

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2017-189115

(P2017-189115A)

(43) 公開日 平成29年10月12日(2017.10.12)

(51) Int.Cl.

H02M 7/497 (2007.01)

F I

H02M 7/497

テーマコード(参考)

5H770

審査請求 有 請求項の数 1 O L (全 29 頁)

(21) 出願番号 特願2017-140616 (P2017-140616)
 (22) 出願日 平成29年7月20日 (2017.7.20)
 (62) 分割の表示 特願2015-211396 (P2015-211396)
 の分割
 原出願日 平成21年3月30日 (2009.3.30)

(71) 出願人 000005108
 株式会社日立製作所
 東京都千代田区丸の内一丁目6番6号
 (74) 代理人 100098660
 弁理士 戸田 裕二
 (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 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
 Fターム(参考) 5H770 BA12 BA13 CA02 DA03 DA10
 DA11 DA24 DA31

(54) 【発明の名称】 電力変換装置

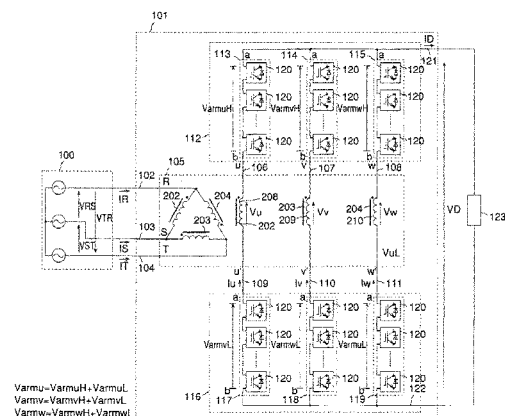
(57) 【要約】

【課題】本発明は、変圧器を介して電力系統に連系する、単位変換器をカスケード接続して構成される電力変換装置において、リアクトルを不要とし、体積・重量を低減できる電力変換装置を提供するものである。

【解決手段】変圧器を介して三相電力系統に連系し、該三相電力系統と有効または無効電力を授受する電力変換装置であって、該変圧器の二次巻線をオープン巻線として6端子とし、該二次巻線の3つの端子に3台の変換器アームをスター結線した回路からなる第1の変換器グループを接続し、該二次巻線の3つの端子に別の3台の変換器アームをスター結線した回路からなる第2の変換器グループを接続し、第1の変換器グループの中性点(スター結線した点)と第2の変換器グループの中性点(スター結線した点)を、それぞれ該電力変換装置の出力端子とすることを特徴とする電力変換装置。

【選択図】 図1

図 1



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

電圧源と制御電流源の直列回路を備えた電力変換装置において、前記電圧源と前記制御電流源の直列回路を少なくとも3つ並列接続する構成を有し、前記並列接続した前記直列回路の並列接続点を端子とする構成を有し、前記各々の直列回路において前記電圧源は変圧器の一方次側の巻線として形成され、前記変圧器の他方次側の巻線を介して交流側に接続される構成を有し、前記電流源は複数接続する単位変換器を有し、前記一方次側の巻線は、流れる電流の直流成分に起因する起磁力を他方次側の巻線に流れる電流の直流成分に起因する起磁力と相殺するように構成されていることを特徴とする電力変換装置。

【発明の詳細な説明】

10

【技術分野】

【0001】

本発明は、電力変換装置に関し、特に変圧器を介して三相系統と連系する電力変換装置に関する。

【背景技術】

【0002】

非特許文献1は、オン・オフ制御が可能なスイッチング素子（Insulated-gate bipolar transistor：IGBTなど）を使用し、該スイッチング素子の耐圧を超える高電圧を出力できる電力変換装置の一方式として、モジュラー・マルチレベル変換器（MMC）を提案している。

20

【0003】

MMCの回路構成を説明するために、まず、MMCの各部分の名称を定義する。

【0004】

MMCでは、図4に示す双方向チョッパ回路が単位変換器となっている。

【0005】

各単位変換器は、少なくとも2つの端子を介して外部回路と接続する。本実施例では、該2端子をそれぞれx端子、y端子と呼ぶことにする。また、y端子を基準としたx端子までの電圧をセル電圧と呼ぶことにする。

【0006】

図4に示す双方向チョッパ回路のエネルギー蓄積素子405の電圧をVCとすると、セル電圧の取りうる値は、VCと零の2つである。

30

【0007】

本実施例では、1つまたは複数の前記単位変換器のx端子とy端子をカスケード接続した回路を、変換器アームと呼ぶことにする。

【0008】

各変換器アームは、少なくとも2つの端子を持つ。本実施例では、該2端子をそれぞれa端子、b端子と呼ぶことにする。また、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。アーム電圧は、該変換器アームに含まれる単位変換器のセル電圧の和である。

【0009】

アーム電圧は、セル電圧の和であるため、各セルが備えているエネルギー蓄積素子の電圧VCを単位とする電圧となる。

40

【0010】

本実施例では、第1の変換器アームのb端子に第1のリアクトルの一方の端子を直列接続し、第1のリアクトルの他方の端子に第2のリアクトルの一方の端子を直列接続し、第2のリアクトルの他方の端子に第2の変換器アームのa端子を直列接続した回路をレグと呼ぶことにする。

【0011】

第1の変換器アームのa端子をレグのP端子と呼び、前記2台のリアクトルの接続点をレグのM端子と呼び、第2の変換器アームのb端子をレグのN端子と呼ぶことにする。し

50

たがって、各レグはP端子，M端子，N端子の少なくとも3端子を持つ。また、本実施例では、レグに含まれる2台の変換器アームのアーム電圧の和をレグ電圧と呼ぶことにする。

【0012】

レグ電圧はアーム電圧の和であるため、やはり、各単位変換器が備えているエネルギー蓄積素子の電圧VCを単位とする電圧となる。

【0013】

次に、MMCの回路構成を説明する。ここでは一例として三相MMCについて述べる

【0014】

3台のレグのP端子を相互に接続して、その接続点から一方の端子を引き出し、同様に、該3台のレグのN端子を相互に接続し、その接続点から他方の端子を引き出すことで、三相MMCを構成できる。本実施例では、相互に接続された3つの前記P端子から引き出した端子をMMCの正側出力端子、相互に接続された3つの前記N端子から引き出した端子をMMCの負側出力端子と呼ぶことにする。

10

【0015】

MMCの正側出力端子と負側出力端子との間には直流負荷を接続できる。

【0016】

また、前記3台のレグの合計3つのM端子には、三相電力系統を接続できる。本実施例では、前記3台のレグの合計3つのM端子を総称して、三相端子と呼ぶことにする。

【0017】

以下、MMCの動作についてごく簡単に説明する。前記三相端子は、変圧器または、連系リアクトルを介して三相電力系統に連系しているものとする。

20

【0018】

MMCを構成する各変換器アームのアーム電圧を制御することにより、三相端子間の電圧を制御できる。

【0019】

例えば、三相端子間の電圧の系統周波数成分を、系統線間電圧と同周波数、同振幅に制御しつつ、位相のみを系統線間電圧の位相よりもわずかに遅らせると、電力系統から三相MMCに有効電力が流入する。

【0020】

また、三相端子間の電圧の系統周波数成分を、系統線間電圧と同周波数と同振幅に制御しつつ、位相のみを系統線間電圧の位相よりもわずかに進ませると、三相MMCから電力系統に有効電力が流出する。

30

【0021】

三相端子間の電圧の系統周波数成分を、系統線間電圧と同周波数、同位相に制御しつつ、振幅のみを系統線間電圧の振幅よりもわずかに増加すると、電力系統と三相MMCの間に進相無効電力が発生する。

【0022】

三相端子間の電圧の系統周波数成分を、系統線間電圧と同周波数、同位相に制御しつつ、振幅のみを系統線間電圧の振幅よりもわずかに減少すると、電力系統と三相MMCの間に遅相無効電力が発生する。

40

【0023】

しかし、MMCには以下で述べる2つの課題がある。

【0024】

第1の課題は、各レグにリアクトルが必要である点である。

【0025】

前記三相MMCにおいて、各単位変換器に含まれるエネルギー蓄積素子が理想的な直流電圧源であり、かつ、全て理想直流電圧源の電圧が等しい場合、各単位変換器のスイッチング・タイミングを適切に制御することにより、3台のレグのレグ電圧を一致させることができる。

50

【 0 0 2 6 】

しかし、実際の M M C では、エネルギー蓄積素子として、電解コンデンサや蓄電池を使用する。

【 0 0 2 7 】

各単位変換器は、単相変換器として動作するため、各単位変換器に流入出する瞬時電力は、三相端子に接続された電力系統または三相負荷の周波数の 2 倍周波数の脈動成分を持つ。

【 0 0 2 8 】

また、M M C は、正側出力端子と負側出力端子の間に接続された直流負荷と直流電力を授受するため、各単位変換器に流入出する瞬時電力には、該直流負荷との電力授受に伴う電力脈動成分も存在する。

10

【 0 0 2 9 】

したがって、各単位変換器に含まれるエネルギー蓄積素子（電解コンデンサや蓄電池など）の両端電圧は脈動しており、しかも、その脈動成分の瞬時値は、レグごとに異なる。

【 0 0 3 0 】

前述のように、レグ電圧は、そのレグに含まれる単位変換器のエネルギー蓄積素子の電圧 V_C を単位とする電圧となる。

【 0 0 3 1 】

エネルギー蓄積素子の電圧 V_C がレグごとに異なる場合、単位変換器のスイッチング・タイミングを適切に制御しても、3 台のレグのレグ電圧を常時完全に一致させることは不可能である。

20

【 0 0 3 2 】

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。

【 0 0 3 3 】

各レグに含まれる 2 台のリアクトルのインダクタンスが零であった場合、該期間において、レグ電圧の差を分担するのは、レグ間を接続する配線のみとなる。該配線のインピーダンスは小さいため、前記 3 台のレグに過電流が流れてしまう。

【 0 0 3 4 】

このため、この過電流を制御するために、各レグにリアクトルが必須である。

30

【 0 0 3 5 】

第 2 の課題は、M M C が直流電力を直流負荷に伝送する場合、前記リアクトルが大型化する点である。

【 0 0 3 6 】

M M C が直流電力を負荷負荷に伝送する場合、各相の変換器アームとリアクトルに零相直流電流を流す必要がある。このため、前記リアクトルには零相直流電流と正相・逆相電流が重畳した電流が流れる。

【 0 0 3 7 】

この場合、該リアクトルに正相・逆相電流のみが流れる場合に比較して電流最大値が大きくなる。該電流最大値においても磁気飽和を起こさないためには、該リアクトルの鉄心断面積を大きくする必要があり、前記リアクトルの大型化を招く。

40

【 先行技術文献 】

【 非特許文献 】

【 0 0 3 8 】

【 非特許文献 1 】 萩原誠・赤木泰文：「モジュラー・マルチレベル変換器（M M C）の P W M 制御法と動作検証」、電気学会論文誌 D、1 2 8 巻 7 号、p p . 9 5 7 - 9 6 5。

