

(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
2020年7月2日(02.07.2020)



(10) 国際公開番号

WO 2020/136700 A1

(51) 国際特許分類:

H02M 7/48 (2007.01) H02M 7/483 (2007.01)
H02M 1/00 (2007.01) H02M 7/49 (2007.01)

(21) 国際出願番号: PCT/JP2018/047459

(22) 国際出願日: 2018年12月25日(25.12.2018)

(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).

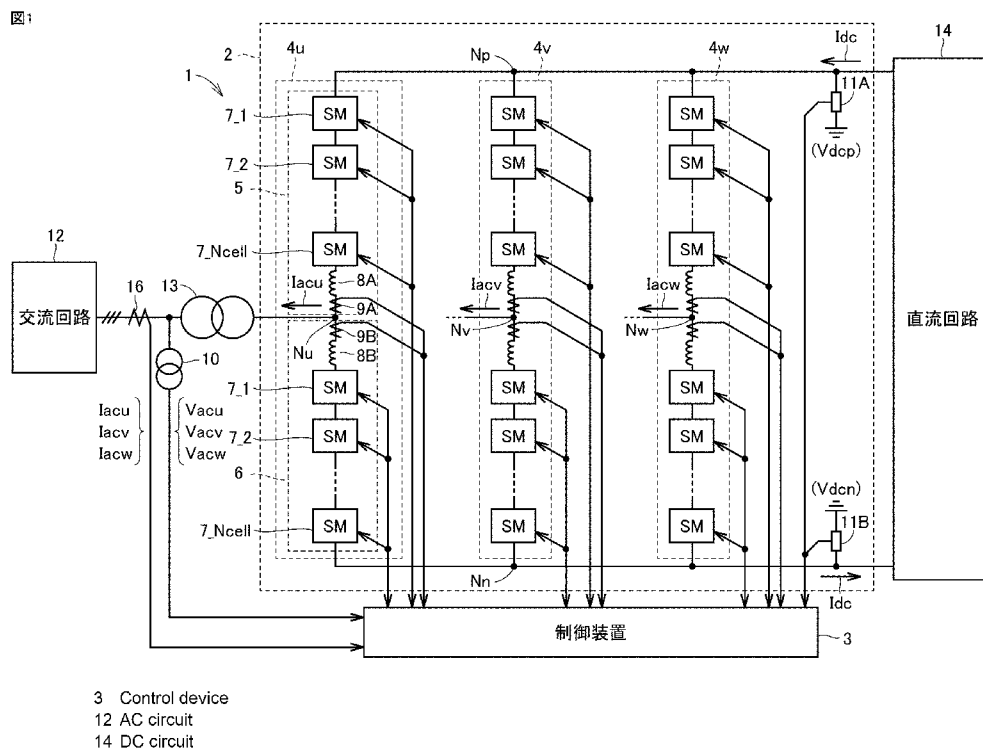
(72) 発明者: 梶山 拓也 (KAJIYAMA, Takuya); 〒1008310 東京都千代田区丸の内二丁目7番

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). 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). 田畠 和順(TAHATA, Kazuyori); 〒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 DEVICE

(54) 発明の名称: 電力変換装置



(57) Abstract: A power converter (2) comprises an arm (5) in which a plurality of converter cells (7), each including two or more switching elements (31p, 31n), a power storage element (32), and a pair of output terminals (P1, P2), are connected in series. A control device (3) controls the voltages of the plurality of converter cells (7) by phase-shift PWM control using carrier signals for the respective converter cells (7). Each of the converter cells (7) includes a switch (34) for bypassing the converter cell (7). When detecting a malfunction of the converter cell (7) in the arm, the control device (3)

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, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, 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))

allows bypassing of the malfunctioning converter cell in the arm and improves unevenness, caused by the malfunction of the converter cell (7), in phase intervals of carrier signals for a plurality of normally operating converter cells in the arm.

(57) 要約: 電力変換器 (2) は、2 個以上のスイッチング素子 (31p, 31n) と、蓄電要素 (32) と、一対の出力端子 (P1, P2) とを含む複数の変換器セル (7) が直列に接続されたアーム (5) を有する。制御装置 (3) は、変換器セル (7) ごとのキャリア信号を用いて、位相シフトPWM制御によって複数の変換器セル (7) の電圧を制御する。変換器セル (7) は、変換器セル (7) をバイパスするためのスイッチ (34) を有する。制御装置 (3) は、アーム内の変換器セル (7) の故障を検知すると、アーム内の故障変換器セルをバイパスさせるとともに、変換器セル (7) の故障によって生じるアーム内の複数の健全変換器セルのキャリア信号の位相の間隔の不均衡を改善する。

明 細 書

発明の名称：電力変換装置

技術分野

[0001] 本発明は、電力変換装置に関する。

背景技術

[0002] 複数の単位変換器（以下、変換器セルと称す）がカスケードに接続されるモジュラーマルチレベル変換器（以下、MMC変換器と称す）は、変換器セルの数を増加させることによって、高電圧に容易に対応することができる。モジュラーマルチレベル変換器は、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交直電力変換装置として、送配電系統へ広く適用されている。変換器セルは、複数のスイッチング素子と蓄電要素（キャパシタと称することもある）とを備える。MMC変換器では、変換器セルが故障しても、故障した変換器セルをバイパスすることによって、運転を継続することができる。

[0003] 特許文献1には、変換器セルの故障数が最も多いアームの故障数に応じて、各アームにおける変換器セルの動作数を調整するとともに、キャパシタ電圧を上昇させることによって、各アームの変調率の調整が不要な運転方法が記載されている。

先行技術文献

特許文献

[0004] 特許文献1：特開2017-143619号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0005] しかしながら、特許文献1は、故障した変換器セルをバイパスした後に増大するアーム電流の高調波成分について考慮されていない。

[0006] MMC変換器の変換器セルの出力電圧には、交流出力側の基本波成分（以下、単に基本波成分）および直流成分などのアーム電圧指令値に含まれる周

波数成分の他に、スイッチング周波数成分、その整数次の成分、およびそれらの側帯波成分などの高調波成分（以下、単に高調波成分と称す）が含まれている。位相シフトPWM（Pulse Width Modulation）方式を採用しているMMC変換器は、各アームにおける各変換器セルのPWMの基準位相を均等にシフトすることによって、各変換器セルの出力電圧の高調波成分を相殺する。これによって、アームの出力電圧のスイッチング周波数を高くすることができる。

[0007] しかしながら、変換器セルが故障した場合に、故障した変換器セルをバイパスすると、故障した変換器セルの出力電圧が零となる。これによって、PWMの基準位相のシフト量が均等ではなくなるため、各変換器セルの出力電圧の高調波成分が相殺できなくなる。その結果、アームの出力電圧に各変換器セルの出力電圧の高調波成分が残留する。これによって、一部の変換器セルに高調波成分のエネルギーが集中する。その結果、その一部の変換器セルのキャパシタ電圧が保護レベルを逸脱して、MMC変換器が保護停止する恐れがある。

[0008] それゆえに、本発明の目的は、故障した変換器セルをバイパスした後に増大するアームの出力電圧の高調波成分を抑制することができる電力変換装置を提供することである。

課題を解決するための手段

[0009] 本発明の電力変換装置は、2個以上のスイッチング素子と、蓄電要素と、一対の出力端子とを含む複数の変換器セルが直列に接続されたアームを有する電力変換器と、変換器セルごとのキャリア信号を用いて、位相シフトPWM制御によって複数の変換器セルの電圧を制御する制御装置とを備える、変換器セルは、変換器セルをバイパスするためのスイッチを有する。制御装置は、アーム内の変換器セルの故障を検知すると、アーム内の故障変換器セルをバイパスさせるとともに、変換器セルの故障によって生じるアーム内の複数の健全変換器セルのキャリア信号の位相の間隔の不均等を改善する。

発明の効果

[0010] 本発明によれば、故障した変換器セルをバイパスした後に増大するアーム電流の高調波成分を抑制することができる。

図面の簡単な説明

[0011] [図1]実施の形態の電力変換装置 1 の概略構成図である。

[図2] (a) および (b) は、電力変換器 2 を構成する変換器セル 7 の構成を表わす図である。

[図3]実施の形態 1 の制御装置 3 の内部構成を表わす図である。

[図4]基本制御部 502 の構成を表わす図である。

[図5]アーム制御部 503 の構成を表わす図である。

[図6]個別セル制御部 202 の構成を表わす図である。

[図7]実施の形態 1 の具体例 1 の変換器セル 7 __ 2 が故障前のキャリア基準位相 $\theta 1$ と、変換器セル 7 __ 2 が故障後のキャリア基準位相 $\theta 2$ を表わす図である。

[図8]実施の形態 1 の具体例 2 の変換器セル 7 __ 3 が故障前のキャリア基準位相 $\theta 1$ と、変換器セル 7 __ 3 が故障後のキャリア基準位相 $\theta 2$ を表わす図である。

[図9]図 7 の具体例 1 のキャリア信号の変化を表わす図である。

[図10]制御装置 3 のハードウェア構成の一例を表わす図である。

[図11]実施の形態 2 の具体例 1 の変換器セル 7 __ 2 が故障前のキャリア基準位相 $\theta 1$ と、変換器セル 7 __ 2 が故障後のキャリア基準位相 $\theta 2$ を表わす図である。

[図12]実施の形態 2 の具体例 2 の変換器セル 7 __ 3 が故障前のキャリア基準位相 $\theta 1$ と、変換器セル 7 __ 3 が故障後のキャリア基準位相 $\theta 2$ を表わす図である。

[図13]図 11 の具体例 1 のキャリア信号の変化を表わす図である。

[図14]実施の形態 3 の具体例 1 の変換器セル 7 __ 2 が故障前のキャリア基準位相 $\theta 1$ と、変換器セル 7 __ 2 が故障後のキャリア基準位相 $\theta 2$ を表わす図である。

[図15]実施の形態3の具体例2の変換器セル7__3が故障前のキャリア基準位相 θ_1 と、変換器セル7__3が故障後のキャリア基準位相 θ_2 を表わす図である。

[図16]図14の具体例1のキャリア信号の変化を表わす図である。

[図17]実施の形態4の制御装置3の構成を表わす図である。

[図18]セルバランス用循環電流制御部610の構成を表わす図である。

[図19]実施の形態4のアーム電圧指令生成部601の構成を表わす図である。

[図20]実施の形態5の制御装置3の構成を表わす図である。

[図21]実施の形態6の電力変換装置1Aの構成を表わす図である。

[図22]電力変換装置1Aの一部の構成を表わす図である。

[図23]電力変換装置1Bの一部の構成を表わす図である。

[図24]変形例の基本制御部502Aの構成を表わす図である。

発明を実施するための形態

[0012] 以下、実施の形態について、図面を参照して説明する。

実施の形態1.

(電力変換装置の全体構成)

図1は、実施の形態の電力変換装置1の概略構成図である。図1を参照して、電力変換装置1は、互いに直列接続された複数の変換器セルを含むモジュラーマルチレベル変換器によって構成されている。なお、「変換器セル」は、「サブモジュール」、SM、または「単位変換器」とも呼ばれる。電力変換装置1は、直流回路14と交流回路12との間で電力変換を行なう。電力変換装置1は、電力変換器2と、制御装置3とを含む。

[0013] 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4u, 4v, 4w（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。

[0014] 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

、交流回路 1 2 と直流回路 1 4 との間に接続され、両回路間で電力変換を行なう。図 1 には、交流回路 1 2 が 3 相交流系統の場合が示され、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 が設けられている。

[0015] 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 を介して交流回路 1 2 に接続される。交流回路 1 2 は、例えば、交流電源などを含む交流電力系統である。図 1 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 との接続は図示していない。

[0016] 各レグ回路 4 に共通に接続された高電位側直流端子 N p および低電位側直流端子 N n は、直流回路 1 4 に接続される。直流回路 1 4 は、例えば、直流送電網などを含む直流電力系統または他の電力変換装置の直流端子である。後者の場合、2 台の電力変換装置を連結することによって定格周波数などが異なる交流電力系統間を接続するための B T B (Back To Back) システムが構成される。

[0017] 図 1 の変圧器 1 3 を用いる代わりに、連系リアクトルを介して交流回路 1 2 に接続する構成としてもよい。さらに、交流入力端子 N u, N v, N w に代えてレグ回路 4 u, 4 v, 4 w にそれぞれ一次巻線を設け、この一次巻線と磁気結合する二次巻線を介してレグ回路 4 u, 4 v, 4 w が変圧器 1 3 または連系リアクトルに交流的に接続するようにしてもよい。この場合、一次巻線を下記のリアクトル 8 A, 8 B としてもよい。すなわち、レグ回路 4 は、交流入力端子 N u, N v, N w または上記の一次巻線など、各レグ回路 4 u, 4 v, 4 w に設けられた接続部を介して電氣的に（すなわち直流的または交流的に）交流回路 1 2 と接続される。

[0018] レグ回路 4 u は、高電位側直流端子 N p から交流入力端子 N u までの上アーム 5 と、低電位側直流端子 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。高電位側直流端子 N p および低電位側直流端子 N n が

直流回路 1 4 に接続される。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。

[0019] 上アーム 5 は、カスケード接続された複数の変換器セル 7 __ 1 ~ 7 __ N c e l l と、リアクトル 8 A とを含む。複数の変換器セル 7 およびリアクトル 8 A は直列に接続されている。同様に、下アーム 6 は、カスケード接続された複数の変換器セル 7 __ 1 ~ 7 __ N c e l l と、リアクトル 8 B とを含む。複数の変換器セル 7 およびリアクトル 8 B は直列に接続されている。以下の説明では、上アーム 5 および下アーム 6 のそれぞれに含まれる変換器セル 7 の数を N c e l l とする。ただし、 $N c e l l \geq 2$ とする。以下の説明では、変換器セル 7 __ 1 ~ 7 __ N c e l l を総称して、変換器セル 7 と記載する場合もある。変換器セルのインデックス i は、変換器セルの物理的な配置とは関係しない。

[0020] リアクトル 8 A が挿入される位置は、レグ回路 4 u の上アーム 5 のいずれの位置であってもよく、リアクトル 8 B が挿入される位置は、レグ回路 4 u の下アーム 6 のいずれの位置であってもよい。リアクトル 8 A, 8 B はそれぞれ複数個あってもよい。各リアクトルのインダクタンス値は互いに異なってもよい。さらに、上アーム 5 のリアクトル 8 A のみ、もしくは、下アーム 6 のリアクトル 8 B のみを設けてもよい。

[0021] リアクトル 8 A, 8 B は、交流回路 1 2 または直流回路 1 4 などの事故時に事故電流が急激に増大しないように設けられている。しかし、リアクトル 8 A, 8 B のインダクタンス値を過大なものにすると電力変換器 2 の効率が低下するという問題が生じる。したがって、事故時には、各変換器セル 7 の全てのスイッチング素子をできるだけ短時間で停止（オフ）することが好ましい。

[0022] 電力変換装置 1 は、さらに、制御に使用される電気量（電流、電圧など）を計測する各検出器として、交流電圧検出器 1 0 と、交流電流検出器 1 6 と、直流電圧検出器 1 1 A, 1 1 B と、各レグ回路 4 に設けられたアーム電流検出器 9 A, 9 B とを含む。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。

[0023] なお、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 および各変換器セル 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変換器セル 7 ごとに設けられている。各変換器セル 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。

[0024] 以下、各検出器について具体的に説明する。

交流電圧検出器 10 は、交流回路 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。以下の説明では、 V_{acu} 、 V_{acv} 、および V_{acw} を総称して V_{ac} と記載する。

[0025] 交流電流検出器 16 は、交流回路 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。以下の説明では、 I_{acu} 、 I_{acv} 、および I_{acw} を総称して I_{ac} と記載する。

[0026] 直流電圧検出器 11A は、直流回路 14 に接続された高電位側直流端子 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 に接続された低電位側直流端子 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。

[0027] 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 に流れる上アーム電流 I_{pu} 、および下アーム 6 に流れる下アーム電流 I_{nu} をそれぞれ検出する。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、上アーム電流 I_{pv} および下アーム電流 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、上アーム電流 I_{pw} および下アーム電流 I_{nw} をそれぞれ検出する。以下の説明では、上アーム電流 I_{pu} 、 I_{pv} 、 I_{pw} を総称して上アーム電流 $I_{arm p}$ と記載し、下アーム電流 I_{nu} 、 I_{nv} 、 I_{nw} を総称して下アーム電流 $I_{arm n}$ と記載し、上アーム電流 $I_{arm p}$ と下アーム電流 $I_{arm n}$ とを総称して I_{arm} と記載する。

[0028] (変換器セル)

図2(a)および図2(b)は、電力変換器2を構成する変換器セル7の構成を表わす図である。

[0029] 図2(a)に示す変換器セル7は、ハーフブリッジ構成と呼ばれる回路構成を有する。この変換器セル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、蓄電要素32と、バイパススイッチ34と、電圧検出器33とを備える。直列体と蓄電要素32とは並列接続される。

[0030] スwitch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蓄電要素32の両端電圧、および零電圧を出力する。たとえば、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、蓄電要素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。

[0031] バイパススイッチ34は、入出力端子P1、P2間に接続される。バイパススイッチ34をオンにすることによって、変換器セル7が短絡される。変換器セル7が短絡することによって、変換器セル7に含まれるスイッチング素子31p、31nが事故時に発生する過電流から保護される。

[0032] 電圧検出器33は、蓄電要素32の両端の電圧Vcを検出する。

図2(b)に示す変換器セル7は、フルブリッジ構成と呼ばれる回路構成を有する。この変換器セル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、蓄電要素32と、バイパススイッチ34と、電圧検出器33とを備える。第1の直列体と、第2の直列体と、蓄電要素32とが並列接続される。

[0033] スwitch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との中点とを変換器セル7の入出力端子P1、P2とする。スイッチング素子31p1、31n1、

