

(12) 特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局

(43) 国際公開日
2021年12月23日(23.12.2021)



(10) 国際公開番号

WO 2021/255868 A1

- (51) 国際特許分類:
H02J 3/34 (2006.01) *H02M 7/49* (2007.01)
H02M 5/458 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2020/023813
- (22) 国際出願日: 2020年6月17日(17.06.2020)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (71) 出願人:三菱電機株式会社(MITSUBISHI ELECTRIC CORPORATION) [JP/JP]; 〒1008310 東京都千代田区丸の内二丁目7番3号 Tokyo (JP).
- (72) 発明者: 河野 良之 (KONO, Yoshiyuki); 〒1008310 東京都千代田区丸の内二丁目7番

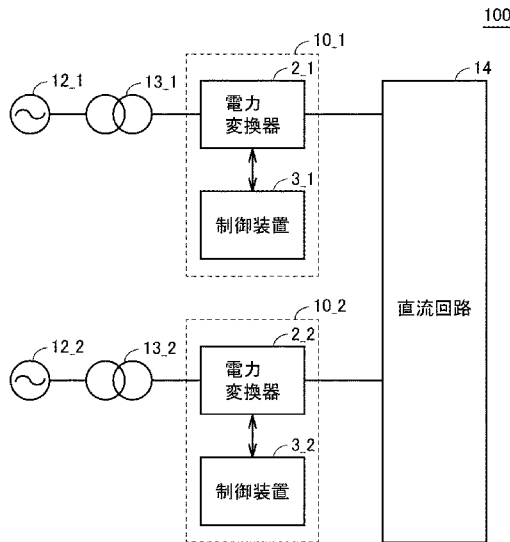
3号 三菱電機株式会社内 Tokyo (JP). 藤原修平(FUJIWARA, Shuhei); 〒1008310 東京都千代田区丸の内二丁目7番3号 三菱電機株式会社内 Tokyo (JP). 宇田 涼介(UDA, RyoSuke); 〒1008310 東京都千代田区丸の内二丁目7番3号 三菱電機株式会社内 Tokyo (JP). 梶山 拓也(KAJIYAMA, Takuya); 〒1008310 東京都千代田区丸の内二丁目7番3号 三菱電機株式会社内 Tokyo (JP). 藤井 俊行(FUJII, Toshiyuki); 〒1008310 東京都千代田区丸の内二丁目7番3号 三菱電機株式会社内 Tokyo (JP).

(74) 代理人:特許業務法人深見特許事務所(FUKAMI PATENT OFFICE, P.C.); 〒5300005 大阪府大

(54) Title: POWER CONVERSION SYSTEM

(54) 発明の名称: 電力変換システム

[図1]



2_1, 2_2 Power converter
3_1, 3_2 Control device
14 DC circuit

(57) Abstract: A power conversion system (100) comprises: a first power converter (2_1) that converts power between a first AC system (12_1) and a DC circuit (14); and a second power converter (2_2) that converts power between a second AC system (12_2) and a DC circuit (14). The first power converter (2_1) and the second power converter (2_2) each include a plurality of submodules (7) connected in series. Each submodule (7) has a plurality of switching elements (31) and a capacitor (32). A first base frequency of the first AC system (12_1) is greater than a second base frequency of the



WO 2021/255868 A1

阪市北区中之島三丁目2番4号 中之島フェスティバルタワー・ウエスト Osaka (JP).

- (81) 指定国(表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, WS, ZA, ZM, ZW.
- (84) 指定国(表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類:

- 一 国際調査報告(条約第21条(3))

second AC system (12_2). A first average voltage value of the capacitor (32) inside a first submodule (7) contained in the first power converter (2_1) is greater than a second average voltage value of the capacitor (32) inside a second submodule (7) contained in the second power converter (2_2).

(57) 要約: 電力変換システム(100)は、第1交流系統(12__1)と直流回路(14)との間で電力変換を行なう第1電力変換器(2__1)と、第2交流系統(12__2)と直流回路(14)との間で電力変換を行なう第2電力変換器(2__2)とを備える。第1電力変換器(2__1)および第2電力変換器(2__2)の各々は、直列接続された複数のサブモジュール(7)を含む。サブモジュール(7)は、複数のスイッチング素子(31)と、コンデンサ(32)とを有する。第1交流系統(12__1)の第1基本周波数は、第2交流系統(12__2)の第2基本周波数よりも大きい。第1電力変換器(2__1)に含まれる第1サブモジュール(7)内のコンデンサ(32)の第1平均電圧値は、第2電力変換器(2__2)に含まれる第2サブモジュール(7)内のコンデンサ(32)の第2平均電圧値よりも大きい。

明 細 書

発明の名称：電力変換システム

技術分野

[0001] 本開示は、電力変換システムに関する。

背景技術

[0002] 複数の単位変換器がカスケード接続されるモジュラーマルチレベル変換器（以下、MMC変換器とも称する。）は、単位変換器の数を増加させることによって、高電圧化に容易に対応することができる。「単位変換器」は、「サブモジュール（sub module）」あるいは「変換器セル」とも称される。MMC変換器は、大容量の静止型無効電力補償装置、または高圧直流送電用の電力変換装置として、送配電システムへ広く適用されている。

[0003] 特開2012-228025号公報（特許文献1）では、電源側、または負荷側電圧の基本周波数の周期による直流コンデンサ電圧の変動を抑制することを検討している。

先行技術文献

特許文献

[0004] 特許文献1：特開2012-228025号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0005] MMC方式の電力変換器を含む電力変換システムは、例えば、直流送電システムの電力を制御するためのシステムとして用いられる。典型的には、直流回路を介して2つの交流システム間で電力授受が行われるが、これらの交流システムのシステム条件（例えば、基本周波数、電力要求）が異なる場合がある。この場合、一方の交流システムに接続される電力変換器と、他方の交流システムに接続される電力変換器とでは必要とされる仕様が異なる。しかし、保守性の観点から両者の電力変換器には、同一の部品（例えば、直流コンデンサ）で構成されるサブモジュールを用いることが好ましい。

[0006] 例えば、両者の交流系統における基本周波数が異なる場合、基本周波数が低い交流系統側における第1直流コンデンサの電圧変動は、基本周波数が高い交流系統側における第2直流コンデンサの電圧変動よりも大きい。そのため、第2直流コンデンサの電圧変動の抑制に必要な静電容量は、第1直流コンデンサの電圧変動の抑制に必要な静電容量よりも小さい。したがって、両者で同一の直流コンデンサを用いる場合には、第1直流コンデンサの電圧変動の抑制に必要な静電容量を採用する必要がある。この場合、第2直流コンデンサの電圧変動は、求められた仕様よりも大きく抑制されるため、最大電圧と耐電圧との偏差（すなわち、マージン）が大きくなってしまい無駄が生じる。特許文献1では、このような課題に対する解決策を何ら教示または示唆するものではない。

[0007] 本開示のある局面における目的は、系統条件が異なる複数の交流系統にそれぞれ接続される複数の電力変換器の保守性を確保しつつ、システム全体のサイズを小さくすることが可能な電力変換システムを提供することである。

課題を解決するための手段

[0008] ある実施の形態に従う電力変換システムは、第1交流系統と直流回路との間で電力変換を行なう第1電力変換器と、第2交流系統と直流回路との間で電力変換を行なう第2電力変換器とを備える。第1電力変換器および第2電力変換器の各々は、直列接続された複数のサブモジュールを含む。サブモジュールは、複数のスイッチング素子と、コンデンサとを有する。第1交流系統の第1基本周波数は、第2交流系統の第2基本周波数よりも大きい。第1電力変換器に含まれる第1サブモジュール内のコンデンサの第1平均電圧値は、第2電力変換器に含まれる第2サブモジュール内のコンデンサの第2平均電圧値よりも大きい。

[0009] 他の実施の形態に従う電力変換システムは、第1交流系統と直流回路との間で電力変換を行なう第1電力変換器と、第2交流系統と直流回路との間で電力変換を行なう第2電力変換器とを備える。第1電力変換器および第2電力変換器の各々は、直列接続された複数のサブモジュールを含む。サブモジ

ジュールは、複数のスイッチング素子と、コンデンサとを有する。第1交流系統から要求される力率および皮相電力に基づく、第1電力変換器に含まれる第1サブモジュール内のコンデンサの電流実効値は、第2交流系統から要求される力率および皮相電力に基づく、第2電力変換器に含まれる第2サブモジュール内のコンデンサの電流実効値よりも小さい。第1サブモジュール内のコンデンサの第1平均電圧値は、第2サブモジュール内のコンデンサの第2平均電圧値よりも大きい。

発明の効果

[0010] 本開示によると、電力変換システムにおいて、系統条件が異なる複数の交流系統にそれぞれ接続される複数の電力変換器の保守性を確保しつつ、システム全体のサイズを小さくすることができる。

図面の簡単な説明

[0011] [図1]本実施の形態に従う電力変換システムの概略構成図である。

[図2]電力変換器の概略構成図である。

[図3]サブモジュールの一例を示す回路図である。

[図4]コンデンサの電圧変動を説明するための図である。

[図5]本実施の形態に従うコンデンサ電圧の変化を示す図である。

[図6]交流系統の事故前後のコンデンサ電圧の変化を示す図である。

[図7]サブモジュール内の正極側に流れる電流と、負極側に流れる電流との関係を説明するための図である。

発明を実施するための形態

[0012] 以下、図面を参照しつつ、本実施の形態について説明する。以下の説明では、同一の部品には同一の符号を付してある。それらの名称および機能も同じである。したがって、それらについての詳細な説明は繰り返さない。

[0013] 実施の形態1.