【 発明の概要 】

【 発明が解決しようとする課題 】

【 0 0 3 9 】

通常、各種電力変換装置を特別高圧系統に連系する場合、電圧の昇降圧や電氣的絶縁確

50

保の目的で、変圧器を設置することが一般的である。

【0040】

そして、本発明は、変圧器を介して電力系統に連系する、単位変換器をカスケード接続して構成される電力変換装置において、リアクトルを不要とし、体積・重量を低減できる電力変換装置を提供するものである。

【課題を解決するための手段】

【0041】

上記課題を達成するために、本発明は電圧源と制御電流源の直列回路を備えた電力変換装置において、前記電圧源と前記制御電流源の直列回路を少なくとも2組並列接続し、該並列接続した前記直列回路の並列接続点をそれぞれ出力端子とすることを特徴とするものである。

10

【0042】

また、上記課題を達成するために、本発明は三相電圧源の中性点を引き出した三相電圧源の各相に3つの制御電流源をスター結線した回路を接続して構成した電力変換装置において、前記制御電流源の中性点と前記三相電圧源の中性点とを出力端子とすることを特徴とするものである。

【0043】

更に、本発明は電力変換装置において、前記電圧源はディファレンシャルモード（または正相・逆相）成分のみを含んでおり、前記制御電流源は、ディファレンシャルモード（または正相・逆相）成分を制御することで、前記電圧源と電力授受を行い、前記制御電流源は、コモンモード（または零相）成分を制御することで、前記出力端子に接続された負荷装置または電源と電力の授受を行うことを特徴とするものである。

20

【0044】

また、上記課題を達成するために、本発明は単相または多相変圧器と変換器アームとを備えた電力変換装置において、該電力変換装置は前記単相または多相変圧器の一次巻線の各相が入力端子であり、前記単相または多相変圧器の二次巻線は中性点を引き出した構造となっており、前記変圧器の二次巻線と変換器アームとの直列回路を並列接続し、該並列接続点と前記二次巻線の中性点とをそれぞれ出力端子とすることを特徴とするものである。

【0045】

また、上記課題を達成するために、本発明は二次巻線から中性点を引き出した三相変圧器と、前記二次巻線の各相に、3台の変換器アームをスター結線した回路を接続して構成した電力変換装置において、前記三相変圧器の一次巻線の各相を入力端子とし、前記変換器アームの中性点と前記二次巻線の中性点とを出力端子とすることを特徴とするものである。

30

【0046】

また、上記課題を達成するために、本発明は変圧器を介して三相電力系統に連系する電力変換装置において、前記変圧器の一次巻線を前記三相電力系統に接続し、該変圧器の二次巻線をオープン巻線として6端子とし、該二次巻線の第1～第3の端子に3台の変換器アームをスター結線した回路からなる第1の変換器グループを接続し、第4～第6の端子に別の3台の変換器アームをスター結線した回路からなる第2の変換器グループをスター結線した回路を接続し、第1の変換器グループの中性点と第2の変換器グループの中性点とを電力変換装置の出力端子とすることを特徴とするものである。

40

【0047】

また、上記課題を達成するために、本発明は変圧器を介して三相電力系統に連系する電力変換装置において、前記変圧器の一次巻線を前記三相電力系統に接続し、該変圧器の二次巻線の中性点を引き出して4端子とし、該二次巻線の中性点以外の各相に3台の変換器アームをスター結線した回路を接続し、前記3台の変換器アーム中性点と前記二次巻線の中性点とを電力変換装置の出力端子とすることを特徴とするものである。

【0048】

50

更に、本発明は電力変換装置において、前記変換器アームは、ディファレンシャルモード（正相・逆相）電流を制御することで、前記変圧器の一次巻線に接続した単相または多相電力系統と電力授受を行い、コモンモード（零相）成分を制御することで、前記出力端子に接続された負荷装置または電源と電力の授受を行うことを特徴とするものである。

【0049】

更に、本発明は電力変換装置において、前記変圧器は、二次巻線を通るコモンモード（零相）電流に起因する起磁力を大略零とする手段を備えていることを特徴とするものである。

【0050】

更に、本発明は電力変換装置において、一次巻線と二次巻線を入れ替えたことを特徴とするものである。

10

【0051】

そして、本発明の電力変換装置によれば、変圧器の励磁インダクタンスと漏れインダクタンスが、非特許文献1のMMCにおけるリアクトルの役割を兼ねるため、リアクトルが不要となり、このため、電力変換装置を小形・軽量化できる。

また、変圧器を介して三相電力系統に連系する電力変換装置において、前記変圧器の一次巻線を前記三相電力系統に接続し、該変圧器の二次巻線をオープン巻線として6端子とし、該二次巻線の第1～第3の端子に3台の変換器アームをスター結線した回路からなる第1の変換器グループを接続し、第4～第6の端子に別の3台の変換器アームをスター結線した回路からなる第2の変換器グループをスター結線した回路を接続し、第1の変換器グループの中性点と第2の変換器グループの中性点とを電力変換装置の出力端子とすることを特徴とする電力変換装置してもよい。

20

【発明の効果】

【0052】

本発明によれば、リアクトルを不要とし、体積・重量を低減した電力変換装置を提供することが出来る。

【0053】

また、本発明の電力変換装置は、電力系統と有効電力を授受する場合、変圧器二次巻線に零相直流電流が流れるが、これに起因する起磁力は零となるため、磁束を生じない効果が得られる。

30

【図面の簡単な説明】

【0054】

【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】フルブリッジ形の単位変換器。

【図4】双方向チョッパ形の単位変換器。

【図5】本発明の第1の実施形態を無効電力補償装置として応用した例。

【図6】本発明の第2の実施形態を示す回路図。

【図7】本発明の第2の実施形態における変圧器。

【図8】本発明の第3の実施形態を示す回路図。

40

【図9】本発明の第3の実施形態における変圧器。

【図10】本発明の第4の実施形態を示す回路図。

【図11】本発明の第4の実施形態における変圧器。

【図12】本発明の第5の実施形態を示す回路図。

【図13】本発明の第5の実施形態における変圧器。

【図14】本発明の第5の実施形態における電圧フェーザ図。

【図15】本発明の第5の実施形態における概略動作波形。

【図16】本発明の第5の実施形態を直流送電システムに応用した例。

【図17】本発明の第6の実施形態を示す回路図。

【図18】本発明の第6の実施形態における変圧器。

50

【図 19】本発明の第 7 の実施形態を示す回路図。

【図 20】本発明の第 7 の実施形態における変圧器。

【図 21】本発明の第 8 の実施形態を示す回路図。

【図 22】本発明の第 8 の実施形態における変圧器。

【図 23】本発明の第 9 の実施形態を示す回路図。

【図 24】本発明の第 9 の実施形態における変圧器。

【図 25】本発明の第 10 の実施形態を示す回路図。

【図 26】本発明の第 10 の実施形態における変圧器。

【図 27】本発明の第 11 の実施形態を示す回路図。

【発明を実施するための形態】

【0055】

以下、本発明の実施形態を図面を用いて説明する。

【実施例 1】

【0056】

本発明を実施する第 1 の形態について説明する。

【0057】

本発明の電力変換装置 101 の構成について、図 1 を用いて説明する。

【0058】

電力変換装置 101 は、変圧器 105 と正側変換器グループ 112, 負側変換器グループ 116 とから構成される。

【0059】

本実施例では、三相電力系統 100 の各相を R 相, S 相, T 相と呼ぶことにする。また、線間電圧を V_{RS} , V_{ST} , V_{TR} と表記する。さらに、三相電力系統 100 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。

【0060】

次に、図 1 と図 2 を用いて、変圧器 105 の構成について説明する。

【0061】

変圧器 105 は、R 相端子 102, S 相端子 103, T 相端子 104, u 相正側端子 106, v 相正側端子 107, w 相正側端子 108, u 相負側端子 109, v 相負側端子 110, w 相負側端子 111、の合計 9 端子を備えている。

【0062】

図 2 は、変圧器 105 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 105 は、鉄心 202 ~ 204 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 200 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 205, 206, 207 はそれぞれ鉄心 202, 203, 204 に巻回されている。巻線 205 ~ 207 の巻数は大略等しい。

【0063】

二次巻線 201 は、u 相巻線 208, v 相巻線 209, w 相巻線 210 を備えている。巻線 208 ~ 210 の巻数は大略等しい。

【0064】

実施例 1 では、u 相巻線 208 の両端電圧を V_u 、v 相巻線 209 の両端電圧を V_v 、w 相巻線 210 の両端電圧を V_w と表記することにする。

【0065】

電力変換装置の正側出力端子 121 と負側出力端子 122 の間には、負荷装置 123 を接続している。本明細書では、負荷装置 123 に印加される電圧を V_D 、負荷装置 123 に流れる電流を I_D と表記することにする。

【0066】

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。

【0067】

10

20

30

40

50

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。

【0068】

各変換器アーム113～115，117～118は、a端子とb端子とを備えている。本実施例では、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113～115，117～118は1台または複数台の単位変換器120をカスケード接続した回路である。

【0069】

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、本実施例では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。

【0070】

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、本実施例は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。

【0071】

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、本実施例では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。

【0072】

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、本実施例では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。

【0073】

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、本実施例では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。

【0074】

v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、b端子を負側出力端子122に接続する。また、本実施例ではw相負側変換器アーム119のアーム電圧を V_{armwL} と表記することにする。

【0075】

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。

【0076】

また、実施例1では、u相正側変換器アーム113とu相負側変換器アーム117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114とv相負側変換器アーム118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115とw相負側変換器アーム119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。

【0077】

次に、図3と図4を用いて、単位変換器120の構成について説明する。

【0078】

図3は、単位変換器120の内部構成の一例を示す。図3の単位変換器はフルブリッジ回路である。単位変換器120は、x端子300とy端子301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302，x相ローサイド・スイッチング素子303，y相ハイサイド・スイッチング素子304，y相ローサイド・スイッチング素子30

10

20

30

40

50

5, エネルギー蓄積素子306とからなる。スイッチング素子302~305は、IGBTに代表されるオン・オフ制御形電力用半導体素子である。また、エネルギー蓄積素子306は、コンデンサや蓄電池などである。本実施例では、y端子を基準としたx端子までの電圧を、単位変換器のセル電圧 V_{cell} と呼ぶことにする。

【0079】

一方、単位変換器120を図4のように双方向チョッパとすることもできる。

【0080】

図4に示す双方向チョッパは、ハイサイド・スイッチング素子403, ローサイド・スイッチング素子404, エネルギー蓄積素子405で構成されている。スイッチング素子403, 404は、IGBTに代表されるオン・オフ制御形電力用半導体素子である。また、エネルギー蓄積素子405は、コンデンサや蓄電池などである。本実施例では、図4における該電圧もセル電圧 V_{cell} と表記することにする。