31p2、31n2のスイッチング動作により蓄電要素32の両端電圧、または零電圧を出力する。

[0034] バイパススイッチ34は、入出力端子P1、P2間に接続される。バイパススイッチ34をオンにすることによって、変換器セル7が短絡される。変換器セル7が短絡することによって、変換器セル7に含まれる各素子が事故時に発生する過電流から保護される。

[0035] 電圧検出器33は、蓄電要素32の両端の電圧Vcを検出する。

図2(a)および図2(b)において、スイッチング素子31p、31n、31p1、31n1、31p2、31n2は、例えば、IGBT(Insulated Gate Bipolar Transistor)、GCT(Gate Commutated Turn-off)サイリスタなどの自己消弧型の半導体スイッチング素子にFWD(Freewheeling Diode)が逆並列に接続されて構成される。

[0036] 図2(a)および図2(b)において、蓄電要素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。蓄電要素32は、以降の説明では、キャパシタと呼称することもある。

[0037] 以降では、変換器セル7を図2(a)に示すハーフブリッジセルの構成とし、スイッチング素子として半導体スイッチング素子、蓄電要素としてキャパシタを用いた場合を例に説明する。しかし、電力変換器2を構成する変換器セル7を図2(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変換器セル、例えば、クランプトダブルセルと呼ばれる回路構成などを適用した変換器セルを用いてもよく、スイッチング素子および蓄電要素も上記のものに限定するものではない。

[0038] (制御装置)

図3は、実施の形態1の制御装置3の内部構成を表わす図である。

[0039] 制御装置3は、スイッチング制御部501と、バイパス制御部510とを備える。

スイッチング制御部501は、変換器セル7のスイッチング素子31p、

31nのオン、オフを制御する。

[0040] バイパス制御部510は、アーム内の変換器セル7の故障を検知すると、アーム内の故障が生じた変換器セル7のバイパススイッチ34をオンにすることによって、故障が生じた変換器セル7を過電流から保護する。

[0041] スwitchング制御部501は、U相基本制御部502Uと、U相上アーム制御部503UPと、U相下アーム制御部503UNと、V相基本制御部502Vと、V相上アーム制御部503VPと、V相下アーム制御部503VNと、W相基本制御部502Wと、W相上アーム制御部503WPと、W相下アーム制御部503WNとを備える。

[0042] 以下の説明では、U相基本制御部502U、V相基本制御部502V、およびW相基本制御部502Wを総称して基本制御部502と記載する。U相上アーム制御部503UP、U相下アーム制御部503UN、V相上アーム制御部503VP、V相下アーム制御部503VN、W相上アーム制御部503WP、およびW相下アーム制御部503WNを総称してアーム制御部503と記載する。

[0043] 図4は、基本制御部502の構成を表わす図である。

基本制御部502は、アーム電圧指令生成部601と、キャパシタ電圧指令生成部602とを備える。

[0044] アーム電圧指令生成部601は、上アームのアーム電圧指令値 k_{refp} と、下アームのアーム電圧指令値 k_{refn} とを算出する。以下の説明では、 k_{refp} と k_{refn} とを総称して k_{ref} と記載する。

[0045] キャパシタ電圧指令生成部602は、上アームに含まれるN個の変換器セル7のキャパシタ32のキャパシタ指令電圧値 V_{crefp} を算出する。キャパシタ電圧指令生成部602は、下アームに含まれるN個の変換器セル7のキャパシタ32のキャパシタ指令電圧値 V_{crefn} を算出する。たとえば、キャパシタ指令電圧値 V_{crefp} は、上アームの変換器セル7のキャパシタ32の平均電圧とし、キャパシタ指令電圧値 V_{crefn} は、下アームの変換器セル7のキャパシタ32の平均電圧とする。以下の説明では、V

c_{refp} と V_{crefn} とを総称して V_{cref} と記載する。

[0046] アーム電圧指令生成部601は、交流電流制御部603と、循環電流算出部604と、循環電流制御部605と、指令分配部606とを備える。

[0047] 交流電流制御部603は、検出された交流電流 I_{ac} と設定された交流電流指令値 I_{acref} との偏差が0になるように交流制御指令値 V_{cp} を算出する。

[0048] 循環電流算出部604は、上アームのアーム電流 I_{armp} と、下アームのアーム電流 I_{armn} とに基づいて、1つのレグ回路4に流れる循環電流 I_z を計算する。循環電流は、複数のレグ回路4の間を循環する電流である。例えば、1つのレグ回路4に流れる循環電流 I_z は、以下の式によって計算できる。

$$I_{dc} = (I_{pu} + I_{pv} + I_{pw} + I_{nu} + I_{nv} + I_{nw}) / 2 \quad \dots (1)$$

$$I_z = (I_{armp} + I_{armn}) / 2 - I_{dc} / 3 \quad \dots (2)$$

循環電流制御部605は、循環電流 I_z を設定された循環電流指令値 I_{zref} 、例えば0に追従制御するための循環制御指令値 V_{zp} を算出する。

[0050] 指令分配部606は、交流制御指令値 V_{cp} と、循環制御指令値 V_{zp} と、直流電圧指令値 V_{dcref} と、中性点電圧 V_{sn} と、交流電圧 V_{ac} とを受ける。電力変換器2の交流側が変圧器13を介して交流回路12に接続されているため、中性点電圧 V_{sn} は、直流回路14の直流電源の電圧により求めることができる。直流電圧指令値 V_{dcref} は、直流出力制御により与えられても、一定値でもよい。

[0051] 指令分配部606は、これらの入力に基づいて、上アーム、および下アームがそれぞれ出力分担する電圧を算出する。指令分配部606は、算出した電圧から上アーム、下アーム内のインダクタンス成分による電圧降下分をそれぞれ差し引くことによって、上アームのアーム電圧指令値 k_{refp} 、および下アームのアーム電圧指令値 k_{refn} を決定する。

[0052] 決定された上アームのアーム電圧指令値 k_{refp} 、および下アームの

ーム電圧指令値 k_{refn} は、交流電流 I_{ac} を交流電流指令値 I_{acref} に追従させ、循環電流 I_z を循環電流指令値 I_{zref} に追従させ、直流電圧 V_{dc} を直流電圧指令値 V_{dcref} に追従させるとともに、交流電圧 V_{ac} をフィードフォワード制御する出力電圧指令となる。

[0053] 基本制御部 502 は、上アームのアーム電流 I_{armp} と、下アームのアーム電流 I_{armn} と、上アームのアーム電圧指令値 k_{refp} と、下アームのアーム電圧指令値 k_{refn} と、上アームのキャパシタ指令電圧値 V_{crefp} と、下アームのキャパシタ指令電圧値 V_{crefn} とを出力する。

[0054] 図 5 は、アーム制御部 503 の構成を表わす図である。

アーム制御部 503 は、変換器セル $7_1 \sim 7_Ncell$ のうち変換器セル 7_j の故障を検知すると、故障変換器セル 7_j の故障によって生じるアーム内の健全変換器セル 7_i ($i = 1 \sim j - 1, j + 1 \sim Ncell$) のキャリア信号の位相の間隔の不均等を改善する。

[0055] アーム制御部 503 は、 $Ncell$ 個の個別セル制御部 $202_1 \sim 202_Ncell$ と、キャリア信号生成部 203 とを備える。以下の説明では、個別セル制御部 $202_1 \sim 202_Ncell$ を総称して、個別セル制御部 202 と記載する場合もある。

[0056] 個別セル制御部 202_i は、対応する変換器セル 7_i を個別に制御する。個別セル制御部 202_i は、基本制御部 502 からアーム電圧指令値 k_{ref} 、アーム電流 I_{arm} 、およびキャパシタ指令電圧値 V_{cref} を受ける。個別セル制御部 202_i は、対応する変換器セル 7_i から、キャパシタ電圧 V_c およびセル健全判定信号 cn を受ける。変換器セル 7 が健全な状態のときにセル健全判定信号は「1」となり、変換器セル 7 が故障状態のときにセル健全判定信号は「0」となる。個別セル制御部 202_i は、キャリア信号生成部 203 からキャリア信号 CR_i を受ける。個別セル制御部 202_i は、対応する変換器セル 7_i のゲート信号 ga を生成して、対応する変換器セル 7_i へ出力する。

[0057] キャリア信号生成部 203 は、アーム内のいずれかの変換器セル 7 が故障

する前には、 360 度をアーム内の複数の変換器セル 7_i の個数 N_{cell} で分割した間隔の複数のキャリア信号 $CR(i)$ の基準位相（以下、キャリア基準位相と記載する場合もある）を設定する。キャリア信号 $CR(i)$ の基準位相とは、キャリア信号 $CR(i)$ の位相と基準となる位相との差を表わす。基準となる位相として、キャリア信号 $CR(0)$ の位相を用いることができる。

[0058] キャリア信号生成部203は、設定されたキャリア基準位相を有するキャリア信号 $CR(1) \sim CR(N_{cell})$ を生成する。これにより、アーム内の各変換器セル7の出力電圧の高調波成分を相殺し、1つのアームの出力電圧の等価スイッチング周波数を高周波化することができる。

[0059] アーム内のいずれかの変換器セル7に故障が発生し、故障した変換器セルを故障変換器セル 7_j とする。故障変換器セル 7_j の出力電圧が零となると、アーム内の各変換器セル7の出力電圧の高調波成分が相殺できなくなる。その結果、アームの出力電圧に各変換器セル7の出力電圧の高調波成分が残留する。

[0060] それゆえ、本実施の形態では、キャリア信号生成部203は、アーム内のいずれかの変換器セル7が故障した後には、アーム内の複数の健全変換器セルのキャリア基準位相の間隔の不均等を改善する。変換器セル 7_j の故障前の複数のキャリア基準位相の間隔は、 $360^\circ / N_{cell} (= \phi)$ であるが、変換器セル 7_j の故障によって、故障変換器セル 7_j のキャリア基準位相の直前のキャリア基準位相と、故障変換器セル 7_j のキャリア基準位相の直後のキャリア基準位相との差が、 2ϕ となる。アーム内の複数の健全変換器セルのキャリア基準位相の間隔の不均等を改善するとは、アーム内のすべてのキャリア基準位相の間隔を 2ϕ よりも小さくすることを意味する。

[0061] 好ましくは、キャリア信号生成部203は、 360 度をアーム内の複数の健全変換器セル 7_i の個数 $(N_{cell} - 1)$ で分割した間隔の複数のキャリア信号の基準位相を設定する。キャリア信号生成部203は、電力変換

器2のスイッチング動作を停止するゲートブロック動作を行うことなく、健全変換器セルのキャリア基準位相を再設定する。キャリア信号生成部203は、再設定されたキャリア基準位相を有するキャリア信号 $CR(1) \sim CR(j-1)$ 、 $CR(j+1) \sim CR(N_{cell})$ を生成する。

[0062] 図6は、個別セル制御部202の構成を表わす図である。

個別セル制御部202は、個別セルバランス制御部2021と、加算器2051と、PWM変調部2022と、信号切替器2023とを備える。

[0063] 個別セルバランス制御部2021は、キャパシタ指令電圧値 V_{cref} と、対応する変換器セル7のキャパシタ電圧 V_c と、アーム電流 I_{arm} とに基づいて、キャパシタ電圧 V_c がキャパシタ指令電圧値 V_{cref} と一致するように個別セルバランス制御出力 dk_{refc} を出力する。たとえば、個別セルバランス制御部2021は、 V_{cref} と V_c との差分にゲイン K を乗算した結果に基づいて、個別セルバランス制御出力 dk_{refc} を生成することができる。

[0064] 加算器2051は、アーム電圧指令値 k_{ref} と、個別セルバランス制御部2021から出力される個別セルバランス制御出力 dk_{refc} とを加算する。加算結果が、セル電圧指令値 k_{refc} として出力される。

[0065] PWM変調部2022は、セル電圧指令値 k_{refc} とキャリア信号 $CR(i)$ を位相シフトPWM方式で変調することによって、PWM変調信号を出力する。PWM変調部2022は、変換器セル7の構成に応じた変調をする。変換器セル7の構成において、出力されるPWM変調信号の数 n も増減する。例えば、ハーフブリッジセルの場合は $n=2$ 、フルブリッジセルの場合は $n=4$ となる。

[0066] 信号切替器2023は、PWM変調信号と、零電圧を表わす零信号とを受ける。信号切替器2023は、セル健全判定信号 c_n によって選択される信号を出力する。変換器セル7__ i が健全な状態のときには、セル健全判定信号 c_n が「1」となり、PWM変調信号が出力される。変換器セル7__ i が故障状態のときには、セル健全判定信号 c_n が「0」となり、零信号が出力

される。信号切替器 2023 から出力された信号は、ゲート信号 g_a として、対応する変換器セル 7__i のスイッチング素子 31p、31n のゲートドライバに送られることによって、対応する変換器セル 7__i のスイッチング素子 31p、31n がスイッチング制御される。

[0067] 以下では、キャリア信号生成部 203 によるキャリア基準位相の設定方法について、さらに詳細に説明する。

[0068] 電力変換器 2 のゲートブロックを行うことなく、キャリア基準位相を変化させる場合、キャリア基準位相の変化の影響を少なくすることが重要となる。本実施の形態では、最適化問題を設定し、目的関数を最小化することで、キャリア基準位相の変化量を最小にする。

[0069] アーム内の変換器セルの故障が発生する前における変換器セル 7__i ($i = 1 \sim N_{cell}$) のキャリア基準位相を $\theta_1(i)$ とする。

[0070] キャリア信号生成部 203 は、アーム内の変換器セル 7__j の故障が発生する前において、変換器セル 7__i ($i = 1 \sim N_{cell}$) のキャリア基準位相 $\theta_1(i)$ を以下のように設定する。

[0071] $\theta_1(i) = 360 \times (i-1) / N_{cell} \cdots (1)$

アーム内の変換器セル 7__j が故障がした後における変換器セル 7__i ($i = 1 \sim j-1, j+1 \sim N_{cell}$) のキャリア基準位相を $\theta_2(i)$ とし、キャリア基準位相のオフセットを θ_f とする。キャリア信号生成部 203 は、アーム内の変換器セル 7__j が故障がした後において、健全変換器セル 7__i ($i = 1 \sim j-1, j+1 \sim N_{cell}$) のキャリア基準位相 $\theta_2(i)$ を以下のように設定する。

[0072] $\theta_2(i) = 360 \times (i-1) / (N_{cell}-1) + \theta_f \quad (i < j) \cdots (2)$

$\theta_2(i) = 360 \times (i-2) / (N_{cell}-1) + \theta_f \quad (i > j) \cdots (3)$

アーム内の変換器セル 7__j の故障が発生する前後の健全変換器セル 7__i ($i = 1 \sim j-1, j+1 \sim N_{cell}$) のキャリア基準位相の変化量を $\Delta\theta(i)$ とする。 $\Delta\theta(i)$ は、以下のように表される。

[0073] $\Delta\theta(i) = \theta_2(i) - \theta_1(i) \quad (i \neq j) \cdots (4)$

キャリア信号生成部203は、複数の健全変換器セルのキャリア基準位相の変化量の絶対値の最大値を最小とする。実施の形態1では、さらに、 $-180 < \theta_f \leq 180$ という条件を付することによって、最適化問題は、以下のように設定される。

$$[0074] \quad \min\{\max(|\Delta\theta(i)|), 1 \leq i \leq N_{\text{cell}}, -180 < \theta_f \leq 180\} \cdots (5)$$

上記の最適化問題における最適解では、たとえば、故障変換器セル7__jの一方の隣の健全変換器セル7__j+1のキャリア基準位相の変化量の絶対値 $|\Delta\theta(j+1)|$ と、故障変換器セル7__jの他方の隣の健全変換器セル7__j-1のキャリア基準位相の変化量の絶対値 $|\Delta\theta(j-1)|$ とが等しくなる。

[0075] 上記の最適化問題を解くと、キャリア基準位相のオフセット θ_f は、以下のように表される。

$$[0076] \quad \theta_f = 180 \times (N_{\text{cell}} - 2 \times j + 2) / (N_{\text{cell}} \times (N_{\text{cell}} - 1)) \cdots (6)$$

キャリア信号生成部203は、式(6)のキャリア基準位相のオフセット θ_f を式(2)および(3)に代入することによって、アーム内の変換器セル7__jが故障した後において、健全変換器セル7__i ($i = 1 \sim j-1$ 、 $j+1 \sim N_{\text{cell}}$)のキャリア基準位相 $\theta_2(i)$ を求める。その結果、キャリア信号生成部203は、健全変換器セル7__iのキャリア基準位相を以下のように変化させる。キャリア信号生成部203は、複数の健全変換器セル7__iのキャリア基準位相 $\theta_1(i)$ のうち、故障変換器セル7__jのキャリア基準位相 $\theta_1(j)$ よりも早い基準位相を遅らせるように変化させる。キャリア信号生成部203は、複数の健全変換器セル7__iのキャリア基準位相 $\theta_1(i)$ のうち、故障変換器セル7__jのキャリア基準位相 $\theta_1(j)$ よりも遅い基準位相を進ませるように変化させる。

[0077] より詳しく説明すると、キャリア基準位相 $\theta_2(i)$ は、以下の特性を有する。

$\theta_1(j)$ と 180° 位相が相違する位相を位相 θ_* とする。

[0078] さらに、 N_{cell} が偶数のときには、位相 θ_* は、キャリア基準位相 θ_1

1 (i) ($i = 1 \sim N_{cell}$) のいずれかと一致する。位相 θ^* と一致する位相をキャリア基準位相 $\theta_1(k)$ とする。