<システムの全体構成>

図1は、実施の形態1に従う電力変換システム100の概略構成図である。図1を参照して、電力変換システム100は、電力変換装置10_1, 1

0__2（以下「電力変換装置10」とも総称する。）と、交流系統12__1，12__2（以下「交流系統12」とも総称する。）と、変圧器13__1，13__2（以下「変圧器13」とも総称する。）と、直流回路14とを含む。以下では、交流系統12、変圧器13および電力変換装置10を含むシステムが共通の直流回路14に2つ接続される構成について説明する。しかし、3つ以上のシステムが直流回路14に接続される構成であってもよい。

[0014] 電力変換システム100では、直流回路14を介して、交流系統12__1と交流系統12__2間で電力が送受される。交流系統12__1と交流系統12__2とは系統条件が互いに異なる3相交流系統である。具体的には、交流系統12__1の基本周波数F1は、交流系統12__2の基本周波数F2よりも高く、例えば、基本周波数F1，F2は、それぞれ60Hz，50Hzである。直流回路14は、直流線路または直流バスである。

[0015] 電力変換装置10__1は、交流系統12__1と直流回路14との間で電力変換を行なう電力変換器2__1と、制御装置3__1とを含む。電力変換装置10__2は、交流系統12__2と直流回路14との間で電力変換を行なう電力変換器2__2と、制御装置3__2とを含む。電力変換器2__1，2__2は、MMC変換方式の電力変換器によって構成される。制御装置3__1は、電力変換器2__1の動作を制御する。制御装置3__2は、電力変換器2__2の動作を制御する。以下の説明では、電力変換器2__1，2__2を「電力変換器2」とも総称し、制御装置3__1，3__2を「制御装置3」とも総称する。

[0016] 変圧器13__1は、交流系統12__1と電力変換器2__1との間に接続される。変圧器13__2は、交流系統12__2と電力変換器2__2との間に接続される。

[0017] 交流系統12__1から交流系統12__2に電力が送電される場合、電力変換器2__1は順変換器（REC：Rectifier）として動作し、電力変換器2__2は逆変換器（INV：Inverter）として動作する。具体的には、電力変換器2__1により交流電力が直流電力に変換され、この変換された直流電力が

直流回路 1 4 を介して直流送電される。受電端において電力変換器 2__2 により直流電力が交流電力に変換され、変圧器 1 3__2 を介して交流系統 1 2__2 に供給される。電力変換器 2__2 が逆変換器として動作し、電力変換器 2__1 が順変換器として動作する場合には、上記と逆の変換動作が行われる。

[0018] <電力変換装置の構成>

図 2 は、電力変換器 2 の概略構成図である。図 2 を参照して、電力変換器 2 は、互いに直列接続された複数のサブモジュール（図 2 中の「SM」に対応） 7 を含む MMC 変換器によって構成されている。

[0019] 電力変換器 2 は、正極直流端子（すなわち、高電位側直流端子） N_p と、負極直流端子（すなわち、低電位側直流端子） N_n との間に互いに並列に接続された複数のレグ回路 4 u, 4 v, 4 w（以下、総称する場合または任意のものを示す場合、「レグ回路 4」と記載する）を含む。

[0020] レグ回路 4 は、交流を構成する複数相の各々に設けられる。レグ回路 4 は、交流系統 1 2 と直流回路 1 4 との間に接続され、両系統間で電力変換を行なう。電力変換器 2 には、U 相、V 相、W 相にそれぞれ対応して 3 個のレグ回路 4 u, 4 v, 4 w が設けられる。

[0021] レグ回路 4 u, 4 v, 4 w にそれぞれ設けられた交流入力端子 N_u , N_v , N_w は、変圧器 1 3 を介して交流系統 1 2 に接続される。図 2 では、図解を容易にするために、交流入力端子 N_v , N_w と変圧器 1 3 との接続は図示されていない。各レグ回路 4 に共通に接続された正極直流端子 N_p および負極直流端子 N_n は、直流回路 1 4 に接続される。

[0022] レグ回路 4 u は、正極直流端子 N_p から交流入力端子 N_u までの上アーム 5 と、負極直流端子 N_n から交流入力端子 N_u までの下アーム 6 とを含む。上アーム 5 と下アーム 6 との接続点である交流入力端子 N_u が変圧器 1 3 と接続される。レグ回路 4 v, 4 w についても同様の構成を有するので、以下、レグ回路 4 u を代表として説明する。

[0023] 上アーム 5 は、カスケード接続された複数のサブモジュール 7 と、リアク

トル 8 A とを含む。当該複数のサブモジュール 7 およびリアクトル 8 A は互いに直列接続されている。下アーム 6 は、カスケード接続された複数のサブモジュール 7 と、リアクトル 8 B とを含む。当該複数のサブモジュール 7 およびリアクトル 8 B は互いに直列接続されている。なお、上アーム 5 および下アーム 6 は、リアクトルの代わりに、リアクトル相当のインピーダンスを有する 3 巻線変圧器を介して交流系統 1 2 と接続されていてもよい。

[0024] 電力変換システム 100 には、制御に使用される電気量（例えば、電流、電圧など）を計測する各検出器が設けられている。例えば、各検出器は、交流電圧検出器 18、交流電流検出器 16、直流電圧検出器 11A、11B、各レグ回路 4 に設けられたアーム電流検出器 9A、9B 等である。これらの検出器によって検出された信号は、制御装置 3 に入力される。

[0025] 制御装置 3 は、これらの検出信号に基づいて電力変換器 2 内の各サブモジュール 7 の運転状態を制御するための運転指令を出力する。運転指令は、各アーム（例えば、U 相上アーム、U 相下アーム、V 相上アーム、V 相下アーム、W 相上アーム、および W 相下アーム）にそれぞれ対応して生成される。また、制御装置 3 は、各サブモジュール 7 から各種情報を受信する。各種情報は、サブモジュール 7 の内部情報であり、サブモジュール 7 のコンデンサの電圧値、サブモジュール 7 の状態を示す状態情報等を含む。状態情報は、サブモジュール 7 が通常動作している通常動作状態か、停止状態かを示す情報、サブモジュール 7 の故障の有無を示す情報等を含む。

[0026] 制御装置 3 は、典型的には、ハードウェア構成として、補助変成器、AD (Analog to Digital) 変換部、演算部等を含む。演算部は、CPU (Central Processing Unit)、RAM (Random Access Memory) および ROM (Read Only Memory) を含む。AD 変換部は、アナログフィルタ、サンプルホールド回路、マルチプレクサ等を含む。制御装置 3 は、例えば、デジタル保護制御装置で構成されていてもよい。

[0027] 図 1 では図解を容易にするために、各検出器から制御装置 3 に入力される信号の信号線と、制御装置 3 および各サブモジュール 7 間で入出力される信

号の信号線とは、一部まとめて記載されているが、実際には検出器ごとおよびサブモジュール7ごとに設けられている。各サブモジュール7と制御装置3との間の信号線は、送信用と受信用とが別個に設けられていてもよい。信号線は、たとえば光ファイバによって構成される。

[0028] 交流電圧検出器18は、交流系統12のU相の交流電圧 V_{acu} 、V相の交流電圧 V_{acv} 、およびW相の交流電圧 V_{acw} を検出する。交流電流検出器16は、交流系統12のU相の交流電流 I_{acu} 、V相の交流電流 I_{acv} 、およびW相の交流電流 I_{acw} を検出する。直流電圧検出器11Aは、直流回路14に接続された正極直流端子 N_p の直流電圧 V_{dcp} を検出する。直流電圧検出器11Bは、直流回路14に接続された負極直流端子 N_n の直流電圧 V_{dcn} を検出する。直流電圧 V_{dcp} と直流電圧 V_{dcn} との差を直流電圧 V_{dc} とする。

[0029] U相用のレグ回路4uに設けられたアーム電流検出器9Aおよび9Bは、上アーム5に流れるアーム電流 I_{pu} および下アーム6に流れるアーム電流 I_{nu} をそれぞれ検出する。同様に、V相用のレグ回路4vに設けられたアーム電流検出器9Aおよび9Bは、アーム電流 I_{pv} およびアーム電流 I_{nv} をそれぞれ検出する。W相用のレグ回路4wに設けられたアーム電流検出器9Aおよび9Bは、アーム電流 I_{pw} およびアーム電流 I_{nw} をそれぞれ検出する。以下の説明では、アーム電流 I_{pu} 、 I_{nu} 、 I_{pv} 、 I_{nv} 、 I_{pw} 、 I_{nw} を総称してアーム電流 I_{arm} と記載する。

[0030] <サブモジュールの構成>

図3は、サブモジュールの一例を示す回路図である。図3(a)に示すサブモジュール7は、ハーフブリッジ構成と呼ばれる回路構成を有する。このサブモジュール7は、2つのスイッチング素子31p、31nを直列接続して形成した直列体と、エネルギー蓄積器としてのコンデンサ32と、電圧検出器33と、バイパススイッチ34とを含む。直列体とコンデンサ32とは並列接続される。電圧検出器33は、コンデンサ32の両端の電圧であるコンデンサ電圧 V_c を検出する。

- [0031] 図3 (b) に示すサブモジュール7は、フルブリッジ構成と呼ばれる回路構成を有する。このサブモジュール7は、2つのスイッチング素子31p1, 31n1を直列接続して形成された第1の直列体と、2つのスイッチング素子31p2, 31n2を直列接続して形成された第2の直列体と、コンデンサ32と、電圧検出器33とを含む。第1の直列体と、第2の直列体と、コンデンサ32とが並列接続される。電圧検出器33は、コンデンサ電圧Vcを検出する。
- [0032] 図3 (a) における2つのスイッチング素子31p、31nと、図3 (b) における4つのスイッチング素子31p1、31n1、31p2、31n2とは、例えば、IGBT (Insulated Gate Bipolar Transistor)、GCT (Gate Commutated Turn-off) サイリスタ、MOSFET (Metal Oxide Semiconductor Field-Effect Transistor) などの自己消弧型の半導体スイッチング素子に還流ダイオード (FWD : Freewheeling Diode) が逆並列に接続されて構成される。また、図3 (a) および図3 (b) において、コンデンサ32には、フィルムコンデンサなどのキャパシタが主に用いられる。
- [0033] 以下の説明では、スイッチング素子31p、31n、31p1、31n1、31p2、31n2をスイッチング素子31とも総称する。また、スイッチング素子31内の半導体スイッチング素子のオンオフを、単に「スイッチング素子31のオンオフ」と記載する。
- [0034] 図3 (a) を参照して、スイッチング素子31nの両端子を入出力端子P1、P2とする。スイッチング素子31p、31nのスイッチング動作によりコンデンサ32の両端電圧、および零電圧を出力する。例えば、スイッチング素子31pがオン、かつスイッチング素子31nがオフとなったときに、コンデンサ32の両端電圧が出力される。スイッチング素子31pがオフ、かつスイッチング素子31nがオンとなったときに、零電圧が出力される。図3 (a) では、スイッチング素子31nの両端子を入出力端子P1、P2としたが、スイッチング素子31pの両端子を入出力端子P1、P2とし

