロック図である。

【 図 11 】 特許文献 1 における直流送電システムの概略図である。

【 図 12 】 図 11 の直流送電システムにおいて、交流配電系統の異常が発生した場合の各変換器の制御状態を説明するための図である。

【 発明を実施するための形態 】

【 0 0 1 6 】

以下、本発明の実施の形態について、図面を参照しながら詳細に説明する。なお、図中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り返さない。 30

【 0 0 1 7 】

実施の形態 1 .

図 1 は、本実施の形態 1 に従う直流送電システム 100 の概略図である。図 1 を参照して、直流送電システム 100 は、たとえば洋上や山上に配置された風力発電設備 10 で発電された交流電力を直流電力に変換し、直流電力の状態を送電して直流負荷を含む直流配電系統 20 に直流電力を供給する。また、直流送電システム 100 は、送電された直流電力を交流電力に変換し、交流配電系統 30 へ交流電力を供給する。

【 0 0 1 8 】

風力発電設備 10 は、風車 (ブレード) 14 の回転軸に結合された発電機 12 を含む。 40
 発電機 12 は、風車 14 の回転によってロータが回転されることによって発電し、交流電力を生成する。

【 0 0 1 9 】

直流送電システム 100 は、AC/DC 変換器 110 と、自励式の第 1 の DC/DC 変換器 120 および第 2 の DC/DC 変換器 130 と、DC/AC 変換器 140 と、送電線 150 と、各変換器を制御するための制御装置 1000 とを備える。図 1 においては、制御装置 1000 は、1 つの要素として記載されているが、制御装置 1000 における機能が各変換器毎に個別に設けられる構成であってもよい。

【 0 0 2 0 】

AC/DC 変換器 110 は、発電機 12 で発電された交流電力を直流電力に変換する。 50

AC/DC変換器110で変換された直流電力の電圧を、実施の形態1では「発電電圧」とも称する。DC/DC変換器120は、AC/DC変換器110で変換された直流電力の電圧(発電電圧)を異なる電圧に変換してDC/DC変換器130へ供給する。

【0021】

なお、図1においては、風力発電設備10、AC/DC変換器110およびDC/DC変換器120は1台ずつしか記載されていないが、複数の風力発電設備10が配置される場合には、各風力発電設備10に対応してAC/DC変換器110およびDC/DC変換器120が1台ずつ設けられ、DC/DC変換器120で変換された直流電力が集電される。このように、(複数の)DC/DC変換器120で変換され集電された直流電力の電圧を、実施の形態1では「集電電圧」とも称する。

10

【0022】

DC/DC変換器130は、DC/DC変換器120で変換され集電された直流電力の電圧(集電電圧)をさらに昇圧して、直流送電系統へ供給する。直流送電系統で送電される直流電力の電圧を、実施の形態1では「送電電圧」とも称する。

【0023】

たとえば風力発電設備10が洋上に配置される場合には、AC/DC変換器110~DC/DC変換器130までの機器が、風力発電設備10に隣接した洋上の変換所に配置される。直流送電系統では、DC/DC変換器130で変換された直流電力が、たとえば陸上まで送電線150によって送電される。

【0024】

送電線150によって送電された直流電力の一部は、直流電力のまま直流配電系統20に供給され、他の一部は陸上側の変換所に配置されたAC/DC変換器140へ供給される。AC/DC変換器140は、送電線150から受けた直流電力を交流電力に変換して、交流配電系統30に供給する。

20

【0025】

図1に示される直流送電システム100においては、通常動作時には、AC/DC変換器110によって風力発電設備10で生成される交流電圧が制御される。AC/DC変換器110が、図2で後述するように、ダイオード整流器を有する変換器である場合には、風車14の回転速度によって、ダイオード整流器から出力される直流電圧(発電電圧)が変動する。DC/DC変換器120は、この発電電圧が一定になるように制御するとともに、発電電圧を集電電圧へと昇圧する。また、DC/DC変換器130は、集電電圧が一定となるように制御し、DC/AC変換器140は、送電電圧が一定となるように制御する。

30

【0026】

図2は、AC/DC変換器110の詳細構成の一例を示す図である。図2を参照して、AC/DC変換器110は、ダイオードブリッジ112と、平滑用コンデンサC0と、電流制限装置114とを備える。

【0027】

ダイオードブリッジ112は、発電機12で発電された交流電力を全波整流する。整流された直流電力は、平滑用コンデンサC0によって平滑化されて、電力線PL0, NL0に供給される。

40

【0028】

電流制限装置114は、たとえば電力線NL0に設けられる。電流制限装置114は、制御装置1000からの制御指令LMTに従って、回路を流れる電流量を制限する。制御装置1000は、電力線PL0に設けられた電流センサ200の検出値Idc1に基づいて、電流制限装置114への制御指令LMTを生成する。このように、AC/DC変換器110は、電流制限装置114を用いて回路に流れる電流を制御することによって、風力発電設備10で発電される交流電圧を制御する。

【0029】

図3は、DC/DC変換器120, 130の詳細構成の一例を示す図である。なお、本

50

実施の形態においては、DC/DC変換器120, 130の基本的なハードウェア構成は同じであるため、以下の説明においては、DC/DC変換器120を例として説明する。

【0030】

図3を参照して、DC/DC変換器120は、自励式の2つのフルブリッジ型のインバータ回路122, 124と、絶縁用トランスTR1と、平滑用コンデンサC1, C2とを備える。