[0079] キャリア基準位相 $\theta_1(k)$ は、変化しない。すなわち、 $\theta_2(k) = \theta_1(k)$ である。位相 θ^* を $\theta_1(j)$ から 180° 遅れた値とした場合、 θ^* よりも進んでいる ($\theta_1(j)$ に近い) $(N_{cell} - 2) / 2$ 個のキャリア基準位相 θ_1 を進める ($\theta_1(j)$ に近づける) ように変化させたキャリア基準位相 θ_2 が得られる。位相 θ^* を $\theta_1(j)$ から 180° 進んだ値とした場合、 θ^* よりも遅れている ($\theta_1(j)$ に近い) $(N_{cell} - 2) / 2$ 個のキャリア基準位相 θ_1 を遅らせる ($\theta_1(j)$ に近づける) ように変化させたキャリア基準位相 θ_2 が得られる。

[0080] 一方、 N_{cell} が奇数のときには、位相 θ^* は、キャリア基準位相 $\theta_1(i)$ ($i = 1 \sim N_{cell}$) のいずれとも一致しない。

[0081] 位相 θ^* を $\theta_1(j)$ から 180° 遅れた値とした場合、 θ^* よりも進んでいる ($\theta_1(j)$ に近い) $(N_{cell} - 1) / 2$ 個のキャリア基準位相 θ_1 を進める ($\theta_1(j)$ に近づける) ように変化させたキャリア基準位相 θ_2 が得られる。位相 θ^* を $\theta_1(j)$ から 180° 進んだ値とした場合、 θ^* よりも遅れている ($\theta_1(j)$ に近い) $(N_{cell} - 1) / 2$ 個のキャリア基準位相 θ_1 を遅らせる ($\theta_1(j)$ に近づける) ように変化させたキャリア基準位相 θ_2 が得られる。

[0082] ここで、2つの位相 θ_x と位相 θ_y において、式 (7) が満たされるときに、位相 θ_y は、位相 θ_x を遅れるように変化させたものとし、式 (8) が満たされるときに、位相 θ_y は、位相 θ_x を進ませるように変化させたものとする。

[0083] $\theta_x < \theta_y < (\theta_x + 180^\circ) \cdots (7)$

$(\theta_x - 180^\circ) < \theta_y < \theta_x \cdots (8)$

(具体例1)

$N_{cell} = 4$ とし、アーム内の変換器セル 7__2 が故障した場合のキャリア基準位相 θ_1 、 θ_2 について説明する。

[0084] 図7は、実施の形態1の具体例1の変換器セル7__2が故障前のキャリア基準位相 $\theta 1$ と、変換器セル7__2が故障後のキャリア基準位相 $\theta 2$ を表わす図である。

[0085] 式(1)より、 $\theta 1(1) = 0^\circ$ 、 $\theta 1(2) = 90^\circ$ 、 $\theta 1(3) = 180^\circ$ 、 $\theta 1(4) = 270^\circ$ となる。さらに、式(6)より、 $\theta f = 30^\circ$ となる。 $\theta f = 30^\circ$ を式(2)および(3)に代入すると、 $\theta 2(1) = 30^\circ$ 、 $\theta 2(3) = 150^\circ$ 、 $\theta 2(4) = 270^\circ$ となる。

[0086] 変換器セル7__2が故障前のキャリア基準位相 $\theta 1(2)$ ($= 90^\circ$)と 180° 位相が相違する位相 $\theta *$ は、 270° ($= \theta 1(4)$)である。変換器セル7__2が故障前のキャリア基準位相 $\theta 1(4)$ は、変換器セル7__2の故障によって、変化せずに $\theta 2(4)$ となる。変換器セル7__2が故障前のキャリア基準位相 $\theta 1(1)$ は、変換器セル7__2の故障によって、遅れる方向に変化して $\theta 2(1)$ となる。変換器セル7__2が故障前のキャリア基準位相 $\theta 1(3)$ は、変換器セル7__2の故障によって、進む方向に変化して $\theta 2(3)$ となる。

[0087] (具体例2)

$N_{cell} = 9$ とし、アーム内の変換器セル7__3が故障した場合のキャリア基準位相 $\theta 1$ 、 $\theta 2$ について説明する。

[0088] 図8は、実施の形態1の具体例2の変換器セル7__3が故障前のキャリア基準位相 $\theta 1$ と、変換器セル7__3が故障後のキャリア基準位相 $\theta 2$ を表わす図である。

[0089] 式(1)より、 $\theta 1(1) = 0^\circ$ 、 $\theta 1(2) = 40^\circ$ 、 $\theta 1(3) = 80^\circ$ 、 $\theta 1(4) = 120^\circ$ 、 $\theta 1(5) = 160^\circ$ 、 $\theta 1(6) = 200^\circ$ 、 $\theta 1(7) = 240^\circ$ 、 $\theta 1(8) = 280^\circ$ 、 $\theta 1(9) = 320^\circ$ となる。さらに、式(6)より、 $\theta f = 12.5^\circ$ となる。 $\theta f = 12.5^\circ$ を式(2)および(3)に代入すると、 $\theta 2(1) = 12.5^\circ$ 、 $\theta 2(2) = 57.5^\circ$ 、 $\theta 2(4) = 102.5^\circ$ 、 $\theta 2(5) = 147.5^\circ$ 、 $\theta 2(6) = 192.5^\circ$ 、 $\theta 2(7) = 237.5^\circ$ 、 $\theta 2(8) = 28$

2. 5° 、 $\theta 2(9) = 327.5^\circ$ となる。

[0090] 変換器セル7__3が故障前の変換器セル7__3のキャリア基準位相 $\theta 1(3)$ ($=80^\circ$) と 180° 位相が相違する位相 $\theta *$ は、 220° である。変換器セル7__3が故障前のキャリア基準位相 $\theta 1(1)$ 、 $\theta 1(2)$ 、 $\theta 1(8)$ 、 $\theta 1(9)$ は、変換器セル7__3の故障によって、遅れる方向に変化して $\theta 2(1)$ 、 $\theta 2(2)$ 、 $\theta 2(8)$ 、 $\theta 2(9)$ となる。変換器セル7__3が故障前のキャリア基準位相 $\theta 1(4)$ 、 $\theta 1(5)$ 、 $\theta 1(6)$ 、 $\theta 1(7)$ は、変換器セル7__3の故障によって、進む方向に変化して $\theta 2(4)$ 、 $\theta 2(5)$ 、 $\theta 2(6)$ 、 $\theta 2(7)$ となる。

[0091] 図9は、図7の具体例1のキャリア信号の変化を表わす図である。

変換器セル7__2の故障前の変換器セル7__1、7__2、7__3、7__4のキャリア信号をCR(1)、CR(2)、CR(3)、CR(4)とする。変換器セル7__2の故障後の変換器セル7__1、7__3、7__4のキャリア信号をCR(1)'、CR(3)'、CR(4)'とする。

[0092] 具体例1によれば、キャリア信号CR(4)のキャリア基準位相は、変換器セル7__2の故障によって変化しない。キャリア信号CR(1)のキャリア基準位相は、遅れる方向に変化する。キャリア信号CR(3)のキャリア基準位相は、進む方向に変化する。

[0093] キャリア信号生成部203は、キャリア信号CR(4)のキャリア基準位相を変化させない。キャリア信号生成部203は、キャリア信号CR(3)が変換器セル7__3のセル電圧指令値 k_{refc} と交差した直後において、キャリア信号CR(3)のキャリア基準位相を進ませる。キャリア信号生成部203は、キャリア信号CR(1)のピーク(最大値、または最小値)において、キャリア信号CR(1)のキャリア基準位相を遅らせる。

[0094] このように遷移させることによって、キャリア信号がセル電圧指令値と不適切な箇所で交差しないようにすることができる。これによって、スイッチング不良が発生するのを防止することができる。

[0095] (制御装置3のハードウェア構成)

図10は、制御装置3のハードウェア構成の一例を表わす図である。

[0096] 制御装置3は、いわゆるデジタルリレー装置と同様の構成を有する。制御装置3は、AD（アナログーデジタル）変換部530と、演算処理部535と、IO（Input and Output）部543と、整定および表示部547とを備える。

[0097] AD変換部530の前段に、アーム電流検出器9A、9B、交流電圧検出器10、交流電流検出器16、直流電圧検出器11B、電圧検出器33からの入力信号を、制御装置3の内部での信号処理に適した電圧レベルに変換するための複数の変成器（不図示）が設けられていてもよい。

[0098] AD変換部530は、アナログフィルタ531と、AD変換器532とを含む。アナログフィルタ531は、AD変換の際の折返し誤差を除去するために設けられたローパスフィルタである。AD変換器532は、アナログフィルタ531を通過した信号をデジタル値に変換する。

[0099] 図10では、AD変換部530の入力は1チャンネルのみ代表的に示されているが、実際には、各検出器からの信号を受けるために多入力構成となっている。したがって、より詳細には、AD変換部530は、複数のアナログフィルタ531と、複数のアナログフィルタ531を通過した信号を選択するためのマルチプレクサ（不図示）とを含む。

[0100] 演算処理部535は、CPU（Central Processing Unit）536と、メモリ537と、バスインターフェース538、539と、これらを接続するバス540とを含む。CPU536は、制御装置3の全体の動作を制御する。メモリ537は、CPU536の主記憶として用いられる。さらに、メモリ537は、フラッシュメモリなどの不揮発性メモリを含むことにより、プログラムおよび信号処理用の設定値などを格納する。

[0101] なお、演算処理部535は、演算処理機能を有する回路によって構成されていればよく、図10の例には限定されない。たとえば、演算処理部535は、複数のCPUを備えていてもよい。また、演算処理部535は、CPUなどのプロセッサに代えて、少なくとも1つのASIC（Application Spec

ific Integrated Circuit) によって構成されていてもよいし、少なくとも 1 つの F P G A (Field Programmable Gate Array) によって構成されていてもよい。もしくは、演算処理部 5 3 5 は、プロセッサ、A S I C、および F P G A のうちのいずれかの組み合わせによって構成されていてもよい。

[0102] I O 部 5 4 3 は、通信回路 5 4 4 と、デジタル入力回路 5 4 5 と、デジタル出力回路 5 4 6 とを含む。通信回路 5 4 4 は、各変換器セル 7 に出力するための光信号を生成する。通信回路 5 4 4 から出力された信号は、光中継装置 5 5 5 を介して変換器セル 7 に伝送される。デジタル入力回路 5 4 5 およびデジタル出力回路 5 4 6 は、C P U 5 3 6 と外部装置との間で通信を行う際のインターフェース回路である。たとえば、デジタル出力回路 5 4 6 は、交流回路 1 2 にトリップ信号を出力する。

[0103] 整定および表示部 5 4 7 は、整定値の入力および表示のためのタッチパネル 5 4 8 を備える。タッチパネル 5 4 8 は、液晶パネルのような表示装置とタッチパッドのような入力装置とを組合わせた入出力インターフェースである。タッチパネル 5 4 8 は、バスインターフェース 5 3 9 を介してバス 5 4 0 と接続される。

[0104] 実施の形態 2.

キャリア信号生成部 2 0 3 は、実施の形態 1 と同様に、複数の健全変換器セルのキャリア基準位相の変化量の絶対値の最大値を最小とする。さらに、実施の形態 2 では、 $0 \leq \theta_f < 360$ という条件を付することによって、最適化問題は、以下のように設定される。

[0105] $\min\{\max(|\Delta\theta(i)|), 1 \leq i \leq N_{\text{cell}}, 0 \leq \theta_f < 360\} \cdots (9)$

上記の最適化問題における最適解では、たとえば、故障変換器セル 7 $_j$ の直後の健全変換器セル 7 $_j + 1$ のキャリア基準位相の変化量 $\theta(j + 1)$ が 0 となる。

[0106] 上記の最適化問題を解くと、キャリア基準位相のオフセット θ_f は、以下のように表される。

[0107] $\theta_f = 360 \times (N_{\text{cell}} - j) / (N_{\text{cell}} \times (N_{\text{cell}} - 1)) \cdots (10)$

キャリア信号生成部203は、式(10)のキャリア基準位相のオフセット θ_f を式(2)および(3)に代入することによって、アーム内に変換器セル7__jが故障した後において、複数の健全変換器セル7__i ($i = 1 \sim j - 1$ 、 $j + 1 \sim N_{cell}$)のキャリア基準位相 $\theta_2(i)$ を求める。

[0108] その結果、キャリア信号生成部203は、複数の健全変換器セル7__iのキャリア基準位相を以下のように変化させる。キャリア信号生成部203は、複数の健全変換器セル7__iのキャリア基準位相の変化量 $\Delta\theta(i)$ の最小値を0とする。より詳細には、キャリア信号生成部203は、複数の健全変換器セル7__iのキャリア基準位相 $\theta_1(i)$ のうち、故障変換器セル7__jのキャリア基準位相 $\theta_1(j)$ の直後の基準位相 $\theta_1(j+1)$ を変化させない。キャリア信号生成部203は、複数の健全変換器セル7__iのキャリア基準位相 $\theta_1(i)$ のうち、故障変換器セル7__jのキャリア基準位相 $\theta_1(j)$ の直後の基準位相 $\theta_1(j+1)$ 以外の基準位相を遅らせる。

[0109] より詳しく説明すると、キャリア基準位相 $\theta_2(i)$ は、以下の特性を有する。キャリア基準位相 $\theta_1(j+1)$ は、変化しない。すなわち、 $\theta_2(j+1) = \theta_1(j+1)$ である。 $(N_{cell} - 2)$ 個のキャリア基準位相 $\theta_1(i)$ ($i = 1 \sim j - 1$ 、 $j + 2 \sim N_{cell}$)を遅れるように変化させたキャリア基準位相 $\theta_2(i)$ が得られる。

[0110] (具体例1)

$N_{cell} = 4$ とし、アーム内の変換器セル7__2が故障した場合のキャリア基準位相 θ_1 、 θ_2 について説明する。

[0111] 図11は、実施の形態2の具体例1の変換器セル7__2が故障前のキャリア基準位相 θ_1 と、変換器セル7__2が故障後のキャリア基準位相 θ_2 を表わす図である。

[0112] 式(1)より、 $\theta_1(1) = 0^\circ$ 、 $\theta_1(2) = 90^\circ$ 、 $\theta_1(3) = 180^\circ$ 、 $\theta_1(4) = 270^\circ$ となる。さらに、式(10)より、 $\theta_f = 60^\circ$ となる。 $\theta_f = 60^\circ$ を式(2)および(3)に代入すると、 $\theta_2(1) = 60^\circ$ 、 $\theta_2(3) = 180^\circ$ 、 $\theta_2(4) = 300^\circ$ となる。

[0113] 変換器セル7__2が故障前のキャリア基準位相 $\theta 1(3)$ は、変換器セル7__2の故障によって、変化せずに $\theta 2(3)$ となる。変換器セル7__2が故障前のキャリア基準位相 $\theta 1(1)$ 、 $\theta 1(4)$ は、変換器セル7__2の故障によって、遅れる方向に変化して $\theta 2(1)$ 、 $\theta 2(4)$ となる。

[0114] (具体例2)

$N_{cell} = 9$ とし、アーム内の変換器セル7__3が故障した場合のキャリア基準位相 $\theta 1$ 、 $\theta 2$ について説明する。

[0115] 図12は、実施の形態2の具体例2の変換器セル7__3が故障前のキャリア基準位相 $\theta 1$ と、変換器セル7__3が故障後のキャリア基準位相 $\theta 2$ を表わす図である。

[0116] 式(1)より、 $\theta 1(1) = 0^\circ$ 、 $\theta 1(2) = 40^\circ$ 、 $\theta 1(3) = 80^\circ$ 、 $\theta 1(4) = 120^\circ$ 、 $\theta 1(5) = 160^\circ$ 、 $\theta 1(6) = 200^\circ$ 、 $\theta 1(7) = 240^\circ$ 、 $\theta 1(8) = 280^\circ$ 、 $\theta 1(9) = 320^\circ$ となる。さらに、式(10)より、 $\theta f = 30^\circ$ となる。 $\theta f = 30^\circ$ を式(2)および(3)に代入すると、 $\theta 2(1) = 30^\circ$ 、 $\theta 2(2) = 75^\circ$ 、 $\theta 2(4) = 120^\circ$ 、 $\theta 2(5) = 165^\circ$ 、 $\theta 2(6) = 210^\circ$ 、 $\theta 2(7) = 255^\circ$ 、 $\theta 2(8) = 300^\circ$ 、 $\theta 2(9) = 345^\circ$ となる。

[0117] 変換器セル7__3が故障前の変換器セル7__4のキャリア基準位相 $\theta 1(4)$ は、変換器セル7__3の故障によって、変化しない。すなわち、 $\theta 2(4) = \theta 1(4)$ である。変換器セル7__3が故障前のキャリア基準位相 $\theta 1(1)$ 、 $\theta 1(2)$ 、 $\theta 1(5)$ 、 $\theta 1(6)$ 、 $\theta 1(7)$ 、 $\theta 1(8)$ 、 $\theta 1(9)$ は、変換器セル7__3の故障によって、遅れる方向に変化して、 $\theta 2(1)$ 、 $\theta 2(2)$ 、 $\theta 2(5)$ 、 $\theta 2(6)$ 、 $\theta 2(7)$ 、 $\theta 2(8)$ 、 $\theta 2(9)$ となる。

[0118] 図13は、図11の具体例1のキャリア信号の変化を表わす図である。

変換器セル7__3の故障前の変換器セル7__1、7__2、7__3、7__4のキャリア信号をCR(1)、CR(2)、CR(3)、CR(4)とする

。変換器セル 7__2 の故障後の変換器セル 7__1、7__3、7__4 のキャリア信号を $CR(1)'$ 、 $CR(3)'$ 、 $CR(4)'$ とする。

[0119] 具体例 1 によれば、キャリア信号 $CR(3)$ のキャリア基準位相は、変換器セル 7__2 の故障によって変化しない。キャリア信号 $CR(1)$ 、 $CR(4)$ のキャリア基準位相は、遅れる方向に変化する。

[0120] キャリア信号生成部 203 は、キャリア信号 $CR(3)$ のキャリア基準位相を変化させない。キャリア信号生成部 203 は、キャリア信号 $CR(1)$ 、 $CR(4)$ のピーク（最大値、または最小値）において、キャリア信号 $CR(1)$ 、 $CR(4)$ のキャリア基準位相を遅らせる。

[0121] このように遷移させることによって、キャリア信号がセル電圧指令値と不適切な箇所で交差しないようにすることができる。これによって、スイッチング不良が発生するのを防止することができる。

[0122] 本実施の形態では、キャリア基準位相を変化させるために、健全変換器セルのセル電圧指令値と健全変換器セルのキャリア信号とが交差するタイミングを検出するための制御を不要とすることができる。

[0123] 実施の形態 3.

