

(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2017-163714  
(P2017-163714A)

(43) 公開日 平成29年9月14日 (2017.9.14)

(51) Int.Cl. F I テーマコード (参考)  
**HO2M 7/48 (2007.01)** HO2M 7/48 M 5H770

審査請求 未請求 請求項の数 12 O L (全 18 頁)

(21) 出願番号 特願2016-46472 (P2016-46472)  
 (22) 出願日 平成28年3月10日 (2016.3.10)

(71) 出願人 000005234  
 富士電機株式会社  
 神奈川県川崎市川崎区田辺新田1番1号  
 (74) 代理人 100111763  
 弁理士 松本 隆  
 (74) 代理人 100163832  
 弁理士 後藤 直哉  
 (72) 発明者 劉 江桁  
 神奈川県川崎市川崎区田辺新田1番1号  
 富士電機株式会社内  
 Fターム(参考) 5H770 AA28 BA01 DA03 DA41 FA04  
 HA02Y HA03W JA17W LA05X LA07X  
 LB10

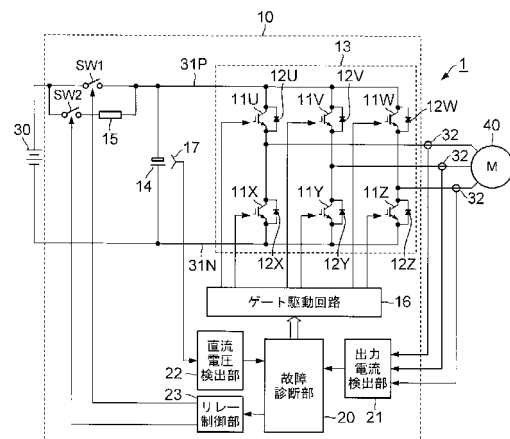
(54) 【発明の名称】 電力変換装置、スイッチング素子の短絡故障診断方法およびスイッチング素子のオープン故障診断方法

(57) 【要約】

【課題】 正常なスイッチング素子を破損することなくスイッチング素子の故障診断が可能な電力変換装置を提供する。

【解決手段】 電力変換装置 10 の故障診断部 20 は、各相の出力端がモータ 40 に接続されている状態において、初期充電スイッチ SW2 がオンしてコンデンサ 14 の初期充電が開始されてから所定時間が経過するまでにコンデンサ 14 の電圧が第 1 の閾値電圧に到達するか否かに基づいてスイッチング素子 11 U ~ 11 Z の第 1 の短絡故障診断を行う。また、故障診断部 20 は、コンデンサ 14 の電圧が第 2 の閾値電圧に到達すると初期充電スイッチ SW2 をオフさせて、コンデンサ 14 およびスイッチング素子 11 U ~ 11 Z が直流電源 30 から切り離された状態でスイッチング素子 11 U ~ 11 Z の第 2 の短絡故障診断およびオープン故障診断を行う。

【選択図】 図 1



## 【特許請求の範囲】

## 【請求項 1】

直流電源に対して直列接続される抵抗器、スイッチおよびコンデンサと、スイッチング素子を含み、前記コンデンサに並列に接続された主回路と、前記スイッチがオンして前記コンデンサの初期充電が開始されてから所定時間が経過するまでに前記コンデンサの電圧が第 1 の閾値電圧に到達するか否かにより前記主回路のスイッチング素子の短絡故障の有無を判断する第 1 の短絡故障診断を行う故障診断部と、を有することを特徴とする電力変換装置。

## 【請求項 2】

前記故障診断部は、  
前記スイッチがオンして前記コンデンサの初期充電が開始された後、前記コンデンサの電圧が第 2 の閾値電圧に到達すると前記スイッチをオフさせて、前記コンデンサと前記主回路とを直流電源から電氣的に切り離れた状態で、スイッチング素子の短絡故障の有無を判断する第 2 の短絡故障診断を行う  
ことを特徴とする請求項 1 に記載の電力変換装置。

10

## 【請求項 3】

前記主回路は、  
スイッチング素子を含む上アームとスイッチング素子を含む下アームとが直列に接続され、前記上アームと前記下アームの接続点を出力端として 1 相が構成され、前記上アームおよび前記下アームを複数相分有し、