てもよく、その場合には、動作が反転する。

[0035] バイパススイッチ34は、入出力端子P1, P2間に接続される。図3(a)では、バイパススイッチ34は、スイッチング素子31nと並列に接続される。ただし、スイッチング素子31pの両端子を入出力端子P1, P2とする場合には、バイパススイッチ34は、スイッチング素子31pと並列に接続される。バイパススイッチ34をオンにすることによって、サブモジュール7が短絡される。バイパススイッチ34は、サブモジュール7の各素子が故障した場合に、当該サブモジュール7を短絡させる際にも利用される。これにより、複数のサブモジュール7のうちの任意のサブモジュール7が故障しても、他のサブモジュール7を利用することにより電力変換器2の運転継続が可能となる。

[0036] 次に、図3(b)を参照して、スイッチング素子31p1とスイッチング素子31n1との中点と、スイッチング素子31p2とスイッチング素子31n2との中点とをサブモジュール7の入出力端子P1, P2とする。図3(b)に示すサブモジュール7は、スイッチング素子31n2を常時オンとし、スイッチング素子31p2を常時オフとし、スイッチング素子31p1, 31n1を交互にオン状態とすることによって、正電圧または零電圧を出力する。また、図3(b)に示すサブモジュール7は、スイッチング素子31n2を常時オフし、スイッチング素子31p2を常時オンし、スイッチング素子31p1, 31n1を交互にオン状態にすることによって、零電圧または負電圧を出力することもできる。

[0037] バイパススイッチ34は、入出力端子P1, P2間に接続される。なお、バイパススイッチ34は、スイッチング素子31n1, 31n2の直列体と並列に接続される。バイパススイッチ34をオンにすることによって、サブモジュール7が短絡される。

[0038] 以下の説明では、サブモジュール7を図3(a)に示すハーフブリッジセルの構成とし、半導体スイッチング素子、およびエネルギー蓄積要素としてのコンデンサを用いた場合を例に説明する。しかし、サブモジュール7を図

3 (b) に示すフルブリッジ構成としてもよい。また、上記で示した構成以外のサブモジュール、例えば、図3 (b) の各スイッチング素子31のうちの一つをダイオードのみで置き換えた1.5ハーフブリッジ構成とも呼ばれる回路構成を適用したサブモジュールを用いてもよい。

[0039] <サブモジュールのコンデンサ電圧>

MMC変換器を用いた電力変換器2の出力直流電圧は、正極直流端子Npと負極直流端子Nnとの間の直流電圧Vdcである。直流電圧Vdcは、各レグ回路4を構成しているj番目のサブモジュール7jの瞬時のコンデンサ電圧Vcjと、スイッチング状態Siとの積和で決定される。スイッチング状態Sjは、スイッチング素子31pがオンの場合には“1”、スイッチング素子31pがオフの場合には“0”であるとする。

[0040] ここで、説明の容易化のため、アーム間およびアーム内での各サブモジュール7のコンデンサ電圧Vcのバラツキは無視するものとする。コンデンサ電圧Vcの時間平均電圧値をVav、直流変調率をMdc、アームあたりの（すなわち、各アームに含まれる）サブモジュール数をnとすると、以下の式(1)が成立する。この場合、各レグ回路4に含まれるサブモジュール数は2nとなる。

$$[0041] \quad V_{dc} = \sum (V_{cj} \times S_j) = V_{av} \times 2n \times M_{dc} \quad \dots (1)$$

上述した式(1)より、直流変調率Mdcを一定（典型的には、0.5）にするとサブモジュール数nは、Vdc/Vavに比例するため、平均電圧値Vavを大きくするとサブモジュール数nを削減できる。

[0042] なお、時間平均電圧値Vav（以下、単に「平均電圧値Vav」とも称する。）は、アーム内の各サブモジュール7jの瞬時のコンデンサ電圧Vcjの総和をサブモジュール数nで除算することにより求められ、以下の式(2)で表される。式(2)中の記号“<>”は、時間平均を表わしている。

$$[0043] \quad V_{av} = \langle (\sum V_{cj}) / n \rangle \quad \dots (2)$$

制御装置3は、通常の電力変換動作（すなわち、通常動作）の際には、アーム内の各サブモジュール7のコンデンサ電圧Vcの時間平均電圧値が、式

(2) で示される値 V_{av} となるように、当該アーム内の各サブモジュール 7 を制御する。

[0044] しかしながら、電力変換器 2 では、サブモジュール 7 に搭載されたコンデンサ 3 2 に基本周波数成分が主体の交流成分を有する電流が流れ込むため、実際にはコンデンサ 3 2 においてリップル電圧が生じ、コンデンサ電圧 V_c は平均電圧値 V_{av} を中心に変動する。

[0045] 図 4 は、コンデンサの電圧変動を説明するための図である。図 4 を参照して、波形 2 1 0 は、電力変換器 2__1 のサブモジュール 7 に搭載されたコンデンサ 3 2 (以下「コンデンサ 3 2__1」とも称する。)のコンデンサ電圧 V_{c1} の時間変化を示している。波形 2 2 0 は、電力変換器 2__2 のサブモジュール 7 に搭載されたコンデンサ 3 2 (以下「コンデンサ 3 2__2」とも称する。)のコンデンサ電圧 V_{c2} の時間変化を示している。なお、各コンデンサ 3 2__1, 3 2__2 は、同一定格 (例えば、静電容量、耐圧等が同一) のコンデンサで構成される。

[0046] 図 4 の例では、電力変換器 2__1 の各アームに含まれるサブモジュール数 n_1 と、電力変換器 2__2 の各アームに含まれるサブモジュール数 n_2 とは同一であるとする。また、電力変換器 2__1 と電力変換器 2__2 とは共通の直流回路 1 4 に接続されている。そのため、式 (1) より、コンデンサ電圧 V_{c1} の平均電圧値 V_{av1} と、コンデンサ電圧 V_{c2} の平均電圧値 V_{av2} とは同一となる。

[0047] ここで、コンデンサに生じるリップル電圧 V_{rp} は、コンデンサの静電容量を C 、基本周波数を F 、コンデンサに流れる電流を I_{cap} とすると、以下の式 (3) のような関係を有する。

[0048] $V_{rp} \propto (1/C) \times (1/F) \times I_{cap} \dots (3)$

実施の形態 1 では、交流系統 1 2__1 の基本周波数 F_1 が 60 Hz であり、交流系統 1 2__2 の基本周波数 F_2 が 50 Hz である。そのため、交流系統 1 2__1 に接続された電力変換器 2__1 内のコンデンサ 3 2__1 のリップル電圧 V_{rp1} は、交流系統 1 2__2 に接続された電力変換器 2__2 内のコ

ンデンサ32__2のリプル電圧 V_{rp2} よりも小さくなる。なお、リップル電圧 V_{rp1} は、コンデンサ電圧 V_{c1} の最大電圧値 V_{max1} と平均電圧値 V_{av1} との差分である。リップル電圧 V_{rp2} は、コンデンサ電圧 V_{c2} の最大電圧値 V_{max2} と平均電圧値 V_{av2} との差分である。ここで、同一部品で構成された各コンデンサ32__1, 32__2の静電容量は同一である。電流 I_{cap} が同一であるとすると、リップル電圧 V_{rp1} は、リップル電圧 V_{rp2} の5/6倍となる。

[0049] また、コンデンサ32__1, 32__2は同一部品で構成されるため、その耐電圧は V_{ov} で同一である。そのため、コンデンサ32__1における電圧マージン V_{g1} ($=V_{ov} - V_{max1}$) は、コンデンサ32__2における電圧マージン V_{g2} ($=V_{ov} - V_{max2}$) よりも大きい。

[0050] コンデンサ32__1, 32__2の両者に同一のコンデンサを適用する場合には、より大きいリップル電圧 V_{rp2} を基準として仕様を満たすように（すなわち、電圧マージン V_{g2} が基準マージン以上となるように）静電容量 C が決定される。この場合、コンデンサ32__1の電圧マージン V_{g1} は、仕様を満たすものの、過大なマージンであることが理解される。具体的には、コンデンサ32__1では、リップル電圧 V_{rp2} とリップル電圧 V_{rp1} との差分値 V_{di} ($=V_{rp2} - V_{rp1}$) だけ余分に電圧マージンを取っていることになる。

[0051] 実施の形態1では、この差分値 V_{di} を利用して、コンデンサ32__1の平均電圧値を調整して、高周波数側の交流系統12__1側に接続された電力変換器2__1に含まれるサブモジュール数を低減する。これにより、電力変換システム全体のサイズを小さくする。

[0052] 図5は、実施の形態1に従うコンデンサ電圧の変化を示す図である。図5を参照して、波形210Aは、コンデンサ32__1のコンデンサ電圧 V_{c1} の時間変化を示している。波形210Aは、図4の波形210に差分値 V_{di} を加算したものであるため、図5に示すコンデンサ電圧 V_{c1} の平均電圧値 V_{av1}^* は、図4で示す平均電圧値 V_{av1} と比較して、差分値 V_{di}