10

【0081】

次に、電力変換装置101の動作を、以下の3ケースについて説明する。

(1) 三相電力系統100から有効電力を受電し、負荷装置123に単相交流電力または直流電力を供給する場合

(2) 負荷装置123から単相交流電力または直流電力を受電し、三相電力系統100に有効電力を供給する場合

(3) 三相電力系統100と無効電力を授受する場合

【0082】

20

以下、電力変換装置101が三相電力系統100から有効電力を受電し、負荷装置123に単相交流電力または直流電力を供給する場合の動作について説明する。ここでは、負荷装置123が直流送電線であり、該電力変換装置101は直流送電線から見て送電側の電力変換装置である場合や、負荷装置123がモータドライブ・インバータであり、該モータドライブ・インバータが力行運転している場合、または負荷装置123が単相交流負荷である場合などを想定している。

【0083】

本実施例では、三相電力系統100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。

30

【0084】

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、負荷装置123の電圧 V_D の関係を説明する。

【0085】

V_u , V_{armu} , V_D の関係は、次式で表わされる。

【0086】

(数1)

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

【0087】

V_v , V_{armv} , V_D の関係は、次式で表わされる。

40

【0088】

(数2)

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

【0089】

V_w , V_{armw} , V_D の関係は、次式で表わされる。

【0090】

(数3)

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

【0091】

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

50

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。

【0092】

ここで、実施例1においてリアクトルが不要となる理由について説明する。

【0093】

三相電力系統100のR相-S相間の線間電圧 V_{RS} を変圧器二次側に換算した電圧 aV_{RS} とu相ーム電圧 V_{armu} の和 $aV_{RS} + V_{armu}$ と、三相電力系統100のS相-T相間の線間電圧 V_{ST} を変圧器二次側に換算した電圧 aV_{ST} とv相ーム電圧 V_{armv} の和 $aV_{ST} + V_{armv}$ と、三相電力系統100のT相-R相間の線間電圧 V_{TR} を変圧器二次側に換算した電圧 aV_{TR} とw相ーム電圧 V_{armw} の和 $aV_{TR} + V_{armw}$ とは、相互に異なる可能性がある。

10

【0094】

$aV_{RS} + V_{armu}$ と $aV_{ST} + V_{armv}$ と $aV_{TR} + V_{armw}$ との差は、変圧器105の漏れインダクタンスによって分担される。

【0095】

したがって、実施例1においてリアクトルは不要である。

【0096】

V_u, V_v, V_w の周波数と振幅を、 $aV_{RS}, aV_{ST}, aV_{TR}$ 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 $aV_{RS}, aV_{ST}, aV_{TR}$ の位相よりもわずかに遅らせると、三相電力系統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。

20

【0097】

次に、ーム電圧は単位変換器120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。

【0098】

まず、単位変換器120がフルブリッジ回路(図3)である場合について述べる。

【0099】

x相ハイサイド・スイッチング素子302とx相ローサイド・スイッチング素子303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304とy相ローサイド・スイッチング素子305を交互にオン・オフする。

30

【0100】

x相ハイサイド・スイッチング素子302がオン、x相ローサイド・スイッチング素子303がオフ、y相ハイサイド・スイッチング素子304がオフ、y相ローサイド・スイッチング素子305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306の電圧 V_C と大略等しい。

【0101】

x相ハイサイド・スイッチング素子302がオン、x相ローサイド・スイッチング素子303がオフ、y相ハイサイド・スイッチング素子304がオン、y相ローサイド・スイッチング素子305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。

40

【0102】

x相ハイサイド・スイッチング素子302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304がオフ、y相ローサイド・スイッチング素子305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。

【0103】

x相ハイサイド・スイッチング素子302がオフ、x相ローサイド・スイッチング素子303がオン、y相ハイサイド・スイッチング素子304がオン、y相ローサイド・スイッチング素子305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306の電圧 V_C の極性を反転させた電圧に大略等しい。

50

【0104】

x相ハイサイド・スイッチング素子302, x相ローサイド・スイッチング素子303, y相ハイサイド・スイッチング素子304, y相ローサイド・スイッチング素子305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306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306の電圧 V_C の極性を反転させた電圧に大略等しい。

【0105】

次に、単位変換器120が双方向チョッパ(図4)である場合について述べる。

【0106】

ハイサイド・スイッチング素子403がオン、ローサイド・スイッチング素子604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604の電圧 V_C に大略等しい。

【0107】

ハイサイド・スイッチング素子403がオフ、ローサイド・スイッチング素子404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。

【0108】

ハイサイド・スイッチング素子403, ローサイド・スイッチング素子604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306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。

【0109】

次に、負荷装置123に電力を供給する方法について説明する。

【0110】

負荷装置123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、負荷装置123に電力を伝送できない。

【0111】

この場合、三相電力系統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。

【0112】

負荷装置123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。

【0113】

なお、三相電力系統100から電力変換装置101に流入する有効電力と、負荷装置123が消費する有効電力が等しい場合、各単位変換器120に流入出するエネルギーは、三相電力系統の1周期平均でほぼ零となる。

【0114】

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ができる。

【0115】

電力変換装置101と負荷装置123が単相無効電力のみを授受する場合、三相電力系統100から電力変換装置101に流入する有効電力を零とするように制御する。

【0116】

以下、電力変換装置101が負荷装置123から有効電力を受電し、三相電力系統100に有効電力を供給する場合の動作について説明する。ここでは、負荷装置123が直流

10

20

30

40

50

送電線であり、該電力変換装置 101 は直流送電線から見て受電側の電力変換装置である場合や、負荷装置 123 がモータドライブ・インバータであり、該モータドライブ・インバータが回生制動している場合、または負荷装置 123 が単相交流電源である場合などを想定している。

【0117】

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ませると、電力変換装置 101 から三相電力系統 100 に有効電力を供給できる。

【0118】

次に、負荷装置 123 から電力を受電する方法について説明する。

【0119】

負荷装置 123 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、負荷装置 123 から電力が供給できない。

【0120】

この場合、電力変換装置 101 から三相電力系統 100 に流出する有効電力は、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）から供給される。

【0121】

負荷装置 123 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。

【0122】

なお、電力変換装置 101 から三相電力系統 100 に流出する有効電力と、負荷装置 123 から電力変換装置に流入する有効電力が等しい場合、各単位変換器 120 に流入するエネルギーは、三相電力系統の 1 周期平均でほぼ零となる。

【0123】

以下、電力変換装置 101 が三相電力系統 100 から無効電力を授受し、なおかつ負荷装置 123 が開放である場合 ($I_D = 0$) について説明する。ここでは、電力変換装置 101 が無効電力補償装置として動作している場合などを想定している。

【0124】

V_u, V_v, V_w の周波数と位相を、 $aVRS, aVST, aVTR$ の周波数と位相に一致させつつ、 V_u, V_v, V_w の振幅のみを $aVRS, aVST, aVTR$ の振幅よりもわずかに増加させると、電力変換装置 101 から三相電力系統 100 に進相無効電力を供給できる。

【0125】

また、 V_u, V_v, V_w の周波数と位相を、 $aVRS, aVST, aVTR$ の周波数と位相に一致させつつ、 V_u, V_v, V_w の振幅のみを $aVRS, aVST, aVTR$ の振幅よりもわずかに減少させると、電力変換装置 101 から三相電力系統 100 に遅相無効電力を供給できる。

【0126】

次に、本実施例において、前記変圧器の二次巻線と前記変換器アームとの直列回路は、電圧源と制御電流源とみなすことができることについて説明する。

【0127】

前記変圧器の一次巻線には三相電力系統 100 が接続されている。電力系統 100 は電圧源とみなすことができるため、電力系統 100 が二次巻線に誘起する電圧も電圧源とみなすことができる。

10

20

30

40

50

【0128】

また、前記変換器アームは、前記変換器アームのアーム電圧を適切に調節することによって、前記変圧器の二次巻線の漏れインダクタンスおよび励磁インダクタンスに印加される電圧を調節することができる。

【0129】

該漏れインダクタンスおよび該励磁インダクタンスに流れる電流は、前記漏れインダクタンスおよび前記励磁インダクタンスに印加される電圧の時間積分に比例する。したがって、前記変換器アームは、前記変換器アームのアーム電圧を介して、前記漏れインダクタンスおよび前記励磁インダクタンスに流れる電流を制御できる。

【0130】

このため、前記変換器アームと前記励磁インダクタンスおよび前記漏れインダクタンスとの直列回路は、制御電流源とみなすことができる。

【0131】

本実施例では三相電力系統に連系する電力変換装置について述べた。三相回路において、正相・逆相電流がディファレンシャルモード電流に相当し、零相電流がコモンモード電流に相当する。

【0132】

また、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。

【0133】

本実施例の応用例として、電力変換装置100を無効電力補償装置として応用した例を示す。図5は、電力変換装置101を設置した変電所の例である。変電所501は、三相電力系統500に連系している。変電所母線502には負荷503と本実施例に基づく電力変換装置101を接続している。前述の方法で電力変換装置101と三相電力系統500の間の無効電力 Q を適切に調節することにより、変電所母線502の電圧 V の振幅を一定に保つように制御する。

【実施例2】

【0134】

本発明を実施する第2の形態について説明する。実施例1では変圧器の一次巻線をデルタ結線としているが、実施例2では変圧器の一次巻線をスター結線としている。

【0135】

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。

【0136】

図6は、本発明の第2の実施形態を表わした回路図である。電力変換装置600は、三相交流端子102~104を介して三相電力系統100に連系し、三相電力系統100と有効・無効電力を授受する。該電力変換装置600は、変圧器601と正側変換器グループ112と負側変換器グループ113とからなる。

【0137】

本実施例では、三相電力系統100のR相，S相，T相それぞれの相電圧を V_R ， V_S ， V_T と表記することにする。

【0138】

図6の正側変換器グループ112と負側変換器グループ113は、それぞれ実施例1(図1)の正側変換器グループ112と負側変換器グループ113と同一である。

【0139】

図7は、変圧器601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601は、鉄心202~204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700はスター結線されており、R相，S相，T相の各巻線701，702，703はそれぞれ鉄心202，203，204に巻回されている。

【0140】

10

20

30

40

50

図7の二次巻線201は、実施例1の図2の二次巻線201と同一である。そして、実施例2では、実施例1と同様の効果を得られるようになっている。

【実施例3】

【0141】

本発明を実施する第3の形態について説明する。実施例3は実施例1の変形である。実施例1では正側と負側の2つの変換器グループを用いていたが、実施例3では、1つの変換器グループのみを用いている。

【0142】

実施例3では、実施例1と同様の効果を得られる他、変圧器の端子数を9端子から7端子に減少させることができる。

【0143】

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。

【0144】

図8は、本発明の第3の実施形態を表わした回路図である。電力変換装置800は、三相交流端子102～104を介して三相電力系統100に連系し、三相電力系統100と有効・無効電力を授受する。該電力変換装置800は、変圧器801と変換器グループ806からなる。

【0145】

変圧器801は、R相端子102，S相端子103，T相端子104，u相端子802，v相端子803，w相端子804，中性点端子805の合計7端子を備えている。

【0146】

したがって、実施例1，2と比較して、変圧器の端子数を9端子から7端子に減少できる。

【0147】

図9は、変圧器801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801は、鉄心202～204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200は実施例1（図2）と同一構成である。

【0148】

二次巻線900は、u相巻線901，v相巻線902，w相巻線903を備えている。巻線901～903の巻数は大略等しい。u相巻線901，v相巻線903，w相巻線903はスター結線されており、中性点nが中性点端子805に引き出されている。

