

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第5719827号  
(P5719827)

(45) 発行日 平成27年5月20日(2015.5.20)

(24) 登録日 平成27年3月27日(2015.3.27)

(51) Int.Cl.

H02M 7/12

(2006.01)

F I

H02M 7/12

H

請求項の数 6 (全 24 頁)

(21) 出願番号	特願2012-278821 (P2012-278821)	(73) 特許権者	000005108
(22) 出願日	平成24年12月21日(2012.12.21)		株式会社日立製作所
(62) 分割の表示	特願2009-83978 (P2009-83978) の分割		東京都千代田区丸の内一丁目6番6号
原出願日	平成21年3月31日(2009.3.31)	(74) 代理人	100100310
(65) 公開番号	特開2013-55885 (P2013-55885A)		弁理士 井上 学
(43) 公開日	平成25年3月21日(2013.3.21)	(74) 代理人	100098660
審査請求日	平成24年12月21日(2012.12.21)		弁理士 戸田 裕二
		(72) 発明者	鳴島 じゅん
			茨城県日立市大みか町七丁目1番1号
			株式会社 日立製作
			所 日立研究所内
		(72) 発明者	加藤 修治
			茨城県日立市大みか町七丁目1番1号
			株式会社 日立製作
			所 日立研究所内
			最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 電力変換装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

複数の単位変換器を直列接続した直列回路を複数有し、前記複数の直列回路は一方側の直流端子と他方側の直流端子の間に並列に接続され、前記複数の直列回路の各々は交流端子を有するものであって、

前記単位変換器は、コンデンサと、ハイサイド・スイッチング素子とローサイド・スイッチング素子を有し、前記ハイサイド・スイッチング素子と前記ローサイド・スイッチング素子を直列に接続し、前記直列に接続した前記ハイサイド・スイッチング素子と前記ローサイド・スイッチング素子と並列に前記コンデンサを接続するものであり、前記ハイサイド・スイッチング素子と前記ローサイド・スイッチング素子の各々は逆接続ダイオードを含んでおり、前記ハイサイド・スイッチング素子と前記ローサイド・スイッチング素子が共にOFFのときに所定条件下で前記コンデンサが端子に接続されるものであり、前記ハイサイド・スイッチング素子と前記ローサイド・スイッチング素子により前記コンデンサの電圧を前記端子に出力する動作と前記端子から前記コンデンサに蓄電する動作を行うことで電力変換するものであって、

前記交流端子に係る交流事故では、前記ハイサイド・スイッチング素子と前記ローサイド・スイッチング素子のいずれをもOFFとし、前記直流端子に係る直流事故では、前記ハイサイド・スイッチング素子と前記ローサイド・スイッチング素子の一方であって前記端子間を導通するスイッチング素子をONとし他方をOFFとする機能を備えたことを特徴とする電力変換装置。

## 【請求項 2】

請求項 1 の電力変換装置において、交流端子に係る短絡と直流端子の区間の短絡をそれぞれ区別して検出することを特徴とする電力変換装置。

## 【請求項 3】

請求項 2 の電力変換装置において、電力変換装置の直流端子の区間に電流検出器を有し、該直流端子の区間の短絡を、該電流検出器によって検出された電流値が設定された閾値を超過したことにより判定する機能を備えたことを特徴とする電力変換装置。

## 【請求項 4】

請求項 1 乃至 3 のいずれかに記載の電力変換装置において、該電力変換装置の交流端子に係る短絡と直流端子の区間の短絡をそれぞれ区別して検出する機能を持ち、且つ、該電力変換装置の変換器アームの電流状態を検出する電流検出器を備え、該直流端子の区間の短絡を、該各変換器アームの電流の三相和が、設定された閾値を超過したことにより判定することを特徴とする電力変換装置。

10

## 【請求項 5】

請求項 1 乃至 4 のいずれかに記載の電力変換装置において、該電力変換装置の交流端子に係る短絡を変圧器一次側または二次側に設置された電流検出器によって検出された電流が、設定された閾値を超過したことにより判定することを特徴とする電力変換装置。

## 【請求項 6】

請求項 1 乃至 5 のいずれかに記載された電力変換装置において、該電力変換装置の交流端子に係る短絡を、該電力変換装置の正側変換器グループの変換器アームに設置された電流検出器と、該電力変換装置の負側変換器グループの変換器アームに設置された電流検出器によって検出された電流の差電流値が、設定された閾値を超過したことにより判定することを特徴とする電力変換装置。

20

## 【発明の詳細な説明】

## 【技術分野】

## 【0001】

本発明は電力変換装置、およびその電力変換装置を用いる直流送電システムに関する。

## 【背景技術】

## 【0002】

非特許文献 1 は、図 8 に示す直流送電システムの 1 ラインで模式図を開示している。

30

## 【0003】

図 8 の直流送電システムは、三相交流電力系統 100、170 と、直流送電システム 800 を交流系統 100、170 と切り離すために設置される遮断器 124、交流電圧を変圧する変換用変圧器 805、複数の半導体スイッチングデバイスを用いた三相フルブリッジ電力変換装置 801、前記三相フルブリッジ電力変換装置 801 と並列に接続されるコンデンサ 802、803 を有し、コンデンサ 802、803 が接続される中性点 806 はアースされている。そして、直流送電ケーブル 807 と、前記電力変換装置 801 と前記直流送電ケーブル 807 と直列に接続される直流リアクトル 804 を備えている。

## 【0004】

そして、通常、直流送電システムは、一方の三相交流電力系統から他方の三相交流電力系統へ送電をしている。

40

## 【先行技術文献】

## 【非特許文献】

## 【0005】

【非特許文献 1】L Ronstrom・M L Hoffstein・R Pajo・M Lahtinen 著：「The Estlink H VDC Light Transmission System」, SECURITY AND RELIABILITY OF ELECTRIC POWER SYSTEMS, CIGRE Regional Meeting, June 18-20, 2007, Tallinn, Estonia, 21, rue d'Artois, F-75008 PARIS

## 【発明の概要】

## 【発明が解決しようとする課題】

50

## 【 0 0 0 6 】

図 8 に示す直流送電システムにおいて、直流送電システム 8 0 0 を構成する両側の三相フルブリッジ電力変換装置 8 0 1 の各直流出力端子間を結ぶ直流区間（以後直流ラインと称す）での短絡、例えば、直流リアクトル 8 0 4 と直流送電ケーブル 8 0 7 の接続点 9 0 1 が短絡した場合について、図 9 を用いて説明する。

## 【 0 0 0 7 】

接続点 9 0 1 が短絡すると、直流コンデンサ 8 0 2 , 8 0 3 の電荷が放電されてしまうほか、直流送電ケーブル 8 0 7 に過渡的に過大の電流が流れ、直流送電ケーブル 8 0 7 が焼損する可能性がある。放電経路は、コンデンサ 8 0 2 - 直流リアクトル 8 0 4 - 接続点 9 0 1 - 直流リアクトル 8 0 4 - コンデンサ 8 0 3 の経路および、コンデンサ 8 0 2 - 直流リアクトル 8 0 4 - 直流送電ケーブル 8 0 7 - 接続点 9 0 1 - 直流送電ケーブル 8 0 7 - 直流リアクトル 8 0 4 - コンデンサ 8 0 3 である。

10

## 【 0 0 0 8 】

放電電流は、直流リアクトル 8 0 4 により抑制されるが、抑制効果を高めようとする、直流リアクトルのインダクタンスを大きくする必要があり、寸法・重量が大きくなる。

## 【 0 0 0 9 】

本発明は、交流電力をいったん直流電力に変換し、一方の交流系統から他方の交流系統へ送電する直流送電システムにおいて、直流コンデンサ（エネルギー蓄積素子）から直流ラインへの放電する際の過電流を防止する機能を備えた電力変換装置、および直流送電システムを提供するものである。

20

## 【課題を解決するための手段】

## 【 0 0 1 0 】

上記課題を達成するために、本発明では、複数の単位変換器を直列接続した回路を複数有し、前記単位変換器は、コンデンサと、複数のスイッチング素子を有し、前記複数のスイッチング素子により前記コンデンサの電圧を端子に出力する動作と前記端子から前記コンデンサに蓄電する動作を行うことで電力変換するものであって、異常が発生した場合に、前記コンデンサの電圧が前記端子に出力しないように前記単位変換器のスイッチング素子の少なくとも一部を OFF とする機能を備えるように構成した。

## 【発明の効果】

## 【 0 0 2 4 】

本発明の電力変換装置、および直流送電システムによれば、直流ラインが短絡した時に、電力変換装置のエネルギー蓄積素子の電荷を放電せず、直流送電ケーブルに過大な電流は流れない。

30

## 【図面の簡単な説明】

## 【 0 0 2 5 】

【図 1】本発明の第 1 の実施形態を示す回路図。

【図 2】本発明の第 1 の実施形態における変圧器。

【図 3】単位チョッパセル。

【図 4】本発明の第 2 の実施形態を示す回路図。

【図 5】単位フルブリッジセル。

40

【図 6】本発明の第 3 の実施形態を示す回路図。

【図 7】本発明の第 4 の実施形態を示す回路図。

【図 8】非特許文献 1 に示される直流送電システムの概略図。

【図 9】非特許文献 1 に示される直流送電システムで地絡が起きたときの回路図。

【図 10】本発明の実施例の冷却構成図。

【図 11】本発明の冷却構成の熱回路を示した等価的な電気回路。

## 【発明を実施するための形態】

## 【 0 0 2 6 】

以下、本発明の実施例を図面を用いて説明する。

## 【実施例 1】

50

## 【 0 0 2 7 】

本発明を実施する第 1 の形態について説明する。

## 【 0 0 2 8 】

図 1 は、本発明の電力変換装置を用いた直流送電システムの回路図である。

## 【 0 0 2 9 】

まず、本発明の直流送電システムの構成について説明する。該直流送電システムは、三相交流電力系統 1 0 0 および 1 7 0 と、該三相交流電力系統 1 0 0 , 1 7 0 それぞれに連系している各 2 台の電力変換装置 1 0 1 と該三相交流電力系統 1 0 0 , 1 7 0 それぞれに連系している各 2 台の電力変換装置 1 0 1 の 2 つの直流出力端子の片方には直流送電ケーブル 1 5 0 が接続され、他方の直流出力端子はそれぞれ接地している。