だけ大きい。一方、コンデンサ32__2のコンデンサ電圧 V_{c2} の平均電圧値 V_{av2} は、図4の平均電圧値 V_{av2} ($=V_{av1}$) と同一である。そのため、平均電圧値 V_{av1*} は、平均電圧値 V_{av2} よりも差分値 V_{di} だけ大きいことが理解される。換言すると、平均電圧値 V_{av1*} は、平均電圧値 V_{av2} に差分値 V_{di} を加算した値である。

[0053] 上述した式(1)で示すように、コンデンサの平均電圧値 V_{av} は、各アーム当たりのサブモジュール数 n に応じて変化する。ここで、コンデンサ32__1の平均電圧値 V_{av1} に対する平均電圧値 V_{av1*} の変化率を $X\%$ とすると、以下の式(4)が成立する。

$$[0054] \quad X = ((V_{av1*} - V_{av1}) / V_{av1}) \times 100 \quad \dots (4)$$

式(1)の直流電圧 V_{dc} は変化しないため、平均電圧値 V_{av} が $X\%$ 増大した場合には、サブモジュール数 n は $X\%$ だけ低減されることが理解される。したがって、図5の例の場合、電力変換器2__1の各アームに含まれるサブモジュール数 $n1*$ は、図4の例の場合のサブモジュール数 $n1$ よりも Y ($=n1 \times X / 100$) 個だけ少ない。

[0055] 本実施の形態では、電力変換装置10__1に含まれる電力変換器2__1の各相あたりのサブモジュール数が $n1*$ に設定される。制御装置3__1は、通常動作の際には、電力変換器2__1のアームに含まれる各サブモジュール7のコンデンサ電圧 V_c の時間平均電圧値が平均電圧値 V_{av1*} となるように、当該アームの各サブモジュール7を制御する。一方、電力変換装置10__2に含まれる電力変換器2__2の各相あたりのサブモジュール数は $n2$ に設定される。制御装置3__2は、通常動作の際には、電力変換器2__2のアームに含まれる各サブモジュール7のコンデンサ電圧 V_c の時間平均電圧値が平均電圧値 V_{av2} となるように、当該アーム内の各サブモジュール7を制御する。これにより、図5に示すように、コンデンサ32__1, 32__2のコンデンサ電圧 V_{c1} , V_{c2} が変化する。

[0056] 図5の例の場合、コンデンサ電圧 V_{c1} の最大電圧値 V_{max1*} が、コンデンサ電圧 V_{c2} の最大電圧値 V_{max2} と同一となるため、コンデンサ

3 2 __ 1 の電圧マージン V_{g1} * は、コンデンサ 3 2 __ 2 の電圧マージン V_{g2} と同一となる。そのため、コンデンサ 3 2 __ 1 の電圧マージン V_{g1} * は、仕様を満たす電圧マージンを確保しつつ、余分な電圧マージンを含んでいないことが理解される。

[0057] 上記のように、実施の形態 1 では、基本周波数が異なる交流系統 1 2 __ 1 , 1 2 __ 2 にそれぞれ接続される電力変換器 2 __ 1 , 2 __ 2 内のサブモジュール 7 を同一とし、それによって生じるコンデンサ 3 2 __ 1 , 3 2 __ 2 のリップル電圧の差分値 V_{di} を利用して、電力変換器 2 __ 1 のサブモジュール数を低減できる。したがって、各電力変換器 2 __ 1 , 2 __ 2 の保守性を確保しつつ、電力変換器 2 __ 1 のサイズを小さくでき、結果として、電力変換システム全体のサイズを小さくできる。

[0058] <サブモジュールの故障時>

サブモジュール 7 が故障した場合の平均電圧値 V_{av} の調整方法について説明する。

[0059] 制御装置 3 は、各サブモジュール 7 の状態情報として、サブモジュール 7 の健全状態を示す健全判定信号を受信する。サブモジュール 7 が健全な状態の場合には健全判定信号は“1”となり、サブモジュール 7 が故障状態の場合には健全判定信号は“0”となる。サブモジュール 7 の故障とは、素子故障に限られずサブモジュール 7 が制御装置 3 の指令通りに動作しなくなることである。例えば、サブモジュール 7 の故障には、スイッチング素子の故障、ゲートドライバの故障、キャパシタの破損、ブスバーの破損、通信異常等が含まれる。

[0060] 制御装置 3 は、各アーム（例えば、U相上アーム、U相下アーム、V相上アーム、V相下アーム、W相上アーム、およびW相下アーム）に対応する運転指令を出力することにより、アームごとに制御する。そのため、制御装置 3 は、故障したサブモジュール 7 を含むアームについて、故障対応のための各種制御を行なう。

[0061] ここで、U相のレグ回路 4 u 内のサブモジュール数を $2m$ （ただし、 m は

2以上の整数)個とし、U相上アームのサブモジュール数を m 個とし、U相下アームのサブモジュール数を m 個とする。例えば、制御装置3は、U相上アームの m 個のサブモジュール7のうち、 k (ただし、 k は1以上の整数であり、 $k < m$)個のサブモジュール7__ i から受けた健全判定信号が“0”である場合、各サブモジュール7__ i の故障を検出する。制御装置3は、各サブモジュール7__ i のバイパススイッチ34をオンにすることによって、故障が生じた各サブモジュール7__ i をバイパスする。

[0062] 次に、制御装置3は、故障したサブモジュール7__ i の数(すなわち、 k 個)に基づいて、U相上アームに含まれる各サブモジュール7における平均電圧値 V_{av} を上昇させる。具体的には、制御装置3は、当該平均電圧値 V_{av} を $m / (m - k)$ 倍に上昇させる。すなわち、(故障後の平均電圧値 V_{av}) / (故障前の平均電圧値 V_{av}) = $m / (m - k)$ となる。この場合、制御装置3は、U相上アーム内の健全な $(m - k)$ 個のサブモジュール7のコンデンサ電圧 V_c の時間平均電圧値が上昇後の平均電圧値 V_{av} となるように、 $(m - k)$ 個のサブモジュール7を制御する。これにより、故障前に k 個のサブモジュール7による電圧出力分を、残りの健全な $(m - k)$ 個のサブモジュール7により補うことができる。

[0063] <交流システムの事故発生時>

交流システム12において事故が発生した場合の平均電圧値 V_{av} の調整方法について説明する。ここでは、交流システム12__1で事故が発生したものとする。ただし、この事故は、発生してから一定時間後に除去される一過性の事故であるとする。

[0064] 図6は、交流システムの事故前後のコンデンサ電圧の変化を示す図である。図6を参照して、波形250は、コンデンサ32__1の平均電圧値 V_{av1*} を示している。ここでは、事故発生前の平均電圧値 V_{av1*} を便宜上“ V_0 ”と記載する。平均電圧値 V_0 は、図5中の平均電圧値 V_{av1*} と同じである。波形260は、コンデンサ32__1の電圧変動分(すなわち、リップル電圧 V_{rp1})を含むコンデンサ電圧 V_{c1} を示している。

- [0065] 時刻 t_1 で交流系統 12__1 の事故が発生し、制御装置 3__1 は、当該事故を検出する。例えば、制御装置 3__1 は、アーム電流検出器 9A, 9B により検出された各アーム電流 I_{pu} , I_{pv} , I_{pw} , I_{nu} , I_{nv} , I_{nw} の絶対値の少なくとも 1 つが閾値 T_{h1} を超えている場合、あるいは、アーム電流の各相合計値が閾値 T_{h2} を超えている場合に、交流系統 12__1 に事故が発生したと判定する。また、制御装置 3__1 は、交流電圧検出器 18 により検出された各交流電圧のいずれかが閾値 T_{h3} を上回った（または、下回った）場合に事故が発生したと判定してもよい。
- [0066] 制御装置 3__1 は、時刻 t_0 から時刻 t_1 に到達するまでは、アーム内の各サブモジュール 7 のコンデンサ電圧 V_c の時間平均電圧値が平均電圧値 V_0 となるように各サブモジュール 7 を制御している。しかし、制御装置 3__1 は、時刻 t_1 において事故を検出すると、アーム内の各サブモジュール 7 のコンデンサ電圧 V_c の時間平均電圧値が平均電圧値 V_0 から基準値 D_1 を減算した値（すなわち、 $V_0 - D_1$ ）となるように各サブモジュール 7 を制御する。これにより、制御装置 3__1 は、平均電圧値 V_{av1} * を低下させる。
- [0067] 時刻 t_2 に到達して事故が除去されると、交流系統 12__1 から電力変換器 2__1 に電流が流れ込むため、コンデンサ電圧 V_{c1} が急激に増大する。本実施の形態では、事故が発生した時点で、制御装置 3__1 がコンデンサ電圧 V_{c1} を意図的に低下させているため、事故除去後のコンデンサ電圧 V_{c1} が耐電圧 V_{ov} を超える事態を未然に防止することができる。
- [0068] 交流系統 12__2 で事故が発生した場合には、制御装置 3__2 が、上記の制御装置 3__1 と同様の動作を実行する。具体的には、制御装置 3__2 は、交流系統 12__2 の事故を検出すると、アーム内の各サブモジュール 7 のコンデンサ電圧 V_c の時間平均電圧値が、事故発生前の平均電圧値から基準値 D_2 を減算した値となるように各サブモジュール 7 を制御する。基準値 D_2 は基準値 D_1 と同一であってもよい。これにより、制御装置 3__2 は、平均電圧値 V_{av2} を低下させる。

[0069] なお、交流系統12__1で事故が発生した場合にも、制御装置3__2は、平均電圧値 V_{av2} を低下させてもよい。この場合、制御装置3__2は、制御装置3__1（あるいは、他の上位装置）から交流系統12__1で事故が発生したことを示す情報を受信する。制御装置3__2は、当該情報を受信した後、平均電圧値 V_{av2} を低下させる。これにより、交流系統12__1の事故が、電力変換器2__2内のサブモジュール7のコンデンサ電圧 V_{c2} に影響し得る場合であっても、コンデンサ電圧 V_{c2} が耐電圧 V_{ov} を超える事態を防止できる。