20

前記故障診断部は、

前記第 2 の短絡故障診断では、

上下アームの各スイッチング素子のうちのいずれか 1 つのスイッチング素子にオンさせるパルスを与え、そのときの前記コンデンサの電圧の低下率と各相の出力端からモータに出力される出力電流の検出結果とに基づいて、前記パルスを与えたスイッチング素子を含むアームとは反対側の各相のアームのスイッチング素子の短絡故障の有無を判断する

ことを特徴とする請求項 2 に記載の電力変換装置。

## 【請求項 4】

前記故障診断部は、

前記コンデンサの電圧の低下率が所定の閾値よりも大きく、かつ、すべての相の出力電流の検出結果の絶対値が所定の電流閾値以下である場合、前記パルスを与えたスイッチング素子を含むアームと同一相における反対側のアームのスイッチング素子に短絡故障が発生していると判断し、

30

前記コンデンサの電圧の低下率が所定の閾値よりも大きく、かつ、出力電流の検出結果の絶対値が所定の電流閾値以下ではない相がある場合、前記パルスを与えたスイッチング素子を含むアームとは異なる相における反対側のアームのスイッチング素子に短絡故障が発生していると判断する

ことを特徴とする請求項 3 に記載の電力変換装置。

## 【請求項 5】

前記主回路は、

スイッチング素子を含む上アームとスイッチング素子を含む下アームとが直列に接続され、前記上アームと前記下アームの接続点を出力端として 1 相が構成され、前記上アームおよび前記下アームを複数相分有し、

40

前記故障診断部は、

前記コンデンサと前記主回路とを直流電源から電氣的に切り離れた状態で、

いずれかの相における上下アームの一方側のスイッチング素子と、前記一方側のスイッチング素子を含む相とは異なる相のいずれかにおける他方側のスイッチング素子との両方にオンさせるパルスを与え、そのときの前記コンデンサの電圧の低下率と各相の出力端からモータに出力される出力電流の検出結果とに基づいて、前記パルスを与えたスイッチング素子のオープン故障の有無を判断するオープン故障診断を行う

50

ことを特徴とする請求項 2 に記載の電力変換装置。

【請求項 6】

前記故障診断部は、

前記コンデンサの電圧の低下率が所定の閾値以下である場合、前記パルスを与えたスイッチング素子のうちの少なくとも一方にオープン故障が発生していると判断する

ことを特徴とする請求項 5 に記載の電力変換装置。

【請求項 7】

前記故障診断部は、

スイッチング素子の故障がなければ前記スイッチをオンさせて前記コンデンサの初期充電を再開させる

ことを特徴とする請求項 2 から 6 のいずれか 1 の請求項に記載の電力変換装置。

【請求項 8】

直流電源に対して直列接続される抵抗器、スイッチおよびコンデンサと、

前記コンデンサに並列に接続された主回路であって、スイッチング素子を含む上アームとスイッチング素子を含む下アームとが直列に接続され、前記上アームと前記下アームの接続点を出力端として 1 相が構成され、前記上アームおよび前記下アームを複数相分有する主回路と、

前記スイッチがオンして前記コンデンサの初期充電が開始された後、前記コンデンサの電圧が閾値電圧に到達すると前記スイッチをオフさせて、前記コンデンサと前記主回路とを直流電源から電氣的に切り離れた状態で、上下アームの各スイッチング素子のうちのいずれか 1 つのスイッチング素子にオンさせるパルスを与え、そのときの前記コンデンサの電圧の低下率と各相の出力端からモータに出力される出力電流の検出結果とに基づいて、前記パルスを与えたスイッチング素子を含むアームとは反対側の各相のアームのスイッチング素子の短絡故障の有無を判断する故障診断部と、

を有することを特徴とする電力変換装置。

【請求項 9】

直流電源に対して直列接続される抵抗器、スイッチおよびコンデンサと、

前記コンデンサに並列に接続された主回路であって、スイッチング素子を含む上アームとスイッチング素子を含む下アームとが直列に接続され、前記上アームと前記下アームの接続点を出力端として 1 相が構成され、前記上アームおよび前記下アームを複数相分有する主回路と、