【0031】

インバータ回路122は、電力線PL1, NL1との間に直列に接続された半導体スイッチング素子Q1, Q2と、同じく電力線PL1, NL1との間に直列に接続された半導体スイッチング素子Q3, Q4とを含む。半導体スイッチング素子Q1~Q4には、それぞれ逆並列に接続されたダイオードD1~D4が接続される。

10

【0032】

電力線PL1, NL1は、図2のAC/DC変換器110の出力側の電力線PL0, NL0にそれぞれ接続されている。平滑用コンデンサC1は電力線PL1, NL1間に接続され、AC/DC変換器110から供給される直流電圧を平滑化する。

【0033】

インバータ回路122は、制御装置1000からの制御指令PWC1により制御されて、平滑用コンデンサC1によって平滑化された直流電力を交流電力に変換しトランスTR1へ出力する。トランスTR1は、インバータ回路122から1次巻線に供給された交流電力を、2次巻線に絶縁的に転送して、インバータ回路124へ出力する。

20

【0034】

インバータ回路124は、基本的にはインバータ回路122と同様の構成を有する。インバータ回路124は、電力線PL2, NL2との間に直列に接続された半導体スイッチング素子Q5, Q6と、同じく電力線PL1, NL1との間に直列に接続された半導体スイッチング素子Q7, Q8とを含む。半導体スイッチング素子Q5~Q8には、それぞれ逆並列に接続されたダイオードD5~D8が接続される。

【0035】

インバータ回路124は、制御装置1000からの制御指令PWC2により制御されて、トランスTR1から供給される交流電力を入力側とは異なる電圧に昇圧された直流電力に変換する。平滑用コンデンサC2は、インバータ回路124からの直流電力を平滑化して、電力線PL2, NL2へ出力する。

30

【0036】

なお、インバータ回路122, 124は、フルブリッジ型のインバータに限定されるものではなく、たとえば3レベルインバータであってもよい。また、図3においては、インバータ回路122, 124に含まれる半導体スイッチング素子Q1~Q8としてIGBTを用いる例が示されているが、半導体スイッチング素子Q1~Q8はこれに限定されず、他の自己消弧型半導体スイッチング素子を用いるのもであってもよい。

【0037】

電力線PL1, PL2には、それぞれ電流センサ210, 220が設けられる。なお、電流センサ210は、図2における電流センサ200と共通化されてもよい。電流センサ210は、電力線PL1に流れる電流を検出し、その検出値Idc1を制御装置1000に出力する。電流センサ220は、電力線PL2に流れる電流を検出し、その検出値Idc2を制御装置1000に出力する。

40

【0038】

電力線PL1, NL1間および電力線PL2, NL2間には、それぞれ電圧センサ230, 240が設けられる。電圧センサ230は、電力線PL1, NL1間の電圧(すなわち、平滑用コンデンサC1の両端電圧)を検出し、その検出値Vdc1を制御装置1000に出力する。電圧センサ240は、電力線PL2, NL2間の電圧(すなわち、平滑用コンデンサC2の両端電圧)を検出し、その検出値Vdc2を制御装置1000に出力する。

50

【 0 0 3 9 】

DC / DC変換器 1 2 0 においては、低圧側の直流電圧 V_{dc1} が「発電電圧」であり、降圧側の直流電圧 V_{dc2} が「集電電圧」となる。一方で、DC / DC 1 3 0 の場合には、低圧側の直流電圧 V_{dc1} が「集電電圧」となり、降圧側の直流電圧 V_{dc2} が「送電電圧」となる。

【 0 0 4 0 】

DC / DC変換器 1 2 0 , 1 3 0 の制御方式は、パルス幅変調 (PWM : Pulse Width Modulation) 制御によるゲート駆動のデューティを 5 0 % に固定した状態で、トランス TR 1 の 1 次側のインバータ回路 1 2 2 および 2 次側のインバータ回路 1 2 4 のうちの一方のインバータ回路の位相を基準として、他方のインバータ回路の位相をシフトすることにより、片側の直流電圧を制御する。以降の説明においては、高圧側 (2 次側) の位相を基準とした場合を例として説明する。

10

【 0 0 4 1 】

なお、図示していないが、DC / AC変換器 1 4 0 は、たとえば図 3 で示されるようなフルブリッジ型のインバータ回路を含んで構成される。当該インバータ回路は、制御装置 1 0 0 0 からの制御指令に基づいて制御され、DC / DC変換器 1 3 0 から供給される直流電力を交流電力に変換して、交流配電系統へ出力する。

【 0 0 4 2 】

このような構成の直流送電システム 1 0 0 において、たとえば交流配電系統 3 0 に事故などの異常が生じた場合、交流配電系統 3 0 から電氣的に切り離すために DC / AC変換器 1 4 0 が停止される。また、DC / AC変換器 1 4 0 自身に異常が生じた場合にも、DC / AC変換器 1 4 0 が停止される。DC / AC変換器 1 4 0 が停止すると、交流配電系統への電力供給が遮断されるため、風力発電設備 1 0 から供給される電力が直流配電系統 2 0 で消費される電力を上回り、送電電圧が上昇する。DC / AC変換器 1 4 0 が停止しているため、直流系統の送電電圧が制御できず、送電電圧および集電電圧が各変換器の過電圧しきい値を超えると、DC / DC変換器 1 2 0 , 1 3 0 が停止する。そうすると、直流配電系統 2 0 への安定した電力供給ができなくなってしまう。