[0070] <直流回路の絶縁耐力の低下時>

直流回路14の絶縁耐力が低下している場合の平均電圧値 V_{av} の調整方法について説明する。ここでは、直流回路14が直流送電線であるとし、当該直流送電線に塩分を含む雪などが付着して、直流回路14の絶縁耐力が低下した場合を想定する。

[0071] 変圧器13__1, 13__2は、変圧比可変の変圧器とする。変圧比可変の変圧器は、例えば、タップ切替機能付き変圧器などで実現される。また、制御装置3は、変圧器13と通信可能に構成されており、変圧比の変更指示等の各種指令を変圧器13へ送信する。

[0072] 系統運用者は、直流回路14の絶縁耐力が低下していると判断した場合、制御装置3__1, 3__2に対して、直流回路14の絶縁耐力の低下を示す情報を入力する。ここで、直流回路14の直流電圧 V_{dc} を ΔV_{dc} だけ低下させるものとする。

[0073] この場合、制御装置3__1は、電力変換器2__1に含まれるサブモジュール7内のコンデンサ32__1の平均電圧値 V_{av1*} を ΔV_{av1*} だけ低下させる。同様に、制御装置3__2は、電力変換器2__2に含まれるサブモジュール7内のコンデンサ32__2の平均電圧値 V_{av2} を ΔV_{av2} だけ低下させる。電力変換器2__1の各アームに含まれるサブモジュール数は n_{1*} であるため、式(1)の関係から、 $\Delta V_{av1*} = \Delta V_{dc} / (M_{dc} \times 2n_{1*})$ である。電力変換器2__2のレグ回路4に含まれるサブモジュ

ール数は n^2 であるため、式(1)の関係から、 $\Delta V_{av2} = \Delta V_{dc} / (M_{dc} \times 2n^2)$ である。

[0074] 直流電圧 V_{dc} を ΔV_{dc} だけ低下させる一方で、交流系統 12_1 、 12_2 の電圧は維持する必要がある。ここで、変圧器 13_1 の一次側(すなわち、交流系統 12_1 側)の交流電圧を V_{1_1} とする。また、直流電圧 V_{dc} の低下前における変圧器 13_1 の二次側(すなわち、電力変換器 2_1 側)の交流電圧を V_{2_1} とし、低下後における変圧器 13_1 の二次側の交流電圧を $V_{2_1}^*$ とする。

[0075] この場合、制御装置 3_1 は、変圧器 13_1 の一次側の交流電圧 V_{1_1} が維持されるように、変圧器 13_1 の変圧比 α_1 を調整する。具体的には、制御装置 3_1 は、変圧比 α_1 を $(V_{2_1}) / (V_{1_1})$ から、 $(V_{2_1}^*) / (V_{1_1})$ に変更するように変圧器 13_1 へ指示する。

[0076] 同様に、変圧器 13_2 の一次側(すなわち、交流系統 12_2 側)の交流電圧を V_{1_2} とし、直流電圧 V_{dc} の低下前における変圧器 13_2 の二次側(すなわち、電力変換器 2_2 側)の交流電圧を V_{2_2} とし、低下後における変圧器 13_2 の二次側の交流電圧を $V_{2_2}^*$ とする。この場合、制御装置 3_2 は、変圧器 13_2 の一次側の交流電圧 V_{1_2} が維持されるように、変圧器 13_2 の変圧比 α_2 を調整する。具体的には、制御装置 3_2 は、変圧比 α_2 を $(V_{2_2}) / (V_{1_2})$ から、 $(V_{2_2}^*) / (V_{1_2})$ に変更するように変圧器 13_2 へ指示する。

[0077] これにより、直流回路 14 の絶縁耐力が低下した場合、直流電圧 V_{dc} を低下させることで直流回路 14 の損傷を防止できるとともに、交流系統 12 側の電圧を維持することができる。

[0078] 実施の形態2.

実施の形態1では、複数の交流系統 12_1 、 12_2 の基本周波数が互いに異なる場合について説明した。実施の形態2では、複数の交流系統 12_1 、 12_2 からの電力要求が互いに異なる場合について説明する。

[0079] 上述した式(3)によると、コンデンサに流れる電流 I_{cap} に比例して

、リップル電圧は大きくなる。同一部品で構成された各コンデンサ32__1, 32__2の静電容量は同一であるため、交流系統12__1の基本周波数F1と、交流系統12__2の基本周波数F2とが同一である場合、電流Icapが大きいほどリップル電圧Vrpが大きくなる。実施の形態2では、交流系統12__1, 12__1からの電力要求の差異によって生じる、電力変換器2__1, 2__2内のコンデンサに流れる電流Icapの差異に着目する。ここでは、電力変換器2__1, 2__2は、それぞれ交流系統12__1, 12__2からの電力要求を達成するように動作するものとする。

[0080] 電力変換器2内を流れるアーム電流Iarmは、サブモジュール7の正極側（すなわち、スイッチング素子31p側）および負極側（すなわち、スイッチング素子31n側）にそれぞれ流れる。以下では、スイッチング素子31p, 31nの半導体スイッチング素子がIGBTであるとして説明する。

[0081] 正極側に流れる電流Ispは、スイッチング素子31pのIGBTに流れる電流と、スイッチング素子31pのFWDに流れる電流との加算電流である。この加算電流が、コンデンサ32に流れる電流Icapとなる。一方、負極側に流れる電流Isnは、スイッチング素子31nのIGBTに流れる電流と、スイッチング素子31nのFWDに流れる電流との加算電流である。なお、スイッチング素子31p, 31nにおいて、FWDに流れる電流はIGBTと逆方向に流れる。

[0082] 電流Isp（すなわち、電流Icap）と、電流Isnとの電流分担比率は、交流系統12の力率（PF：power factor）に依存して変化する。なお、アーム電流Iarmは、電流Ispおよび電流Isnを加えたものであり、実効値表現すると $I_{arm} = (I_{sp}^2 + I_{sn}^2)^{1/2}$ である。電流Ispの正方向は、図3において入出力端子P1からスイッチング素子31p1への方向に対応し、電流Isnの正方向は、入出力端子P1からスイッチング素子31n1への方向に対応する。

[0083] 図7は、サブモジュール内の正極側に流れる電流Ispと、負極側に流れる電流Isnとの関係を説明するための図である。図7の縦軸は電流Isp

($= I_{cap}$) の実効値を示しており、横軸は電流 I_{sn} の実効値を示している。直線 302 は、電流 $I_{sp} = \text{電流 } I_{sn}$ を満たす直線である。直線 304, 306, 308 は、それぞれ交流系統 12 の力率が 0, 0.95, 1.00 の場合の電流 I_{sp} と電流 I_{sn} との関係を示す直線である。また、直線 304, 306, 308 上のそれぞれの点 354, 356, 358 におけるアーム電流 I_{arm} の電流実効値 $\{= (I_{sp}^2 + I_{sn}^2)^{1/2}\}$ は、同一である。曲線 362 は、アーム電流 I_{arm} の電流実効値が同一である各点を示す。

[0084] 直線 304 ~ 308 によると、電力変換器 2 の交流出力での力率が大きいほど負極側に偏って電流が流れ、電流 I_{sn} が大きく、電流 I_{sp} が小さくなる。一方、力率が小さいほど、電流 I_{sp} (すなわち、電流 I_{cap}) が大きくなる。また、力率が一定である場合には、アーム電流 I_{arm} が大きいほど電流 I_{cap} は大きくなる。なお、アーム電流 I_{arm} の大きさは、電力変換器 2 と交流系統 12 との間で入出力される皮相電力の大きさに比例するため、力率が一定である場合には、入出力される皮相電力が大きいほど電流 I_{cap} は大きくなるとも言える。なお、電力変換器 2 へ入力される入力皮相電力と、電力変換器 2 から出力される出力皮相電力とが異なる場合には、電流 I_{cap} の大きさは、入力皮相電力および出力皮相電力のうち大きい方の皮相電力に依存する。

[0085] したがって、交流系統 12__1, 12__2 の電力要求 (例えば、皮相電力の入出力要求、要求力率) が異なる場合、電力変換器 2__1, 2__2 内のコンデンサ 32 に流れる電流 I_{cap} の大きさが異なり、その結果、コンデンサ 32 のリップル電圧の大きさが異なることになる。なお、図 7 を参照することで、交流系統 12 から要求される力率および皮相電力に基づく電流 I_{cap} を求めることができる。

[0086] ここで、交流系統 12__1 から要求される力率と、交流系統 12__2 から要求される力率とが同一である場合を想定する。このとき、交流系統 12__1 から要求される皮相電力の入出力が、交流系統 12__2 から要求される皮

相電力の入出力よりも小さい場合には、電力変換器 2__1 内のコンデンサ 3 2__1 に流れる電流 I_{cap1} の方が、電力変換器 2__2 内のコンデンサ 3 2__2 に流れる電流 I_{cap2} よりも小さくなる。

[0087] そのため、コンデンサ 3 2__1 のリップル電圧 V_{rp1} は、コンデンサ 3 2__2 のリップル電圧 V_{rp2} よりも小さい。したがって、実施の形態 1 の図 5 で説明したように、コンデンサ 3 2__1 のコンデンサ電圧 V_{c1} の平均電圧値を、コンデンサ 3 2__2 のコンデンサ電圧 V_{c2} の平均電圧値よりも差分値 V_{di} ($=V_{rp2} - V_{rp1}$) だけ大きくすることで、電力変換器 2__1 のサブモジュール数を低減できる。

[0088] 次に、交流系統 1 2__1 から要求される皮相電力の入出力が、交流系統 1 2__2 から要求される皮相電力の入出力と同一である場合を想定する。このとき、交流系統 1 2__1 から要求される力率の方が、交流系統 1 2__2 から要求される力率よりも大きい場合には、電力変換器 2__1 内のコンデンサ 3 2__1 に流れる電流 I_{cap1} の方が、電力変換器 2__2 内のコンデンサ 3 2__2 に流れる電流 I_{cap2} よりも小さくなる。そのため、コンデンサ 3 2__1 のリップル電圧 V_{rp1} は、コンデンサ 3 2__2 のリップル電圧 V_{rp2} よりも小さい。したがって、コンデンサ 3 2__1 のコンデンサ電圧 V_{c1} の平均電圧値を、コンデンサ 3 2__2 のコンデンサ電圧 V_{c2} の平均電圧値よりも差分値 V_{di} だけ大きくすることで、電力変換器 2__1 のサブモジュール数を低減できる。