10

## 【 0 0 3 0 】

本発明の直流送電システムは該三相交流電力系統 1 0 1 および 1 7 0 からの交流電力を各三相交流電力系統に連系している各 2 台の電力変換装置 1 0 1 により直流電力に変換し、直流送電ケーブル 1 5 0 によって一方向または双方向に電力を送電する。

## 【 0 0 3 1 】

次に、電力変換装置 1 0 1 の構成について説明する。該電力変換装置 1 0 1 は、変圧器 1 0 5 と正側変換器グループ 1 1 2 , 負側変換器グループ 1 1 6 とから構成される。

## 【 0 0 3 2 】

本明細書では、三相交流電力系統 1 0 0 の各相を R 相 , S 相 , T 相と呼ぶことにする。さらに、三相交流電力系統 1 0 0 の各相に流れる電流を系統電流と呼び、 $I_R$  ,  $I_S$  ,  $I_T$  と表記することにする。

20

## 【 0 0 3 3 】

次に、図 1 と図 2 を用いて、変圧器 1 0 5 の構成について説明する。

## 【 0 0 3 4 】

該変圧器 1 0 5 は、R 相端子 1 0 2 , S 相端子 1 0 3 , T 相端子 1 0 4 , u 相正側端子 1 0 6 , v 相正側端子 1 0 7 , w 相正側端子 1 0 8 , u 相負側端子 1 0 9 , v 相負側端子 1 1 0 , w 相負側端子 1 1 1、の合計 9 端子を備えている。

## 【 0 0 3 5 】

図 2 は、変圧器 1 0 5 の各巻線が各鉄心に生じる起磁力の極性と、各巻線の結線を示す。変圧器 1 0 5 は、鉄心 1 3 1 ~ 1 3 3 を有しており、これらの鉄心は三脚鉄心を構成する。一次巻線 2 0 1 はデルタ結線されており、R 相 - S 相間 , S 相 - T 相間 , T 相 - R 相間の各巻線 2 0 2 ~ 2 0 4 はそれぞれ鉄心 1 3 1 ~ 1 3 3 に巻回されている。巻線 2 0 2 ~ 2 0 4 の巻数は大略等しい。

30

## 【 0 0 3 6 】

u 相正側巻線 1 3 4 と u 相負側巻線 1 3 7 は電氣的に直列接続されている。u 相正側巻線 1 3 4 は鉄心 1 3 1 に巻回されており、u 相負側巻線 1 3 7 は鉄心 1 3 3 に巻回されている。なお、u 相正側巻線 1 3 4 が鉄心 1 3 1 に生じる起磁力と、u 相負側巻線 1 3 7 が鉄心 1 3 3 に生じる起磁力とが、大略同じ大きさで逆極性となるように結線されている。

## 【 0 0 3 7 】

v 相正側巻線 1 3 5 と v 相負側巻線 1 3 8 は電氣的に直列接続されている。v 相正側巻線 1 3 5 は鉄心 1 3 2 に巻回されており、v 相負側巻線 1 3 8 は鉄心 1 3 1 に巻回されている。なお、v 相正側巻線 1 3 5 が鉄心 1 3 2 に生じる起磁力と、v 相負側巻線 1 3 8 が鉄心 1 3 1 に生じる起磁力とが、大略同じ大きさで逆極性となるように結線されている。

40

## 【 0 0 3 8 】

w 相正側巻線 1 3 6 と w 相負側巻線 1 3 9 は電氣的に直列接続されている。w 相正側巻線 1 3 6 は鉄心 1 3 3 に巻回されており、w 相負側巻線 1 3 9 は鉄心 1 3 2 に巻回されている。なお、w 相正側巻線 1 3 6 が鉄心 1 3 3 に生じる起磁力と、w 相負側巻線 1 3 9 が鉄心 1 3 2 に生じる起磁力とが、大略同じ大きさで逆極性となるように結線されている。

## 【 0 0 3 9 】

本明細書では、u 相正側巻線 1 3 4 と u 相負側巻線 1 3 7 を総称して u 相巻線と呼ぶこ

50

とにする。また、 $v$ 相正側巻線 1 3 5 と  $v$ 相負側巻線 1 3 8 を総称して  $v$ 相巻線と呼ぶことにする。同様に、 $w$ 相正側巻線 1 3 6 と  $w$ 相負側巻線 1 3 9 を総称して  $w$ 相巻線と呼ぶことにする。

【0040】

本明細書では、 $u$ 相正側巻線 1 3 4 の両端電圧を  $V_{uH}$ 、 $v$ 相正側巻線 1 3 5 の両端電圧を  $V_{vH}$ 、 $w$ 相正側巻線 1 3 6 の両端電圧を  $V_{wH}$ 、 $u$ 相負側巻線 1 3 7 の両端電圧を  $V_{uL}$ 、 $v$ 相負側巻線 1 3 8 の両端電圧を  $V_{vL}$ 、 $w$ 相負側巻線 1 3 9 の両端電圧を  $V_{wL}$  と表記することにする。

【0041】

また、 $V_{uH}$  と  $V_{uL}$  の和を  $u$ 相電圧  $V_u$ 、 $V_{vH}$  と  $V_{vL}$  の和を  $v$ 相電圧  $V_v$ 、 $V_{wH}$  と  $V_{wL}$  の和を  $w$ 相電圧  $V_w$  と呼ぶことにする。

10

【0042】

また、電力変換装置 101 の正側直流出力端子 121 と負側直流出力端子 122 の間に印加される電圧を  $V_D$ 、正側直流出力端子 121 に流れる電流を  $I_D$  と表記することにする。

【0043】

次に、正側変換器グループ 112 と負側変換器グループ 116 の構成について説明する。

【0044】

該正側変換器グループ 112 は、 $u$ 相正側変換器アーム 113、 $v$ 相正側変換器アーム 114、 $w$ 相正側変換器アーム 115 とからなる。また、該負側変換器グループ 116 は、 $u$ 相負側変換器アーム 117、 $v$ 相負側変換器アーム 118、 $w$ 相負側変換器アーム 119 からなる。

20

【0045】

各変換器アーム 113 ~ 115、117 ~ 119 は、 $a$ 端子と  $b$ 端子とを備えている。本明細書では、 $b$ 端子を基準とした  $a$ 端子までの電圧をアーム電圧と呼ぶことにする。また、各変換器アーム 113 ~ 115、117 ~ 119 は、図 3 に示す単位チョップセルを 1 台または複数台カスケード接続した回路である。

【0046】

$u$ 相正側変換器アーム 113 の  $a$ 端子を正側出力端子 121 に接続し、 $b$ 端子を変圧器 105 の  $u$ 相正側端子 106 に接続する。また、本明細書では  $u$ 相正側変換器アーム 113 のアーム電圧を  $V_{armuH}$  と表記することにする。

30

【0047】

$v$ 相正側変換器アーム 114 の  $a$ 端子を正側出力端子 121 に接続し、 $b$ 端子を変圧器 105 の  $v$ 相正側端子 107 に接続する。また、本明細書では  $v$ 相正側変換器アーム 114 のアーム電圧を  $V_{armvH}$  と表記することにする。

【0048】

$w$ 相正側変換器アーム 115 の  $a$ 端子を正側出力端子 121 に接続し、 $b$ 端子を変圧器 105 の  $w$ 相正側端子 108 に接続する。また、本明細書では  $w$ 相正側変換器アーム 115 のアーム電圧を  $V_{armwH}$  と表記することにする。

40

【0049】

$u$ 相負側変換器アーム 117 の  $a$ 端子を変圧器 105 の  $u$ 相負側端子 109 に接続し、 $b$ 端子を負側出力端子 122 に接続する。また、本明細書では  $u$ 相負側変換器アーム 117 のアーム電圧を  $V_{armuL}$  と表記することにする。

【0050】

$v$ 相負側変換器アーム 118 の  $a$ 端子を変圧器 105 の  $v$ 相負側端子 110 に接続し、 $b$ 端子を負側出力端子 122 に接続する。また、本明細書では  $v$ 相負側変換器アーム 118 のアーム電圧を  $V_{armvL}$  と表記することにする。

【0051】

$w$ 相負側変換器アーム 119 の  $a$ 端子を変圧器 105 の  $w$ 相負側端子 111 に接続し、

50

b 端子を負側出力端子 1 2 2 に接続する。また、本明細書では w 相負側変換器アーム 1 1 9 のアーム電圧を  $V_{armwL}$  と表記することにする。

【0052】

実施例 1 では、 $V_{armuH}$  と  $V_{armuL}$  の和を u 相アーム電圧  $V_{armu}$  と表記することにする。また、 $V_{armvH}$  と  $V_{armvL}$  の和を v 相アーム電圧  $V_{armv}$  と表記することにする。同様に、 $V_{armwH}$  と  $V_{armwL}$  の和を w 相アーム電圧  $V_{armw}$  と表記することにする。

【0053】

また、実施例 1 では、u 相正側変換器アーム 1 1 3 と u 相負側変換器アーム 1 1 7 を流れる電流を u 相アーム電流  $I_u$ 、v 相正側変換器アーム 1 1 4 と v 相負側変換器アーム 1 1 8 を流れる電流を v 相アーム電流  $I_v$ 、w 相正側変換器アーム 1 1 5 と w 相負側変換器アーム 1 1 9 を流れる電流を w 相アーム電流  $I_w$  と表記することにする。