キャリア信号生成部 203 は、実施の形態 1 と同様に、複数の健全変換器セルのキャリア基準位相の変化量の絶対値の最大値を最小とする。さらに、実施の形態 3 では、 $-360 < \theta_f \leq 0$ という条件を付することによって、最適化問題は、以下のように設定される。

[0124] $\min\{\max(|\Delta\theta(i)|), 1 \leq i \leq N_{\text{cell}}, -360 < \theta_f \leq 0\} \cdots (11)$

上記の最適化問題における最適解では、たとえば、故障変換器セル 7__j の直前の健全変換器セル 7__j-1 のキャリア基準位相の変化量 $\theta(j-1)$ が 0 となる。

[0125] 上記の最適化問題を解くと、キャリア基準位相のオフセット θ_f は、以下のように表される。

[0126] $(j=1) \quad \theta_f = 360 / (N_{\text{cell}} \times (N_{\text{cell}} - 1)) \cdots (12-1)$

$(j>1) \quad \theta_f = 360 \times (j-2) / (N_{\text{cell}} \times (N_{\text{cell}} - 1)) \cdots (12-2)$

キャリア信号生成部203は、式(12-1)、(12-2)のキャリア基準位相のオフセット θ_f を式(2)および(3)に代入することによって、アーム内に変換器セル7__jが故障した後において、複数の健全変換器セル7__i ($i = 1 \sim j-1$ 、 $j+1 \sim N_{cell}$)のキャリア基準位相 $\theta_2(i)$ を求める。

[0127] その結果、キャリア信号生成部203は、複数の健全変換器セル7__iのキャリア基準位相 $\theta_1(i)$ を以下のように変化させる。キャリア信号生成部203は、複数の健全変換器セル7__iのキャリア基準位相の変化量 $\Delta\theta(i)$ の最大値を0とする。より詳細には、キャリア信号生成部203は、複数の健全変換器セル7__iのキャリア基準位相 $\theta_1(i)$ のうち、故障変換器セル7__jのキャリア基準位相 $\theta_1(j)$ の直前の基準位相 $\theta_1(j-1)$ を変化させない。キャリア信号生成部203は、複数の健全変換器セル7__iのキャリア基準位相 $\theta_1(i)$ のうち、故障変換器セル7__jのキャリア基準位相 $\theta_1(j)$ の直前の基準位相 $\theta_1(j-1)$ 以外の基準位相を進ませる。

[0128] より詳しく説明すると、キャリア基準位相 $\theta_2(i)$ は、以下の特性を有する。キャリア基準位相 $\theta_1(j-1)$ は、変化しない。すなわち、 $\theta_2(j-1) = \theta_1(j-1)$ である。 $(N_{cell}-2)$ 個のキャリア基準位相 $\theta_1(i)$ ($i = 1 \sim j-2$ 、 $j+1 \sim N_{cell}$)を進めるように変化させたキャリア基準位相 $\theta_2(i)$ が得られる。

[0129] (具体例1)

$N_{cell} = 4$ とし、アーム内の変換器セル7__2が故障した場合のキャリア基準位相 θ_1 、 θ_2 について説明する。

[0130] 図14は、実施の形態3の具体例1の変換器セル7__2が故障前のキャリア基準位相 θ_1 と、変換器セル7__2が故障後のキャリア基準位相 θ_2 を表わす図である。

[0131] 式(1)より、 $\theta_1(1) = 0^\circ$ 、 $\theta_1(2) = 90^\circ$ 、 $\theta_1(3) = 180^\circ$ 、 $\theta_1(4) = 270^\circ$ となる。さらに、式(12)より、 $\theta_f = 0$

° となる。 $\theta f = 0^\circ$ を式 (2) および (3) に代入すると、 $\theta 2 (1) = 0^\circ$ 、 $\theta 2 (3) = 120^\circ$ 、 $\theta 2 (4) = 240^\circ$ となる。

[0132] 変換器セル 7__2 が故障前のキャリア基準位相 $\theta 1 (1)$ は、変換器セル 7__2 の故障によって、変化せずに $\theta 2 (1)$ となる。変換器セル 7__2 が故障前のキャリア基準位相 $\theta 1 (3)$ 、 $\theta 1 (4)$ は、変換器セル 7__2 の故障によって、進む方向に変化して $\theta 2 (3)$ 、 $\theta 2 (4)$ となる。

[0133] (具体例 2)

$N_{cell} = 9$ とし、アーム内の変換器セル 7__3 が故障した場合のキャリア基準位相 $\theta 1$ 、 $\theta 2$ について説明する。

[0134] 図 15 は、実施の形態 3 の具体例 2 の変換器セル 7__3 が故障前のキャリア基準位相 $\theta 1$ と、変換器セル 7__3 が故障後のキャリア基準位相 $\theta 2$ を表わす図である。

[0135] 式 (1) より、 $\theta 1 (1) = 0^\circ$ 、 $\theta 1 (2) = 40^\circ$ 、 $\theta 1 (3) = 80^\circ$ 、 $\theta 1 (4) = 120^\circ$ 、 $\theta 1 (5) = 160^\circ$ 、 $\theta 1 (6) = 200^\circ$ 、 $\theta 1 (7) = 240^\circ$ 、 $\theta 1 (8) = 280^\circ$ 、 $\theta 1 (9) = 320^\circ$ となる。さらに、式 (12) より、 $\theta f = -5^\circ$ となる。 $\theta f = -5^\circ$ を式 (2) および (3) に代入すると、 $\theta 2 (1) = -5^\circ (= 355^\circ)$ 、 $\theta 2 (2) = 40^\circ$ 、 $\theta 2 (4) = 85^\circ$ 、 $\theta 2 (5) = 130^\circ$ 、 $\theta 2 (6) = 175^\circ$ 、 $\theta 2 (7) = 220^\circ$ 、 $\theta 2 (8) = 265^\circ$ 、 $\theta 2 (9) = 310^\circ$ となる。

[0136] 変換器セル 7__3 が故障前の変換器セル 7__2 のキャリア基準位相 $\theta 1 (2)$ は、変換器セル 7__3 の故障によって、変化しない。すなわち、 $\theta 2 (2) = \theta 1 (2)$ である。変換器セル 7__3 が故障前のキャリア基準位相 $\theta 1 (1)$ 、 $\theta 1 (4)$ 、 $\theta 1 (5)$ 、 $\theta 1 (6)$ 、 $\theta 1 (7)$ 、 $\theta 1 (8)$ 、 $\theta 1 (9)$ は、変換器セル 7__3 の故障によって、進む方向に変化して、 $\theta 2 (1)$ 、 $\theta 2 (4)$ 、 $\theta 2 (5)$ 、 $\theta 2 (6)$ 、 $\theta 2 (7)$ 、 $\theta 2 (8)$ 、 $\theta 2 (9)$ となる。

[0137] 図 16 は、図 14 の具体例 1 のキャリア信号の変化を表わす図である。

変換器セル 7 __ 3 の故障前の変換器セル 7 __ 1、7 __ 2、7 __ 3、7 __ 4 のキャリア信号を $CR(1)$ 、 $CR(2)$ 、 $CR(3)$ 、 $CR(4)$ とする。変換器セル 7 __ 2 の故障後の変換器セル 7 __ 1、7 __ 3、7 __ 4 のキャリア信号を $CR(1)'$ 、 $CR(3)'$ 、 $CR(4)'$ とする。

[0138] 具体例 1 によれば、キャリア信号 $CR(1)$ のキャリア基準位相は、変換器セル 7 __ 2 の故障によって変化しない。キャリア信号 $CR(3)$ 、 $CR(4)$ のキャリア基準位相は、進む方向に変化する。

[0139] キャリア信号生成部 203 は、キャリア信号 $CR(1)$ のキャリア基準位相を変化させない。キャリア信号生成部 203 は、キャリア信号 $CR(3)$ が変換器セル 7 __ 3 のセル電圧指令値 k_{refc} と交差した直後において、キャリア信号 $CR(3)$ のキャリア基準位相を進ませる。キャリア信号生成部 203 は、キャリア信号 $CR(4)$ が変換器セル 7 __ 4 のセル電圧指令値 k_{refc} と交差した直後において、キャリア信号 $CR(4)$ のキャリア基準位相を進ませる。

[0140] このように遷移させることによって、キャリア信号がセル電圧指令値と不適切な箇所で交差しないようにすることができる。これによって、スイッチング不良が発生するのを防止することができる。

[0141] 実施の形態 4.

変換器セル 7 が故障した場合に、アーム電流 I_{arm} の高調波成分が増大し、健全な変換器セル 7 において、キャパシタ電圧のアンバランスが生じる恐れがあるのは、電力変換器 2 の交流出力電流および直流出力電流が小さく、アーム電流の実効値が小さい場合である。

[0142] 個別セルバランス制御は、アーム電流の実効値が大きい場合には、十分効果を奏するが、アーム電流の実効値が小さい場合には、個別セルバランス制御が十分な効果を奏さない場合がある。

[0143] しかしながら、交流出力電力および直流出力電力は上位の指令により決定されるため、交流出力電流および直流出力電流を自由に設定することはできない。また、直流成分および交流の基本波成分の循環電流は、基本的に変換

器セル 7 のキャパシタ電圧の各相の平均値のバランス制御、または上アームと下アームの平均値のバランス制御に使用されるため、自由度がない。

[0144] そこで、実施の形態 4 では、アーム内で各変換器セル 7 のキャパシタ電圧のバランスが取れないような電力変換器 2 の交流出力電流および直流出力電流が小さい場合には、電力変換器 2 から出力される電流の周波数と異なる周波数の電流を電力変換器 2 の内部で循環させる。これによって、アーム電流の実効値が大きくなるので、個別セルバランス制御が十分効果を奏し、変換器セル 7 の間のアンバランスが解消される。ここで、電力変換器 2 から出力される電流の周波数と異なる周波数の電流とは、直流電流および交流回路 1 2 から出力される交流電流（基本波の電流）以外の電流である。

[0145] 図 1 7 は、実施の形態 4 の制御装置 3 の構成を表わす図である。

実施の形態 4 の制御装置 3 は、実施の形態 1 の制御装置 3 と同様に、スイッチング制御部 5 0 1 およびバイパス制御部 5 1 0 を備えるととともに、セルバランス用循環電流制御部 6 1 0 を備える。

[0146] セルバランス用循環電流制御部 6 1 0 は、複数のアームのうちのいずれかのアームの変換器セル 7 の故障を検知すると、アーム電流 I_{arm} の実効値を増加させるために、電力変換器 2 から出力される電流の周波数とは異なる周波数の電流を電力変換器 2 の内部で循環させる。

[0147] 図 1 8 は、セルバランス用循環電流制御部 6 1 0 の構成を表わす図である。

セルバランス用循環電流制御部 6 1 0 は、第 1 座標変換部 6 1 1 と、補償器 6 1 2 と、第 2 座標変換部 6 1 3 とを備える。

[0148] 第 1 座標変換部 6 1 1 は、UVW 3 相の循環電流成分 I_{zu} 、 I_{zv} 、 I_{zw} を、電力変換器 2 から出力される電流の周波数とは異なる周波数 θ で回転する dq 2 相座標上に変換する。変換された I_{zd} は有効成分、 I_{zq} は無効成分で、いずれも直流量となる。

[0149] 補償器 6 1 2 は、2 相の循環電流成分 I_{zd} 、 I_{zq} が、2 相に換算された循環電流指令成分 I_{zdref} 、 I_{zqref} に追従するよう 2 相の直流

電圧指令成分 V_{zdref} 、 V_{zqref} を出力する。

[0150] 第2座標変換部613は、補償器612が求めた2相の直流電圧指令成分 V_{zdref} 、 V_{zqref} を、3相の直流電圧指令循環電流成分 V_{dccu} 、 V_{dccv} 、 V_{dccw} に変換する。 V 直流電圧指令循環電流成分 V_{dccu} 、 V_{dccv} 、 V_{dccw} は、それぞれU相基本制御部502U、V相基本制御部502V、W相基本制御部502Wのアーム電圧指令生成部601に送られる。以下の説明では、 V_{dccu} 、 V_{dccv} 、 V_{dccw} を総称して V_{dcc} と記載する。

[0151] 図19は、実施の形態4のアーム電圧指令生成部601の構成を表わす図である。

指令分配部606は、実施の形態1と同様に、交流制御指令値 V_{cp} 、循環制御指令値 V_{zp} と、直流電圧指令値 $V_{dc ref}$ と、中性点電圧 V_{sn} と、交流電圧 V_{ac} とを受けるとともに、直流電圧指令循環電流成分 V_{dcc} を受ける。

[0152] 指令分配部606は、実施の形態1と同様に、これらの入力に基づいて、上アームおよび下アームがそれぞれ出力分担する電圧を算出する。指令分配部606は、算出した電圧から上アーム、および下アーム内のインダクタンス成分による電圧降下分をそれぞれ差し引くことによって、上アームのアーム電圧指令値 k_{refp} および下アームのアーム電圧指令値 k_{refn} を決定する。

[0153] 本実施の形態によって、アーム電流 I_{arm} の実効値が増加するので、セル電圧指令値を構成する基本波が大きくなる。その結果、個別セルバランス制御が十分効果を奏し、変換器セル7の間のアンバランスが解消される。

[0154] 実施の形態5.

本実施の形態では、変圧器13は、変圧比可変の変圧器とする。変圧比可変の変圧器は、たとえば、タップ切替機能付き変圧器などで実現される。

[0155] 交流出力電力および直流出力電力が上位の指令により決定されるため、交流出力電流および直流出力電流を自由に設定することができない。

[0156] 電力変換装置 1 は、変圧器 13 を介して交流回路 12 に連系されるので、変圧器 13 の変圧比を変化させることによって、交流出力電力および直流出力電力に影響を与えずに、交流出力電流 V_{ac} を変化させることができる。これによって、アーム電流 I_{arm} の実効値を増加させることができるので、変換器セル 7 間のアンバランスを解消することができる。

[0157] 図 20 は、実施の形態 5 の制御装置 3 の構成を表わす図である。

実施の形態 5 の制御装置 3 は、実施の形態 1 と同様にスイッチング制御部 501 およびバイパス制御部 510 を備えるととともに、変圧器制御部 504 を備える。

[0158] 変圧器制御部 504 は、複数のアームのうちのいずれかのアームの変換器セル 7 の故障を検知すると、アーム電流 I_{arm} の実効値を増加させるために、変圧器 13 の変圧比を変化させる。具体的には、変圧器 13 の交流回路 12 側の電圧 V_1 と、電力変換装置 1 側の電圧 V_2 との比 $N (V_2 / V_1)$ を小さくすることによって、交流回路 12 から電力変換装置 1 へ流れる交流電流を増加させる。これによって、アーム電流 I_{arm} の実効値が増加するので、セル電圧指令値を構成する基本波が大きくなる。その結果、高調波の影響を低減することができる。

[0159] 実施の形態 6.