【0149】

変換器グループ806は、u相変換器アーム807，v相正側変換器アーム808，w相正側変換器アーム809とからなる。

【0150】

u相変換器アーム806のa端子を正側出力端子121に接続し、b端子を変圧器801のu相端子802に接続する。また、実施例3ではu相変換器アーム113のアーム電圧を V_{armu} と表記することにする。

【0151】

v相変換器アーム807のa端子を正側出力端子121に接続し、b端子を変圧器801のv相端子803に接続する。また、実施例3ではv相変換器アーム807のアーム電圧を V_{armv} と表記することにする。

【0152】

v相変換器アーム808のa端子を正側出力端子121に接続し、b端子を変圧器801のw相端子804に接続する。また、実施例3ではw相変換器アーム807のアーム電圧を V_{armw} と表記することにする。

【0153】

実施例3（図8）における変換器アーム806～808は、実施例1の図1、および実施例2の図3における変換器アーム113～115，117～119とほぼ同一であるが

10

20

30

40

50

、内包する単位変換器 120 の台数が約 2 倍となっている点異なる。

【実施例 4】

【0154】

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 2 の変形である。実施例 2 では正側と負側の 2 つの変換器グループを用いていたが、実施例 4 では、1 つの変換器グループのみを用いた構成で、実施例 3 と同様の効果を得ている。また、実施例 3 では変圧器の一次巻線をデルタ結線としているが、実施例 4 では変圧器の一次巻線をスター結線としている。

【0155】

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。

10

【0156】

図 10 は、本発明の第 4 の実施形態を表わした回路図である。電力変換装置 1000 は、三相交流端子 102 ~ 104 を介して三相電力系統 100 に連系し、三相電力系統 100 と有効・無効電力を授受する。該電力変換装置 1000 は、変圧器 1001 と変換器グループ 805 からなる。

【0157】

変圧器 1001 は、R 相端子 102 , S 相端子 103 , T 相端子 104 , u 相端子 110 , v 相端子 111 , w 相端子 112 , 中性点端子 705 の合計 7 端子を備えている。

【0158】

図 11 は、変圧器 1001 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 1001 は、鉄心 202 ~ 204 を有しており、これらの鉄心は三脚鉄心を構成する。図 10 の一次巻線 700 は実施例 2 の図 7 における一次巻線 700 と同一である。

20

【0159】

また、二次巻線 900 は実施例 3 の図 9 における二次巻線 900 と同一であり、図 9 の変換器グループ 706 は実施例 3 の図 7 における変換器グループ 706 と同一である。

【実施例 5】

【0160】

本発明を実施する第 5 の形態について説明する。実施例 5 は実施例 1 の変形である。変圧器の二次巻線を各相で 2 分割し、零相電流に起因する起磁力を零とする結線を行っている点に特徴がある。

30

【0161】

実施例 5 では、実施例 1 と同様の効果を得られる。これに加えて、負荷装置 123 に電流 ID を流す場合、実施例 1 ~ 4 と比較して変圧器の鉄心断面積を小さくできる。これは、前記の通り、零相電流に起因する起磁力を零としているためである。

【0162】

図 12 は本発明の第 5 の実施形態を表わした回路図である。実施例 5 の図 12 の構成は実施例 1 の図 1 の変圧器 105 を変圧器 1201 に変更した回路構成である。

【0163】

変圧器 1201 は、R 相端子 102 , S 相端子 103 , T 相端子 104 , u 相正側端子 1202 , v 相正側端子 1203 , w 相正側端子 1204 , u 相負側端子 1206 , v 相負側端子 1207 , w 相負側端子 1208 の合計 9 端子を備えている。

40

【0164】

図 13 は、変圧器 1201 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 1201 は、鉄心 202 ~ 204 を有しており、これらの鉄心は三脚鉄心を構成する。図 13 の一次巻線 200 は実施例 1 の図 1 の一次巻線 200 と同一である。

【0165】

二次巻線 1300 は、u 相正側巻線 1301 , v 相正側巻線 1302 , w 相正側巻線 1303 , u 相負側巻線 1304 , v 相負側巻線 1305 , w 相負側巻線 1306 を備えて

50

いる。巻線 1301 ~ 1306 の巻数は大略等しい。

【0166】

u 相正側巻線 1301 と u 相負側巻線 1304 は電氣的に直列接続されている。u 相正側巻線 1301 は鉄心 202 に巻回されており、u 相負側巻線 1304 は鉄心 204 に巻回されている。なお、u 相正側巻線 1301 が鉄心 202 に生じる起磁力と、u 相負側巻線 1304 が鉄心 204 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。

【0167】

v 相正側巻線 1302 と v 相負側巻線 1305 は電氣的に直列接続されている。v 相正側巻線 1302 は鉄心 203 に巻回されており、v 相負側巻線 1305 は鉄心 202 に巻回されている。なお、v 相正側巻線 1302 が鉄心 203 に生じる起磁力と、v 相負側巻線 1305 が鉄心 202 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。

10

【0168】

w 相正側巻線 1303 と w 相負側巻線 1306 は電氣的に直列接続されている。w 相正側巻線 1303 は鉄心 204 に巻回されており、w 相負側巻線 1306 は鉄心 203 に巻回されている。なお、w 相正側巻線 1303 が鉄心 204 に生じる起磁力と、w 相負側巻線 1306 が鉄心 203 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。

20

【0169】

本実施例では、u 相正側巻線 1301 と u 相負側巻線 1304 を総称して u 相巻線と呼ぶことにする。また、v 相正側巻線 1302 と v 相負側巻線 1305 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 1303 と w 相負側巻線 1306 を総称して w 相巻線と呼ぶことにする。

【0170】

本実施例では、u 相正側巻線 1301 の両端電圧を V_{uH} 、v 相正側巻線 1302 の両端電圧を V_{vH} 、w 相正側巻線 1303 の両端電圧を V_{wH} 、u 相負側巻線 1304 の両端電圧を V_{uL} 、v 相負側巻線 1305 の両端電圧を V_{vL} 、w 相負側巻線 1306 の両端電圧を V_{wL} と表記することにする。

30

【0171】

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。

【0172】

図 14 に、変圧器 1201 の一次巻線 200 の電圧（すなわち、三相電力系統 100 の線間電圧 V_{RS} 、 V_{ST} 、 V_{TR} ）と、二次巻線 1300 の電圧 V_{uH} 、 V_{vH} 、 V_{wH} 、 V_{uL} 、 V_{vL} 、 V_{wL} 、 V_u 、 V_v 、 V_w のフェーザ図を示す。

【0173】

図 12 の正側変換器グループ 112 は実施例 1 の図 1 における変換器グループ 112 と同一である。また、図 12 の負側変換器グループ 116 は実施例 1 図 1 における変換器グループ 116 と同一である。

40

【0174】

実施例 1 と実施例 5 の相違点について、以下で説明する。実施例 1 で説明した通り、電力変換装置 101 が三相電力系統 100 と有効電力を授受する場合、電流 I_D が流れる。また、電力変換装置 101 が負荷装置 123 に単相無効電力を供給する場合にも電流 I_D が流れる。電流 I_D は各相の変換器アームに大略等しく分流し、各アーム電流 I_u 、 I_v 、 I_w の零相成分（零相電流）となる。したがって、電流 I_D が流れる場合、二次巻線 201 に零相電流が流れる。本実施例では、該零相電流を I_z と表記することにする。

【0175】

電流 I_D が直流である場合、二次巻線に零相直流電流が流れ、鉄心の直流偏磁や磁気飽和を招く虞がある。

50

【0176】

これに対して実施例5の電力変換装置1200が負荷装置123に電流IDを流す場合を考える。実施例1の場合と同様に、変圧器1201の二次巻線1300に零相電流が流れる。

【0177】

鉄心202において、u相正側巻線1301を流れるIzが生じる起磁力と、v相負側巻線1305を流れるIzが生じる起磁力は、大略同じ大きさで逆極性であり、ほぼ相殺する。

【0178】

鉄心203において、v相正側巻線1302を流れるIzが生じる起磁力と、w相負側巻線1306を流れるIzが生じる起磁力は、大略同じ大きさで逆極性であり、ほぼ相殺する。

10

【0179】

鉄心204において、w相正側巻線1303を流れるIzが生じる起磁力と、u相負側巻線1304を流れるIzが生じる起磁力は、大略同じ大きさで逆極性であり、ほぼ相殺する。

【0180】

したがって、IDが直流であった場合にも、直流起磁力がほぼ零となるため、鉄心の直流偏磁はほとんど発生しない。

【0181】

以下、図15を用いて、電力変換装置1200の動作について説明する。ただし、図15は電力変換装置1200の動作波形例であり、三相電力系統100の線間電圧VRS, VST, VTR、系統電流IR, IS, IT、アーム電圧Varmu, Varmv, Varmw、アーム電圧の零相成分(Varmu + Varmv + Varmw) / 3、アーム電流Iu, Iv, Iw、出力端子電流IDの概略波形を描いている。

20

【0182】

図15において、電力変換装置1200は力率1で系統から有効電力を受電し、負荷装置123に直流電圧を印加し、直流電流を流している。すなわち、VDとIDは直流である。

【0183】

図15の説明では、単位変換器120を図4に示した双方向チョッパ回路としている。

30

【0184】

各変換器アームのアーム電圧Varmu, Varmv, Varmwは、その変換器アームに含まれる単位変換器120の台数と大略等しいレベル数のマルチレベル波形となる。また、Varmu, Varmv, Varmwは三相交流成分と零相直流成分を含んでいる。Varmu, Varmv, Varmwの零相直流成分(Varmu + Varmv + Varmw) / 3は、出力端子電圧VDに大略等しい。

【0185】

Varmu, Varmv, VarmwがVDに大略等しい零相直流成分を含んでいるため、数1、数2、数3より、u相電圧Vu、v相電圧Vv、w相電圧Vwは、それぞれVarmu, Varmv, Varmwの交流成分と逆位相の電圧となり、直流成分をほとんど含まない。

40

【0186】

Vu, Vv, Vwと、三相電力系統100の線間電圧VRS, VST, VTRを変圧器101の二次側に換算した電圧aVRS, aVST, aVTRとの差電圧は、一次巻線200と二次巻線201の間の、変圧器101の漏れインダクタンスによって支持される。

【0187】

Vu, Vv, VwをaVRS, aVST, aVTRと同周波数、同振幅に制御し、かつ位相のみをわずかに遅らせるように制御すると、三相電力系統100から電力変換装置1200に有効電力を流入させることができる。

50

【0188】

V_{armu} , V_{armv} , V_{armw} の零相成分と、出力端子の電圧 V_D との差電圧は、二次巻線1300の零相成分に対するインダクタンスによって支持される。 I_u , I_v , I_w の零相成分 I_z は、該差電圧の時間積分に比例する。したがって、 V_{armu} , V_{armv} , V_{armw} の零相直流成分を制御することで、 I_u , I_v , I_w の零相成分 I_z を制御できる。 I_u , I_v , I_w の零相成分の和は I_D となる。