【0054】

次に、図 3 を用いて、単位チョッパセル 1 2 0 の構成について説明する。

【0055】

図 3 に示す単位チョッパセルは、ハイサイド・スイッチング素子 3 0 3、ローサイド・スイッチング素子 3 0 4、エネルギー蓄積素子 3 0 5 で構成されている。スイッチング素子 3 0 3、3 0 4 は、IGBT に代表される半導体スイッチング素子である。また、エネルギー蓄積素子 3 0 5 は、コンデンサや蓄電池などである。本明細書では、y 端子 3 0 2 を基準とした x 端子 3 0 1 までの電圧を、単位チョッパセルのセル電圧  $V_{cell}$  と表記することにする。

【0056】

次に、電力変換装置 1 0 1 の動作を、以下の 2 ケースについて説明する。

(1) 三相交流電力系統 1 0 0 から有効電力を受電し、直流送電ケーブル 1 5 0 に直流電力を供給する場合

(2) 直流送電ケーブル 1 5 0 から直流電力を受電し、三相交流電力系統 1 0 0 に有効電力を供給する場合

【0057】

以下、電力変換装置 1 0 1 が三相交流電力系統 1 0 0 から有効電力を受電し、直流送電ケーブル 1 5 0 に直流電力を供給する場合の動作について説明する。

【0058】

本明細書では、三相交流電力系統 1 0 0 の線間電圧  $V_{RS}$ 、 $V_{ST}$ 、 $V_{TR}$  を変圧器二次側に換算した電圧を  $aV_{RS}$ 、 $aV_{ST}$ 、 $aV_{TR}$  と表記することにする。ここで、 $a$  は変圧器一次巻線に対する二次巻線の巻数比である。

【0059】

ここで、変圧器の二次巻線の電圧  $V_u$ 、 $V_v$ 、 $V_w$  と、アーム電圧  $V_{armu}$ 、 $V_{armv}$ 、 $V_{armw}$  と、正側直流出力端子 1 2 1 と負側直流出力端子 1 2 2 の間に印加される電圧  $V_D$  の関係を説明する。

【0060】

$V_u$ 、 $V_{armu}$ 、 $V_D$  の関係は、次式で表わされる。

【0061】

〔数 1〕

$$V_u = V_D - V_{armu}$$

$V_v$ 、 $V_{armv}$ 、 $V_D$  の関係は、次式で表わされる。

【0062】

〔数 2〕

$$V_v = V_D - V_{armv}$$

$V_w$ 、 $V_{armw}$ 、 $V_D$  の関係は、次式で表わされる。

【0063】

〔数 3〕

$$V_w = V_D - V_{armw}$$

【0064】

以上、数1～3より、u相アーム電圧 $V_{armu}$ 、v相アーム電圧 $V_{armv}$ 、w相アーム電圧 $V_{armw}$ を制御することによって、変圧器の二次巻線の電圧 $V_u$ 、 $V_v$ 、 $V_w$ を制御できる。

【0065】

$V_u$ 、 $V_v$ 、 $V_w$ の周波数と振幅を、 $aVRS$ 、 $aVST$ 、 $aVTR$ の周波数と振幅に一致させつつ、 $V_u$ 、 $V_v$ 、 $V_w$ の位相のみを $aVRS$ 、 $aVST$ 、 $aVTR$ の位相よりもわずかに遅らせると、三相交流電力系統100から電力変換装置101に有効電力を流入させることができる。

10

【0066】

次に、アーム電圧は単位チョッパセル120を構成する半導体スイッチング素子のスイッチング状態によって制御できることについて述べる。

【0067】

ハイサイド・スイッチング素子303がオン、ローサイド・スイッチング素子304がオフの場合、電流 $I_{cell}$ に依存することなく、セル電圧 $V_{cell}$ は直流コンデンサ305の電圧 $V_C$ に大略等しい。

【0068】

ハイサイド・スイッチング素子303がオフ、ローサイド・スイッチング素子304がオンの場合、電流 $I_{cell}$ に依存することなく、セル電圧 $V_{cell}$ はほぼ零である。

20

【0069】

ハイサイド・スイッチング素子303、ローサイド・スイッチング素子304が共にオフの場合、セル電圧 $V_{cell}$ は電流 $I_{cell}$ の極性に依存して決まる。 $I_{cell}$ が正である場合、セル電圧 $V_{cell}$ はエネルギー蓄積素子305の電圧 $V_C$ に大略等しい。 $I_{cell}$ が負である場合、セル電圧 $V_{cell}$ は零に大略等しい。

【0070】

次に、直流送電ケーブル150に電力を供給する方法について説明する。

【0071】

直流送電ケーブル150を流れる電流 $I_D$ は、アーム電流 $I_u$ 、 $I_v$ 、 $I_w$ の和( $I_u + I_v + I_w$ )である。アーム電圧 $V_{armu}$ 、 $V_{armv}$ 、 $V_{armw}$ が零相成分を含まない場合、アーム電流 $I_u$ 、 $I_v$ 、 $I_w$ も零相成分を含まない。アーム電流 $I_u$ 、 $I_v$ 、 $I_w$ が零相成分を含まない場合には、 $I_u + I_v + I_w = I_D = 0$ となり、直流送電ケーブル150に電力を伝送できない。

30

【0072】

この場合、三相交流電力系統100から電力変換装置101に流入した有効電力は、各単位変換器120の内部のエネルギー蓄積素子(電解コンデンサなど)に蓄積される。

【0073】

直流送電ケーブルに電力を供給するためには、アーム電圧 $V_{armu}$ 、 $V_{armv}$ 、 $V_{armw}$ の零相成分を調節し、アーム電流 $I_u$ 、 $I_v$ 、 $I_w$ の零相成分を制御する。キルヒホッフの電流則から、 $I_D = I_u + I_v + I_w$ となるため、 $I_u$ 、 $I_v$ 、 $I_w$ の零相成分を調節することにより、電流 $I_D$ を供給できる。

40

【0074】

なお、三相交流電力系統100から電力変換装置101に流入する有効電力と、直流送電ケーブル150に送電する有効電力が等しい場合、各単位チョッパセル120に流入するエネルギーは、三相交流電力系統の1周期平均でほぼ零となる。

【0075】

また、電流 $I_D$ として、直流電流、交流電流または両者の重畳した電流を流すこともできる。

【0076】

以下、電力変換装置101が直流送電ケーブル150から有効電力を受電し、三相交流

50

電力系統 100 に有効電力を供給する場合の動作について説明する。

【0077】

$V_u, V_v, V_w$  の周波数と振幅を、 $aVRS, aVST, aVTR$  の周波数と振幅に一致させつつ、 $V_u, V_v, V_w$  の位相のみを  $aVRS, aVST, aVTR$  の位相よりもわずかに進めると、電力変換装置 101 から三相交流電力系統 100 に有効電力を供給できる。

【0078】

次に、直流送電ケーブル 150 から電力を受電する方法について説明する。

【0079】

直流送電ケーブルから流れる電流  $I_D$  は、アーム電流  $I_u, I_v, I_w$  の和 ( $I_u + I_v + I_w$ ) である。アーム電圧  $V_{armu}, V_{armv}, V_{armw}$  が零相成分を含まない場合、アーム電流  $I_u, I_v, I_w$  も零相成分を含まない。アーム電流  $I_u, I_v, I_w$  が零相成分を含まない場合には、 $I_u + I_v + I_w = I_D = 0$  となり、直流送電ケーブル 150 から電力が供給できない。

【0080】

この場合、電力変換装置 101 から三相交流電力系統 100 に流出する有効電力は、各単位チョッパセル 120 の内部のエネルギー蓄積素子（電解コンデンサなど）から供給される。

【0081】

直流送電ケーブル 124 から電力変換装置 100 に電力を流入させるために、アーム電圧  $V_{armu}, V_{armv}, V_{armw}$  の零相成分を調節し、アーム電流  $I_u, I_v, I_w$  の零相成分を制御する。キルヒホッフの電流則から、 $I_D = I_u + I_v + I_w$  となるため、 $I_u, I_v, I_w$  の零相成分を調節することにより、電流  $I_D$  を供給できる。

【0082】

なお、電力変換装置 101 から三相交流電力系統 100 に流出する有効電力と、直流送電ケーブル 150 から電力変換装置に流入する有効電力が等しい場合、各単位チョッパセル 120 に流入するエネルギーは、三相交流電力系統の 1 周期平均でほぼ零となる。

【0083】

本明細書では、直流送電ケーブル 150 を含む、三相交流電力系統 100 および 170 に連系している各 2 台の電力変換装置 101 の正側直流出力端子 121、負側直流出力端子 122 との間を直流ラインと呼ぶこととする。

【0084】

また、本明細書では、各相の交流出力端子 102 ~ 104 を含む変圧器 105 と三相交流電力系統 100、170 との間を交流ラインと称す。

【0085】

次に交流ラインが短絡した場合と直流ラインが短絡した場合では、電力変換装置 101 の動作が異なることを説明する。

【0086】

交流ラインが短絡した時に、電力変換装置 101 が交流ラインに電圧を出力していると短絡電流が流れる。前記短絡電流を防止するため、一般の電力変換装置と同様に各単位チョッパセル 120 を構成するハイサイド・スイッチング素子 303、ローサイド・スイッチング素子 304 をともにオフ状態にして、交流ラインに過電流が流れるのを防ぐ。

【0087】

直流ラインが短絡すると、各単位チョッパセル 120 の内部のエネルギー蓄積素子 305 に蓄えられた電荷が、直流ラインに放電され、電流  $I_D$  が過電流となる。前記過電流を防止するため、各単位チョッパセルのハイサイド・スイッチング素子 303 をオフ、ローサイド・スイッチング素子 304 をオン状態にする。ハイサイド・スイッチング素子 303 には逆並列にダイオードが接続されており、ダイオードは電流の逆阻止特性をもつため、エネルギー蓄積素子 305 の直流電圧は直流ラインと電氣的に絶縁されており、直流送電ケーブル 150 への過電流を抑制することができる。