前記スイッチがオンして前記コンデンサの初期充電が開始された後、前記コンデンサの電圧が閾値電圧に到達すると前記スイッチをオフさせて、前記コンデンサと前記主回路とを直流電源から電氣的に切り離れた状態で、いずれかの相における上下アームの一方側のスイッチング素子と、前記一方側のスイッチング素子を含む相とは異なる相のいずれかにおける他方側のスイッチング素子との両方にオンさせるパルスを与え、そのときの前記コンデンサの電圧の低下率と各相の出力端からモータに出力される出力電流の検出結果とに基づいて、前記パルスを与えたスイッチング素子のオープン故障の有無を判断する故障診断部と、

を有することを特徴とする電力変換装置。

【請求項 10】

直流電源に対して直列接続される抵抗器、スイッチおよびコンデンサと、スイッチング素子を含み、前記コンデンサに並列に接続された主回路と、を有し、前記主回路の出力端にモータが接続された電力変換装置におけるスイッチング素子の短絡故障診断方法であって、

前記スイッチをオンするステップと、

前記コンデンサの初期充電が開始されてから所定時間が経過するまでに前記コンデンサの電圧が閾値電圧に到達するか否かにより前記主回路のスイッチング素子の短絡故障の有無を判断するステップと、

を有することを特徴とするスイッチング素子の短絡故障診断方法。

10

20

30

40

50

## 【請求項 1 1】

直流電源に対して直列接続される抵抗器、スイッチおよびコンデンサと、前記コンデンサに並列に接続された主回路であって、スイッチング素子を含む上アームとスイッチング素子を含む下アームとが直列に接続され、前記上アームと前記下アームの接続点を出力端として1相が構成され、前記上アームおよび前記下アームを複数相分有する主回路と、を有し、前記主回路の出力端にモータが接続された電力変換装置におけるスイッチング素子の短絡故障診断方法であって、

前記スイッチをオンするステップと、

前記コンデンサの初期充電が開始された後、前記コンデンサの電圧が閾値電圧に到達すると前記スイッチをオフさせて、前記コンデンサと前記主回路とを直流電源から電氣的に切り離すステップと、

上下アームの各スイッチング素子のうちのいずれか1つのスイッチング素子にオンさせるパルスを与え、そのときの前記コンデンサの電圧の低下率と各相の出力端からモータに出力される出力電流の検出結果とに基づいて、前記パルスを与えたスイッチング素子を含むアームとは反対側の各相のアームのスイッチング素子の短絡故障の有無を判断するステップと、

を有することを特徴とするスイッチング素子の短絡故障診断方法。

## 【請求項 1 2】

直流電源に対して直列接続される抵抗器、スイッチおよびコンデンサと、前記コンデンサに並列に接続された主回路であって、スイッチング素子を含む上アームとスイッチング素子を含む下アームとが直列に接続され、前記上アームと前記下アームの接続点を出力端として1相が構成され、前記上アームおよび前記下アームを複数相分有する主回路と、を有し、前記主回路の出力端にモータが接続された電力変換装置におけるスイッチング素子のオープン故障診断方法であって、

前記スイッチをオンするステップと、

前記コンデンサの初期充電が開始された後、前記コンデンサの電圧が閾値電圧に到達すると前記スイッチをオフさせて、前記コンデンサと前記主回路とを直流電源から電氣的に切り離すステップと、

いずれかの相における上下アームの一方側のスイッチング素子と、前記一方側のスイッチング素子を含む相とは異なる相のいずれかにおける他方側のスイッチング素子との両方にオンさせるパルスを与え、そのときの前記コンデンサの電圧の低下率と各相の出力端からモータに出力される出力電流の検出結果とに基づいて、前記パルスを与えたスイッチング素子のオープン故障の有無を判断するステップと、

を有することを特徴とするスイッチング素子のオープン故障診断方法。

## 【発明の詳細な説明】

## 【技術分野】

## 【0001】

本発明は、スイッチング素子を含む電力変換装置、電力変換装置に含まれるスイッチング素子の短絡故障診断方法およびオープン故障診断方法に関する。

## 【背景技術】

## 【0002】

電力変換装置は、一般に、IGBT (Insulated Gate Bipolar Transistor; 絶縁ゲートバイポーラトランジスタ) などのスイッチング素子を含んでおり、このスイッチング素子をオン/オフさせることで入力された電力を変換して出力する。この種の電力変換装置におけるスイッチング素子の短絡故障およびオープン故障を診断する技術が種々提案されている。スイッチング素子の短絡故障は、スイッチング素子の制御端子(具体的にはゲート)に与えられる信号に関わらず、接点端子間(具体的にはコレクタ-エミッタ間)が短絡した状態に維持される故障である。また、スイッチング素子のオープン故障は、スイッチング素子の制御端子に与えられる信号に関わらず、