図 21 は、実施の形態 6 の電力変換装置 1A の構成を表わす図である。

[0160] 実施の形態 6 の電力変換装置 1A が、実施の形態 1 の電力変換装置 1A と相違する点は、実施の形態 6 の電力変換装置 1A の電力変換器 2A の各アームが、冗長変換器セル (RSM) 7a を備える点である。冗長変換器セル 7a の構成は、図 2 (a) および (b) に示す変換器セル 7 の構成と同様である。

[0161] 各アームの冗長変換器セル 7a は、各アーム内のいずれかの変換器セル 7 に故障が生じる前において、バイパスされている。したがって、この期間においては、冗長変換器セル 7a は、変換動作をしない。

[0162] 各アームの冗長変換器セル 7a は、各アーム内のいずれかの変換器セル 7

に故障が生じた後は、バイパスが解除される。したがって、この期間においては、冗長変換器セル 7 a は、故障が生じた変換器セル 7 の代わりに、変換動作をする。

[0163] バイパス制御部 510 は、アーム内のいずれかの変換器セル 7 に故障が生じる前に、そのアーム内の冗長変換器セル 7 a のバイパススイッチ 34 をオンにする。バイパス制御部 510 は、アーム内のいずれかの変換器セル 7 に故障が生じた後は、そのアーム内の冗長変換器セル 7 a のバイパススイッチ 34 をオフにする。

[0164] 以上のように、本実施の形態では、各アーム内のいずれかの変換器セル 7 に故障が生じた後は、冗長変換器セル 7 a は、故障が生じた変換器セル 7 の代わりに、変換動作をする。これによって、変換器セル 7 が故障した場合でも、1つのアーム中において動作する変換器セルの個数が変化しないので、変換器セルの出力電圧の高調波成分を相殺することができる。

[0165] なお、アーム内の冗長変換器セル 7 a の数は、1個に限定されるものではなく、複数個であってもよい。また、アーム内の冗長変換器セル 7 a は、固定されていなくてもよい。故障が生じていない複数の変換器セルの中から冗長変換器セルが一定の周期ごとに、順番に、あるいはランダムに選択されるものとしてもよい。

[0166] (変形例)

本発明は、上記の実施形態に限定されるものではなく、たとえば、以下のような変形例も含まれる。

(1) 電力変換器 2 の構成

上記の実施形態では、電力変換器 2 は、ダブルスター型と呼ばれる構成を有する。電力変換器 2 は、主に H V D C (High Voltage Direct Current) 送電用の交直変換器に使われる。上記の実施形態で説明した電力変換器の制御は、他の構成の電力変換器にも適用できる。

[0167] 図 22 は、電力変換装置 1 B の一部の構成を表わす図である。

電力変換装置 1 B の電力変換器 2 B は、シングルデルタ型と呼ばれる構成

を有する。電力変換器 2 B は、主に無効電力補償装置に使用される。

[0168] 図 2 3 は、電力変換装置 1 C M の一部の構成を表わす図である。

電力変換装置 1 C の電力変換器 2 C は、シングルスター型と呼ばれる構成である。電力変換器 2 C も、主に無効電力補償装置に使用される。

[0169] 上記の実施形態で説明したような変換器セル 7 の故障による生じる高調波を抑制する方式は、電力変換器 2 B および 2 C においても効果を奏する。出力が交流側のみである電力変換器 2 C では、実施の形態 2 で説明した循環電流は、基本波成分以外の周波数の電流でよい。例えば、直流成分の循環電流を流してもよい。

[0170] (2) 上記の実施形態では、三角波比較による PWM 変調方式を例に説明したが、キャリアが鋸波の鋸波比較による PWM 変調方式としてもよく、キャリアを制限するものではない。また、空間電圧ベクトルによる PWM 変調方式の場合も同様の効果を奏するような機能を付加することによって、変換器セルに故障が生じた場合においても電力変換装置の運転を継続することができる。

[0171] (3) 上記の実施形態で説明した制御は、各変換器セル 7 のキャパシタ電圧のアンバランスが拡大した場合に、断続的に動作するものであってもよい。

[0172] (4) 実施の形態 1、2 において、キャリア信号生成部 2 0 3 は、出力電圧の歪みが小さくなるように、キャリア信号の最大値でキャリア基準位相を遅らせるか、またはキャリア信号の最小値でキャリア基準位相を遅らせるかを決定するものとしてもよい。すなわち、キャリア信号生成部 2 0 3 は、生成される PWM 信号の「1」の期間の長さで「0」の期間の長さの比に対して与えられるキャリア基準位相の更新の影響が小さくなるように、キャリア信号の最大値でキャリア基準位相を遅らせるか、またはキャリア信号の最小値でキャリア基準位相を遅らせるかを決定するものとしてもよい。

[0173] (5) 実施の形態 1、3 において、PWM 変調器内のキャリア信号とセル電圧指令値とを比較する比較器の出力に基づいて、キャリア信号とセル電圧

指令値とが交差するタイミングを検出するものとしてもよい。

[0174] (6) 実施の形態 1～3 では、キャリア基準位相の変更が一度で完了する場合について述べたが、複数回に分割してキャリア基準位相を変更してもよい。たとえば、1 回目にキャリア基準位相を $\Delta\theta/2$ だけ変更し、2 回目にキャリア基準位相をさらに $\Delta\theta/2$ だけ変更することとしてもよい。これによって、アーム出力電圧歪などの影響を小さくすることが期待される。

[0175] (7) 循環電流制御用の変換器セル

アーム内に通常の変換器セルと、循環電流制御用の変換器セルとが含まれる場合には、基本制御部の構成が、図 4 に示すものと相違する。

[0176] 図 24 は、変形例の基本制御部 502A の構成を表わす図である。

図 24 の基本制御部 502A が、図 4 の基本制御部 502 と相違する点は、基本制御部 60 から出力される循環制御指令値 V_{zp} が指令分配部 606A に出力されない。

[0177] 指令分配部 606A は、交流制御指令値 V_{cp} と、直流電圧指令値 V_{dc_ref} と、中性点電圧 V_{sn} と、交流電圧 V_{ac} とを受ける。指令分配部 606 は、これらの入力に基づいて、上アーム、および下アームがそれぞれ出力分担する電圧を算出する。指令分配部 606 は、算出した電圧から上アーム、下アーム内のインダクタンス成分による電圧降下分をそれぞれ差し引くことによって、上アームのアーム電圧指令値 k_{refp} 、および下アームのアーム電圧指令値 k_{refn} を決定する。アーム電圧指令値 k_{refp} 、および下アームのアーム電圧指令値 k_{refn} によって、実施の形態 1 で説明したようにアーム内の通常の変換器セルを制御する信号が生成される。

[0178] 一方、図示しない制御ブロックが、基本制御部 60 から出力される循環制御指令値 V_{zp} に基づいて、循環器制御用の変換器セルへの PWM 変調信号を出力する。

[0179] 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

[0180] 1, 1A, 1B, 1C 電力変換装置、2, 2A, 2B, 2C 電力変換器、3 制御装置、4u, 4v, 4w レグ回路、5u, 5v, 5w 上アーム、6u, 6v, 6w 下アーム、7 変換器セル、7a 冗長変換器セル、8A, 8B リアクトル、9A, 9B アーム電流検出器、10 交流電圧検出器、11A, 11B 直流電圧検出器、12 交流回路、13 変圧器、14 直流回路、16 交流電流検出器、31p, 31n, 31p1, 31n1, 31p2, 31n2 スwitching素子、32 蓄電要素、33 電圧検出器、34 バイパススイッチ、202 個別セル制御部、203 キャリア信号生成部、501 スwitching制御部、502, 502A 基本制御部、502U U相基本制御部、502V V相基本制御部、502W W相基本制御部、503UP U相上アーム制御部、503UN U相下アーム制御部、503VP V相上アーム制御部、503VN V相下アーム制御部、503WP W相上アーム制御部、503WN W相下アーム制御部、504 変圧器制御部、510 バイパス制御部、530 AD変換部、531 アナログフィルタ、532 AD変換器、535 演算処理部、536 CPU、537 メモリ、538, 539 バスI/F、540 バス、543 IO部、544 通信回路、545 デジタル入力回路、546 デジタル出力回路、547 整定および表示部、548 タッチパネル、555 光中継装置、601 アーム電圧指令生成部、602 キャパシタ電圧指令生成部、603 交流電流制御部、604 循環電流算出部、605 循環電流制御部、606 指令分配部、610 セルバランス用循環電流制御部、611 第1座標変換部、612 補償器、613 第2座標変換部、2021 個別セルバランス制御部、2022 PWM変調部、2023 信号切替器、2032 健全セル計算部、2051 加算器、Nn 低電位側直流端子、Np 高電位側直流端子、Nu, Nv, Nw 交流入力端子。

請求の範囲

[請求項1] 2個以上のスイッチング素子と、蓄電要素と、一対の出力端子とを含む複数の変換器セルが直列に接続されたアームを有する電力変換器と、

前記変換器セルごとのキャリア信号を用いて、位相シフトPWM制御によって前記複数の変換器セルの電圧を制御する制御装置とを備え、

前記変換器セルは、前記変換器セルをバイパスするためのスイッチを有し、

前記制御装置は、前記アーム内の前記変換器セルの故障を検知すると、前記アーム内の故障変換器セルをバイパスさせるとともに、前記変換器セルの故障によって生じる前記アーム内の複数の健全変換器セルのキャリア信号の位相の間隔の不均等を改善する、電力変換装置。

[請求項2] 前記制御装置は、

前記変換器セルごとのキャリア信号の基準位相を設定して、前記設定した基準位相を有するキャリア信号を生成するキャリア信号生成部と、

各々が、前記アーム内の対応する前記変換器セルの電圧指令と、前記対応する前記変換器セルのキャリア信号とに基づいて、PWM変調信号を出力する複数の個別セル制御部とを備え、

前記キャリア信号生成部は、前記変換器セルの故障を検知すると、前記アーム内の健全変換器セルのキャリア信号の基準位相の間隔を均等にする、請求項1記載の電力変換装置。

[請求項3] 前記キャリア信号生成部は、前記複数の健全変換器セルのキャリア信号の基準位相の変化量の最大値の絶対値を最小とする、請求項2記載の電力変換装置。

[請求項4] 前記キャリア信号生成部は、

前記複数の健全変換器セルのキャリア信号の基準位相のうち、前記

故障変換器セルのキャリア信号の基準位相よりも早い基準位相を遅らせるように変化させ、

前記複数の健全変換器セルのキャリア信号の基準位相のうち、前記故障変換器セルのキャリア信号の基準位相よりも遅い基準位相を進ませるように変化させる、請求項3記載の電力変換装置。

[請求項5] 前記キャリア信号生成部は、前記複数の健全変換器セルのキャリア信号の基準位相の変化量の最小値を0とする、請求項3記載の電力変換装置。

[請求項6] 前記キャリア信号生成部は、前記複数の健全変換器セルのキャリア信号の基準位相のうち、前記故障変換器セルのキャリア信号の基準位相の直後の基準位相を変化させず、前記複数の健全変換器セルのキャリア信号の基準位相のうち、前記故障変換器セルのキャリア信号の基準位相の直後の基準位相以外の基準位相を遅らせる、請求項5記載の電力変換装置。

[請求項7] 前記キャリア信号生成部は、前記複数の健全変換器セルのキャリア信号の基準位相の変化量の最大値を0とする、請求項3記載の電力変換装置。

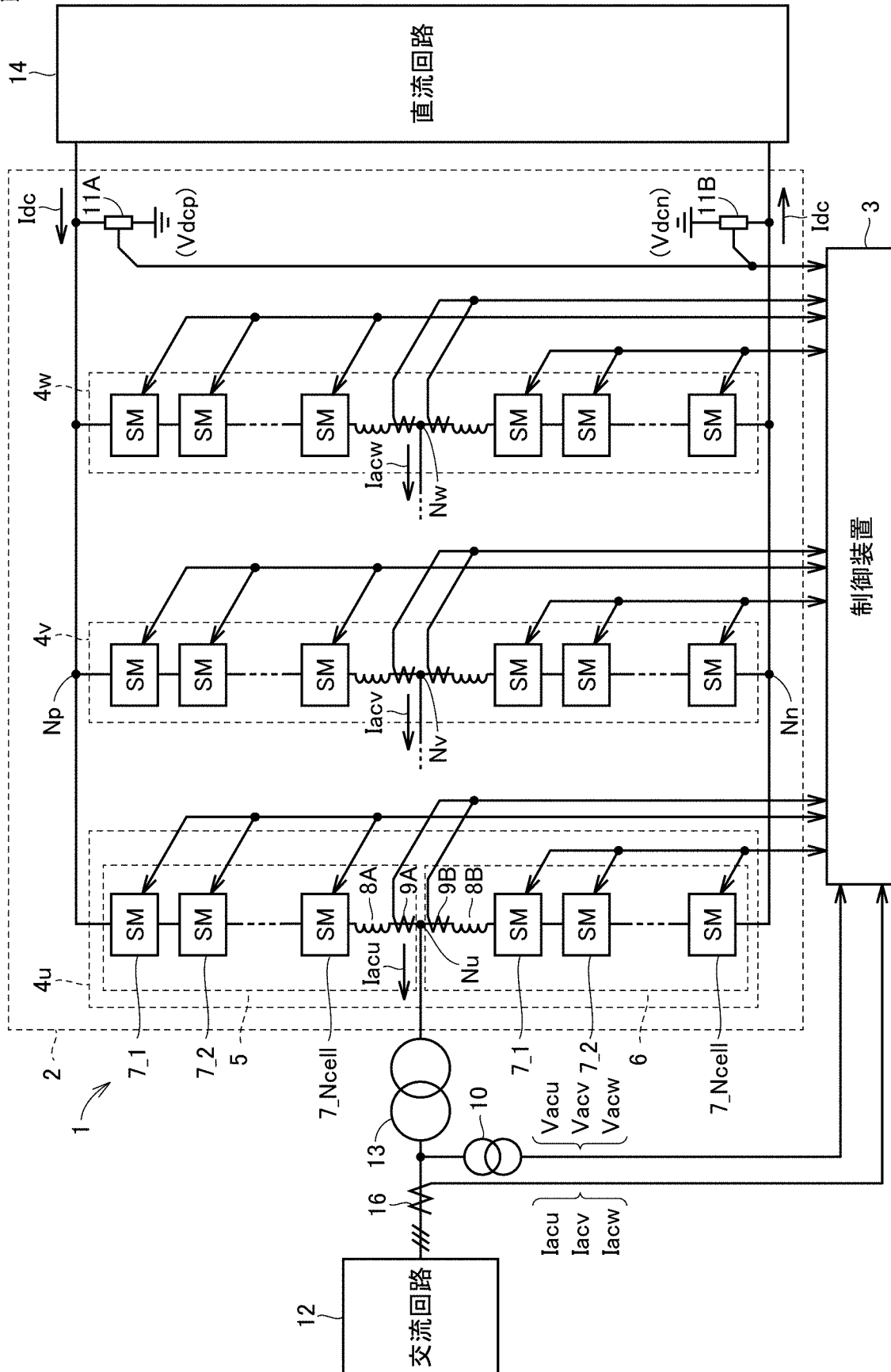
[請求項8] 前記キャリア信号生成部は、前記複数の健全変換器セルのキャリア信号の基準位相のうち、前記故障変換器セルのキャリア信号の基準位相の直前の基準位相を変化させず、前記複数の健全変換器セルのキャリア信号の基準位相のうち、前記故障変換器セルのキャリア信号の基準位相の直前の基準位相以外の基準位相を進ませる、請求項7記載の電力変換装置。

[請求項9] 前記キャリア信号生成部は、前記健全変換器セルのキャリア信号の基準位相を進ませる方向に変化させる場合、前記キャリア信号が前記健全変換器セルのセル電圧指令と交差するタイミングの直後に、前記健全変換器セルのキャリア信号の基準位相を進ませる、請求項3記載の電力変換装置。

- [請求項10] 前記キャリア信号生成部は、前記健全変換器セルのキャリア信号の基準位相を遅らせる方向に変化させる場合、前記キャリア信号が最大または最小となるタイミングの直後に、前記健全変換器セルのキャリア信号の基準位相を遅らせる、請求項3記載の電力変換装置。
- [請求項11] 前記制御装置は、前記変換器セルの故障を検知すると、前記アームに流れるアーム電流の実効値を増加させる、請求項1記載の電力変換装置。
- [請求項12] 前記制御装置は、前記アーム電流の実効値を増加させるために、前記電力変換器から出力される電流の周波数成分とは異なる周波数成分の電流を前記電力変換器の内部で循環させる、請求項11に記載の電力変換装置。
- [請求項13] 前記電力変換装置は、変圧比が可変の変圧器を備え、
前記制御装置は、前記アーム電流の実効値を増加させるために、前記変圧比を変化させることによって、交流出力電流を増加させる、請求項11に記載の電力変換装置。

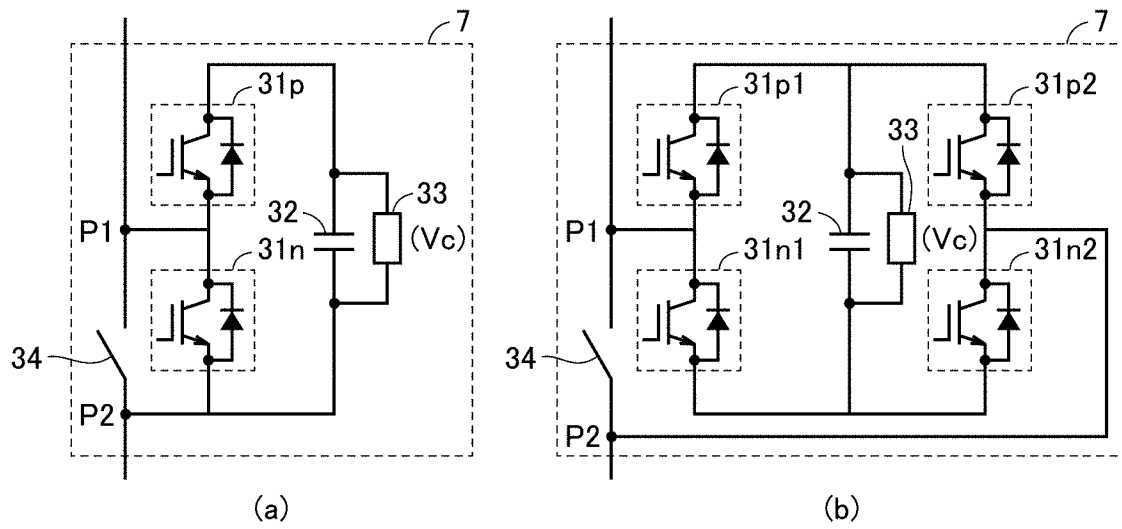
[図1]