【0189】

図16は、本実施例に基づく電力変換装置1200を、直流送電システムに応用した例である。陸地Aの電力変換装置1200は三相電力系統1600と連系している。陸地Bの電力変換装置1200は三相電力系統1601と連系している。2台の電力変換装置1200の出力端子120, 121を海底ケーブルで接続し、陸地Aと陸地Bの間で電力の融通を行う構成になっている。

10

【実施例6】

【0190】

図17は、本発明の第6の実施形態を表わした回路図である。前述の実施例5では変圧器の一次巻線をデルタ結線としているが、実施例6では変圧器の一次巻線をスター結線として、実施例5と同様の効果を得ているものである。

【0191】

以下では、実施例6の構成において、実施例5の構成と異なる部分についてのみ説明する。

20

【0192】

図17の正側変換器グループ112は実施例1(図1)の正側変換器グループ112と同一である。また、図17の負側変換器グループ116は実施例(図1)の負側変換器グループ113と同一である。

【0193】

図18は、変圧器1701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1701は、鉄心202~204を有しており、これらの鉄心は三脚鉄心を構成する。図18の一次巻線700は実施例2の図7の一次巻線700と同一である。また、図18の二次巻線1300は実施例5の図13の二次巻線1300と同一である。

【実施例7】

【0194】

図19は、本発明の第7の実施形態を表わした回路図である。実施例7は実施例5の変形である。実施例5では正側と負側の2つの変換器グループを用いていたが、実施例7では、1つの変換器グループのみを用いている。

30

【0195】

実施例7では実施例5と同様の効果を得られる他、実施例3と同様に、変圧器の端子数を9端子から7端子に減少させることができる。

【0196】

以下では、実施例7の構成において、実施例5の構成と異なる部分についてのみ説明する。

40

【0197】

図19の変換器グループ806は実施例3の図8の変換器グループ806と同一である。

【0198】

変圧器1901は、R相端子102, S相端子103, T相端子104, u相端子1902, v相端子1903, w相端子1904, 中性点端子1905の合計7端子を備えている。

【0199】

図20は、変圧器1901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1901は、鉄心202~204を有しており、これらの鉄心は三脚鉄心を

50

構成する。図 20 の一次巻線 200 は実施例 1 の図 2 の一次巻線 200 と同一である。

【0200】

図 20 の二次巻線 2000 を構成する u 相正側巻線 1301, v 相正側巻線 1302, w 相正側巻線 1303, u 相負側巻線 1304, v 相負側巻線 1305, w 相負側巻線 1306 は、それぞれ実施例 5 の図 13 の u 相正側巻線 1301, v 相正側巻線 1302, w 相正側巻線 1303, u 相負側巻線 1304, v 相負側巻線 1305, w 相負側巻線 1306 と同一である。

【0201】

ただし、u 相負側巻線 1304 の一端と、v 相負側巻線 1305, w 相負側巻線 1306 をスター結線しており、中性点 n を中性点端子 1905 として、変圧器 1901 の外部に引き出している。

10

【実施例 8】

【0202】

本発明を実施する第 8 の形態について説明する。実施例 8 は実施例 7 の変形である。実施例 7 では変圧器の一次巻線をデルタ結線としているが、実施例 8 では変圧器の一次巻線をスター結線として、実施例 7 と同様の効果を得ているものである。

【0203】

以下では、実施例 8 の構成において、実施例 7 の構成と異なる部分についてのみ説明する。

【0204】

図 21 は、本発明の第 8 の実施形態を表わした回路図である。

20

【0205】

図 21 の変換器グループ 806 は実施例 3 の図 8 の変換器グループ 806 と同一である。

【0206】

変圧器 2100 は、R 相端子 102, S 相端子 103, T 相端子 104, u 相端子 1902, v 相端子 1903, w 相端子 1904, 中性点端子 1905 の合計 7 端子を備えている。

【0207】

図 22 は、変圧器 2101 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 1901 は、鉄心 202 ~ 204 を有しており、これらの鉄心は三脚鉄心を構成する。図 22 の一次巻線 700 は実施例 2 の図 7 の一次巻線 700 と同一である。図 22 の二次巻線 2000 は実施例 7 の図 20 の二次巻線 2000 と同一である。

30

【実施例 9】

【0208】

本発明を実施する第 9 の形態について説明する。実施例 5 ~ 8 では、変圧器の二次巻線を各相で 2 分割し、零相電流に起因する起磁力を零とする結線を行っている。これに対して、実施例 9 では、零相電流に起因する起磁力を補償する補償巻線を用いて、実施例 7 と同様の効果を得ているものである。

【0209】

以下では、実施例 9 の構成において、実施例 7 の構成と異なる部分についてのみ説明する。

40

【0210】

図 23 は、本発明の第 9 の実施形態を表わした回路図である。電力変換装置 2300 は、三相交流端子 102 ~ 104 を介して三相電力系統 100 に連系し、三相電力系統 100 と有効・無効電力を授受する。該電力変換装置 2300 は、変圧器 2301 と変換器グループ 806 とからなる。

【0211】

図 23 の変換器グループ 806 は、実施例 3 の図 8 の変換器グループ 806 と同一である。

50

【0212】

変圧器2301はR相端子102, S相端子103, T相端子104, u相端子2302, v相端子2303, w相端子2304, 補償巻線端子2305の7端子を備えている。

【0213】

図24は、変圧器2301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2303は、鉄心202~204, 一次巻線200, 二次巻線2400, 補償巻線2404とを備えている。鉄心202~204は三脚鉄心を構成する。

【0214】

一次巻線200は実施例1の図1の一次巻線200と同一である。

10

【0215】

二次巻線2400はu相巻線2401, v相二次巻線2402, w相二次巻線2403を備えている。二次巻線2400は実施例3の図9における二次巻線900とほぼ同一構成であるが、中性点nを補償巻線2404に接続している点異なる。

【0216】

補償巻線2404は、u相補償巻線2405, v相補償巻線2406, w相補償巻線2407を備えている。補償巻線2404の巻数は、二次巻線2400の1/3とする。

【0217】

u相補償巻線2405は鉄心202に巻回されている。また、v相補償巻線2405は鉄心203に巻回されている。さらに、w相補償巻線2405は鉄心203に巻回されている。

20

【0218】

u相補償巻線2405とv相補償巻線2406とw相補償巻線2407は直列に接続されている。

【0219】

補償巻線2404の一端は、負側出力端子122に接続している。したがって、補償巻線2404には負荷装置123を流れる電流IDが流れる。

【0220】

u相補償巻線2405を流れる電流IDが鉄心202に生じる起磁力と、v相補償巻線2406を流れる電流IDが鉄心203に生じる起磁力と、w相補償巻線2407を流れる電流IDが鉄心204に生じる起磁力とは、大略同じ大きさで、同極性である。

30

【0221】

補償巻線2404を流れるIDは、中性点nで分流し、二次巻線2400の零相成分Izとして流れる。すなわち、 $I_z = I_D / 3$ である。

【0222】

u相巻線2401に流れるIzが鉄心202に生じる起磁力と、u相補償巻線2405に流れるIDが鉄心202に生じる起磁力は、大略同じ大きさで、逆極性であるため、ほぼ相殺する。

【0223】

v相巻線2402に流れるIzが鉄心203に生じる起磁力と、v相補償巻線2406に流れるIDが鉄心203に生じる起磁力は、大略同じ大きさで、逆極性であるため、ほぼ相殺する。

40

【0224】

w相巻線2403に流れるIzが鉄心204に生じる起磁力と、w相補償巻線2407に流れるIDが鉄心204に生じる起磁力は、大略同じ大きさで、逆極性であるため、ほぼ相殺する。

【0225】

したがって、実施例5~8と同様に、IDが直流であった場合にも、直流起磁力がほぼ零となるため、鉄心の直流偏磁はほとんど発生しない。

【実施例10】

50

【0226】

本発明を実施する第10の形態について説明する。実施例9では変圧器の一次巻線をデルタ結線としているが、実施例10では変圧器の一次巻線をスター結線として、実施例9と同様の効果を得ているものである。

【0227】

以下では、実施例10の構成において、実施例9の構成と異なる部分についてのみ説明する。

【0228】

図25は、本発明の第10の実施形態を表わした回路図である。電力変換装置2500は、三相交流端子102～104を介して三相電力系統100に連系し、三相電力系統100と有効・無効電力を授受する。該電力変換装置2500は、変圧器2501と変換器グループ806とからなる。

10

【0229】

図25の変換器グループ806は、実施例3の図8の変換器グループ806と同一である。

【0230】

図26は、変圧器2501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2303は、鉄心202～204、一次巻線700、二次巻線2400、補償巻線2404とを備えている。鉄心202～204は三脚鉄心を構成する。

【0231】

図26の一次巻線700は実施例2の図7の一次巻線700と同一である。

20

【0232】

図26の二次巻線2400は実施例9図24の二次巻線2400と同一である。

【実施例11】

【0233】

本発明を実施する第11の形態について説明する。実施例11は実施例5の変形例であり、実施例11では、実施例5と同様の効果を得られるものである。

【0234】

以下では、実施例11の構成において、実施例5の構成と異なる部分についてのみ説明する。

30

【0235】

図27は本発明の第10の実施形態を表わした回路図である。実施例11では、実施例5の図12と比較して、u負側変換器アーム117、v負側変換器アーム118、w負側変換器アーム118の極性を逆にしている。

【0236】

実施例1、2、5、6でも同様に、u負側変換器アーム117、v負側変換器アーム118、w負側変換器アーム118の極性を逆にしてもよい。

【産業上の利用可能性】

【0237】

本発明の電力変換装置は、無効電力補償装置（STATCOM）やBack-to-Backシステム（周波数変換装置など）、直流送電システム（HVDC）、モータドライブなどに利用可能である。