10

20

30

40

50

接点端子間が開放した状態に維持される故障である。以下、短絡故障およびオープン故障を区別しないときは、単に故障という。

【0003】

特許文献1には、電力変換装置のスイッチング素子の故障を診断する技術の一例が開示されている。特許文献1の電力変換装置では、直流電源に対してコンデンサが直列接続され、このコンデンサの両極間に複数のスイッチング素子がブリッジ接続されている。この電力変換装置では、コンデンサの両極間の電圧が所定値以下のときに、ブリッジの上アームのスイッチング素子または下アームのスイッチング素子のいずれか一方をオンし、他方をオフして、そのときのコンデンサの電圧の低下を監視し、コンデンサの電圧が所定値以下に低下した場合、当該他方のスイッチング素子が短絡故障していると判断する。また、この電力変換装置では、コンデンサの両極間の電圧が所定値以下のときに、直列接続された上下アームの両方のスイッチング素子をオンして、そのときのコンデンサの電圧の低下を監視し、コンデンサの電圧が所定値以下に低下しなかった場合、当該両方のスイッチング素子の少なくとも一方がオープン故障していると判断する。

10

【先行技術文献】

【特許文献】

【0004】

【特許文献1】特開2004-357437号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

20

【0005】

しかし、特許文献1の電力変換装置では、スイッチング素子およびコンデンサが直流電源と接続された状態でスイッチング素子の故障診断が行われる。このため、この電力変換装置においてコンデンサの電圧を所定値以下に維持することは難しい。

【0006】

また、特許文献1の電力変換装置では、オープン故障を検出する際、同一相の上下アームのスイッチング素子の両方をオンする。コンデンサの電圧が所定値以下に維持されていない状態で同一相の上下アームのスイッチング素子の両方がオンされると、それらのスイッチング素子がオンした瞬間に過大な電流が流れ、正常なスイッチング素子が破損する虞がある。

30

【0007】

特許文献1の電力変換装置では故障診断中も直流電源から電力が供給され続けるため、上述のオープン故障の検出時における問題の対策としては、上記の所定値をスイッチング素子の通常動作電圧よりも遥かに低くせざるを得ない（例えば、上記の所定値をスイッチング素子の導通電圧よりやや高いレベルにまで低くせざるを得ない）。この態様では、スイッチング素子の通常動作電圧よりも遥かに低い電圧においてオープン故障の診断をすることとなるため、コンデンサの電圧を検出する回路の精度によっては、コンデンサの電圧を正しく検出することができず、スイッチング素子のオープン故障を正しく診断することができない虞がある。

【0008】

40

本発明は以上に説明した課題に鑑みて為されたものであり、正常なスイッチング素子を破損することなくスイッチング素子の故障診断が可能な電力変換装置を提供することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0009】

この発明による電力変換装置は、直流電源に対して直列接続される抵抗器、スイッチおよびコンデンサと、スイッチング素子を含み、前記コンデンサに並列に接続された主回路と、前記スイッチがオンして前記コンデンサの初期充電が開始されてから所定時間が経過するまでに前記コンデンサの電圧が第1の閾値電圧に到達するか否かにより前記主回路のスイッチング素子の短絡故障の有無を判断する第1の短絡故障診断を行う故障診断部と、

50

を有する。

【0010】

この発明による電力変換装置では、コンデンサの初期充電の開始から所定時間が経過するまでの間にスイッチング素子の短絡故障の有無の判断が行われる。このようなコンデンサの初期充電の開始直後では、コンデンサの電圧、すなわち主回路の電圧が十分に低い。本電力変換装置では、主回路の電圧が十分に低いときにスイッチング素子の短絡故障の有無の判断を行うため、主回路のスイッチング素子に短絡故障が発生して主回路が短絡したとしても、主回路における正常なスイッチング素子が破壊されることはない。