図1



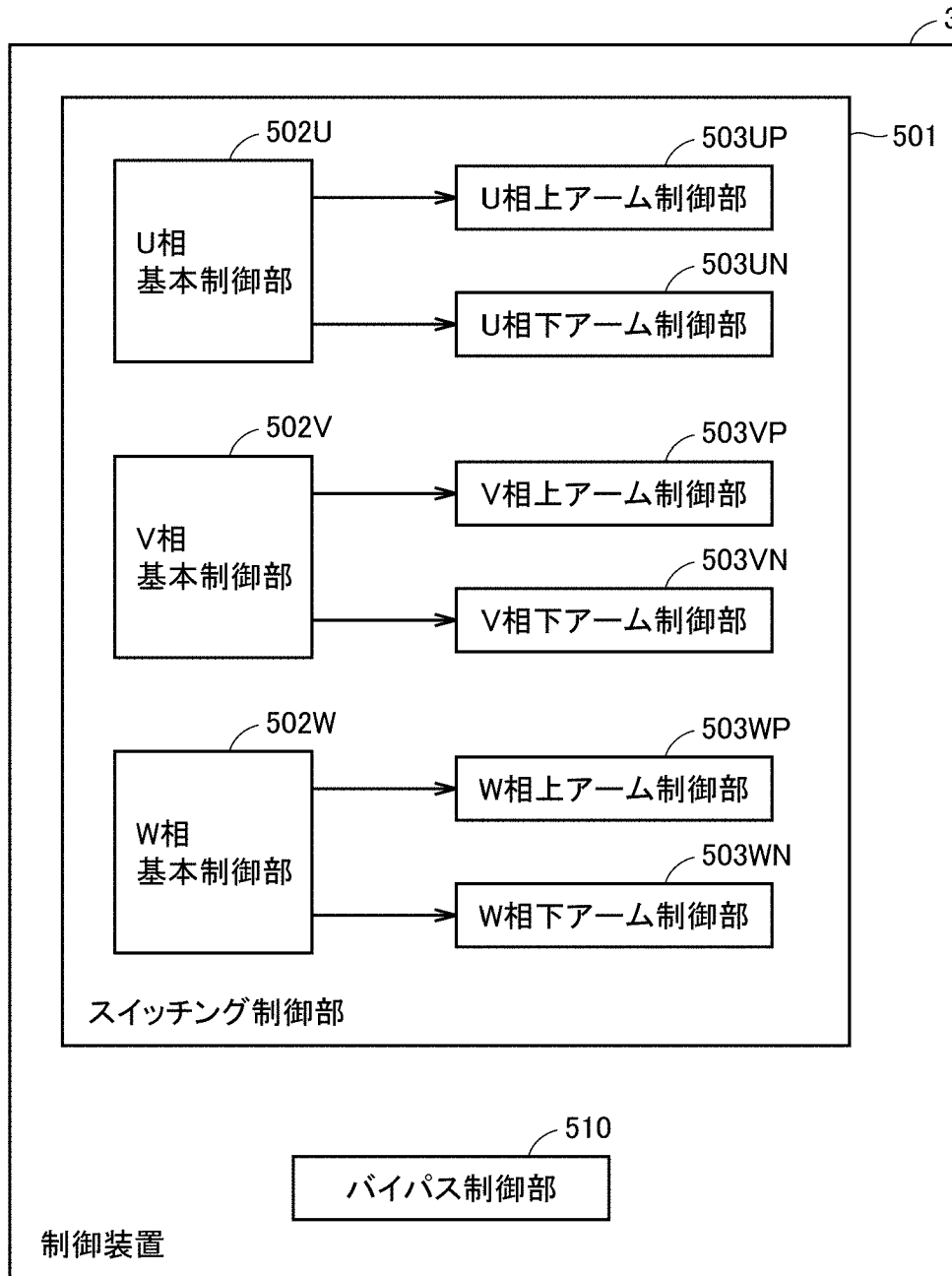
[図2]

図2



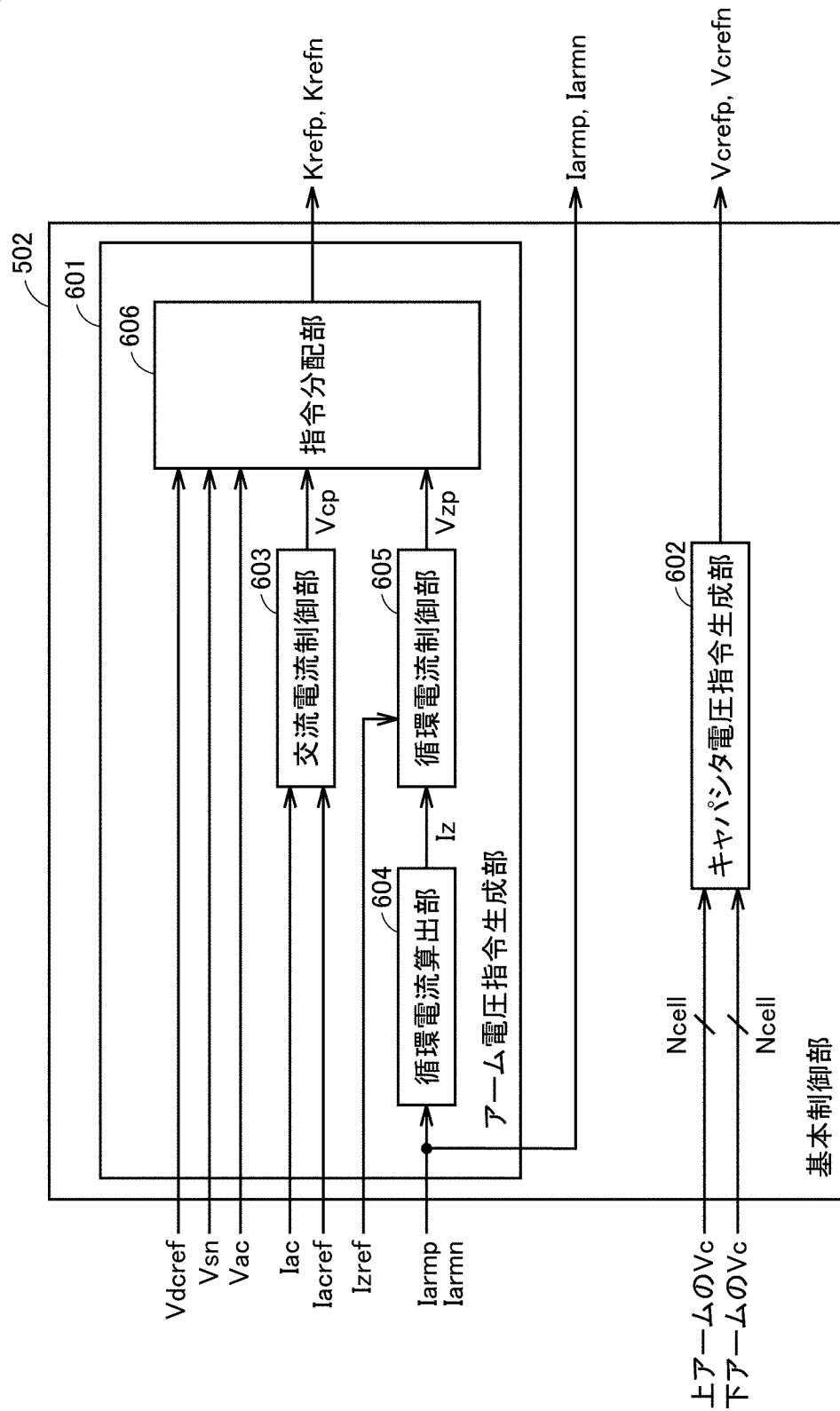
[図3]

図3



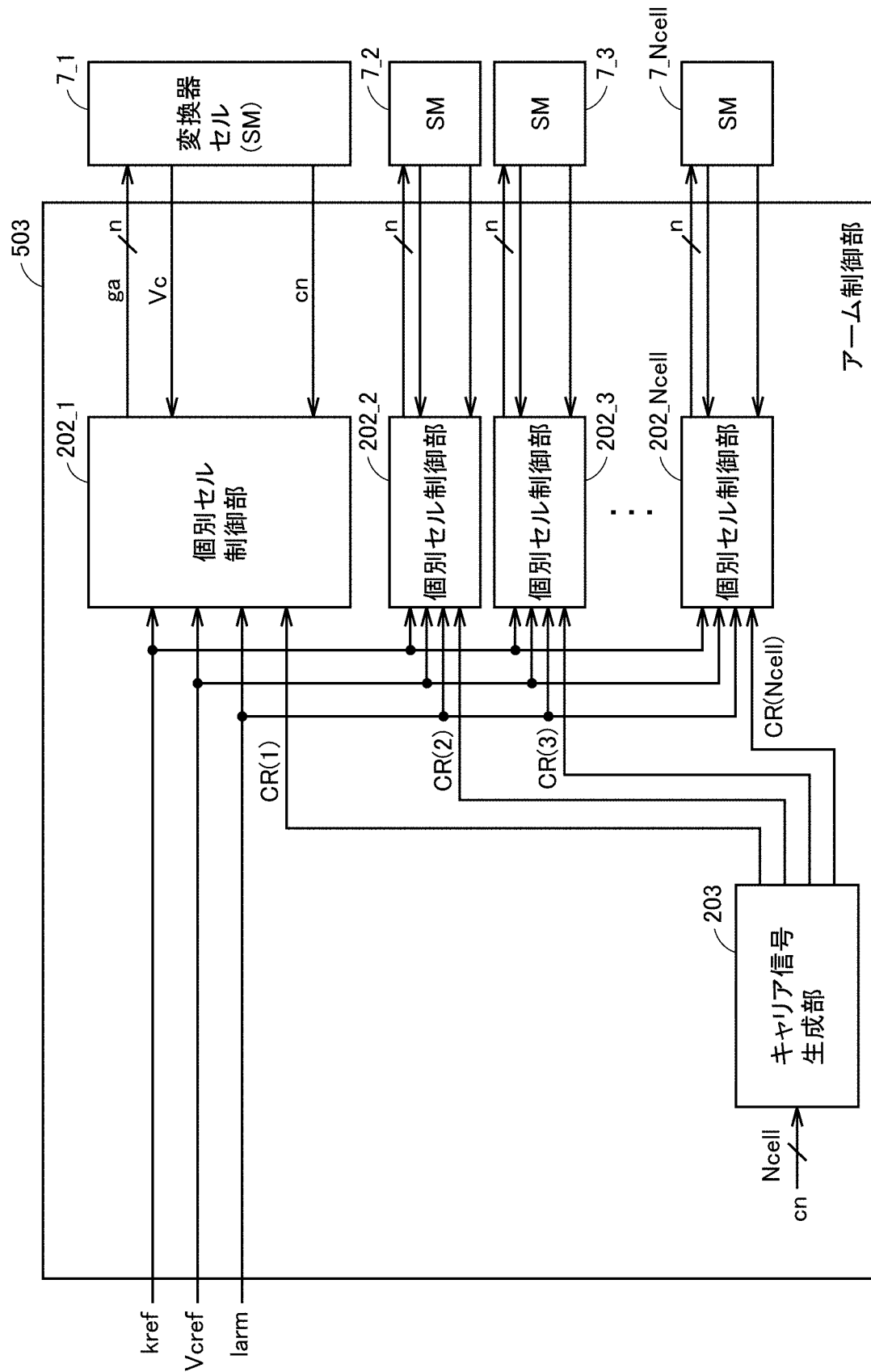
[図4]

図4



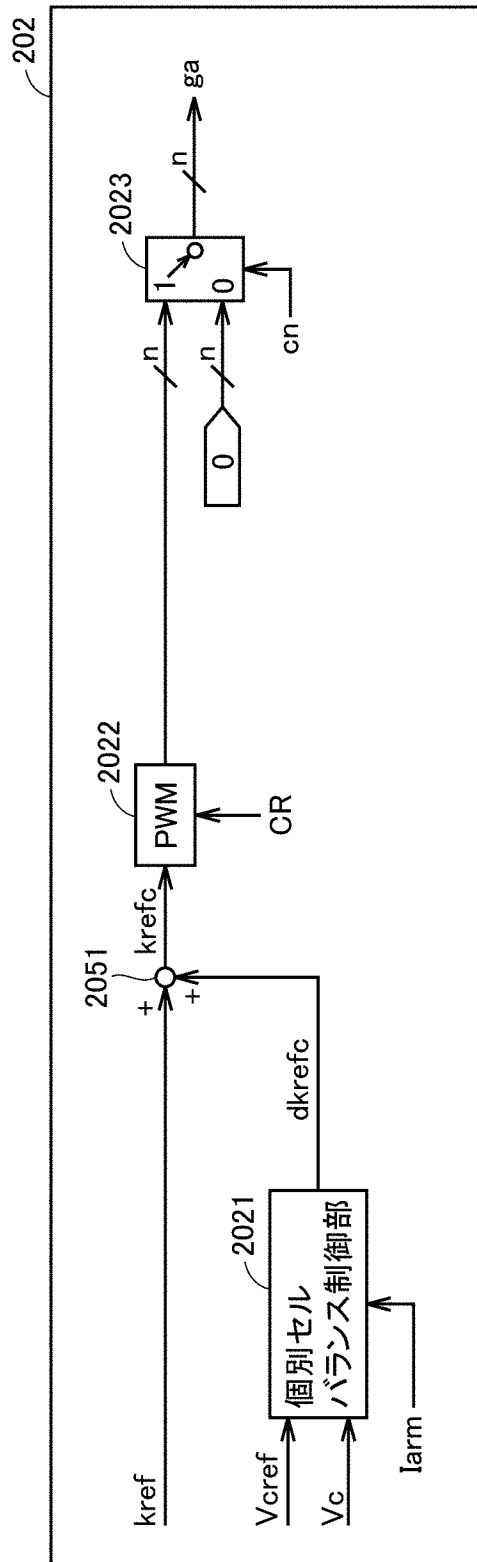
[図5]

図5



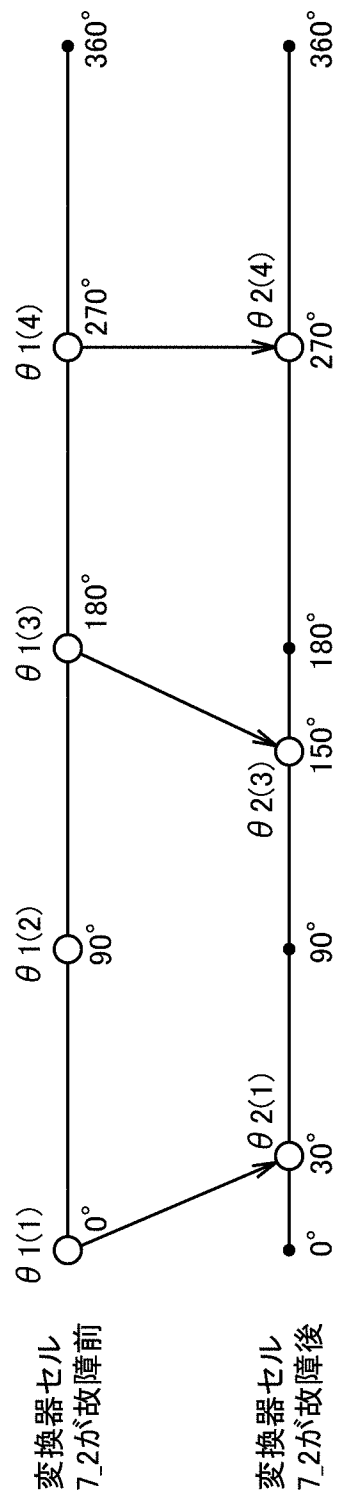
[図6]

図6



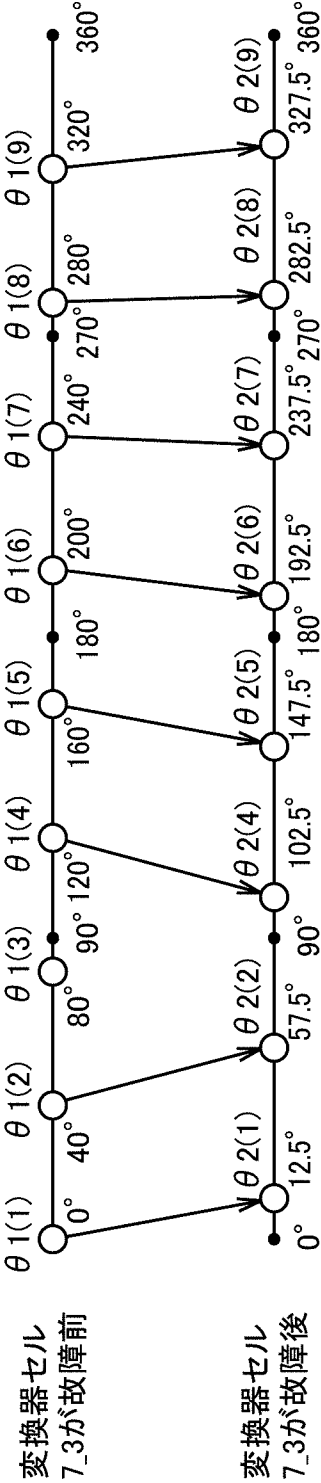
[図7]

図7



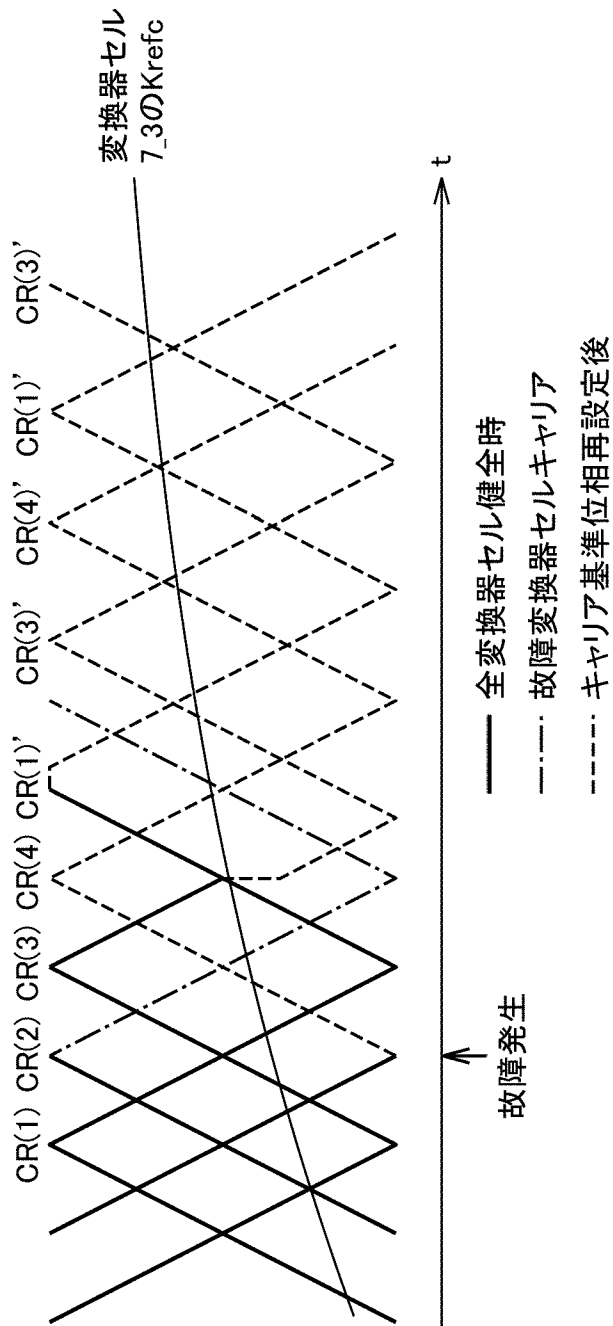
[図8]