20

【 0 0 4 3 】

そのため、本実施の形態 1 においては、交流配電系統 3 0 あるいは DC / AC変換器 1 4 0 に異常が生じて DC / AC変換器 1 4 0 が停止した場合には、図 4 に示すように、各変換器による制御が切換えられる。より具体的には、DC / DC変換器 1 3 0 は、送電電圧の変動 (送電電圧 > しきい値) を検出すると、集電電圧の制御から、集電電圧の変動に基づく送電電圧の制御に自律的に切換えられる。また、DC / DC変換器 1 2 0 は、集電電圧の変動 (集電電圧 > しきい値) を検出すると、発電電圧の制御から、集電電圧の変動に基づいた、AC / DC変換器 1 1 0 から出力される発電電力の電力制御に自律的に切換えられる。

30

【 0 0 4 4 】

DC / DC変換器 1 2 0 による電力制御は、概略的には、集電電圧の変動量 (上昇量) に応じて、正常時に比べて発電電圧の設定値を低下させる制御である。直流電力の場合には、「電力 = 電圧 × 電流」の関係が成立するので、同じ電力であれば、発電電圧が低下するとそれに伴って回路に流れる電流は上昇する。このとき、回路に流れる電流は、AC / DC変換器 1 1 0 の電流制限装置 1 1 4 (図 2) によって、上限リミット以下に制限される。これによって、DC / DC変換器 1 2 0 自体に流れ込む電力を低減することができる。したがって、風力発電設備 1 0 の発電電力と直流配電系統 2 0 における消費電力との間の電力需給をバランスすることができ、直流配電系統 2 0 に対して安定的に電力を継続して供給することが可能となる。

40

【 0 0 4 5 】

図 5 は、制御装置 1 0 0 0 における、DC / DC変換器 1 2 0 , 1 3 0 の制御に関連する部分の機能ブロック図である。図 5 を参照して、制御装置 1 0 0 0 は、記憶部 1 1 0 0 と、直流電圧制御部 1 2 0 0 と、電圧指令分配部 1 3 0 0 とを含む。

50

【 0 0 4 6 】

記憶部 1 1 0 0 は、各 DC / DC 変換器における低圧側直流電圧指令値 V_{DLref} 、および高圧側直流電圧指令値 V_{DHref} 等の目標値を記憶している。直流電圧指令値 V_{DLref} 、 V_{DHref} は、予め定められた固定値であってもよいし、たとえば負荷系統から要求される電力等に応じて可変に設定されるものであってもよい。記憶部 1 1 0 0 は、直流電圧制御部 1 2 0 0 へこれらの目標値を出力する。

【 0 0 4 7 】

直流電圧制御部 1 2 0 0 は、記憶部 1 1 0 0 に記憶された目標値と、直流電圧検出部（電圧センサ）2 3 0、2 4 0 からの検出値 V_{dc1} 、 V_{dc2} と、直流電流検出部（電流センサ）2 0 0、2 1 0、2 2 0 からの検出値 I_{dc1} 、 I_{dc2} とを受ける。直流電圧制御部 1 2 0 0 はこれらの入力値を用いて、DC / DC 変換器に対する制御量である、インバータ回路 1 2 2、1 2 4 間の位相指令 PHS を算出し、電圧指令分配部 1 3 0 0 へ出力する。

10

【 0 0 4 8 】

電圧指令分配部 1 3 0 0 は、直流電圧制御部 1 2 0 0 からの位相指令 PHS を実現するように、インバータ回路 1 2 2、1 2 4 の半導体スイッチング素子 $Q_1 \sim Q_8$ を制御するための制御指令 PWC_1 、 PWC_2 （ゲートパルス信号）を生成し、各 DC / DC 変換器へと出力する。DC / DC 変換器 1 2 0、1 3 0 は、制御装置 1 0 0 0 で生成された制御指令 PWC_1 、 PWC_2 に従って半導体スイッチング素子 $Q_1 \sim Q_8$ を切替えることによって、電力変換を行なう。

20

【 0 0 4 9 】

図 6 は、DC / DC 変換器 1 2 0 について、直流電圧制御部 1 2 0 0 で実行される直流電圧制御の詳細を説明するための機能ブロック図である。

【 0 0 5 0 】

図 6 を参照して、直流電圧制御部 1 2 0 0 は、切替部 1 2 1 0 と、低圧側の直流電圧指令値調整部 1 2 2 0 と、高圧側の直流電圧変動検出部 1 2 3 0 とを含む。直流電圧変動検出部 1 2 3 0 は、比較器 1 2 3 2、1 2 3 4 と、OR 回路 1 2 3 6 と、フリップフロップ 1 2 3 8 とを含む。

【 0 0 5 1 】

直流電圧変動検出部 1 2 3 0 は、集電電圧が予め定められた範囲内であるか否か、すなわち集電電圧の変動の有無を判定する。比較器 1 2 3 2 は、高圧側の電圧検出値 V_{dc2} （すなわち、集電電圧）が下限値 $RefL$ より低い場合に「1」を出力する。比較器 1 2 3 4 は、集電電圧が上限値 $RefH$ より高い場合に「1」を出力する。