[0089] 上記の例では、2つの交流系統 1 2__1 と交流系統 1 2__2 との間で、要求される力率が同一の場合と、要求される皮相電力の入出力が同一の場合について説明した。しかし、交流系統 1 2__1 と交流系統 1 2__2 との間で、要求される力率および皮相電力の入出力がいずれも異なる場合であってもよい。例えば、図 7 の点 3 7 1 が、交流系統 1 2__1 から要求される力率および皮相電力の入出力に基づく電流値 (I_{sn1} , I_{cap1}) に対応し、点 3 7 2 が、交流系統 1 2__2 から要求される力率および皮相電力に基づく電流値 (I_{sn2} , I_{cap2}) に対応するものとする。点 3 7 1 と点 3 7 2

との位置関係から、交流系統12__1から要求される力率の方が交流系統12__2から要求される力率よりも小さく、交流系統12__1から要求される皮相電力の入出力の方が交流系統12__2から要求される皮相電力の入出力よりも小さい。

[0090] 図7を参照すると、点371における電流 I_{cap1} の方が、点372における電流 I_{cap2} よりも小さい。そのため、コンデンサ32__1のリプル電圧 V_{rp1} は、コンデンサ32__2のリプル電圧 V_{rp2} よりも小さい。したがって、コンデンサ32__1のコンデンサ電圧 V_{c1} の平均電圧値を、コンデンサ32__2のコンデンサ電圧 V_{c2} の平均電圧値よりも差分値 V_{di} だけ大きくすることで、電力変換器2__1のサブモジュール数を低減できる。

[0091] 上記のように、交流系統12__1から要求される力率および皮相電力に基づく、電力変換器2__1内のコンデンサ32__1の電流（すなわち、電流 I_{cap1} ）の実効値と、交流系統12__2から要求される力率および皮相電力に基づく、電力変換器2__2内のコンデンサ32__2の電流（すなわち、電流 I_{cap2} ）の実効値とが比較される。そして、例えば、電流 I_{cap1} が電流 I_{cap2} よりも小さい場合には、リプル電圧 V_{rp1} がリプル電圧 V_{rp2} よりも小さくなるため、電力変換器2__1のサブモジュール数を低減できる。

[0092] 上記の例では、電力要求が異なる交流系統12__1, 12__2にそれぞれ接続される電力変換器2__1, 2__2内のサブモジュール7を同一とし、それによって生じるコンデンサ32__1, 32__2のリプル電圧の差分値 V_{di} を利用して、電力変換器2__1のサブモジュール数を低減できる。したがって、実施の形態2においても、各電力変換器2__1, 2__2の保守性を確保しつつ、一方の電力変換器のサイズを小さくでき、結果として、電力変換システム全体のサイズを小さくできる。

[0093] その他の実施の形態.

実施の形態1では、＜サブモジュールの故障時＞、＜交流系統の事故発生

時>および<直流回路の絶縁耐力の低下時>の各々の場合における平均電圧値 V_{av} の調整方法について説明したが、実施の形態2でも同様に、各々の場合における平均電圧値 V_{av} の調整方法を採用することができる。

[0094] 上述の実施の形態として例示した構成は、本開示の構成の一例であり、別の公知の技術と組み合わせることも可能であるし、本開示の要旨を逸脱しない範囲で、一部を省略する等、変更して構成することも可能である。また、上述した実施の形態において、他の実施の形態で説明した処理および構成を適宜採用して実施する場合であってもよい。

[0095] 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。本開示の範囲は、上記した説明ではなく、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

[0096] 2 電力変換器、3 制御装置、4 u, 4 v, 4 w レグ回路、5 上アーム、6 下アーム、7 サブモジュール、8 A, 8 B リアクトル、9 A, 9 B 検出器、10 電力変換装置、11 A, 11 B 直流電圧検出器、12 交流系統、13 変圧器、14 直流回路、16 交流電流検出器、18 交流電圧検出器、31 n, 31 n 1, 31 n 2, 31 p, 31 p 1, 31 p 2 スイッチング素子、32 コンデンサ、33 電圧検出器、34 バイパススイッチ、100 電力変換システム。

請求の範囲

- [請求項1] 第1交流系統と直流回路との間で電力変換を行なう第1電力変換器と、
- 第2交流系統と前記直流回路との間で電力変換を行なう第2電力変換器とを備え、
- 前記第1電力変換器および前記第2電力変換器の各々は、直列接続された複数のサブモジュールを含み、
- 前記サブモジュールは、複数のスイッチング素子と、コンデンサとを有し、
- 前記第1交流系統の第1基本周波数は、前記第2交流系統の第2基本周波数よりも大きく、
- 前記第1電力変換器に含まれる第1サブモジュール内のコンデンサの第1平均電圧値は、前記第2電力変換器に含まれる第2サブモジュール内のコンデンサの第2平均電圧値よりも大きい、電力変換システム。
- [請求項2] 前記第1平均電圧値は、前記第2平均電圧値に、前記第2サブモジュール内のコンデンサのリプル電圧と前記第1サブモジュール内のコンデンサのリプル電圧との差分値を加算した値である、請求項1に記載の電力変換システム。
- [請求項3] 前記第1電力変換器内の複数の前記第1サブモジュールの各々を制御する第1制御装置をさらに備え、
- 前記第1電力変換器のアームに含まれる複数の前記第1サブモジュールのうち、1以上の第1サブモジュールが故障した場合、前記第1制御装置は、故障した前記1以上の第1サブモジュールの数に基づいて、前記アームに含まれる各前記第1サブモジュールにおける前記第1平均電圧値を上昇させる、請求項1または請求項2に記載の電力変換システム。
- [請求項4] 前記アームに含まれる複数の前記第1サブモジュールの数が m （た

だし、 m は2以上の整数)であり、故障した前記1以上の第1サブモジュールの数が k (ただし、 k は1以上の整数であり、 $k < m$)である場合、前記第1制御装置は、前記アームに含まれる各前記第1サブモジュールの前記第1平均電圧値を $m / (m - k)$ 倍に上昇させる、請求項3に記載の電力変換システム。

[請求項5] 前記第1交流システムにおいて事故が発生した場合、前記第1制御装置は、前記第1電力変換器に含まれる前記第1サブモジュール内のコンデンサの前記第1平均電圧値を低下させる、請求項3または4に記載の電力変換システム。

[請求項6] 前記第2電力変換器内の複数の前記第2サブモジュールの各々を制御する第2制御装置をさらに備え、

前記第1交流システムにおいて事故が発生した場合、前記第2制御装置は、前記第2電力変換器に含まれる前記第2サブモジュール内のコンデンサの前記第2平均電圧値を低下させる、請求項5に記載の電力変換システム。

[請求項7] 前記第1交流システムと前記第1電力変換器との間に設けられた第1変圧器と、前記第2交流システムと前記第2電力変換器との間に設けられた第2変圧器とをさらに備え、

前記直流回路の絶縁耐力が低下した場合、

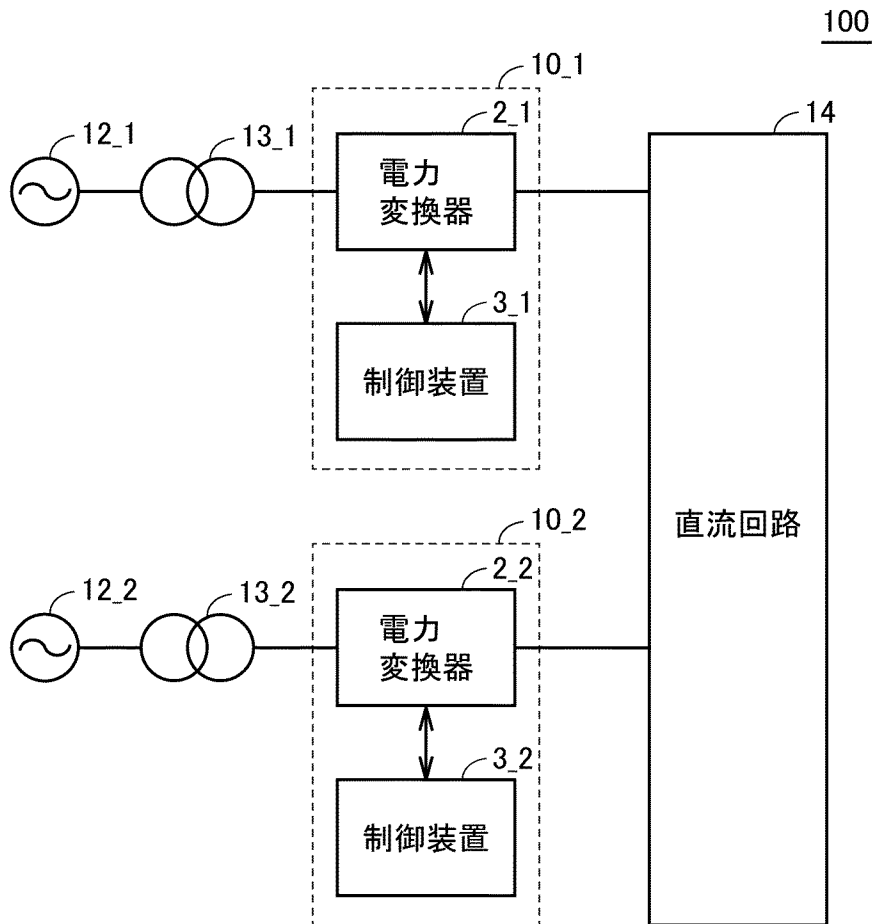
前記第1制御装置は、前記第1電力変換器に含まれる前記第1サブモジュール内のコンデンサの前記第1平均電圧値を第1の値だけ低下させ、前記第1変圧器の前記第1交流システム側の電圧が維持されるように前記第1変圧器の変圧比を調整し、