図8



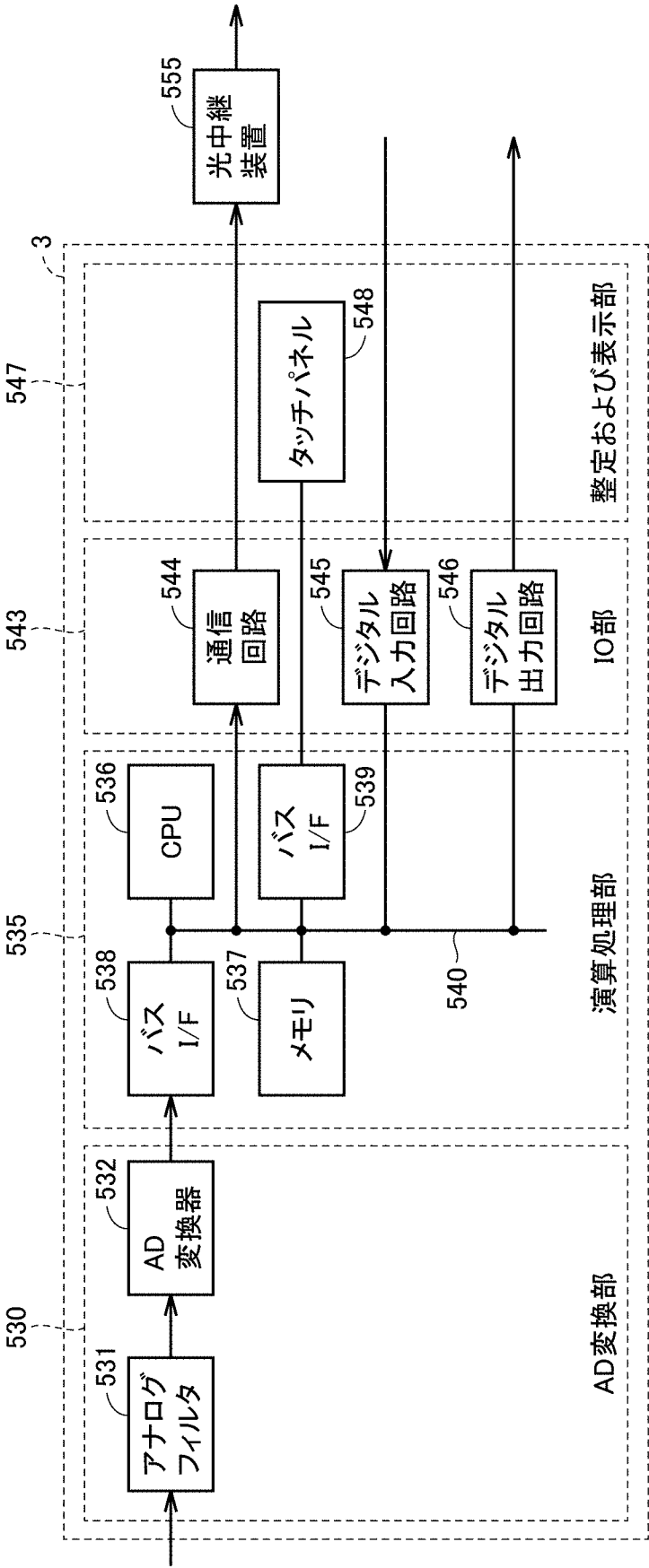
[図9]

図9



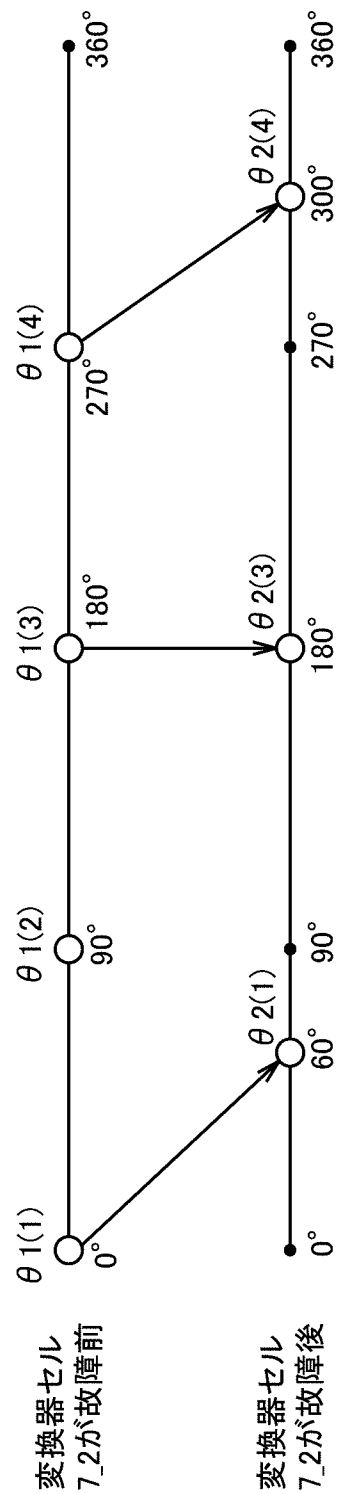
[図10]

図10



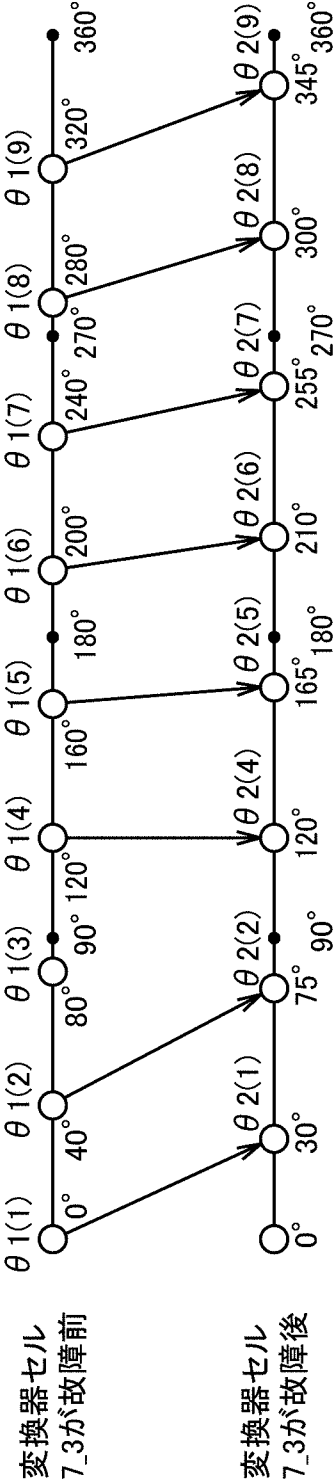
[図11]

図11



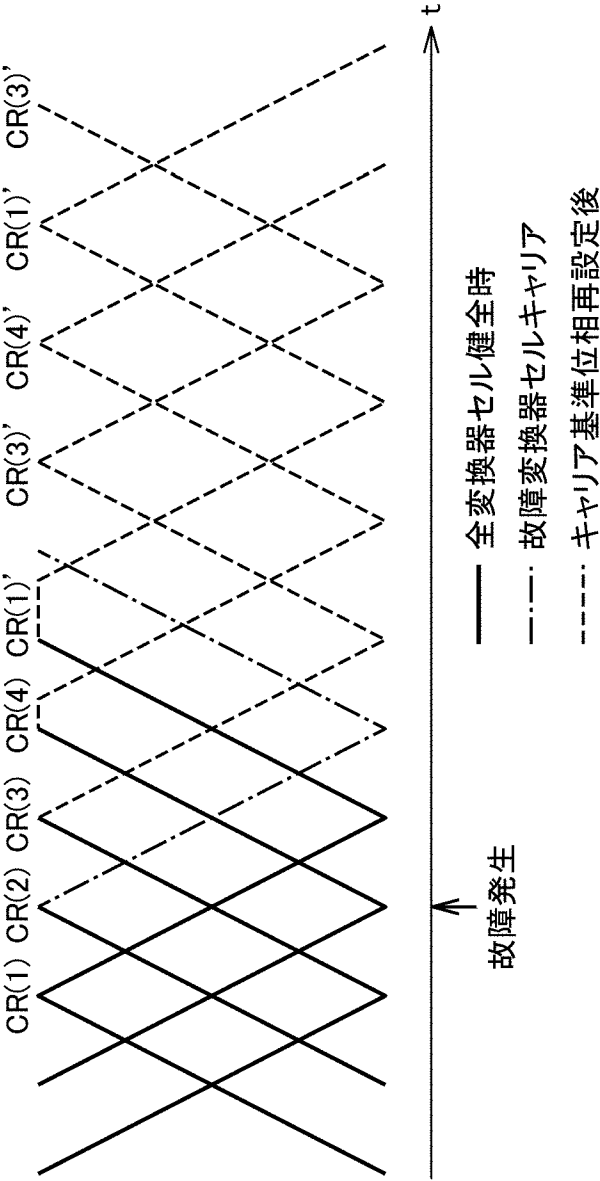
[図12]

図12



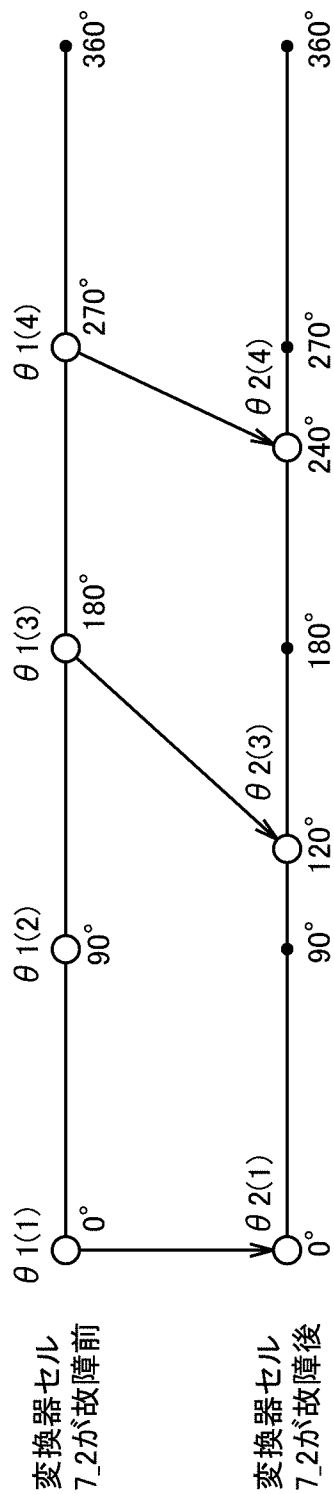
[図13]

図13



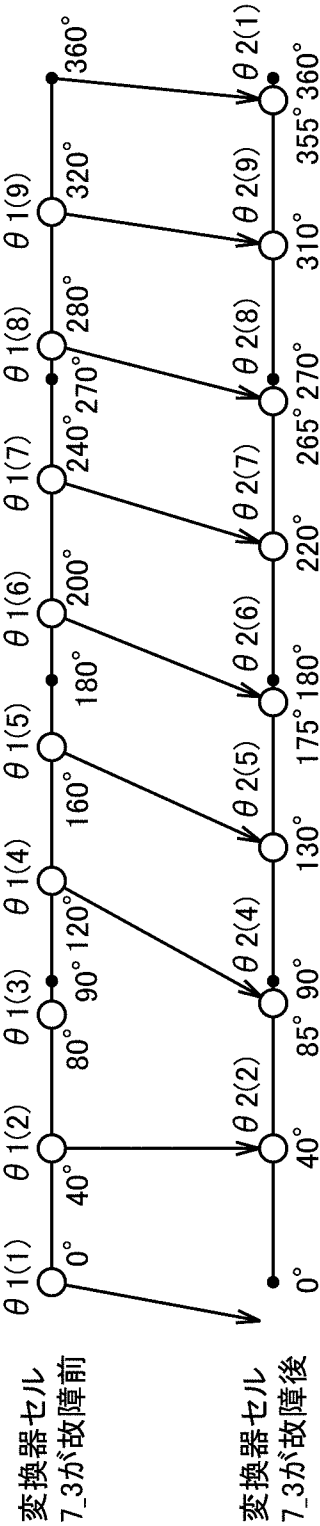
[図14]

図14



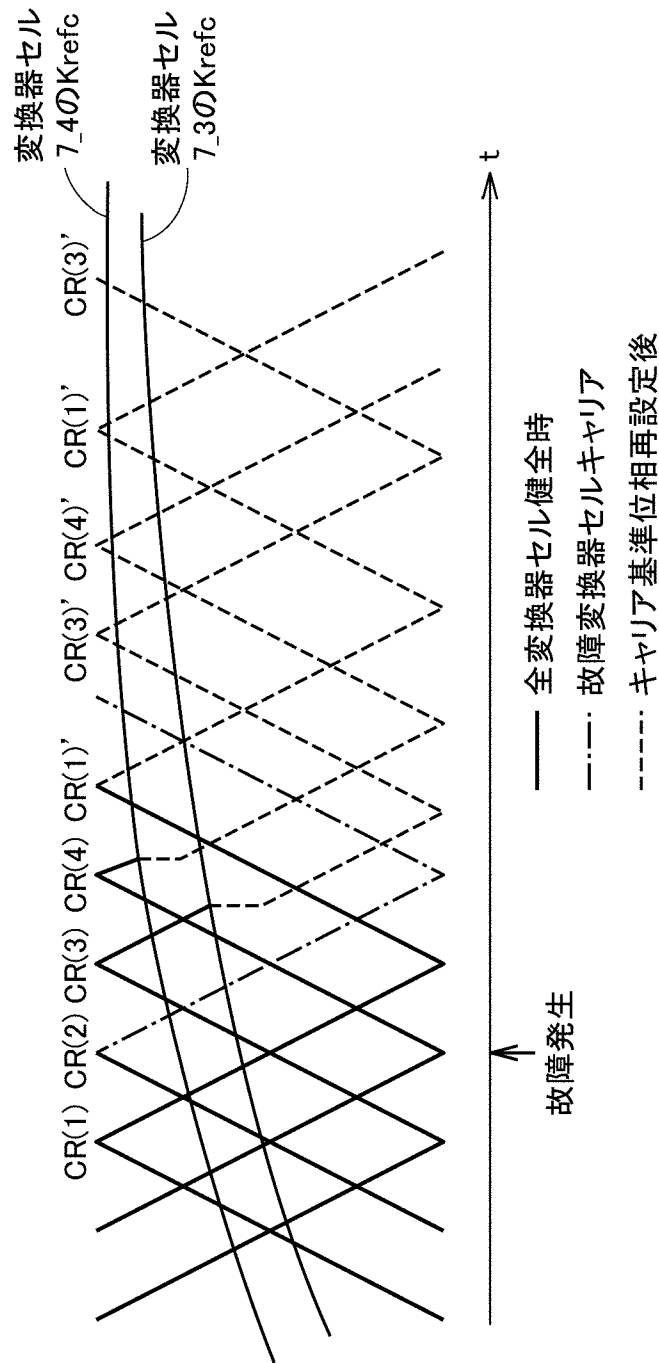
[図15]

図15



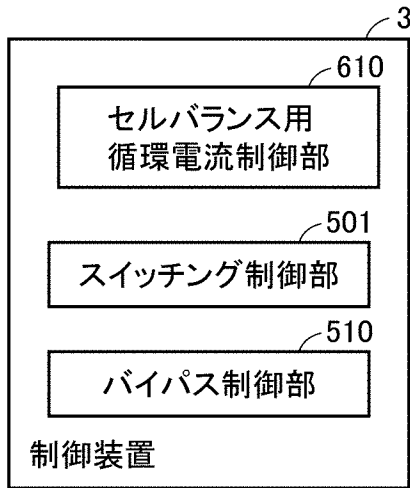
[図16]

図16



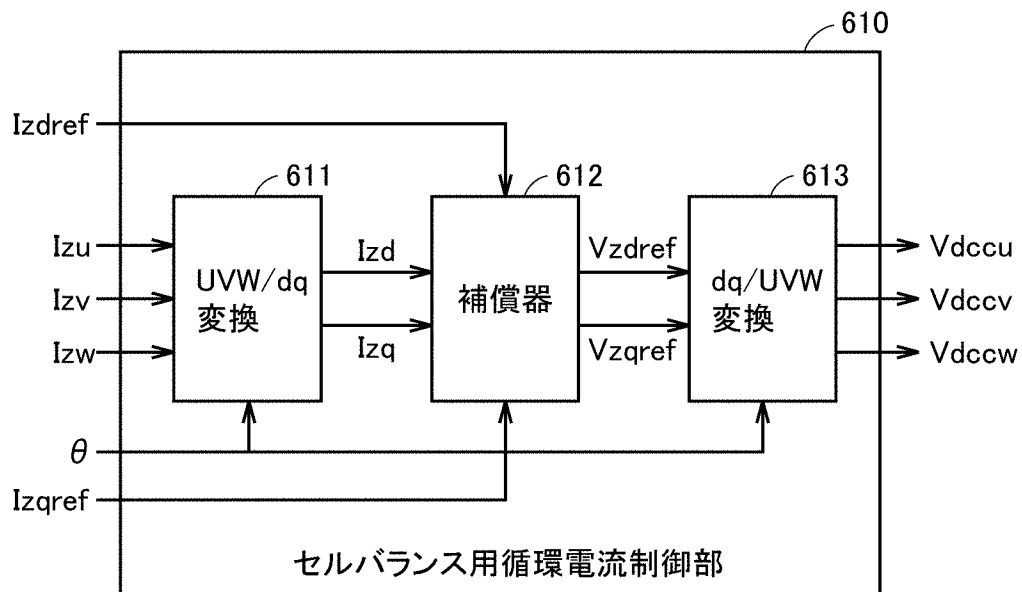
[図17]