30

【 0 0 5 2 】

OR 回路 1 2 3 6 は、比較器 1 2 3 2、1 2 3 4 からの信号を受け、いずれかの信号が「1」の場合に、フリップフロップ 1 2 3 8 に「1」を出力する。フリップフロップ 1 2 3 8 は、OR 回路 1 2 3 6 の出力が「1」の場合にセットされ、電圧信号判定値を「1」（すなわち電圧変動あり）として切替部 1 2 1 0 へ出力する。一方、フリップフロップ 1 2 3 8 は、通常運転に復帰したことを示す通常運転信号を受けるとリセットされ、電圧信号判定値を「0」（すなわち電圧変動なし）として切替部 1 2 1 0 へ出力する。

40

【 0 0 5 3 】

直流電圧変動検出部 1 2 3 0 からの電圧変動判定値が「0」、すなわち集電電圧の電圧変動がない場合には、切替部 1 2 1 0 は、その入力を記憶部 1 1 0 0 からの低圧側直流電圧指令値 V_{DLref} （発電電圧指令値）に切替えて、「発電電圧」が一定となるようにフィードバック制御を行なう。直流電圧制御部 1 2 0 0 は、低圧側直流電圧指令値 V_{DLref} と低圧側直流電圧検出値 V_{dc1} との差分を増幅し、フィードバック制御して得られたゲート制御量を高圧側の基準位相から減算して位相指令 PHS を算出する。この位相指令 PHS に基づいて、図 5 の電圧指令分配部 1 3 0 0 によって、半導体スイッチング素子 $Q_1 \sim Q_8$ のゲートパルスが生成される。

【 0 0 5 4 】

50

一方、直流電圧変動検出部 1230 からの電圧変動判定値が「1」、すなわち集電電圧の電圧変動がある場合には、切換部 1210 は、その入力を直流電圧指令値調整部 1220 へと切換え、入出力電力の差分に応じて「発電電圧」の指令値を低下させる。直流電圧指令値調整部 1220 は、電圧センサ 230, 240 によって検出された電圧検出値 V_{dc1} , V_{dc2} および電流センサ 210, 220 によって検出された電流検出値 I_{dc1} , I_{dc2} に基づいて、DC/DC 変換器 120 の低圧側の入力電力 ($V_{dc1} \times I_{dc1}$) と高圧側の出力電力 ($V_{dc2} \times I_{dc2}$) を算出する。そして、直流電圧指令値調整部 1220 は、入出力電力の差分を増幅するとともに、低圧側直流電流検出値 I_{dc} で除算することによって電圧制御量 V_{dc} を算出する。直流電圧指令値調整部 1220 は、低圧側直流電圧指令値 V_{DLref} から当該電圧制御量 V_{dc} を減算することによって、直流電圧指令値 V_{DLref} を補正する。

10

【0055】

すなわち、直流電圧指令値調整部 1220 は、低圧側の入力電力が高圧側の出力電力よりも大きい場合（すなわち、入力電力が過剰である場合）には、低圧側直流電圧指令値 V_{DLref} （発電電圧指令値）を低下させる。直流電圧制御部 1200 は、集電電圧の電圧変動がある場合には、直流電圧指令値調整部 1220 によって補正された低圧側直流電圧指令値 V_{DLref} に基づいて位相指令 PHS を算出する。

【0056】

このように、実施の形態 1 における DC/DC 変換器 120 は、定常送電時においては発電電圧が一定となるように制御する一方で、高圧側の集電電圧の変動が大きくなった場合には、入力電力の電力過剰分に相当する電力に応じて低圧側直流電圧指令値 V_{DLref} を低下させることによって発電電圧を低下させる。発電電圧が低下されると、AC/DC 変換器 110 の電流制限装置 114 によって DC/DC 変換器 120 への入力電流が制限されるので、風力発電設備 10 から DC/DC 変換器 120 へ流入する電力を低減できる。その結果、直流系統電圧の擾乱を抑制することができる。

20

【0057】

図 7 は、DC/DC 変換器 130 について、直流電圧制御部 1200 A で実行される直流電圧制御の詳細を説明するための機能ブロック図である。

【0058】

図 7 を参照して、直流電圧制御部 1200 A は、切換部 1210 A と、高圧側の直流電圧指令値調整部 1220 A と、高圧側の直流電圧変動検出部 1230 とを含む。なお、直流電圧変動検出部 1230 については、図 6 のものと同様であるので、その詳細な説明は繰り返さない。

30

【0059】

直流電圧変動検出部 1230 からの電圧変動判定値が「0」、すなわち集電電圧の電圧変動がない場合には、切換部 1210 A は、その入力を記憶部 1100 からの低圧側直流電圧指令値 V_{DLref} （集電電圧指令値）に切換えて、「集電電圧」が一定となるようにフィードバック制御を行なう。具体的には、直流電圧制御部 1200 A は、低圧側直流電圧指令値 V_{DLref} と低圧側直流電圧検出値 V_{dc1} との差分を増幅し、フィードバック制御して得られたゲート制御量を高圧側の基準位相から減算して位相指令 PHS を算出する。この位相指令 PHS に基づいて、図 5 の電圧指令分配部 1300 によって、半導体スイッチング素子 $Q1 \sim Q8$ のゲートパルスが生成される。

40

【0060】

一方、直流電圧変動検出部 1230 からの電圧変動判定値が「1」、すなわち集電電圧の電圧変動がある場合には、切換部 1210 A は、その入力を直流電圧指令値調整部 1220 A へと切換え、制御対象を高圧側（すなわち、送電電圧）の直流電圧制御に切換える。ここで、DC/DC 変換器 130 が送電電圧制御に切換えられると、低圧側の集電電圧の制御ができなくなる。上述のように、DC/DC 変換器 120 は、発電電圧を制御する必要があるため、DC/DC 変換器 120 による集電電圧の制御はできない。