10

20

30

40

50

## 【 0 0 8 8 】

前述のように、次に交流ラインが短絡した場合と直流ラインが短絡した場合では、電力変換装置 1 0 1 の保護動作はそれぞれ異なるため、直流ラインと交流ラインの短絡を区別する必要がある。

## 【 0 0 8 9 】

交流ラインが短絡した場合は変圧器 1 0 5 の一次巻線または二次巻線側に設置された電流センサによって検出した電流は増大する。したがって、変圧器 1 0 5 の一次巻線または二次巻線側に設置された電流センサによって検出した電流が設定した閾値を超過した場合、交流故障と判定する。

## 【 0 0 9 0 】

また電流センサを正側変換器グループ 1 1 2 および負側変換器グループ 1 1 6 の各相に設置し、前記正側変換器グループ 1 1 2 に設置した電流センサで検出した電流値と前記負側変換器グループ 1 1 6 に設置した電流センサで検出した電流値との差が、設定した閾値を超過した場合、交流故障と判定してもよい。

## 【 0 0 9 1 】

直流ラインの短絡した場合は、直流ラインに設置された電流センサ 1 2 3 によって検出された電流が、設定した閾値を超過した場合、直流故障と判定する。

## 【 0 0 9 2 】

また電流センサを各相の変換器アームの a 端子または b 端子に設置し、各変換器アームに流れる電流の三相和が、設定した閾値を超過した場合、直流故障と判定してもよい。

## 【 0 0 9 3 】

交流ラインまたは直流ラインの故障と判定した場合、遮断器 1 2 4 によって、短時間（通常、数十ミリ秒から数百ミリ秒後）で、交流系統 1 0 0 または 1 7 0 と電力変換装置 1 0 1 を切り離す。

## 【 0 0 9 4 】

直流ラインが短絡した場合、交流系統 1 0 0 または 1 7 0 と電力変換装置 1 0 1 を遮断器 1 2 4 によって切り離すまでの短時間の間、交流系統 1 0 0 または 1 7 0 から変圧器 1 0 5 の漏れインピーダンスに応じて短絡電流  $I_{sh}$  が流れる。三相交流電力系統 1 0 0 または 1 7 0 の電圧を  $V_s$ 、変圧器 1 0 5 の漏れインピーダンスを  $Z_{tr}$  とすると短絡電流  $I_{sh}$  は次式で表される。

## 【 0 0 9 5 】

〔数 4〕

$$I_{sh} = V_s / Z_{tr}$$

## 【 0 0 9 6 】

単位チョップセル 1 2 0 を構成する半導体スイッチング素子の飽和電流を  $I_{sa}$  とすると、 $I_{sa} > I_{sh}$  となるように変圧器 1 0 5 の漏れインピーダンス  $Z_{tr}$  を調整することで、半導体スイッチング素子を保護することができる。

## 【 0 0 9 7 】

また、遮断器 1 2 4 によって、三相交流電力系統 1 0 0 または 1 7 0 と電力変換装置 1 0 1 を切り離すまでの間に（通常、数十ミリ秒から数百ミリ秒）、半導体スイッチング素子のジャンクション温度が設定値以上にならないように、半導体スイッチング素子の冷却系を構成することで半導体スイッチング素子を保護することができる。

## 【 0 0 9 8 】

次に、冷却系構成の例を図 1 0 を用いて説明する。

## 【 0 0 9 9 】

図 1 0 は、単位チョップセル 1 2 0 を構成するローサイド・スイッチング素子 3 0 4 の冷却構成の一例を示した図である。

## 【 0 1 0 0 】

ローサイド・スイッチング素子 3 0 4 は、IGBT 1 0 0 0 と Diode 1 0 0 1 とで構成され、前記 IGBT 1 0 0 0 と前記 Diode 1 0 0 1 は一つの冷却フィン 1 0 0 2

10

20

30

40

50

に固定する。

【0101】

前記短絡電流  $I_{sh}$  が流れたときの前記 IGBT1000 と前記 Diode1001 から発生した熱  $P_{IGBT}$  と熱  $P_{Diode}$  は、冷却フィンから空気中へと放熱される。

【0102】

図11は、図10の冷却構成における熱回路を等価的な電気回路に置き換えて示した図である。

【0103】

前記 IGBT1000 の発生した熱  $P_{IGBT}$  は電流源1100、前記 Diode1001 の発生した熱  $P_{Diode}$  は電流源1110で表すことができる。

10

【0104】

また、前記 IGBT1000 のジャンクションと前記 IGBT1000 ケース間の熱抵抗  $R_{th(j-c)q}$  および熱容量  $C_{th(j-c)q}$  は、抵抗1101およびキャパシタ1102で表すことができる。

【0105】

また、前記 IGBT1000 のケースと冷却フィン1002の間の熱抵抗  $R_{th(c-f)q}$  および熱容量  $C_{th(c-f)q}$  は、抵抗1103およびキャパシタ1104で表すことができる。

【0106】

また、冷却フィン1002と空気との間の熱抵抗  $R_{th(f-a)q}$  および熱容量  $C_{th(f-a)q}$  は、抵抗1105およびキャパシタ1106で表すことができる。

20

【0107】

また、前記 Diode1001 のジャンクションと前記 Diode1001 ケース間の熱抵抗  $R_{th(j-c)d}$  および熱容量  $C_{th(j-c)d}$  は、抵抗1111およびキャパシタ1112で表すことができる。

【0108】

また、前記 Diode1001 のケースと冷却フィン1002の間の熱抵抗  $R_{th(c-f)d}$  および熱容量  $C_{th(c-f)d}$  は、抵抗1113およびキャパシタ1114で表すことができる。

【0109】

また空気の温度を一定と仮定すれば、前記空気の温度  $T_a$  を直流電圧源1107とおくことができる。

30

【0110】

また前記キャパシタ1102および1112の高電位側の電位が前記 IGBT および Diode のジャンクション温度に相当する。

【0111】

よって、前記空気の温度  $T_a$  を下げることで、前記短絡電流が流れた時の前記 IGBT および前記 Diode のジャンクション温度を設定値以下にすることができる。

【0112】

また、前記 IGBT1000 のジャンクションと前記 IGBT1000 ケース間の熱抵抗  $R_{th(j-c)q}$ 、または、前記 IGBT1000 のケースと冷却フィン1002の間の熱抵抗  $R_{th(c-f)q}$ 、または、冷却フィン1002と空気との間の熱抵抗  $R_{th(f-a)q}$  を小さくすることによって、前記短絡電流が流れた時の前記 IGBT のジャンクション温度を設定値以下にすることができる。

40

【0113】

また、前記 Diode1001 のジャンクションと前記 Diode1001 ケース間の熱抵抗  $R_{th(j-c)d}$ 、前記 Diode1001 のケースと冷却フィン1002の間の熱抵抗  $R_{th(c-f)d}$ 、および、冷却フィン1002と空気との間の熱抵抗  $R_{th(f-a)q}$  を小さくすることによって、前記短絡電流が流れた時の前記 Diode のジャンクション温度を設定値以下にすることができる。

50

## 【0114】

また、前記短絡電流は、遮断器124によって、三相交流電力系統100または170と電力変換装置101を切り離す時間（通常、数十ミリ秒から数百ミリ秒後）しか流れないため、前記IGBT1000のジャンクションと前記IGBT1000ケース間の熱容量 $C_{th}(j-c)q$ 、または、前記IGBT1000のケースと冷却フィン1002の間の熱容量 $C_{th}(c-f)q$ 、または、冷却フィン1002と空気との間の熱容量 $C_{th}(f-a)q$ を大きくすることによって、前記三相交流電力系統100または170と前記電力変換装置101を切り離すまでの間、前記IGBTのジャンクション温度を設定値以下にすることができる。

## 【0115】

10

また、前記Diode1001のジャンクションと前記Diode1001のケース間の熱容量 $C_{th}(j-c)d$ 、または、前記Diode1001のケースと冷却フィン1002の間の熱容量 $C_{th}(c-f)q$ 、または、冷却フィン1002と空気との間の熱容量 $C_{th}(f-a)q$ を大きくすることによって、前記三相交流電力系統100または170と前記電力変換装置101を切り離すまでの間、前記Diodeのジャンクション温度を設定値以下にすることができる。

## 【0116】

また、本実施例は、変圧器の一次巻線がデルタ結線としたが、スター結線など他の結線方式にも適用できる。

## 【0117】

20

また、本実施例では、直流送電システムの両側に各2台の電力変換装置を直列に接続し、その接続点を接地する中点接地2線直流送電方式としたが、直流送電システムの両側には1台の電力変換装置のみとした2線直流送電方式や、直流送電システムの両端に各2台の電力変換装置を直列に接続し、その各接続点を接地しかつケーブルで結ぶ中点接地3線直流送電方式など他の直流送電方式にも適用できる。

## 【0118】

また、本実施例では、直流送電システムを例に用いて説明したが、無効電力補償装置やモータドライブ用電力変換装置など一端を三相交流電力系統に接続し、交流電力を直流電力に変換する電力変換装置に対して適用できる。

## 【実施例2】

30

## 【0119】

本発明を実施する第2の形態について説明する。

## 【0120】

実施例1では変換器アームがチョッパセルで構成されていたが、実施例2では図5に示す単位フルブリッジで構成されているところが異なる。

## 【0121】

以下では、実施例2の構成において、実施例1の構成と異なる部分についてのみ説明する。

## 【0122】

40

図4は、本発明の第2の実施形態を表した回路図である。電力変換装置401は、三相交流端子102～104を介して三相交流電力系統100および170に連系し、三相交流電力系統100と有効・無効電力を授受する。該電力変換装置401は、変圧器105と正側変換器グループ112と負側変換器グループ116とからなる。

## 【0123】

次に、正側変換器グループ112と負側変換器グループ116の構成について説明する。

## 【0124】

該正側変換器グループ112は、u相正側変換器アーム113、v相正側変換器アーム114、w相正側変換器アーム115とからなる。また、該負側変換器グループ116は、u相負側変換器アーム117、v相負側変換器アーム118、w相負側変換器アーム1