図17



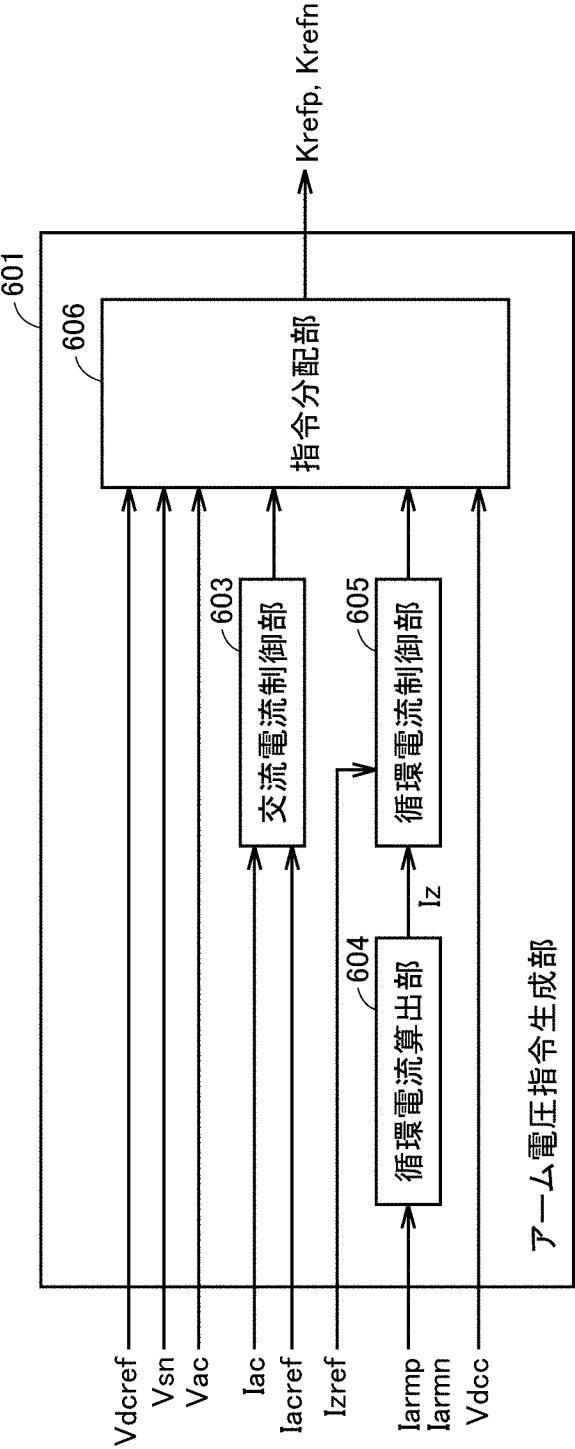
[図18]

図18



[図19]

図 19



[図20]

図20

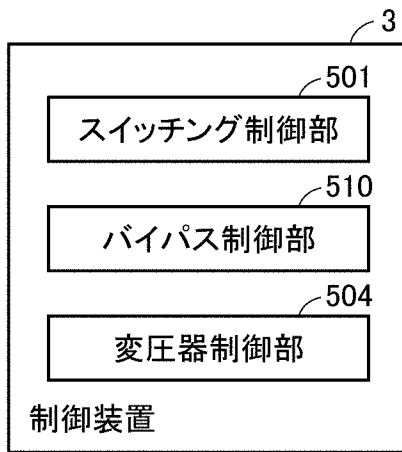
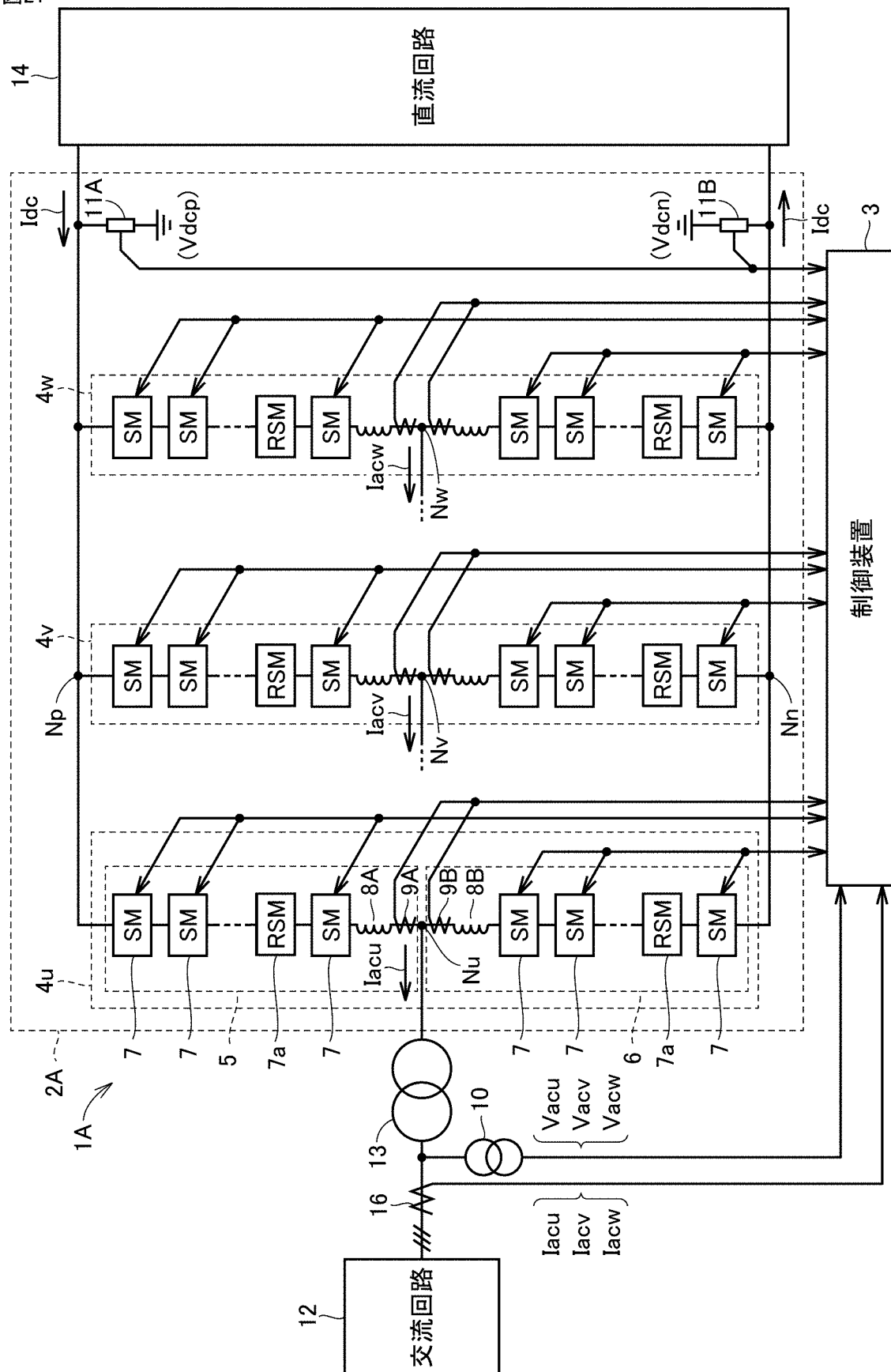
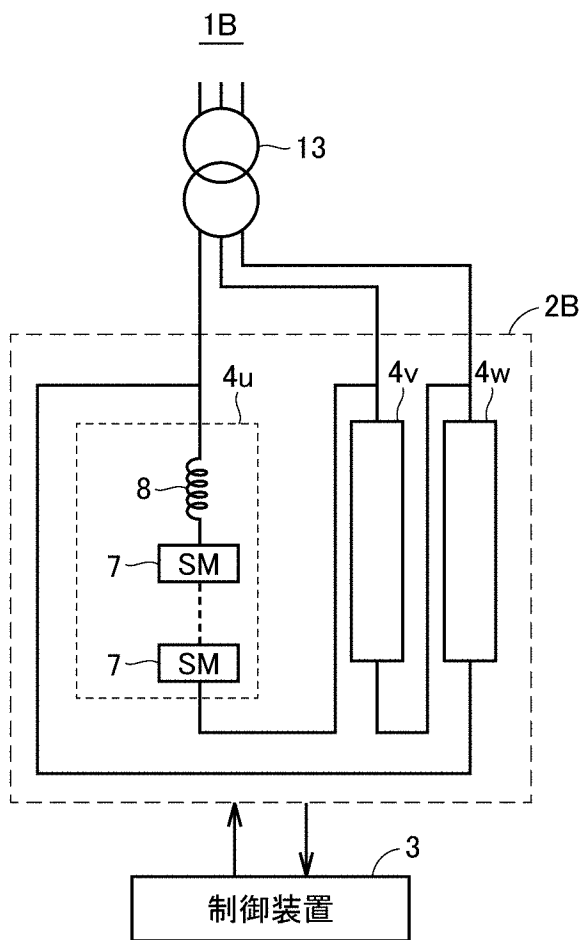


图21



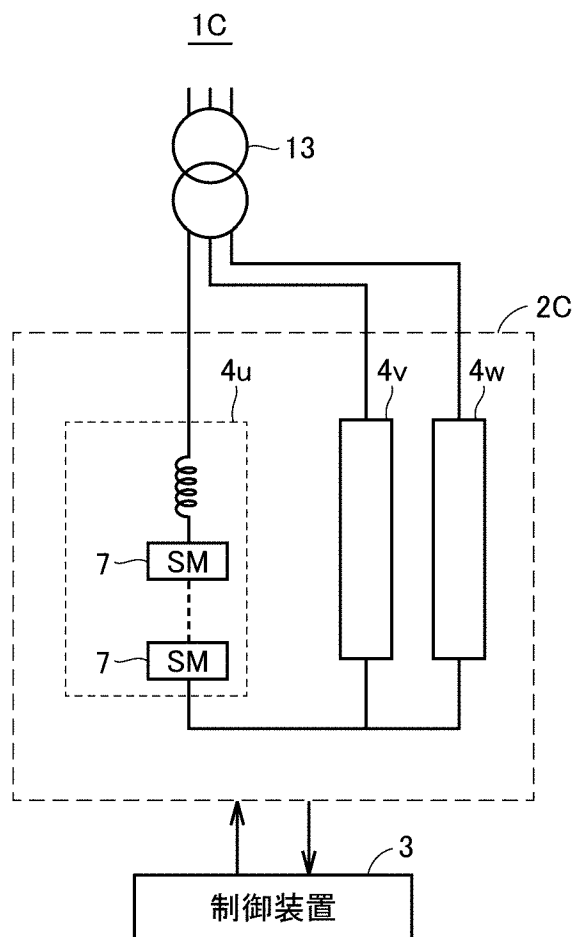
[図22]

図22



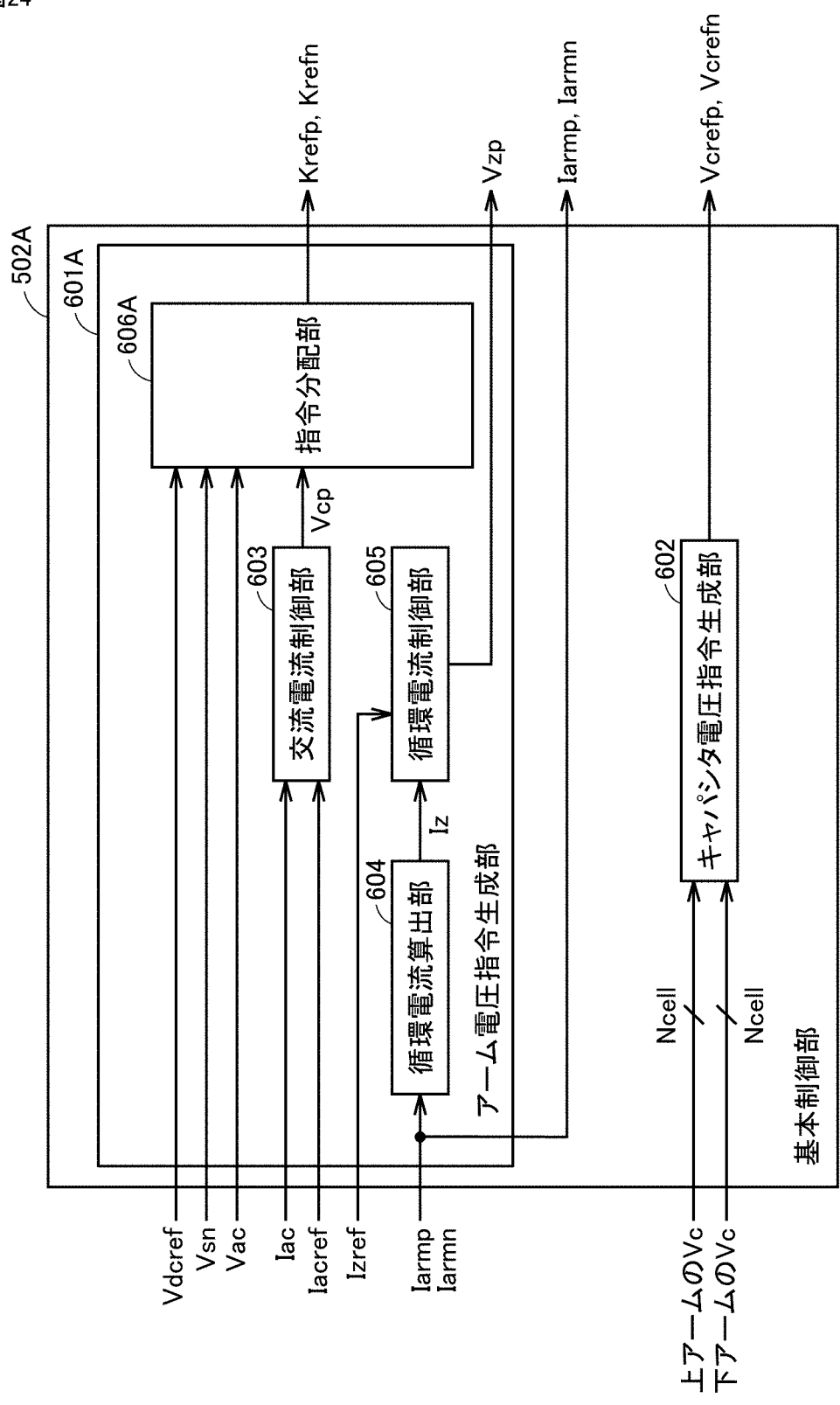
[図23]

図23



[図24]

図24



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2018/047459

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

Int.Cl. H02M7/48 (2007.01) i, H02M1/00 (2007.01) i, H02M7/483 (2007.01) i,
H02M7/49 (2007.01) i

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)

Int.Cl. H02M7/48, H02M1/00, H02M7/483, H02M7/49

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	1971-2019
Registered utility model specifications of Japan	1996-2019
Published registered utility model applications of Japan	1994-2019

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.
Y A	JP 6336236 B1 (MITSUBISHI ELECTRIC CORP.) 11 May 2018, paragraphs [0011], [0017], [0064]-[0069], fig. 1, 5 (Family: none)	1-10 11-13
Y A	JP 2005-94874 A (HITACHI, LTD.) 07 April 2005, paragraphs [0011], [0014]-[0016], [0021]-[0023], [0030], fig. 1-4 (Family: none)	1-10 11-13

☐ Further documents are listed in the continuation of Box C.

☐ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
 "E" earlier application or patent but published on or after the international filing date
 "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)
 "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

"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
 "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
 "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
 "&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search
15 February 2019 (15.02.2019)

Date of mailing of the international search report
26 February 2019 (26.02.2019)

Name and mailing address of the ISA/
Japan Patent Office
3-4-3, Kasumigaseki, Chiyoda-ku,
Tokyo 100-8915, Japan

Authorized officer

Telephone No.

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC））

Int.Cl. H02M7/48(2007.01)i, H02M1/00(2007.01)i, H02M7/483(2007.01)i, H02M7/49(2007.01)i

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料（国際特許分類（IPC））

Int.Cl. H02M7/48, H02M1/00, H02M7/483, H02M7/49

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

日本国実用新案公報	1922-1996年
日本国公開実用新案公報	1971-2019年
日本国実用新案登録公報	1996-2019年
日本国登録実用新案公報	1994-2019年

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）

C. 関連すると認められる文献

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
Y A	JP 6336236 B1（三菱電機株式会社）2018.05.11, [0011]、[0017]、[0064]－[0069]、図1、図5 （ファミリーなし）	1-10 11-13
Y A	JP 2005-94874 A（株式会社日立製作所）2005.04.07, [0011]、[0014]－[0016]、[0021]－[0023]、 [0030]、図1－4 （ファミリーなし）	1-10 11-13

C欄の続きにも文献が列挙されている。

パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 引用文献のカテゴリー

「A」特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの

「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

「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）

「O」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献

「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

「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矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの

「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

「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

「&」同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

15.02.2019

国際調査報告の発送日

26.02.2019

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁（ISA/J P）

郵便番号100-8915

東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官（権限のある職員）

田中 寛人

5G

4057

電話番号 03-3581-1101 内線 3526