40

【符号の説明】

【0238】

100, 500, 1600, 1601 三相電力系統

101, 600, 800, 1000, 1200, 1700, 1900, 2100, 2300, 2500, 2700 電力変換装置

102 R相端子

103 S相端子

104 T相端子

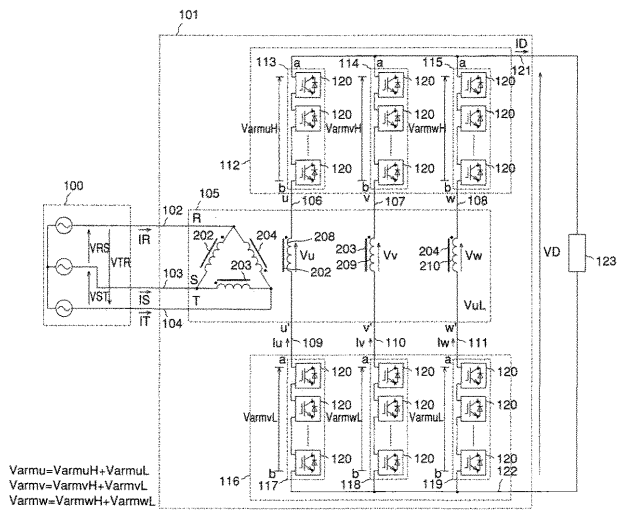
50

1 0 5 , 6 0 1 , 8 0 1 , 1 0 0 1 , 1 2 0 1 , 1 7 0 1 , 1 9 0 1 , 2 1 0 1 , 2 3 0 1 , 2 5 0 1	変圧器	
1 0 6 , 1 2 0 2	u 相正側端子	
1 0 7 , 1 2 0 3	v 相正側端子	
1 0 8 , 1 2 0 4	w 相正側端子	
1 0 9 , 1 2 0 5	u 相負側端子	
1 1 0 , 1 2 0 7	w 相負側端子	
1 1 1 , 1 2 0 6	v 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	10
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	
1 1 6 , 2 7 0 1	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	単位変換器	
1 2 1	正側出力端子	
1 2 2 , 4 0 2	負側出力端子	
2 0 0	一次巻線	20
2 0 1 , 7 0 0 , 9 0 0 , 1 3 0 0 , 2 0 0 0 , 2 4 0 0	二次巻線	
2 0 2 , 2 0 3 , 2 0 4	鉄心	
2 0 5	R 相 - S 相間巻線	
2 0 6	S 相 - T 相間巻線	
2 0 7	T 相 - R 相間巻線	
2 0 8 , 9 0 1 , 2 4 0 1	u 相巻線	
2 0 9 , 9 0 2 , 2 4 0 2	v 相巻線	
2 1 0 , 9 0 3 , 2 4 0 3	w 相巻線	
3 0 0	x 端子	
3 0 1	y 相端子	30
3 0 2	x 相ハイサイド・スイッチング素子	
3 0 3	x 相ローサイド・スイッチング素子	
3 0 4	y 相ハイサイド・スイッチング素子	
3 0 5	y 相ローサイド・スイッチング素子	
3 0 6 , 4 0 5	直流コンデンサ	
4 0 0	双方向チョッパ形単位変換器	
4 0 1	x 相出力端子	
4 0 3	ハイサイド・スイッチング素子	
4 0 4	ローサイド・スイッチング素子	
5 0 1	変電所	40
5 0 2	変電所母線	
5 0 3	負荷	
8 0 2 , 1 9 0 2 , 2 3 0 2	u 相端子	
8 0 3 , 1 9 0 3 , 2 3 0 3	v 相端子	
8 0 4 , 1 9 0 4 , 2 3 0 4	w 相端子	
8 0 5 , 1 9 0 5	中性点端子	
1 3 0 1	u 相正側巻線	
1 3 0 2	v 相正側巻線	
1 3 0 3	w 相正側巻線	
1 3 0 4	u 相負側巻線	50

- 1 3 0 5 v 相負側巻線
- 1 3 0 6 w 相負側巻線
- 1 6 0 2 海底ケーブル
- 2 4 0 4 補償巻線
- 2 4 0 5 u 相補償巻線
- 2 4 0 6 v 相補償巻線
- 2 4 0 7 w 相補償巻線