50

19 からなる。

【0125】

また、各変換器アーム113～115, 117, 118は、図5に示す単位フルブリッジセル400を1台または複数台カスケード接続した回路である。

【0126】

単位フルブリッジセル400は、x端子500とy端子501を有する2端子回路であり、x相ハイサイド・スイッチング素子502, x相ローサイド・スイッチング素子503, y相ハイサイド・スイッチング素子504, y相ローサイド・スイッチング素子505, エネルギー蓄積素子506とからなる。スイッチング素子502～505は、IGBTに代表される半導体スイッチング素子である。また、エネルギー蓄積素子506は、コンデンサや蓄電池などである。本実施例でも、y端子を基準としたx端子までの電圧を、単位フルブリッジセルのセル電圧 $V_{cell}$ と呼ぶことにする。

10

【0127】

次に、アーム電圧は単位フルブリッジセル400を構成するスイッチング素子のスイッチング状態によって制御できることについて述べる。

【0128】

x相ハイサイド・スイッチング素子502とx相ローサイド・スイッチング素子503を交互にオン・オフする。また、y相ハイサイド・スイッチング素子504とy相ローサイド・スイッチング素子505を交互にオン・オフする。

【0129】

x相ハイサイド・スイッチング素子502がオン、x相ローサイド・スイッチング素子503がオフ、y相ハイサイド・スイッチング素子504がオフ、y相ローサイド・スイッチング素子505がオンの場合、電流 $I_{cell}$ に依存することなく、セル電圧 $V_{cell}$ はエネルギー蓄積素子506の電圧 $V_C$ と大略等しい。

20

【0130】

x相ハイサイド・スイッチング素子502がオン、x相ローサイド・スイッチング素子503がオフ、y相ハイサイド・スイッチング素子504がオン、y相ローサイド・スイッチング素子505がオフの場合、電流 $I_{cell}$ に依存することなく、セル電圧 $V_{cell}$ はほぼ零である。

【0131】

x相ハイサイド・スイッチング素子502がオフ、x相ローサイド・スイッチング素子503がオン、y相ハイサイド・スイッチング素子504がオフ、y相ローサイド・スイッチング素子505がオンの場合、電流 $I_{cell}$ に依存することなく、セル電圧 $V_{cell}$ はほぼ零である。

30

【0132】

x相ハイサイド・スイッチング素子502がオフ、x相ローサイド・スイッチング素子503がオン、y相ハイサイド・スイッチング素子504がオン、y相ローサイド・スイッチング素子505がオフの場合、電流 $I_{cell}$ に依存することなく、セル電圧 $V_{cell}$ はエネルギー蓄積素子506の電圧 $V_C$ の極性を反転させた電圧に大略等しい。

【0133】

x相ハイサイド・スイッチング素子502, x相ローサイド・スイッチング素子503, y相ハイサイド・スイッチング素子504, y相ローサイド・スイッチング素子505が全てオフの場合、セル電圧 $V_{cell}$ は電流 $I_{cell}$ の極性に依存して決まる。 $I_{cell}$ が正である場合、セル電圧 $V_{cell}$ はエネルギー蓄積素子506の電圧 $V_C$ に大略等しい。 $I_{cell}$ が負である場合、セル電圧 $V_{cell}$ はエネルギー蓄積素子506の電圧 $V_C$ の極性を反転させた電圧に大略等しい。

40

【0134】

次に、直流ラインが短絡した場合の電力変換装置401の動作について説明する。

【0135】

また、実施例1と同様に、交流ラインと直流ラインが短絡した場合の電力変換装置40

50

1の保護動作はそれぞれ異なるため、直流ラインと交流ラインの短絡を区別する必要がある。

【0136】

直流ラインが短絡すると、各単位チョッパセル400の内部のエネルギー蓄積素子506に蓄えられた電荷が、直流ラインに放電され、電流IDが増加する。前記電流IDを電流センサ123で検出し、設定した閾値を超過した場合、直流故障と判定し、各単位フルブリッジセル400のx相ハイサイド・スイッチング素子502およびy相ハイサイド・スイッチング素子504をオフ、x相ローサイド・スイッチング素子503およびy相ローサイド・スイッチング素子505をオン状態、またはx相ハイサイド・スイッチング素子502およびy相ハイサイド・スイッチング素子504をオン、x相ローサイド・スイッチング素子503およびy相ローサイド・スイッチング素子505をオフ状態にする。x相ハイサイド・スイッチング素子502、y相ハイサイド・スイッチング素子504、x相ローサイド・スイッチング素子503、y相ローサイド・スイッチング素子505にはそれぞれ逆並列にダイオードが接続されており、前記ダイオードは電流の逆阻止特性をもつ。したがって、エネルギー蓄積素子506は直流ラインと電氣的に絶縁され、直流送電ケーブル150への過電流を抑制することができる。

10

【0137】

また電流センサを各相の変換器アームのa端子またはb端子に設置し、各変換器アームに流れる電流の三相和が、設定した閾値を超過した場合、直流故障と判定してもよい。

【0138】

20

また、直流ラインの故障と判定した場合、遮断器124によって、短時間（通常、数十ミリ秒から数百ミリ秒後）で、三相交流電力系統100または170と電力変換装置401を切り離す。この三相交流電力系統100または170と電力変換装置401を切り離すまでの短時間の間、交流系統100または170から変圧器105の漏れインピーダンスに応じて短絡電流Ishが流れる。三相交流電力系統100または170の電圧をVs、変圧器105の漏れインピーダンスをZtrとすると短絡電流Ishは次式で表される。

【0139】

〔数4〕

$$I_{sh} = V_s / Z_{tr}$$

30

【0140】

単位フルブリッジセル400を構成する半導体スイッチング素子の飽和電流をIsaとすると、Isa > Ishとなるように変圧器105の漏れインピーダンスZtrを調整することで、半導体スイッチング素子を保護することができる。

【0141】

また、実施例1と同様に、遮断器124によって、三相交流電力系統100または170と電力変換装置401を切り離す時間（通常、数十ミリ秒から数百ミリ秒後）半導体スイッチング素子のジャンクション温度が設定値以上にならないように、半導体スイッチング素子の冷却系を構成することで半導体スイッチング素子を保護することができる。

【0142】

40

また、直流故障と判定した場合、電力変換装置401は、正側変換器グループ112と負側変換器グループ116の電圧和を、三相交流電力系統100または170の逆位相の電圧に大略等しくするで直流端子電圧をゼロにできる。したがって、直流出力端子に流れる電流IDを低減することができる。

【0143】

また、本実施例は、変圧器の一次巻線がデルタ結線としたが、スター結線など他の結線方式にも適用できる。

【0144】

また、本実施例では、直流送電システムの両側に各2台の電力変換装置を直列に接続し、その接続点を接地する中点接地2線直流送電方式としたが、直流送電システムの両側に

50

は 1 台の電力変換装置のみとした 2 線直流送電方式や、直流送電システムの両端に各 2 台の電力変換装置を直列に接続し、その各接続点を接地しかつケーブルで結ぶ中点接地 3 線直流送電方式など他の直流送電方式にも適用できる。

【 0 1 4 5 】

また、本実施例では、直流送電システムを例に用いて説明したが、無効電力補償装置やモータドライブ用電力変換装置など一端を三相交流電力系統に接続し、交流電力を直流電力に変換する電力変換装置に対して適用できる。

【実施例 3】

【 0 1 4 6 】

本発明を実施する第 3 の形態について説明する。実施例 1 では変圧器の二次側の電圧は相内に印加されていたが、実施例 3 では変圧器の二次側の電圧は相間に印加されていることが異なる。

【 0 1 4 7 】

以下では、実施例 3 の構成において、実施例 1 の構成と異なる部分についてのみ説明する。

【 0 1 4 8 】

図 6 は、本発明の第 3 の実施形態を現した回路図である。

【 0 1 4 9 】

三相交流電力系統 1 0 0 および 1 7 0 からの交流電力を各三相交流電力系統に連系している各 2 台の電力変換装置 6 0 1 により直流電力に変換し、直流送電ケーブル 1 5 0 によって一方向または双方向に電力を送電する。

【 0 1 5 0 】

該電力変換装置 6 0 1 は、変圧器 6 0 0 と正側変換器グループ 1 1 2 と負側変換器グループ 1 1 6 と正側リアクトルグループ 6 0 2 と負側リアクトルグループ 6 0 3 からなる。

【 0 1 5 1 】

正側変換器グループ 1 1 2 は u 相正側変換器アーム 1 1 3 , v 相正側変換器アーム 1 1 4 , w 相正側変換器アーム 1 1 5 をスター結線で接続した構成である。

【 0 1 5 2 】

負側変換器グループ 1 1 2 は u 相負側変換器アーム 1 1 3 , v 相負側変換器アーム 1 1 4 , w 相負側変換器アーム 1 1 5 をスター結線で接続した構成である。

【 0 1 5 3 】

正側変換器グループ 1 1 2 の b 端子に正側リアクトルグループ 6 0 2 の一方の端子を直列接続し、正側リアクトルグループ 6 0 2 の他方の端子に負側リアクトルグループ 6 0 3 の一方の端子を直列接続し、負側リアクトルグループ 6 0 3 の他方の端子に負側変換器グループ 1 1 6 の a 端子を直列接続した回路である。

【 0 1 5 4 】

本明細書では、正側変換器アームの b 端子に正側リアクトルの一方の端子を直列接続し、正側リアクトルの他方の端子に負側リアクトルの他方の端子に直列接続し、正側リアクトルの他方の端子に負側変換器アームの a 端子を直列接続した回路をレグと呼ぶことにする。

【 0 1 5 5 】

正側変換器グループ 1 1 2 の a 端子を P 端子と呼び、前記 2 台のリアクトルグループの接続点を M 端子と呼び、負側変換器グループの b 端子を N 端子と呼ぶことにする。