前記第2制御装置は、前記第2電力変換器に含まれる前記第2サブモジュール内のコンデンサの前記第2平均電圧値を第2の値だけ低下させ、前記第2変圧器から前記第2交流システムに出力される電圧が維持されるように前記第2変圧器の変圧比を調整する、請求項6に記載の電力変換システム。

- [請求項8] 第1交流系統と直流回路との間で電力変換を行なう第1電力変換器と、
- 第2交流系統と前記直流回路との間で電力変換を行なう第2電力変換器とを備え、
- 前記第1電力変換器および前記第2電力変換器の各々は、直列接続された複数のサブモジュールを含み、
- 前記サブモジュールは、複数のスイッチング素子と、コンデンサとを有し、
- 前記第1交流系統から要求される力率および皮相電力に基づく、前記第1電力変換器に含まれる第1サブモジュール内のコンデンサの電流実効値は、前記第2交流系統から要求される力率および皮相電力に基づく、前記第2電力変換器に含まれる第2サブモジュール内のコンデンサの電流実効値よりも小さく、
- 前記第1サブモジュール内のコンデンサの第1平均電圧値は、前記第2サブモジュール内のコンデンサの第2平均電圧値よりも大きい、電力変換システム。
- [請求項9] 前記第1交流系統から要求される力率と、前記第2交流系統から要求される力率とは同一であり、かつ、前記第1交流系統から要求される皮相電力の入出力は、前記第2交流系統から要求される皮相電力の入出力よりも小さい、請求項8に記載の電力変換システム。
- [請求項10] 前記第1交流系統から要求される皮相電力の入出力は、前記第2交流系統から要求される皮相電力の入出力と同一であり、かつ、前記第1交流系統から要求される力率は、前記第2交流系統から要求される力率よりも大きい、請求項8に記載の電力変換システム。

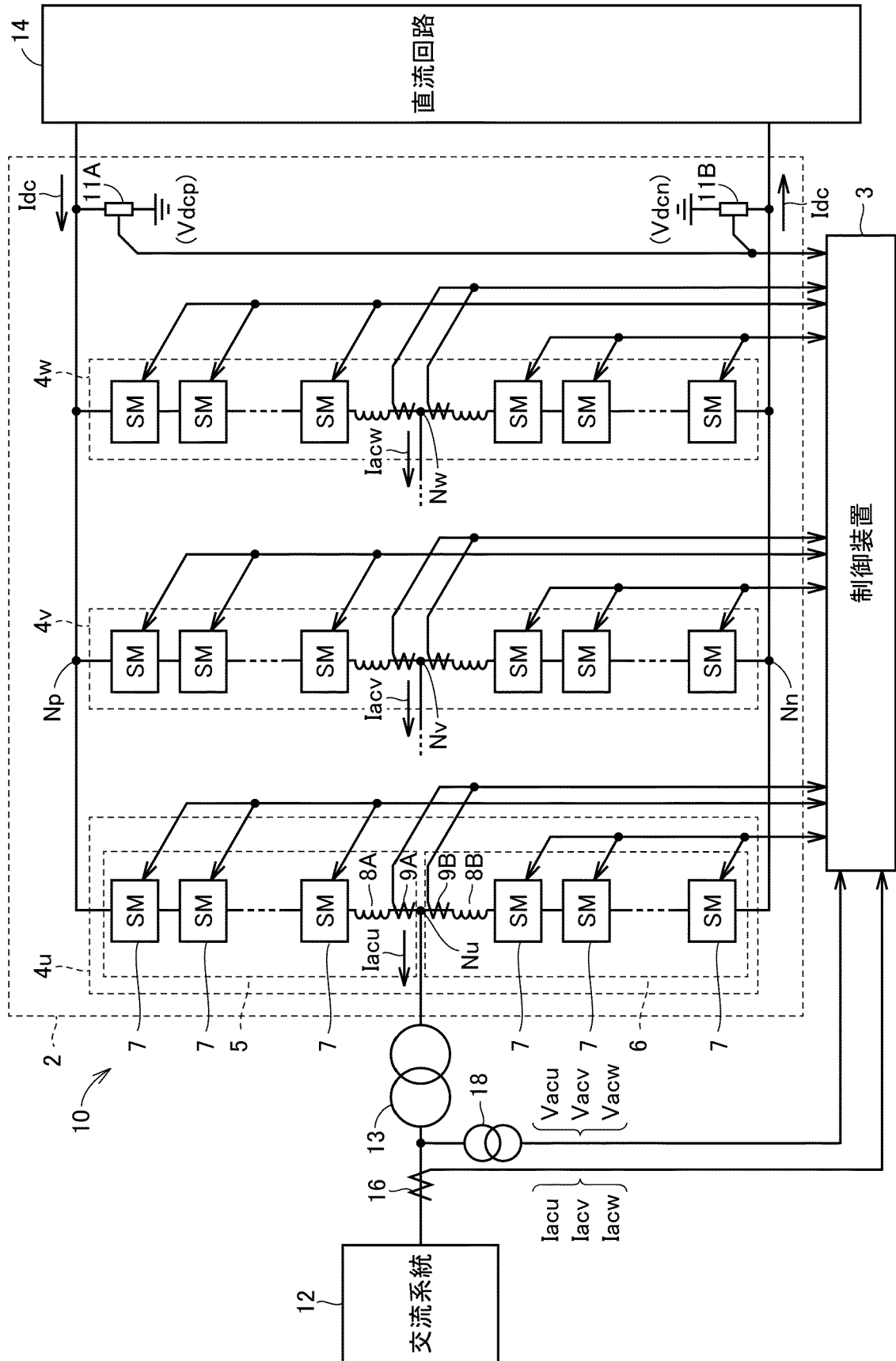
[図1]

図1



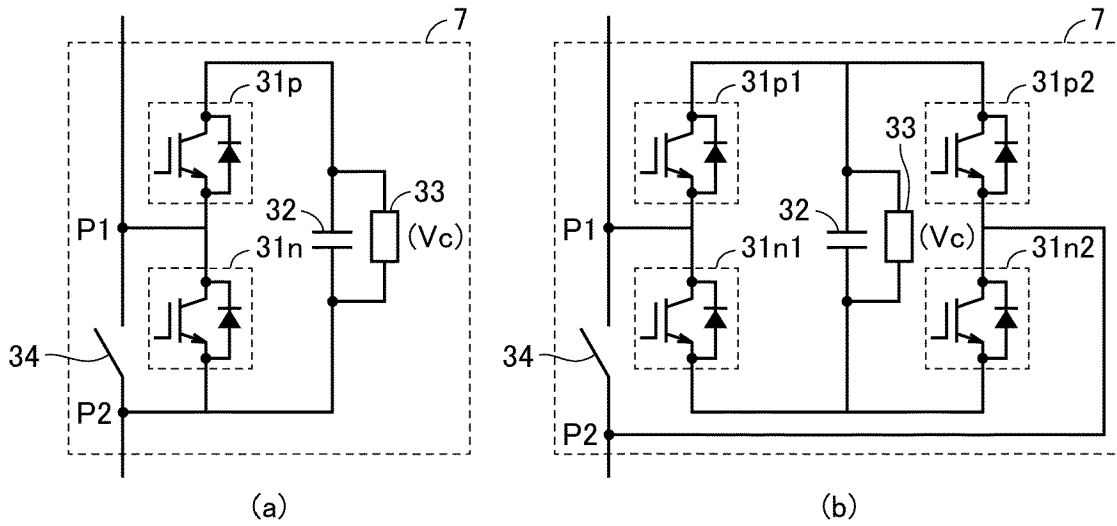
[図2]

図2



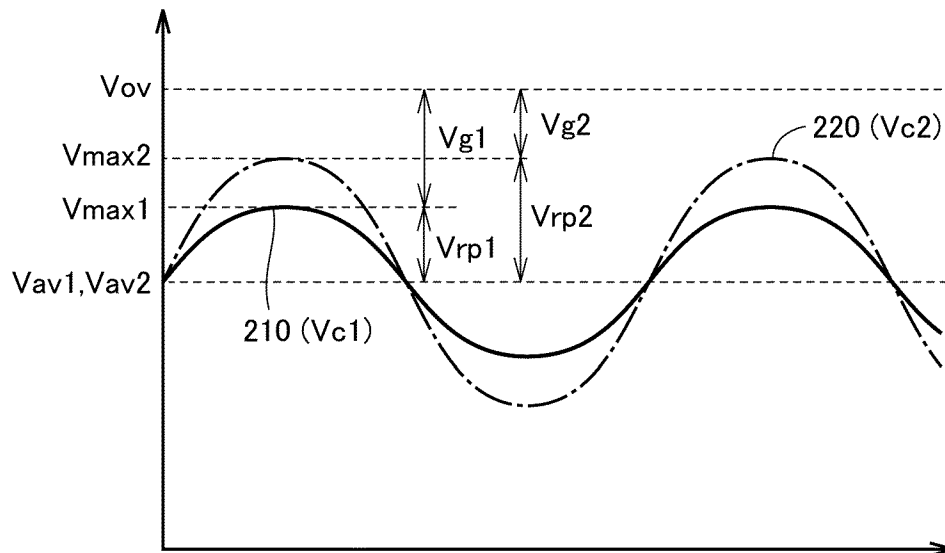
[図3]