【0011】

この発明による電力変換装置は、直流電源に対して直列接続される抵抗器、スイッチおよびコンデンサと、前記コンデンサに並列に接続された主回路であって、スイッチング素子を含む上アームとスイッチング素子を含む下アームとが直列に接続され、前記上アームと前記下アームの接続点を出力端として1相が構成され、前記上アームおよび前記下アームを複数相分有する主回路と、前記スイッチがオンして前記コンデンサの初期充電が開始された後、前記コンデンサの電圧が閾値電圧に到達すると前記スイッチをオフさせて、前記コンデンサと前記主回路とを直流電源から電氣的に切り離れた状態で、上下アームの各スイッチング素子のうちのいずれか1つのスイッチング素子にオンさせるパルスを与え、そのときの前記コンデンサの電圧の低下率と各相の出力端からモータに出力される出力電流の検出結果とに基づいて、前記パルスを与えたスイッチング素子を含むアームとは反対側の各相のアームのスイッチング素子の短絡故障の有無を判断する故障診断部と、を有する。

10

20

【0012】

この発明による電力変換装置では、コンデンサと主回路とを直流電源から電氣的に切り離れた状態でスイッチング素子の短絡故障の有無の判断が行われる。このため、スイッチング素子の短絡故障の有無の判断に際して主回路にかかる電圧は、直流電源から切り離される直前の電圧を超えることはない。このため、本電力変換装置では、直流電源から主回路を切り離す基準となる閾値電圧を適切な値に設定しておくことで、短絡故障の有無の判断に際して主回路が短絡したとしても、主回路における正常なスイッチング素子が破壊されることはない。

【0013】

この発明による電力変換装置は、直流電源に対して直列接続される抵抗器、スイッチおよびコンデンサと、前記コンデンサに並列に接続された主回路であって、スイッチング素子を含む上アームとスイッチング素子を含む下アームとが直列に接続され、前記上アームと前記下アームの接続点を出力端として1相が構成され、前記上アームおよび前記下アームを複数相分有する主回路と、前記スイッチがオンして前記コンデンサの初期充電が開始された後、前記コンデンサの電圧が閾値電圧に到達すると前記スイッチをオフさせて、前記コンデンサと前記主回路とを直流電源から電氣的に切り離れた状態で、いずれかの相における上下アームの一方側のスイッチング素子と、前記一方側のスイッチング素子を含む相とは異なる相のいずれかにおける他方側のスイッチング素子との両方にオンさせるパルスを与え、そのときの前記コンデンサの電圧の低下率と各相の出力端からモータに出力される出力電流の検出結果とに基づいて、前記パルスを与えたスイッチング素子のオープン故障の有無を判断する故障診断部と、を有する。

30

40

【0014】

この発明による電力変換装置では、コンデンサと主回路とを直流電源から電氣的に切り離れた状態でスイッチング素子のオープン故障の有無の判断が行われる。このため、本電力変換装置では、直流電源から主回路を切り離す基準となる閾値電圧を適切な値に設定しておくことで、オープン故障の有無の判断に際して主回路が短絡したとしても、主回路における正常なスイッチング素子が破壊されることはない。

【発明の効果】

【0015】

50

従って、この発明による電力変換装置では、正常なスイッチング素子を破損することなくスイッチング素子の故障診断が可能である。

【図面の簡単な説明】

【0016】

【図1】この発明の実施形態による電力変換装置10を含むモータ駆動システム1の構成を示す回路図である。

【図2】電力変換装置10の故障診断部20の動作の流れを示すフローチャートである。

【図3】電力変換装置10のコンデンサ14の初期充電開始後のコンデンサ14の両端の電圧の変化の一例を示すタイムチャートである。

【図4】初期充電スイッチSW2がオフした後のコンデンサ14の両端の電圧の変化の一例を示すタイムチャートである。

【図5】図2のフローチャートにおけるステップS23後のコンデンサ14の両端の電圧の変化の一例を示すタイムチャートである。

【発明を実施するための形態】

【0017】

以下、図面を参照しつつ本発明の実施形態を説明する。

(実施形態)

図1は、この発明の一実施形態による電力変換装置10を含むモータ駆動システム1の構成を示す回路図である。モータ駆動システム1は、電力変換装置10、電流検出器32および直流電源30を有する。電力変換装置10は、例えば、インバータ装置である。電力変換装置10は、直流電源30から供給される直流電力を交流電力に変換してモータ40に出力し、モータ40を駆動制御する。