【 0 1 5 6 】

2 台の電力変換装置 6 0 1 は、一方の電力変換装置 6 0 1 の P 端子と他方の電力変換装置 6 0 1 の N 端子に直流送電ケーブル 1 5 0 を接続し、一方の電力変換装置 6 0 1 の N 端子と他方の電力変換装置 6 0 1 の P 端子をそれぞれ接続し、接続点 1 6 1 をアースしている。

【 0 1 5 7 】

電力変換装置 6 0 1 の正側リアクトルグループ 6 0 2 , 負側リアクトルグループ 6 0 3

10

20

30

40

50

について説明する。

【 0 1 5 8 】

正側変換器グループ 1 1 2 および負側変換器グループ 1 1 6 は単位チョッパセルの電圧  $V_{cell}$  は、エネルギー蓄積素子 3 0 5 の電圧  $V_C$  の倍数の電圧しか出力できないため、レグ毎の電圧の瞬時値は異なる。

【 0 1 5 9 】

3 台のレグのレグ電圧が不一致である期間において、レグ電圧の差は、各レグに含まれる 2 台のリアクトルのみが分担することになり、仮に前記リアクトルが存在しない場合、レグに過電流が流れることになる。

【 0 1 6 0 】

正側リアクトルグループ 6 0 2 , 負側リアクトルグループ 6 0 3 は前記過電流を防ぐ役割をもつ。

【 0 1 6 1 】

次に交流ラインが短絡した場合と直流ラインが短絡した場合では、電力変換装置 6 0 1 の動作が異なることを説明する。

【 0 1 6 2 】

交流ラインが短絡した時に、電力変換装置 6 0 1 が交流ラインに電圧を出力していると短絡電流が流れる。そこで、交流ラインが短絡した時には、前記短絡電流を防止するため、一般の電力変換装置と同様に各単位チョッパセル 1 2 0 を構成するハイサイド・スイッチング素子 3 0 3 , ローサイド・スイッチング素子 3 0 4 をともにオフ状態にすることにより、交流ラインに過電流が流れるのを防ぐことができる。

【 0 1 6 3 】

直流ラインが短絡すると、各単位チョッパセル 1 2 0 の内部のエネルギー蓄積素子 3 0 5 に蓄えられた電荷が、直流ラインに放電され、電流  $I_D$  が過電流となる。前記過電流を防止するため、各単位チョッパセル 1 2 0 のハイサイド・スイッチング素子 3 0 3 をオフ、ローサイド・スイッチング素子 3 0 4 をオン状態にする。ハイサイド・スイッチング素子 3 0 3 には逆並列にダイオードが接続されており、ダイオードは電流の逆阻止特性をもつため、エネルギー蓄積素子 3 0 5 と直流ラインとは電氣的に絶縁されており、直流送電ケーブル 1 5 0 への過電流を抑制することができる。

【 0 1 6 4 】

前述のように、交流ラインが短絡した場合と直流ラインが短絡した場合では、電力変換装置 6 0 1 の保護動作はそれぞれ異なるため、直流ラインと交流ラインの短絡を区別する必要がある。

【 0 1 6 5 】

交流ラインが短絡すると、変圧器 6 0 0 の一次巻線または二次巻線側に設置された電流センサで検出した電流検出値が増大する。したがって、変圧器 6 0 0 の一次巻線または二次巻線側に設置された電流センサによって検出した電流が、設定した閾値を超過した場合、交流故障と判定する。

【 0 1 6 6 】

また電流センサを正側変換器グループ 1 1 2 および負側変換器グループ 1 1 6 の各相に設置し、前記正側変換器グループ 1 1 2 に設置した電流センサで検出した電流値と、前記負側変換器グループ 1 1 6 に設置した電流センサで検出した電流値との差が、設定した閾値を超過した場合、交流故障と判定してもよい。

【 0 1 6 7 】

一方、直流ラインが短絡すると、直流ラインに設置された電流センサ 1 2 3 で検出された電流が、設定した閾値を超過した場合、直流故障と判定する。

【 0 1 6 8 】

また電流センサを各相の変換器アームの a 端子または b 端子に設置し、各変換器アームに流れる電流検出値の三相和が、設定した閾値を超過した場合、直流故障と判定してもよい。

10

20

30

40

50

## 【 0 1 6 9 】

交流ラインまたは直流ラインの故障と判定した場合、遮断器 1 2 4 によって、短時間（通常、数十ミリ秒から数百ミリ秒後）で、交流系統 1 0 0 または 1 7 0 と電力変換装置 6 0 1 を切り離す。

## 【 0 1 7 0 】

なお、本実施例は、変換器アームの数を増減することにより、三相交流電力系統のみならず、単相や多相系統に連系する電力変換装置にも適用できる。

## 【 0 1 7 1 】

また、本実施例では、変圧器を一次巻線，二次巻線ともにデルタ結線の変圧器としたが、本発明は、変圧器の巻線構成をデルタ結線に限るものではない。

10

## 【 0 1 7 2 】

また、本実施例では、直流送電システムの両側に各 2 台の電力変換装置を直列に接続し、その接続点を接地する中点接地 2 線直流送電方式としたが、直流送電システムの両側には 1 台の電力変換装置のみとした 2 線直流送電方式や、直流送電システムの両端に各 2 台の電力変換装置を直列に接続し、その各接続点を接地しかつケーブルで結ぶ中点接地 3 線直流送電方式など他の直流送電方式にも適用できる。

## 【 0 1 7 3 】

また、本実施例では、直流送電システムを例に用いて説明したが、無効電力補償装置やモータドライブ用電力変換装置など一端を三相交流電力系統に接続し、交流電力を直流電力に変換する電力変換装置に適用できる。

20

## 【 実施例 4 】

## 【 0 1 7 4 】

本発明を実施する第 4 の形態について説明する。実施例 4 は実施例 3 の変形である。実施例 3 では正側変換器グループおよび負側変換器グループに単位チョッパセルを用いていたが、実施例 4 では単位フルブリッジセルを用いている点が異なる。

## 【 0 1 7 5 】

以下では、実施例 4 の構成において、実施例 3 の構成と異なる部分についてのみ説明する。

## 【 0 1 7 6 】

図 7 は、本発明の第 4 の実施形態を表した回路図である。電力変換装置 7 0 1 は、三相交流端子 1 0 2 ~ 1 0 4 を介して三相交流電力系統 1 0 0 または 1 7 0 に連系し、三相交流電力系統 1 0 0 または 1 7 0 と有効・無効電力を授受する。該電力変換装置 7 0 1 は、変圧器 6 0 1 と正側変換器グループ 1 1 2 と負側変換器グループ 1 1 3 とからなる。

30

## 【 0 1 7 7 】

次に、正側変換器グループ 1 1 2 と負側変換器グループ 1 1 6 の構成について説明する。

## 【 0 1 7 8 】

該正側変換器グループ 1 1 2 は、u 相正側変換器アーム 1 1 3，v 相正側変換器アーム 1 1 4，w 相正側変換器アーム 1 1 5 とからなる。また、該負側変換器グループ 1 1 6 は、u 相負側変換器アーム 1 1 7，v 相負側変換器アーム 1 1 8，w 相負側変換器アーム 1 1 9 からなる。

40

## 【 0 1 7 9 】

各変換器アーム 1 1 3 ~ 1 1 5，1 1 7，1 1 8 は、a 端子と b 端子とを備えている。本明細書では、b 端子を基準とした a 端子までの電圧をアーム電圧と呼ぶことにする。また、各変換器アーム 1 1 3 ~ 1 1 5，1 1 7，1 1 8 は、図 5 に示す単位フルブリッジセル 1 3 0 を 1 台または複数台カスケード接続した回路である。

## 【 0 1 8 0 】

次に交流ラインが短絡した場合と直流ラインが短絡した場合では、電力変換装置 7 0 1 の動作が異なることを説明する。

## 【 0 1 8 1 】

50

交流ラインが短絡した時に、電力変換装置 701 が交流ラインに電圧を出力していると短絡電流が流れる。そこで、交流ラインが短絡した時には、前記短絡電流を防止するため、一般の電力変換装置と同様に各単位チョッパセル 400 を構成する各単位フルブリッジセル 400 の x 相ハイサイド・スイッチング素子 502, y 相ハイサイド・スイッチング素子 504, x 相ローサイド・スイッチング素子 503, y 相ローサイド・スイッチング素子 505 をすべてオフ状態にすることにより、交流ラインに過電流が流れるのを防ぐことができる。

#### 【0182】

直流ラインが短絡すると、各単位フルブリッジセル 400 の内部のエネルギー蓄積素子 506 に蓄えられた電荷が、直流ラインに放電され、電流 ID が増加する。前記電流 ID を直流ラインに設置した電流センサ 123 で検出し、設定した閾値を超過した場合、直流故障と判定し、各単位フルブリッジセル 400 の x 相ハイサイド・スイッチング素子 502 および y 相ハイサイド・スイッチング素子 504 をオフ、x 相ローサイド・スイッチング素子 503 および y 相ローサイド・スイッチング素子 505 をオン状態、または x 相ハイサイド・スイッチング素子 502 および y 相ハイサイド・スイッチング素子 504 をオン、x 相ローサイド・スイッチング素子 503 および y 相ローサイド・スイッチング素子 505 をオフ状態にする。x 相ハイサイド・スイッチング素子 502, y 相ハイサイド・スイッチング素子 504, x 相ローサイド・スイッチング素子 503, y 相ローサイド・スイッチング素子 505 にはそれぞれ逆並列にダイオードが接続されており、前記ダイオードは電流の逆阻止特性をもつ。したがって、エネルギー蓄積素子 506 の直流電圧は直流ラインと電氣的に絶縁され、直流送電ケーブル 150 への過電流を抑制することができる。