【0061】

50

そのため、本実施の形態1においては、DC/DC変換器130が送電電圧制御に切換えられた場合、直流電圧指令値調整部1220Aによって、集電電圧の指令値と検出値との差分に応じて送電電圧の指令値を補正することにより、集電電圧の上昇を抑制する。より具体的には、直流電圧指令値調整部1220Aは、低圧側直流電圧指令値 V_{DLref} （集電電圧指令値）と低圧側直流電圧検出値（集電電圧検出値） V_{dc1} との差分を増幅して電圧制御量 V_{dc} を算出し、高圧側直流電圧指令値 V_{DHref} （送電電圧指令値）に加算することによって高圧側直流電圧指令値 V_{DHref} を補正する。このとき、直流電圧指令値調整部1220Aは、電圧制御量 V_{dc} が送電電圧の定常動作範囲内（概ね $\pm 5\%$ 以内）となるように設定する。そして、補正された高圧側直流電圧指令値 V_{DHref} と高圧側直流電圧検出値 V_{dc2} との差分を増幅し、フィードバック制御して得られたゲート制御量を高圧側の基準位相から減算して位相指令 PHS を算出する。この位相指令 PHS に基づいて、図5の電圧指令分配部1300によって、半導体スイッチング素子 $Q1 \sim Q8$ のゲートパルスが生成される。

10

【0062】

このように、DC/DC変換器130は、通常送電時においては集電電圧が一定となるように制御する。一方で、高圧側の送電電圧の変動が大きくなった場合には、DC/DC変換器130は、制御対象を集電電圧から送電電圧に切換えるとともに、集電電圧の指令値と検出値との差分に応じて送電電圧の指令値を送電電圧の定常動作範囲内で補正する。これによって、集電電圧の上昇を抑制しつつ、定常動作範囲内の送電電圧で継続して送電

20

【0063】

以上のように、本実施の形態1においては、2つの自励式DC/DC変換器が直流連系された直流送電システムにおいて、送電電圧（第3電圧）の制御を行なっているDC/AC変換器が交流配電システムの異常あるいはDC/AC変換器の異常によって停止した場合に、発電電圧（第1電圧）を制御していた第1のDC/DC変換器が、入出力電圧に応じて発電電圧を低下することによって風力発電設備から流入する電力を調整するように切換えられる。さらに、集電電圧（第2電圧）を制御していた第2のDC/DC変換器が、集電電圧の変動に応じて送電電圧を制御するように切換えられる。これにより、交流配電系統等の異常のためにDC/AC変換器が停止した場合であっても、直流系統電圧を高速に安定化することができるので、風力発電設備で発電された電力の直流配電システムへの送電を継続することが可能となる。

30

【0064】

実施の形態2 .

上記の実施の形態1においては、直流系統に2台のDC/DC変換器が連系した構成を有する直流送電システムの例について説明した。本実施の形態2においては、直流系統に1台の自励式のDC/DC変換器を有する直流送電システムの例について説明する。

【0065】

図8は、実施の形態2に従う直流送電システム100#の概略図である。図8においては、図1の直流送電システム100におけるDC/DC変換器130が除かれた構成となっている。図8の場合においては、風力発電設備10で発電された交流電力が「発電電圧」となり、AC/DC変換器110で変換された直流電力が「集電電力」となり、DC/DC変換器120で昇圧された直流電力が「送電電圧」となる。図8において、図1と共通の要素についての説明は繰り返さない。

40

【0066】

直流送電システム100#においては、通常運転時には、DC/AC変換器140によって送電電圧が制御され、DC/DC変換器120によって集電電圧が制御され、AC/DC変換器110によって発電電圧が制御される。

【0067】

ここで、図9に示されるように、交流配電系統30またはDC/AC変換器140に異常が生じてDC/AC変換器140が停止した場合、実施の形態1と同様に、DC/DC

50

変換器 120 は、入出力電力の差分に応じて低圧側直流電圧指令値（集電電圧指令値）を低下させる。これにより、風力発電設備 10 からの過剰分の電力の流入が抑制される。さらに、実施の形態 2 においては、DC/DC 変換器 120 の高圧側直流電圧（送電電圧）の指令値と検出値との差分に基づいてゲート制御量を補正することによって、送電電圧の変動が抑制される。このように、DC/AC 変換器 140 が停止したことに伴って DC/DC 変換器 120 の制御を切替えることによって、直流系統電圧を高速に安定化することができる。

【0068】

図 10 は、実施の形態 2 における DC/DC 変換器 120 の直流電圧制御部 1200B で実行される直流電圧制御の詳細を説明するための機能ブロック図である。図 10 に示される直流電圧制御部 1200B は、実施の形態 1 の図 6 の構成に加えて、高圧側直流電圧偏差補正部 1290 をさらに備える。図 10 において、図 6 と共通する要素についての説明は繰り返さない。