【0018】

電力変換装置10は、主回路13、コンデンサ14、メインスイッチSW1、初期充電スイッチSW2、抵抗器15、ゲート駆動回路16、電圧検出器17、故障診断部20、出力電流検出部21、直流電圧検出部22およびリレー制御部23を有する。

【0019】

抵抗器15、初期充電スイッチSW2およびコンデンサ14は、直流電源30に対して直列接続される。より具体的には、コンデンサ14の一方の電極は、抵抗器15の一端に接続されている。抵抗器15の他端は、初期充電スイッチSW2の一方の接点に接続されている。初期充電スイッチSW2の他方の接点は、直流電源30の正極に接続される。コンデンサ14の他方の電極は、直流電源30の負極に接続される。

【0020】

メインスイッチSW1は、直列接続された抵抗器15および初期充電スイッチSW2に対して並列接続されている。初期充電スイッチSW2およびメインスイッチSW1の各々は、例えば、リレーにおけるノーマルオープンの接点要素であり、それらを開閉操作するコイルに電流が流れていない状態でオフし、そのコイルに電流が流れている状態でオンする。

【0021】

コンデンサ14は、例えば、電解コンデンサである。コンデンサ14は、直流電源30から供給される直流電力により充電される。抵抗器15は、コンデンサ14の初期充電時の突入電流を抑制するための抵抗器である。本明細書における初期充電とは、コンデンサ14に電荷が蓄えられていない初期状態から開始される充電のことをいう。

【0022】

コンデンサ14には、主回路13が並列接続されている。主回路13は、スイッチング素子11U、11V、11W、11X、11Yおよび11Z、還流ダイオード12U、12V、12W、12X、12Yおよび12Zを有する。

【0023】

スイッチング素子11U~11Zの各々は、例えば、IGBTである。スイッチング素子11U~11Zは、コンデンサ14の両電極間に3相ブリッジ接続されている。より詳

10

20

30

40

50

細には、スイッチング素子 11U のコレクタは、コンデンサ 14 における直流電源 30 の正極側の電極に接続される高電位側の入力電源線 31P に接続されている。スイッチング素子 11X のエミッタは、コンデンサ 14 における直流電源 30 の負極側の電極に接続される低電位側の入力電源線 31N に接続されている。スイッチング素子 11U のエミッタはスイッチング素子 11X のコレクタと接続されている。スイッチング素子 11U とスイッチング素子 11X との接続点は、U 相の出力端となっている。スイッチング素子 11U のエミッタとコレクタとの間には、還流ダイオード 12U が接続されており、スイッチング素子 11X のエミッタとコレクタとの間には、還流ダイオード 12X が接続されている。スイッチング素子 11U および還流ダイオード 12U は、U 相上アームを構成し、スイッチング素子 11X および還流ダイオード 12X は、U 相下アームを構成する。同様に、スイッチング素子 11V および還流ダイオード 12V は、V 相上アームを構成し、スイッチング素子 11Y および還流ダイオード 12Y は V 相下アームを構成する。スイッチング素子 11V とスイッチング素子 11Y との接続点は、V 相の出力端となっている。スイッチング素子 11W および還流ダイオード 12W は、W 相上アームを構成し、スイッチング素子 11Z および還流ダイオード 12Z は、W 相下アームを構成する。スイッチング素子 11W とスイッチング素子 11Z との接続点は、W 相の出力端となっている。

10

#### 【0024】

ゲート駆動回路 16 は、スイッチング素子 11U ~ 11Z の各々にゲート信号を出力してスイッチング素子 11U ~ 11Z をオン/オフさせる回路である。ゲート駆動回路 16 は、モータ 30 の駆動制御を担う制御回路 (図示略) から供給される制御信号および故障診断部 20 から供給される故障診断信号に従ってゲート信号を出力する。

20

#### 【0025】

電圧検出器 17 は、コンデンサ 14 の両電極間の電圧を検出してその検出結果を示す電圧検出信号を出力する。直流電圧検出部 22 は、電圧検出信号を電圧検出器 17 から取得して故障診断部 20 へ引き渡す。