#### 【0183】

前述のように、交流ラインと直流ラインが短絡した場合では、電力変換装置 701 の保護動作はそれぞれ異なるため、直流ラインと交流ラインの短絡を区別する必要がある。

#### 【0184】

交流ラインが短絡した場合は、変圧器 600 の一次巻線または二次巻線側に設置された電流センサによって検出した電流検出値が増大する。したがって、変圧器 600 の一次巻線または二次巻線側に設置された電流センサによって検出した電流が設定した閾値を超過した場合、交流故障と判定する。

#### 【0185】

また電流センサを正側変換器グループ 112 および負側変換器グループ 116 の各相に設置し、前記正側変換器グループ 112 に設置した電流センサで検出した電流値と、前記負側変換器グループ 116 に設置した電流センサで検出した電流値との差が、設定した閾値を超過した場合、交流故障と判定してもよい。

#### 【0186】

一方、直流ラインが短絡した場合は、直流ラインに設置された電流センサ 123 によって検出された電流が、設定した閾値を超過した場合、直流故障と判定する。

#### 【0187】

また電流センサを各相の変換器アームの a 端子または b 端子に設置し、各変換器アームに流れる電流検出値の三相和が、設定した閾値を超過した場合、直流故障と判定してもよい。

#### 【0188】

また、直流故障と判定した場合、電力変換装置 701 は、三相交流電力系統 100 または 170 の電圧と逆位相の電圧を出力することで直流端子電圧をゼロにできる。したがって、直流出力端子に流れる電流 ID を低減することができる。

#### 【0189】

交流ラインまたは直流ラインの故障と判定した場合、遮断器 124 によって、短時間（通常、数十ミリ秒から数百ミリ秒後）で、交流系統 100 または 170 と電力変換装置 701 を切り離す。

## 【 0 1 9 0 】

なお、本実施例は、変換器アームの数を増減することにより、三相交流電力系統のみならず、単相や多相系統に連系する電力変換装置にも適用できる。

## 【 0 1 9 1 】

また、本実施例では、変圧器を一次巻線，二次巻線ともにデルタ結線の変圧器としたが、本発明は、変圧器の巻線構成をデルタ結線に限るものではない。

## 【 0 1 9 2 】

また、本実施例では、直流送電システムの両側に各 2 台の電力変換装置を直列に接続し、その接続点を接地する中点接地 2 線直流送電方式としたが、直流送電システムの両側には 1 台の電力変換装置のみとした 2 線直流送電方式や、直流送電システムの両端に各 2 台の電力変換装置を直列に接続し、その各接続点を接地しかつケーブルで結ぶ中点接地 3 線直流送電方式など他の直流送電方式にも適用できる。

10

## 【 0 1 9 3 】

また、本実施例では、直流送電システムを例に用いて説明したが、無効電力補償装置やモータドライブ用電力変換装置など一端を三相交流電力系統に接続し、交流電力を直流電力に変換する電力変換装置に適用できる。

## 【産業上の利用可能性】

## 【 0 1 9 4 】

本発明は、交流電力をいったん直流電力に変換して電力を送電する直流送電システム（H V D C）以外にも、無効電力補償装置やモータドライブ用電力変換装置など一端を三相交流電力系統に接続し、交流電力を直流電力に変換する電力変換装置に対して適用することが可能である。

20

## 【符号の説明】

## 【 0 1 9 5 】

1 0 0 , 1 7 0 三相交流電力系統

1 0 1 , 4 0 1 , 6 0 1 , 7 0 1 電力変換装置

1 0 2 R 相端子

1 0 3 S 相端子

1 0 4 T 相端子

1 0 5 , 6 0 0 , 8 0 5 変圧器

30

1 0 6 u 相正側端子

1 0 7 v 相正側端子

1 0 8 w 相正側端子

1 0 9 u 相負側端子

1 1 0 v 相負側端子

1 1 1 w 相負側端子

1 1 2 正側変換器グループ

1 1 3 u 相正側変換器アーム

1 1 4 v 相正側変換器アーム

1 1 5 w 相正側変換器アーム

40

1 1 6 負側変換器グループ

1 1 7 u 相負側変換器アーム

1 1 8 v 相負側変換器アーム

1 1 9 w 相負側変換器アーム

1 2 0 単位チョッパセル

1 2 1 正側直流出力端子

1 2 2 負側直流出力端子

1 2 3 電流センサ

1 2 4 遮断器

1 3 4 u 相正側巻線

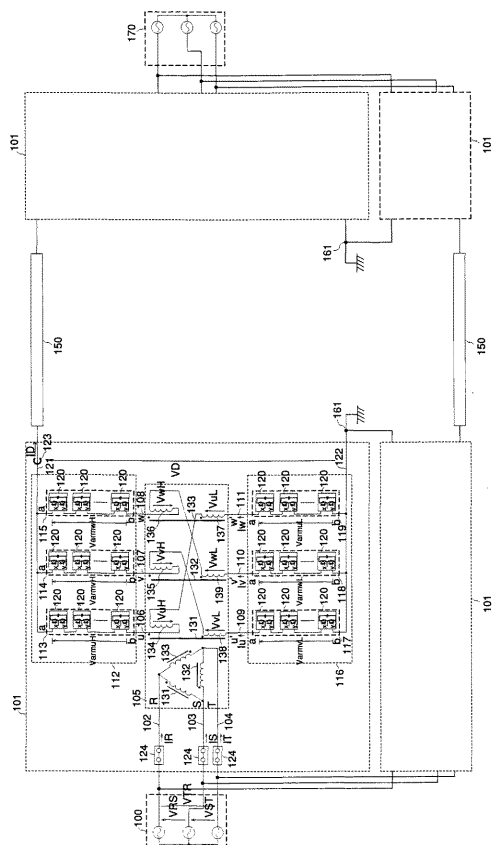
50

1 3 5	v 相正側巻線	
1 3 6	w 相正側巻線	
1 3 7	u 相負側巻線	
1 3 8	v 相負側巻線	
1 3 9	w 相負側巻線	
1 5 0 , 8 0 7	直流送電ケーブル	
1 6 1 , 8 0 6	中性点	
2 0 0	二次巻線	
2 0 1	一次巻線	
2 0 2 , 2 0 3 , 2 0 4	鉄心	10
3 0 1	x 端子	
3 0 2	y 相端子	
3 0 3	ハイサイド・スイッチング素子	
3 0 4	ローサイド・スイッチング素子	
3 0 5 , 5 0 6	エネルギー蓄積素子	
4 0 0	単位フルブリッジ素子	
5 0 0	x 相出力端子	
5 0 1	y 相出力端子	
5 0 2	x 相ハイサイド・スイッチング素子	
5 0 3	x 相ローサイド・スイッチング素子	20
5 0 4	y 相ハイサイド・スイッチング素子	
5 0 5	y 相ローサイド・スイッチング素子	
6 0 2	正側リアクトルグループ	
6 0 3	負側リアクトルグループ	
6 0 4	正側 u 相リアクトル	
6 0 5	正側 v 相リアクトル	
6 0 6	正側 w 相リアクトル	
6 0 7	負側 u 相リアクトル	
6 0 8	負側 v 相リアクトル	
6 0 9	負側 w 相リアクトル	30
8 0 0	直流送電システム	
8 0 1	三相フルブリッジ電力変換装置	
8 0 2 , 8 0 3	コンデンサ	
8 0 4	直流リアクトル	
9 0 1	接続点	
1 0 0 0	I G B T	
1 0 0 1	D i o d e	
1 0 0 2	冷却フィン	
1 1 0 0	I G B T 発熱模擬電流源	
1 1 0 1	I G B T ジャンクション - ケース間熱抵抗	40
1 1 0 2	I G B T ジャンクション - ケース間熱容量	
1 1 0 3	I G B T ケース - 冷却フィン間熱抵抗	
1 1 0 4	I G B T ケース - 冷却フィン間熱容量	
1 1 0 5	I G B T 冷却フィン - 空気間熱抵抗	
1 1 0 6	I G B T 冷却フィン - 空気間熱容量	
1 1 0 7	空気温度模擬電圧源	
1 1 1 0	D i o d e 発熱模擬電流源	
1 1 1 1	D i o d e ジャンクション - ケース間熱抵抗	
1 1 1 2	D i o d e ジャンクション - ケース間熱容量	
1 1 1 3	D i o d e ケース - 冷却フィン間熱抵抗	50