図3



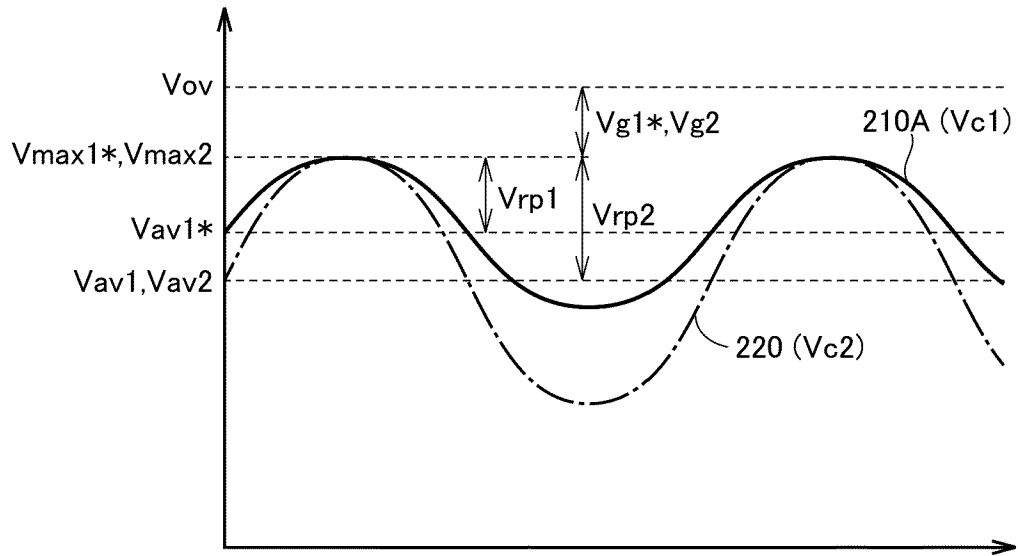
[図4]

図4



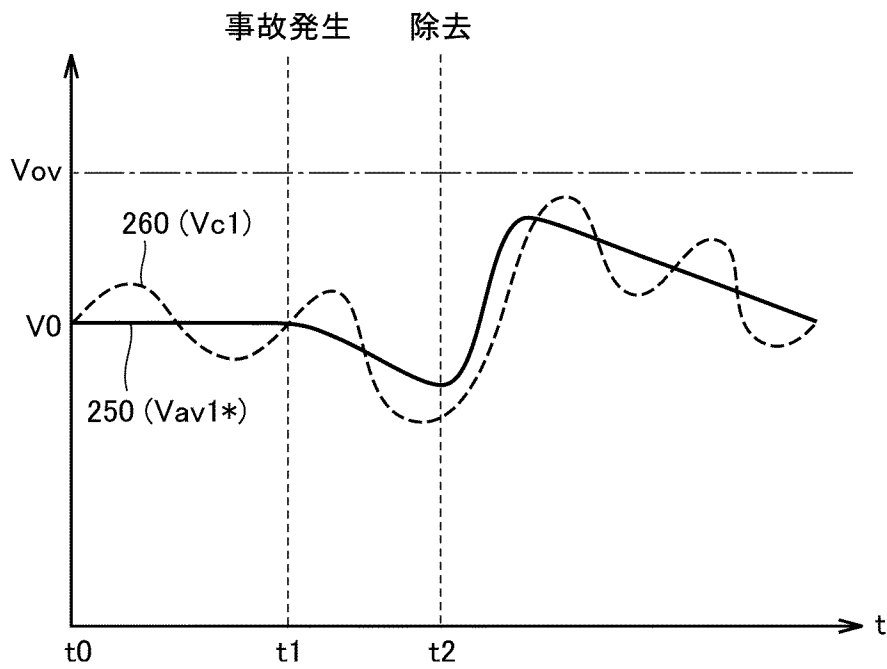
[図5]

図5



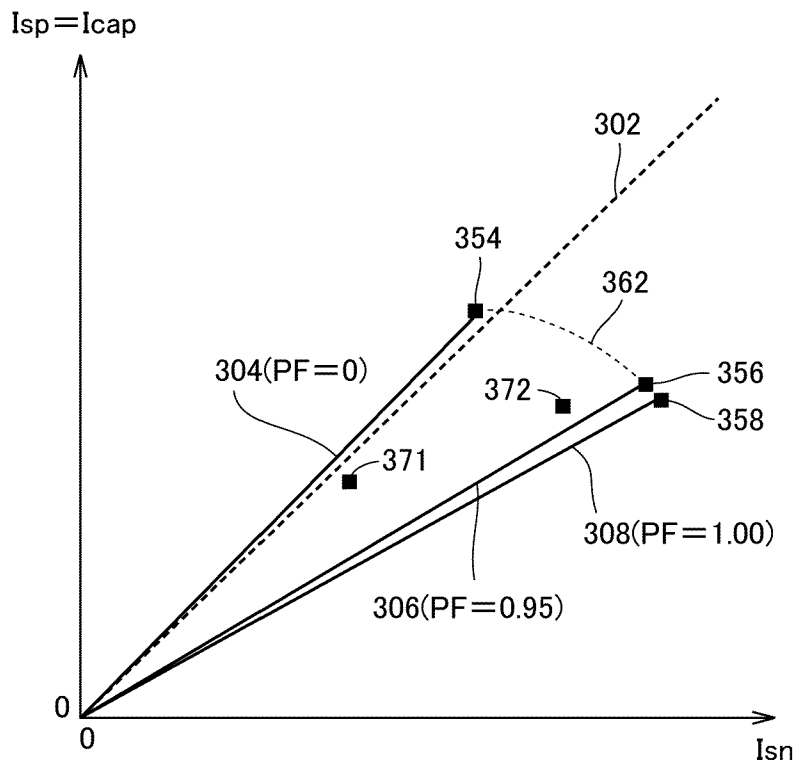
[図6]

図6



[図7]

図7



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2020/023813

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

H02J3/34 (2006.01) i; H02M5/458 (2006.01) i; H02M7/49 (2007.01) i
 FI: H02M7/49; H02M5/458; H02J3/34

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)
 H02M5/458; H02M7/49; H02J3/34

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Published examined utility model applications of Japan	1922-1996
Published unexamined utility model applications of Japan	1971-2020
Registered utility model specifications of Japan	1996-2020
Published registered utility model applications of Japan	1994-2020

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 2016-197940 A (HITACHI, LTD.) 24 November 2016 (2016-11-24) paragraphs [0016]-[0080], fig. 1-2	1-10
A	JP 2012-228025 A (HITACHI, LTD.) 15 November 2012 (2012-11-15) paragraphs [0007]-[0032], fig. 2-6	1-10

Further documents are listed in the continuation of Box C. See patent family annex.

* Special categories of cited documents:	"I" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance	"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date	"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)	"&" document member of the same patent family
"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means	
"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed	

Date of the actual completion of the international search 20 August 2020 (20.08.2020)	Date of mailing of the international search report 01 September 2020 (01.09.2020)
--	--

Name and mailing address of the ISA/ Japan Patent Office 3-4-3, Kasumigaseki, Chiyoda-ku, Tokyo 100-8915, Japan	Authorized officer Telephone No.
--	---

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.
PCT/JP2020/023813

Patent Documents referred in the Report	Publication Date	Patent Family	Publication Date
JP 2016-197940 A	24 Nov. 2016	(Family: none)	
JP 2012-228025 A	15 Nov. 2012	(Family: none)	

<p>A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC）） H02J 3/34(2006.01)i; H02M 5/458(2006.01)i; H02M 7/49(2007.01)i FI: H02M7/49; H02M5/458; H02J3/34</p>										
<p>B. 調査を行った分野</p>										
<p>調査を行った最小限資料（国際特許分類（IPC）） H02M5/458; H02M7/49; H02J3/34</p>										
<p>最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの</p> <table border="0"> <tr> <td>日本国実用新案公報</td> <td>1922 - 1996年</td> </tr> <tr> <td>日本国公開実用新案公報</td> <td>1971 - 2020年</td> </tr> <tr> <td>日本国実用新案登録公報</td> <td>1996 - 2020年</td> </tr> <tr> <td>日本国登録実用新案公報</td> <td>1994 - 2020年</td> </tr> </table>			日本国実用新案公報	1922 - 1996年	日本国公開実用新案公報	1971 - 2020年	日本国実用新案登録公報	1996 - 2020年	日本国登録実用新案公報	1994 - 2020年
日本国実用新案公報	1922 - 1996年									
日本国公開実用新案公報	1971 - 2020年									
日本国実用新案登録公報	1996 - 2020年									
日本国登録実用新案公報	1994 - 2020年									
<p>国際調査で使用した電子データベース（データベースの名称、調査に使用した用語）</p>										
<p>C. 関連すると認められる文献</p>										
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号								
A	JP 2016-197940 A (株式会社日立製作所) 24.11.2016 (2016 - 11 - 24) 段落 [0016] - [0080], 図1-2	1-10								
A	JP 2012-228025 A (株式会社日立製作所) 15.11.2012 (2012 - 11 - 15) 段落 [0007] - [0032], 図2-6	1-10								
<p><input type="checkbox"/> C欄の続きにも文献が列挙されている。 <input checked="" type="checkbox"/> パテントファミリーに関する別紙を参照。</p>										
* 引用文献のカテゴリー	<p>“T” 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と抵触するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの</p> <p>“A” 特に関連のある文献ではなく、一般的な技術水準を示すもの</p> <p>“E” 国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの</p> <p>“X” 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの</p> <p>“L” 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献（理由を付す）</p> <p>“Y” 特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの</p> <p>“O” 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献</p> <p>“&” 同一パテントファミリー文献</p> <p>“P” 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願の日の後に公表された文献</p>									
国際調査を完了した日	20.08.2020	国際調査報告の発送日 01.09.2020								
名称及びあて先 日本国特許庁(ISA/JP) 〒100-8915 日本国 東京都千代田区霞が関三丁目4番3号	権限のある職員（特許庁審査官） 宮本 秀一 5G 3357 電話番号 03-3581-1101 内線 3568									

国際調査報告
パテントファミリーに関する情報

国際出願番号

PCT/JP2020/023813

引用文献	公表日	パテントファミリー文献	公表日
JP 2016-197940 A	24.11.2016	(ファミリーなし)	
JP 2012-228025 A	15.11.2012	(ファミリーなし)	