#### 【0026】

各相の出力端はモータ 40 に接続される。各相の出力端からモータ 40 へ供給される電流の供給経路には、相毎に電流検出器 32 が設けられている。電流検出器 32 は、出力端からモータ 40 へ出力される出力電流を検出してその検出結果を示す電流検出信号を出力する。出力電流検出部 21 は、電流検出信号を電流検出器 32 から取得して故障診断部 20 へ引き渡す。

30

#### 【0027】

リレー制御部 23 は、初期充電スイッチ SW2 を実現するリレーおよびメインスイッチ SW1 を実現するリレーを含む各種のリレーをオン/オフさせる回路である。リレー制御部 23 は、具体的には、各リレーのコイルへの電流の供給および遮断を故障診断部 20 から出力される信号に従って制御することで、各リレーの接点要素をオン/オフさせる。

#### 【0028】

故障診断部 20 は、スイッチング素子 11U ~ 11Z の短絡故障の有無およびオープン故障の有無を判断する。故障診断部 20 によるスイッチング素子 11U ~ 11Z の故障の有無の判断は、各相の出力端がモータ 40 に接続された状態で行われる。故障診断部 20 は、例えば、記憶装置 (図示略) に記憶されているプログラムをマイコンが実行することで実現される。

40

#### 【0029】

図 2 は、故障診断部 20 の動作の流れを示すフローチャートである。電力変換装置 10 に電源が投入される前、メインスイッチ SW1 と初期充電スイッチ SW2 の両方は、オフに維持されている。この状態では、電力変換装置 10 には直流電力が供給されず、コンデンサ 14 は充電されていない。

#### 【0030】

電力変換装置 10 の電源が投入されると、リレー制御部 23 は、初期充電スイッチ SW2 をオンさせる。これにより、メインスイッチ SW1 がオフした状態で初期充電スイッチ

50

SW2がオンする(ステップS10)。初期充電スイッチSW2がオンすると、直流電源30の直流電力が抵抗器15を介してコンデンサ14に供給され、コンデンサ14の初期充電(以下、単に充電という)が開始される。故障診断部20は、コンデンサ14の充電が開始されてからコンデンサ14が完全に充電されるまでの間にスイッチング素子11U~11Zの短絡故障の診断およびオープン故障の診断を行う。故障診断部20は、第1の短絡故障診断、第2の短絡故障診断およびオープン故障診断の3種類の故障診断をこの順で行う。

#### 【0031】

また、電力変換装置10の電源が投入されると、故障診断部20は、直流電圧検出部22を介して電圧検出信号を逐次取得してコンデンサ14の電圧を監視する。また、並行して、故障診断部20は、出力電流検出部21を介して電流検出信号を逐次取得して出力電流を監視する。また、故障診断部20は、初期充電スイッチSW2のオンに合わせて内部タイマ(図示略)の計時を開始する。

10

#### 【0032】

図3は、充電開始直後のコンデンサ14の電圧の変化の一例を示すタイムチャートである。コンデンサ14の充電は抵抗器15を介して行われるため、コンデンサ14の電圧は、電圧波形V11のように、コンデンサ14の容量と抵抗器15の抵抗値との積である時定数に従って立ち上がる。

#### 【0033】

ところが、U相上アームのスイッチング素子11UとU相下アームのスイッチング素子11Xの両方が短絡故障していた場合、入力電源線31Pおよび31N間がスイッチング素子11Uおよび11Xによって短絡する。入力電源線31Pおよび31N間が短絡していると、抵抗器15を介して直流電力が入力されても、短絡故障しているスイッチング素子11Uおよび11Xを介して電荷が移動するため、電圧波形V12に示すように、コンデンサ14の電圧は上昇しない。すなわち、何れかの相において、上アームのスイッチング素子11U~11Wと、その上アームと同一相の下アームのスイッチング素子11X~11Zとが共に短絡故障していた場合、初期充電スイッチSW2がオンしてもコンデンサ14の電圧は立ち上がらない。