## 1 1 1 4    D i o d e ケース - 冷却フィン間熱容量

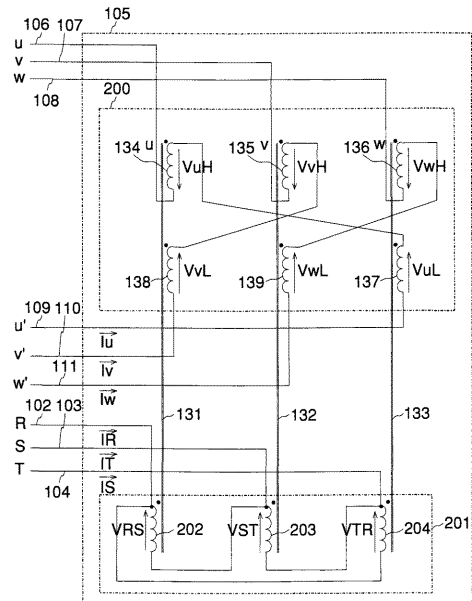
【図 1】

図 1

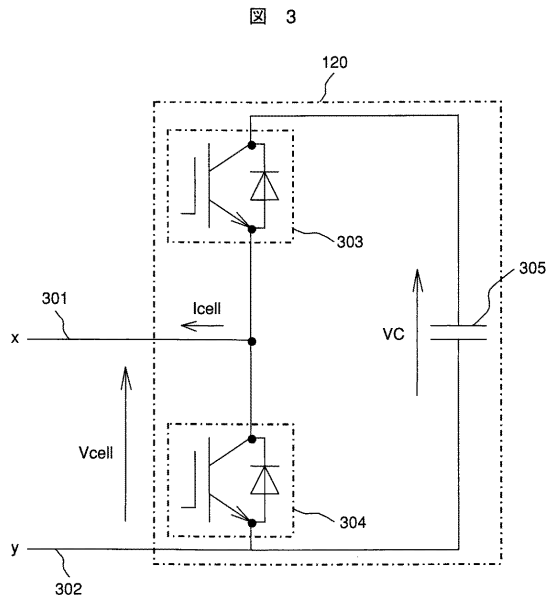


【図 2】

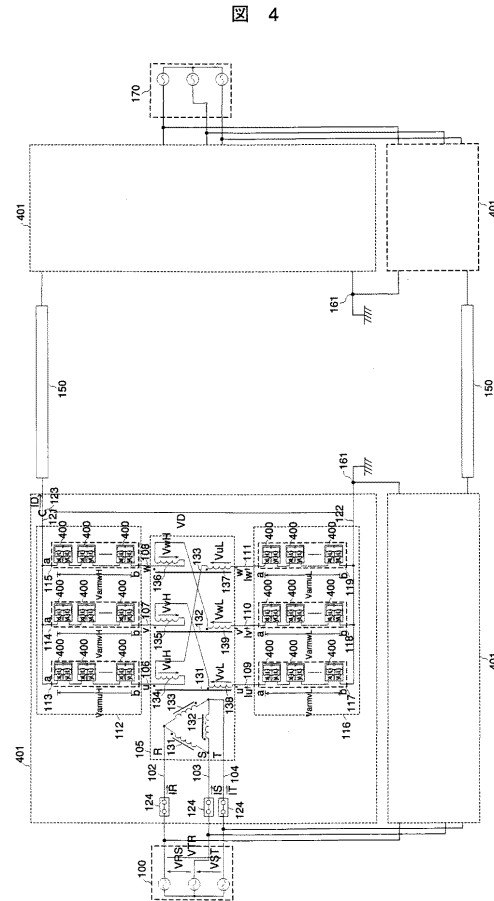
図 2



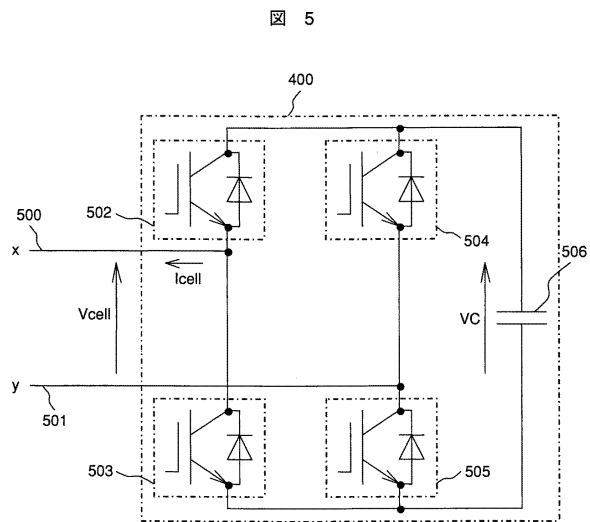
【図 3】



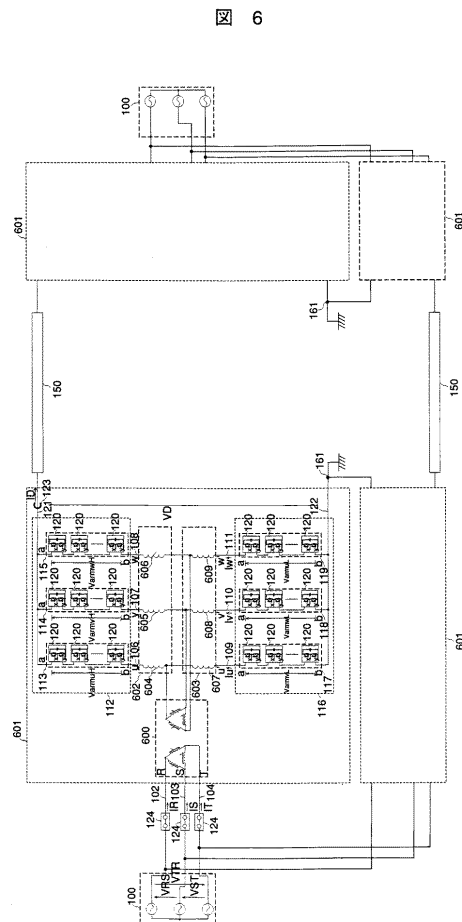
【図 4】



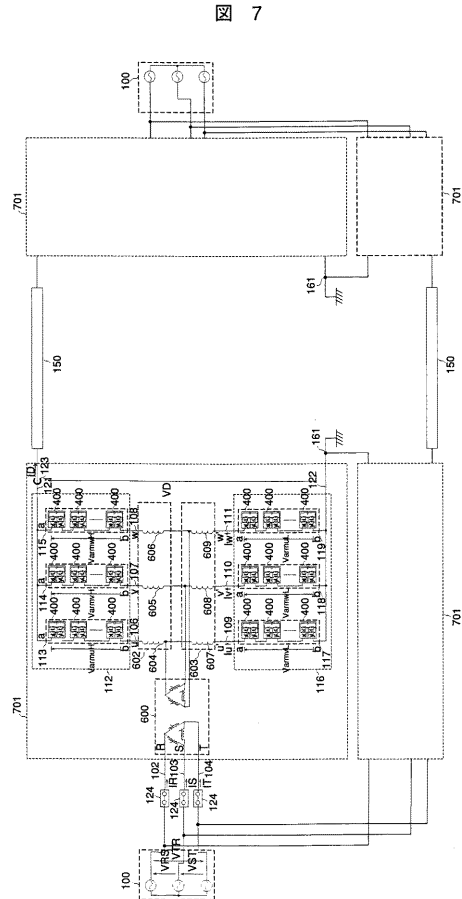
【図 5】



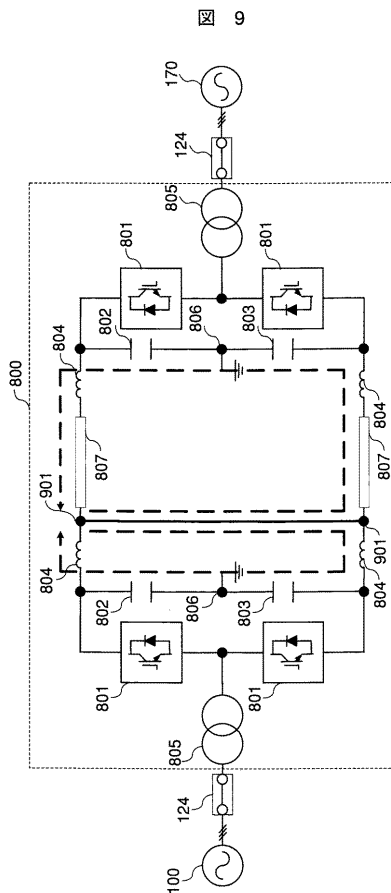
【図 6】



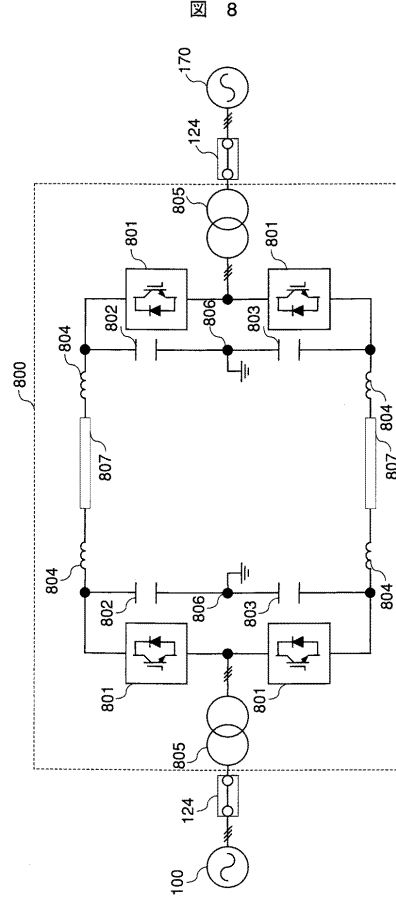
【 図 7 】



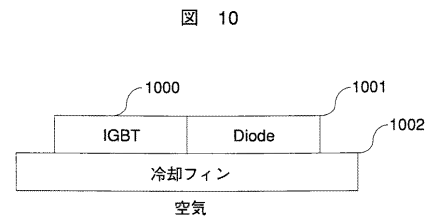
【圖 9】



【 図 8 】

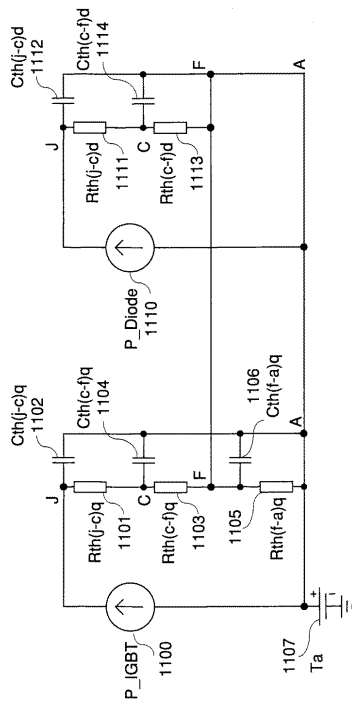


【 図 1 0 】



【図 11】

図 11



---

フロントページの続き

(72)発明者 加藤 哲也  
茨城県日立市大みか町五丁目2番1号  
システム事業部内 株式会社 日立製作所 情報制御

(72)発明者 井上 重徳  
茨城県日立市大みか町七丁目1番1号  
所内 株式会社 日立製作所 日立研究

審査官 今井 貞雄

(56)参考文献 特表2009-507462(JP,A)  
特開2005-204429(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)  
H02M 7/12