10

【0069】

図 10 を参照して、直流電圧制御部 1200B は、実施の形態 1 の直流電圧制御部 1200 と同様に、高圧側の直流電圧である送電電圧の変動がある場合には、低圧側の集電電圧指令値を、低圧側直流電圧指令値 V_{DLref} から直流電圧指令値調整部 1220 で補正された指令値に切替える。直流電圧制御部 1200B は、選択された集電電圧指令値と低圧側直流電圧検出値 V_{dc1} との差分を増幅したものに、高圧側直流電圧偏差補正部 1290 で算出された、高圧側の直流電圧（送電電圧）の指令値 V_{DHref} と検出値 V_{dc2} との差分を増幅した電圧制御量 V_{dc} を加算することによって、ゲート制御量を算出する。そして、算出されたゲート制御量を高圧側の基準位相から減算して位相指令 PHS を算出する。この位相指令 PHS に基づいて、図 5 の電圧指令分配部 1300 によって、半導体スイッチング素子 $Q1 \sim Q8$ のゲートパルスが生成される。

20

【0070】

このように、直流電圧系統の DC/DC 変換器が 1 台の場合においても、DC/AC 変換器が停止した場合に、送電電圧変動による電力過剰分に相当する電力に応じて、集電電圧を低下させることができる。そして、集電電圧の低下に伴って AC/DC 変換器の電流制限回路により入力電流が制限されることによって、DC/DC 変換器へ流入する電流を低減できるので、直流系統電圧の擾乱を抑制することができる。さらに、送電電圧の指令値と検出値との差分に基づいてゲート制御量を補正することによって、送電電圧の変動を抑制することができる。

30

【0071】

以上のように、本実施の形態 2 においては、直流系統に 1 つの自励式 DC/DC 変換器が連系された直流送電システムにおいて、送電電圧（第 2 電圧）の制御を行なっている DC/AC 変換器が、交流配電系統の異常あるいは DC/AC 変換器の異常によって停止した場合に、集電電圧（第 1 電圧）を制御していた DC/DC 変換器が入出力電圧に応じて発電電圧を低下することによって風力発電設備から流入する電力を調整するとともに、送電電圧の指令値と検出値との差分に相当する補正量を、DC/DC 変換器の制御量に加えることによって送電電圧の変動を抑制する。これにより、交流配電系統等の異常のために DC/AC 変換器が停止した場合であっても、直流系統電圧を高速に安定化することができるので、風力発電設備で発電された電力の直流配電系統への送電を継続することが可能となる。

40

【0072】

実施の形態 3 .

実施の形態 1 及び実施の形態 2 の自励式 DC/DC 変換器を有する直流送電システムにおいては、定常送電中に交流配電系統等に異常が生じて DC/AC 変換器が停止した場合に、直流系統電圧を安定化し、配電系統への送電を継続する例について説明した。

【0073】

本実施の形態 3 においては、交流配電系統事故等に異常が生じて DC/AC 変換器が停

50

止した状態から、事故が除去され、通常送電に戻る場合について、図4に示す直流送電システムを例に説明する。

【0074】

上述のように、交流配電系統30あるいはDC/AC変換器140に異常が生じてDC/AC変換器140が停止した場合には、DC/DC変換器130は、集電電圧を一定にする制御(集電電圧制御)から送電電圧を一定にする制御(送電電圧制御)に自律的に切換えられる。

【0075】

具体的には、図7に示す直流電圧指令値調整部1220Aにおいて、低圧側直流電圧指令値VDLref(集電電圧指令値)と低圧側直流電圧検出値Vdc1(集電電圧検出値)との差分を増幅することによって電圧制御量Vdcが算出され、さらにそれを高圧側直流電圧指令値VDHref(送電電圧指令値)に加算することによって高圧側直流電圧指令値VDHrefが補正される。このとき、直流電圧指令値調整部1220Aは、電圧制御量Vdcが送電電圧の定常動作範囲内(概ね±5%以内)で負方向(たとえばDC/DC変換器130の二次側定格電圧の95%)となるように設定する。そして、直流電圧指令値調整部1220Aは、補正された高圧側直流電圧指令値VDHrefと高圧側直流電圧検出値Vdc2との差分を増幅するとともに、フィードバック制御して得られたゲート制御量を高圧側の基準位相から減算することによって位相指令PHSを算出する。この位相指令PHSに基づいて、図5の電圧指令分配部1300は、半導体スイッチング素子Q1~Q8のゲートパルスを生成して、送電電圧を制御する。

【0076】

また、DC/AC変換器140が停止した場合には、DC/DC変換器120は、図6に示したように、集電電圧が高圧側直流電圧指令値VDHrefより大きいことを検出すると、DC/DC変換器120が出力する電力量の変動に応じて低圧側直流電圧指令値VDLrefを補正して発電電圧を制御する。

【0077】

上記のDC/AC変換器140が停止中の状態から交流系統事故が除去され、AC/DC変換器140が動作を開始すると、AC/DC変換器140は送電電圧がAC/DC変換器140の直流側定格電圧(DC/DC変換器130の二次側定格電圧と同等)になるように制御する。このとき、高圧側の直流電圧Vdc2は、DC/DC変換器130によって補正された高圧側直流電圧指令値VDHrefより大きくなる。補正された送電電圧指令値VDHrefと高圧側の直流電圧検出値Vdc2の差分が基準差分値以上(概ね5%以上)となることが検出され、さらにDC/DC変換器130の出力電流が基準電流値(たとえば0A)以下に低下したことが検出されると、DC/DC変換器130は通常運転に切換わる。それにより、電圧変動判定値が0とされ、DC/DC変換器130は送電電圧制御から集電電圧制御に自律的に切換えられる。