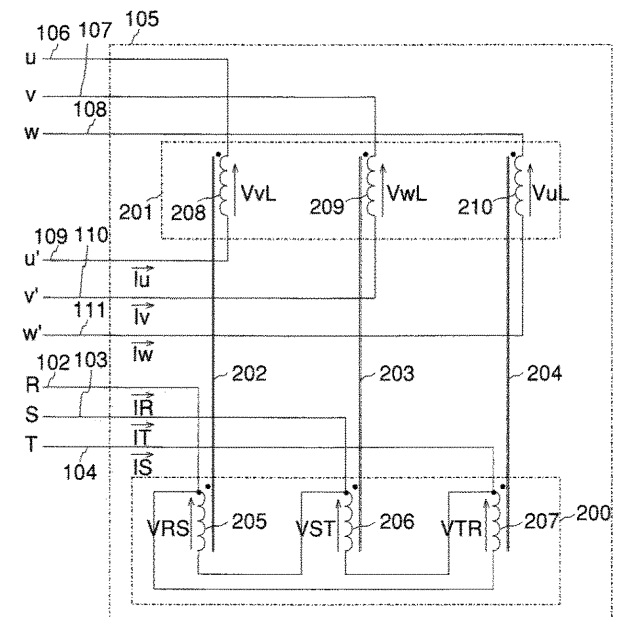
【 図 1 】

図 1



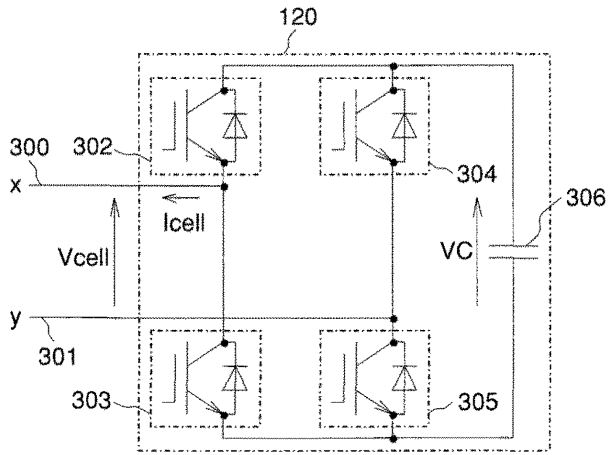
【 図 2 】

図 2



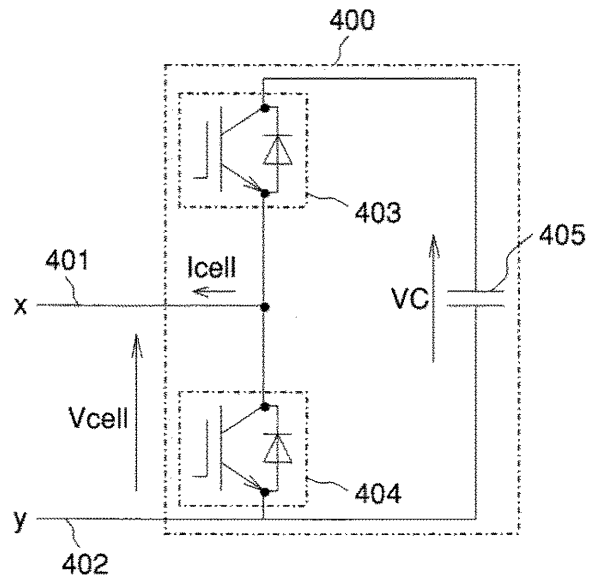
【 図 3 】

図 3



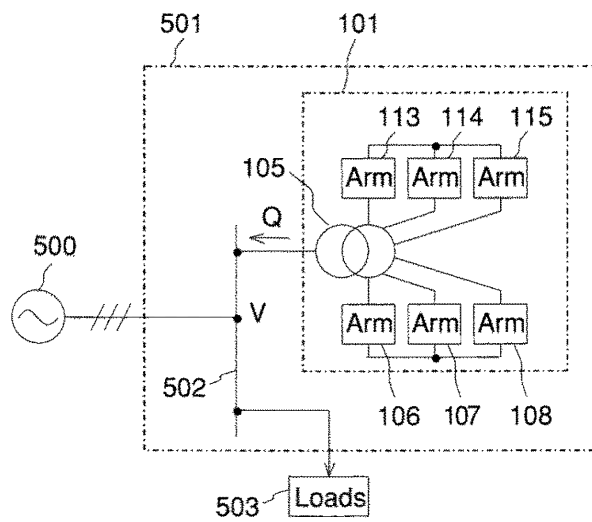
【 図 4 】

図 4



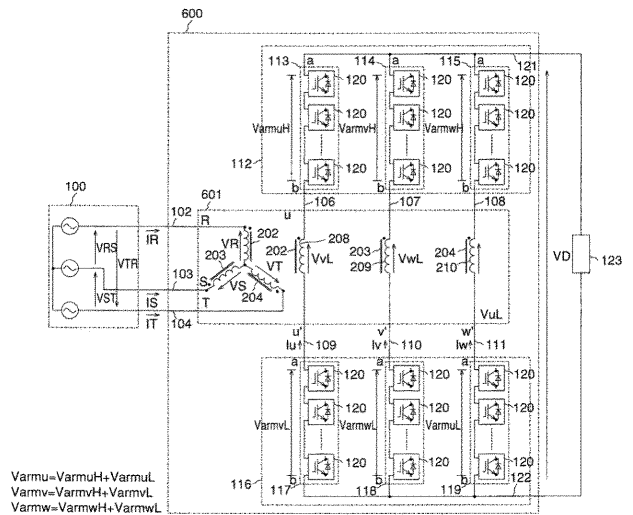
【 図 5 】

図 5



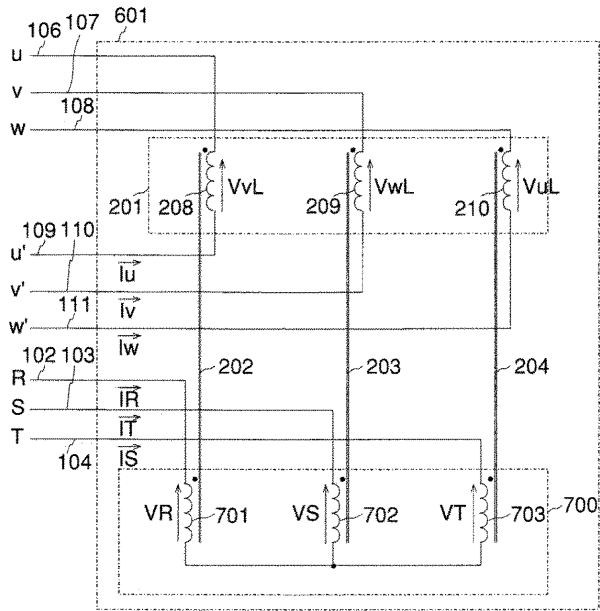
【 図 6 】

図 6



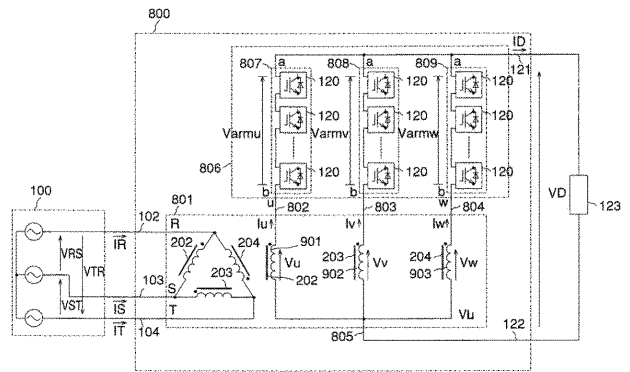
【 図 7 】

図 7



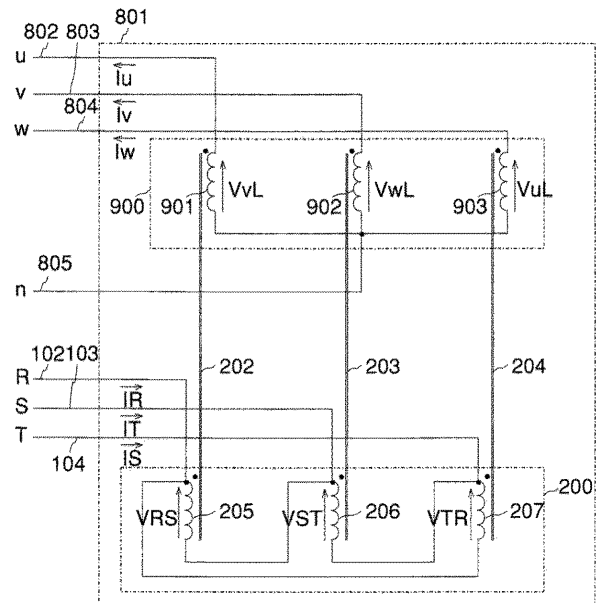
【 図 8 】

図 8



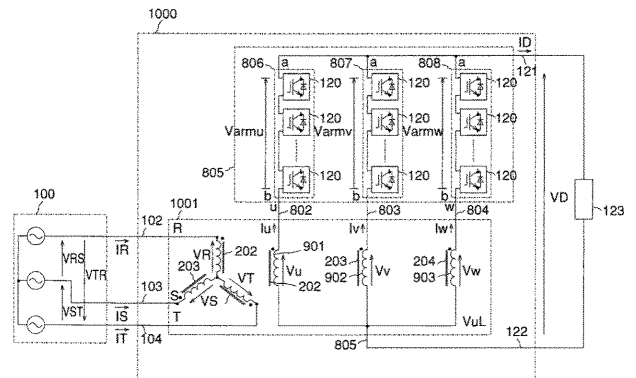
【 図 9 】

図 9



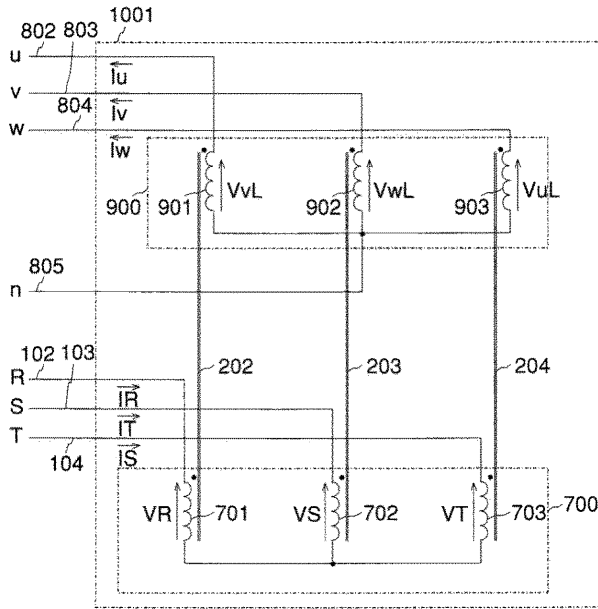
【 図 10 】

図 10



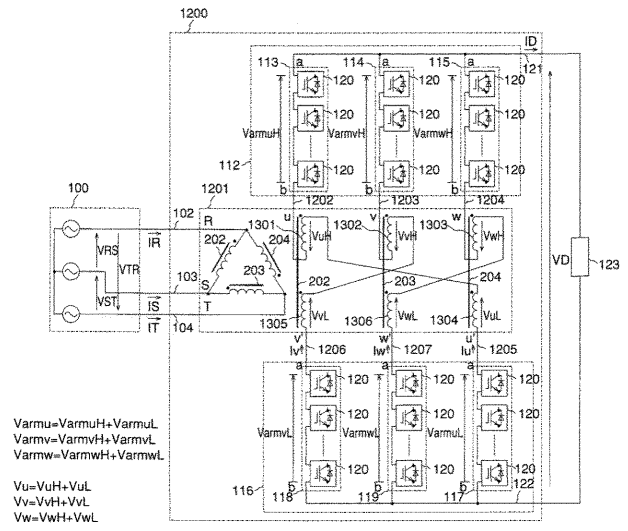
【図 1 1】

図 11



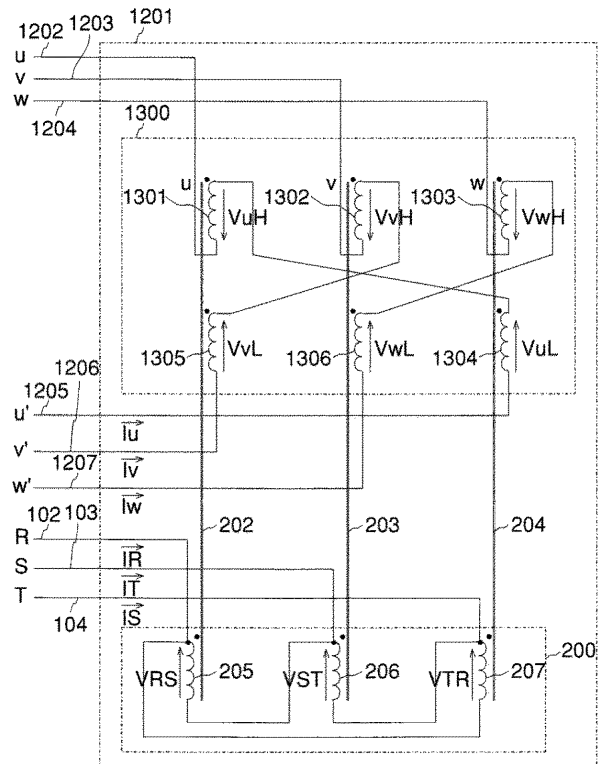
【図 1 2】

図 12



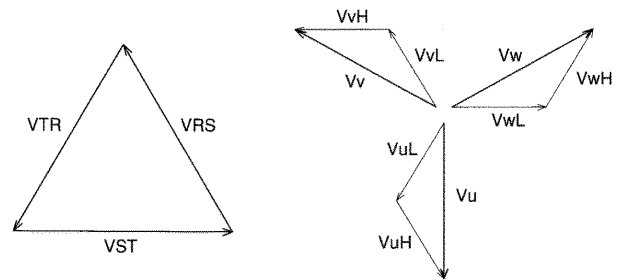
【図 1 3】

図 13



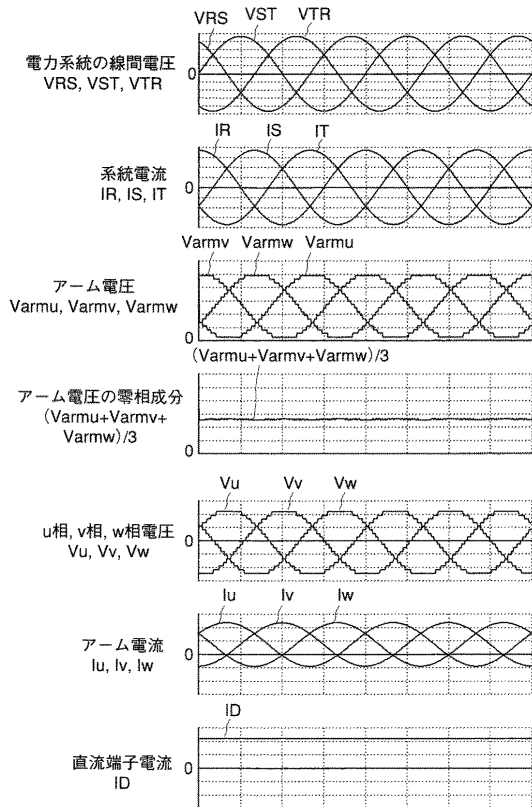
【図 1 4】

図 14



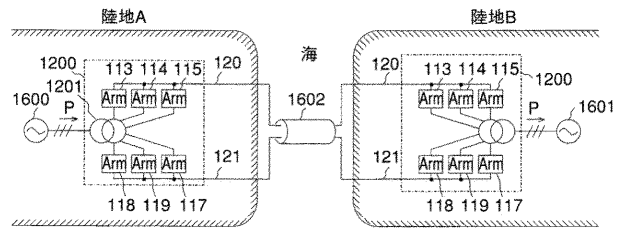