【0078】

DC/DC変換器130が集電電圧制御に切換えられ、それにより集電電圧がDC/DC変換器130の一次側定格電圧(DC/DC変換器120の二次側定格電圧と同等)以下になると、DC/DC変換器120は、低圧側直流電圧指令値VDLrefをDC/DC変換器120の一次側定格電圧に戻し、風車14の発電電圧をDC/DC変換器120の一次側定格電圧に制御することで、DC/DC変換器120への入力電力を回復させる。

【0079】

なお、実施の形態2に示した図9の直流送電システムにおいても、高圧側直流電圧を送電電圧とみなせば、DC/DC変換器120の制御は基本的には上記の図4の場合の例と同様となる。そのため、詳細な説明は繰り返さない。

【0080】

以上のように、本実施の形態3においては、2つの自励式DC/DC変換器が直流連系された直流送電システムにおいて、停止中のDC/AC変換器が事故から復帰すると、送

10

20

30

40

50

電圧（第3電圧）を制御していた第2のDC/DC変換器は、送電電圧と補正した高圧側直流電圧指令値との差分および出力電流の低下に基づいて当該DC/AC変換器が復帰したと判断し、自律的に送電電圧制御から集電電圧制御に切換えられる。さらに発電電圧を制御していた第1のDC/DC変換器は、第2のDC/DC変換器が集電電圧の制御に切換えられることによって集電電圧が第2のDC/DC変換器の一次側定格電圧（第1のDC/DC変換器の二次側定格電圧と同等）以下になると、自律的に風車の発電電圧（第1電圧）を第1のDC/DC変換器の一次側定格電圧に戻すことによって、第1のDC/DC変換器へ入力される電力を増加させる。これにより、AC/DC変換器が事故から復帰した場合にも、直流系統電圧を高速に安定化できるので、風力発電設備で発電された電力の直流配電系統への送電を継続することができる。

10

【0081】

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請求の範囲によって示され、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。

【符号の説明】

【0082】

10 風力発電設備、12 発電機、14 風車、20 直流配電系統、30 交流配電系統、40、TR1 トランス、50 交流機器、100、100#、500 直流送電システム、110、510 AC/DC変換器、120、130、520 DC/DC変換器、140、530 DC/AC変換器、112 ダイオードブリッジ、114 電流制限装置、122、124 インバータ回路、150、540 送電線、200、210、220 電流センサ、230、240 電圧センサ、550、1000 制御装置、1100 記憶部、1200、1200A、1200B 直流電圧制御部、1210、1210A 切換部、1220、1220A 直流電圧指令値調整部、1230 直流電圧変動検出部、1232、1234 比較器、1236 OR回路、1238 フリップフロップ、1290 高圧側直流電圧偏差補正部、1300 電圧指令分配部、C0~C2 平滑用コンデンサ、D1~D8 ダイオード、NL0~NL2、PL0~PL2 電力線、Q1~Q8 半導体スイッチング素子。

20

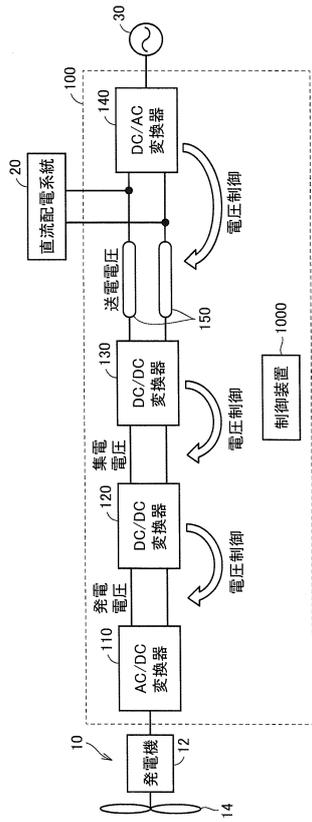
【要約】

直流送電システム（100#）は、発電機（12）で発電された交流電力を直流電力を用いて交流配電系統（30）および直流配電系統（20）に送電する。直流送電システムは、AC/DC変換器（110）と、DC/DC変換器（120）と、DC/AC変換器（140）とを備える。AC/DC変換器は、発電機からの交流電力を直流電力に変換する。DC/DC変換器は、AC/DC変換器で変換された直流電力の第1電圧を第2電圧に昇圧する。DC/AC変換器は、DC/DC変換器で変換された直流電力を交流電力に変換して交流配電系統へ出力する。DC/DC変換器は、第2電圧が変動した場合に、第2電圧の変動に応答して第1電圧を制御する。