【 図 1 5 】

図 15



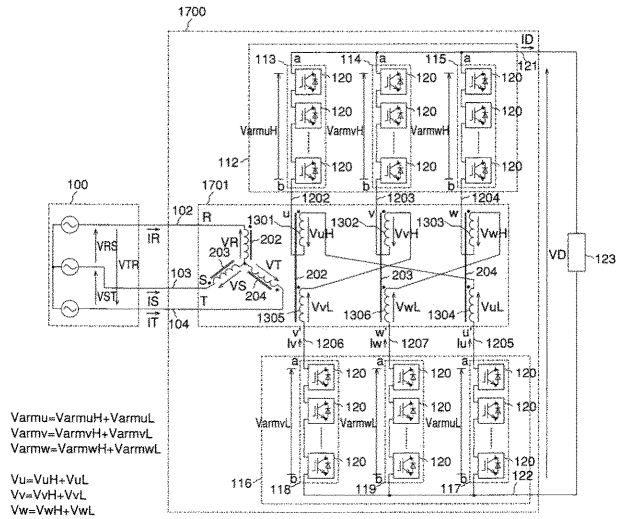
【 図 1 6 】

図 16



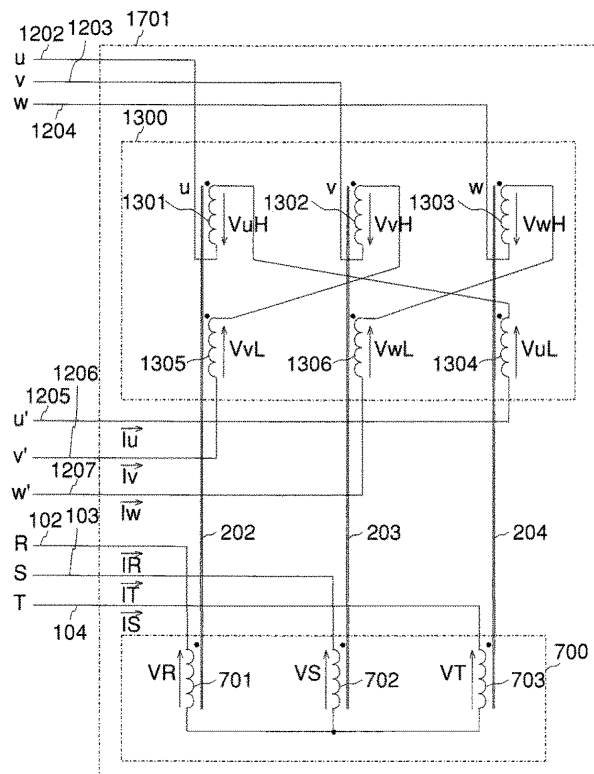
【 図 1 7 】

図 17



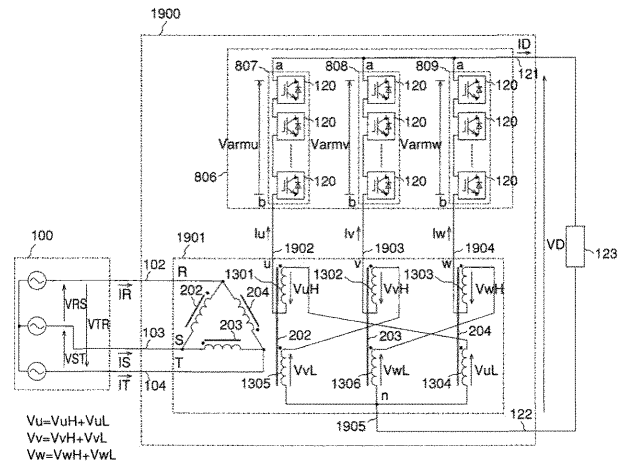
【 図 1 8 】

図 18



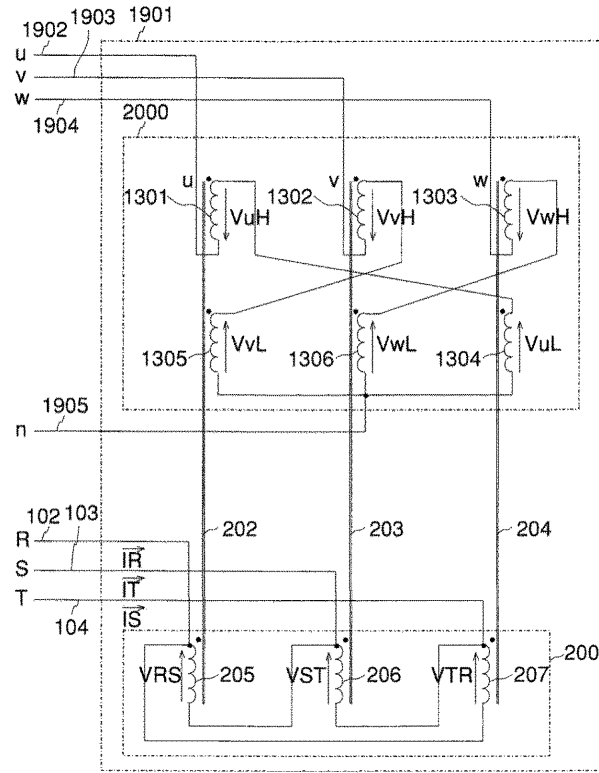
【 図 1 9 】

図 19



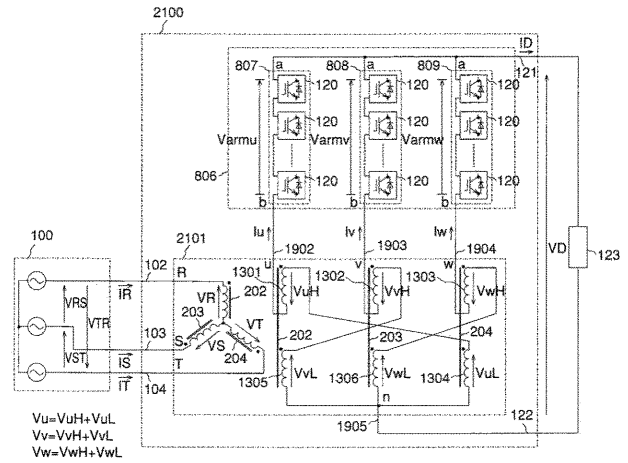
【図 20】

図 20



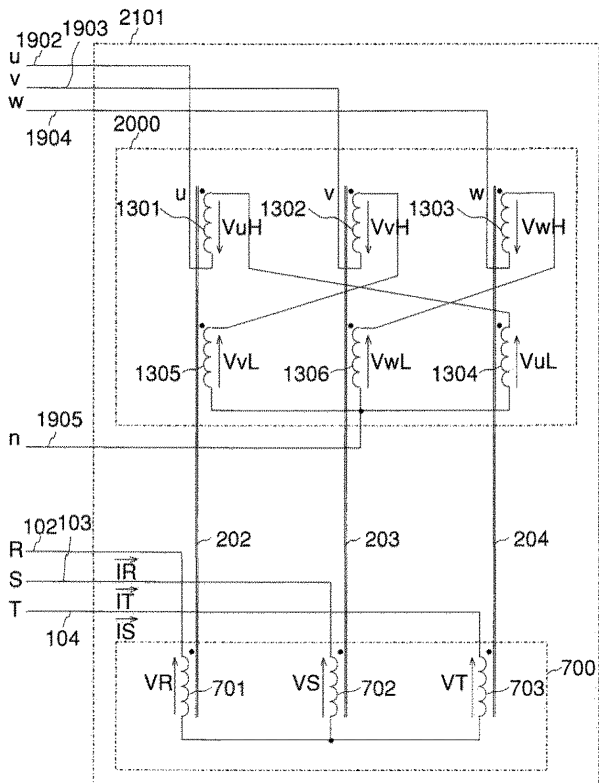
【図 21】

図 21



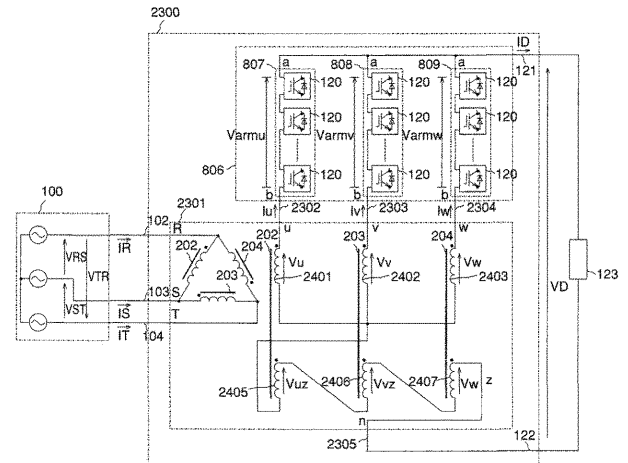
【図 22】

図 22



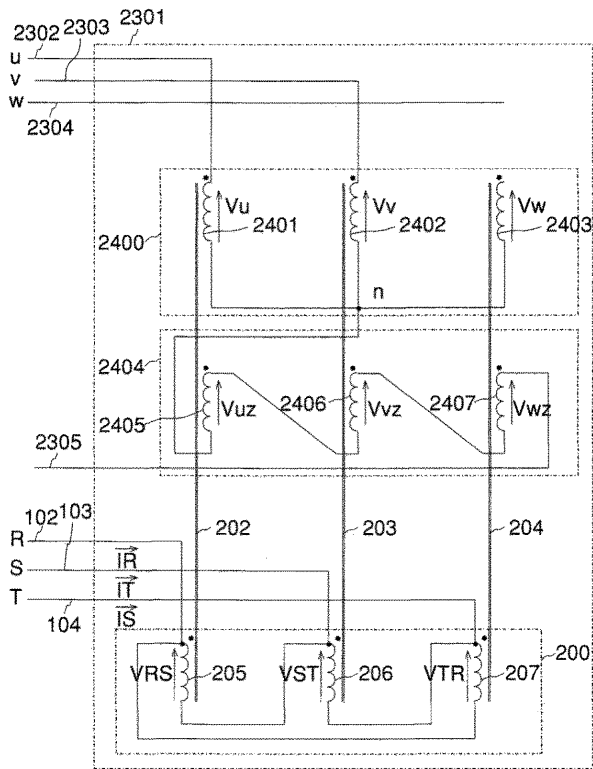
【図 23】

図 23



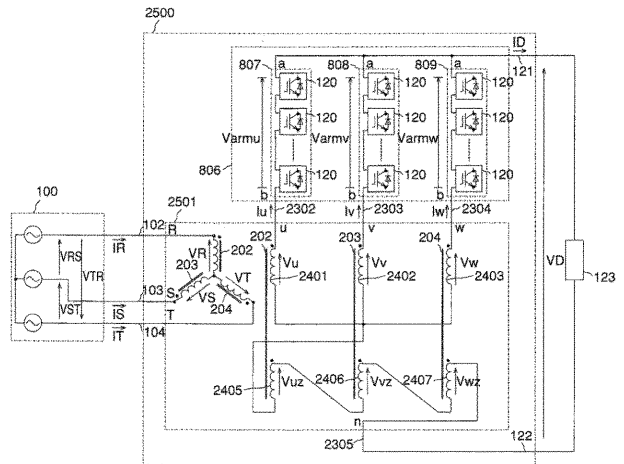
【図 24】

図 24



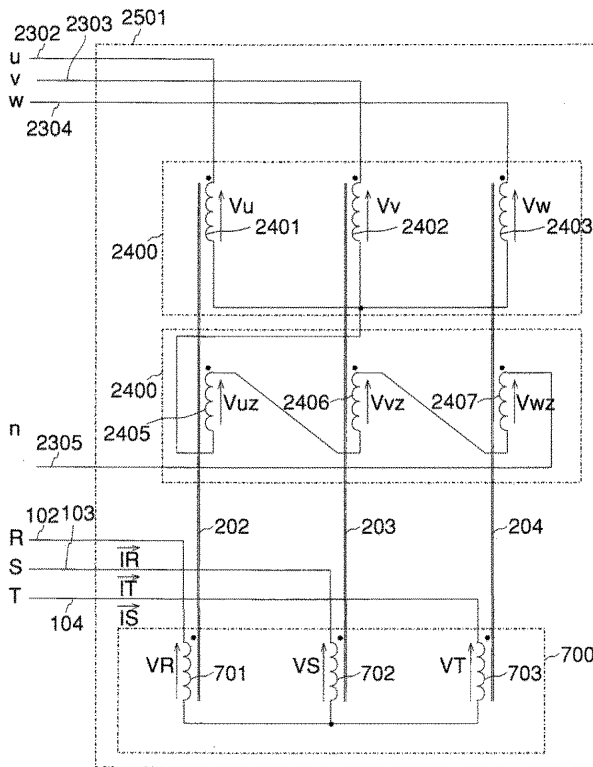
【図 25】

図 25



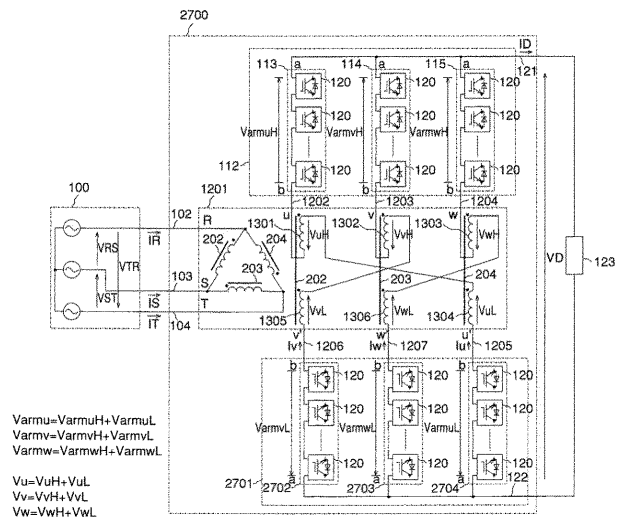
【図 26】

図 26



【図 27】

図 27



$Varmu = VarmuH + VarmuL$
 $Varmv = VarmvH + VarmvL$
 $Varmw = VarmwH + VarmwL$
 $Vu = VuH + VuL$
 $Vv = VvH + VvL$
 $Vw = VwH + VwL$