30

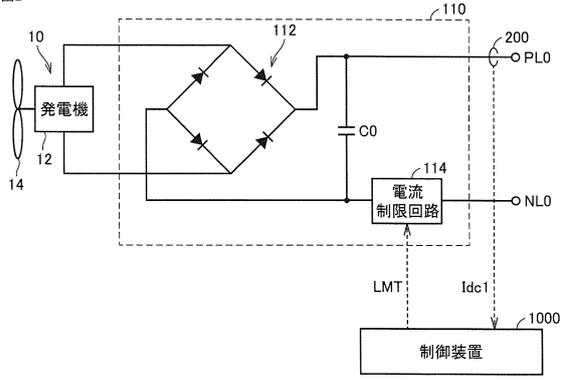
【図1】

図1



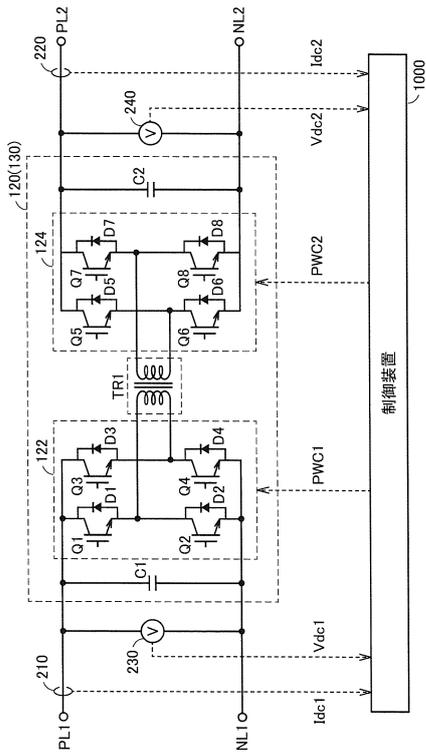
【図2】

図2



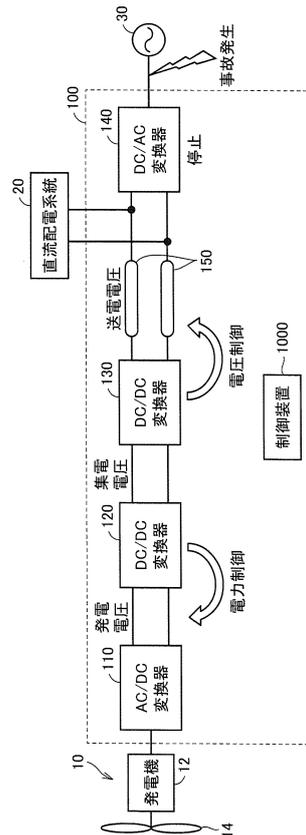
【図3】

図3



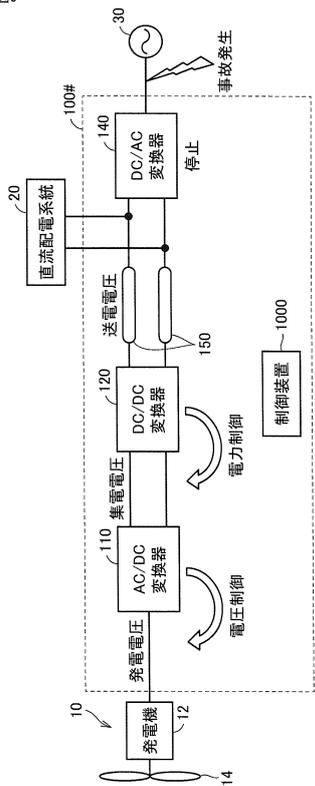
【図4】

図4



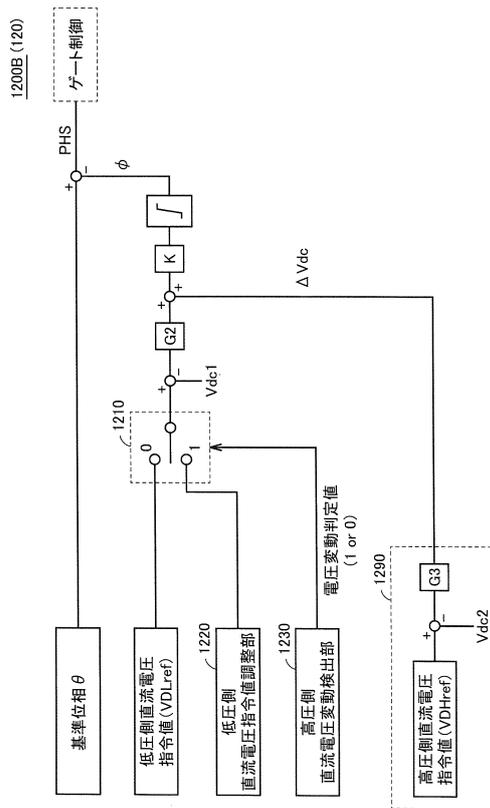
【 図 9 】

図 9



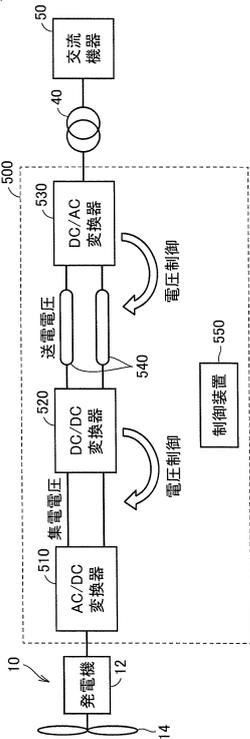
【 図 10 】

図 10



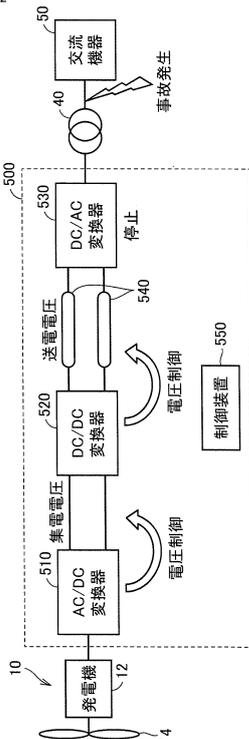
【 図 11 】

図 11



【 図 12 】

図 12



フロントページの続き

- (56)参考文献 特開2015-6066(JP,A)
特開2015-27196(JP,A)
特開2017-11911(JP,A)
特開2012-65511(JP,A)

- (58)調査した分野(Int.Cl., DB名)
H02J 1/00
H02J 3/38