20

#### 【0034】

また、各相の出力端がモータ40に接続されているため、電力変換装置10の各相の出力端は、モータ40の固定子巻線を介してつながっている。例えば、モータ40の固定子巻線の結線がスター結線の場合、モータ40では、電力変換装置10のU相出力端に一端が接続された第1の固定子巻線の他端と、電力変換装置10のV相出力端に一端が接続された第2の固定子巻線の他端と、電力変換装置10のW相出力端に一端が接続された第3の固定子巻線の他端とが接続されている。このため、U相上アームのスイッチング素子11UとV相下アームのスイッチング素子11Yの両方が短絡故障していた場合、抵抗器15を介して直流電力が入力されると、入力電源線31P、スイッチング素子11U、モータ40の固定子巻線(上記の例では第1の固定子巻線および第2の固定子巻線)、スイッチング素子11Y、入力電源線31Nの経路で電流が流れる。この場合、スイッチング素子11Uとスイッチング素子11Yの両方が短絡故障していない場合に比べて、コンデンサ14に蓄積される電荷が少なく、電圧波形V13に示すように、コンデンサ14の電圧の上昇する速度が遥かに遅くなる。U相上アームのスイッチング素子11UとW相下アームのスイッチング素子11Zの両方が短絡故障していた場合も同様である。すなわち、いずれかの相における上下アームの一方側のスイッチング素子と、そのスイッチング素子を含む相とは異なる他の相における上下アームの他方側のスイッチング素子の両方が短絡故障していた場合、初期充電スイッチSW2がオンした後に遥かに遅い速度でコンデンサ14の両端の電圧が立ち上がる。

30

40

#### 【0035】

そこで、故障診断部20は、初期充電スイッチSW2がオンしてコンデンサ14の初期充電が開始されてから所定時間 $T_{t1}$ が経過するまでにコンデンサ14の電圧が第1の閾

50

値電圧  $V_{t1}$  まで到達したか否かを判断する (ステップ S 1 1)。第 1 の閾値電圧  $V_{t1}$  は、コンデンサ 1 4 と抵抗器 1 5 の時定数に従って上昇する電圧波形における所定時間  $T_{t1}$  が経過する時点の電圧値またはその時点の電圧値よりも少し低い電圧値に設定される。

#### 【 0 0 3 6 】

故障診断部 2 0 は、内部タイマによる計時が所定時間  $T_{t1}$  を経過しても、電圧検出信号が表すコンデンサ 1 4 の電圧が第 1 の閾値電圧  $V_{t1}$  以上にならなかった場合 (S 1 1 : N o)、各相の上アームのスイッチング素子 1 1 U ~ 1 1 W のうちの少なくとも 1 つのスイッチング素子 1 1 U ~ 1 1 W と、各相の下アームのスイッチング素子 1 1 X ~ 1 1 Z のうちの少なくとも 1 つのスイッチング素子 1 1 X ~ 1 1 Z とに短絡故障が発生していると判断する (ステップ S 1 2)。この場合、故障診断部 2 0 は、リレー制御部 2 3 に初期充電スイッチ S W 2 をオフさせる信号を出力する (ステップ S 1 3)。その後、故障診断部 2 0 は、判断結果を表示装置に表示させ、短絡故障が発生している旨の通知を上位コントローラなどに送信し、通常運転に移るのを禁止し (ステップ S 1 4)、一連の処理を終了する。

10

#### 【 0 0 3 7 】

ステップ S 1 1 において、内部タイマによる計時が所定時間  $T_{t1}$  を経過する前に電圧検出信号が表すコンデンサ 1 4 の電圧が第 1 の閾値電圧  $V_{t1}$  以上になった場合 (S 1 1 : Y e s)、故障診断部 2 0 は、短絡故障が検出されなかったとして、ステップ S 1 5 の処理に移る。このようなステップ S 1 1 ~ S 1 4 の処理が第 1 の短絡故障診断である。

20

#### 【 0 0 3 8 】

ところで、上下アームの片側のスイッチング素子 1 1 U ~ 1 1 W あるいは 1 1 X ~ 1 1 Z のみに短絡故障が発生していた場合、コンデンサ 1 4 の電圧は正常時と同様に立ち上がる。このため、第 1 の短絡故障診断では、このようなスイッチング素子 1 1 U ~ 1 1 Z の短絡故障を検出することができない。そこで、このような場合を含め、短絡故障しているスイッチング素子 1 1 U ~ 1 1 Z を特定するのが第 2 の短絡故障診断である。

#### 【 0 0 3 9 】

ステップ S 1 1 において短絡故障が検出されなかった (S 1 1 : Y e s) 後、故障診断部 2 0 は、コンデンサ 1 4 の電圧が第 2 の閾値電圧  $V_{t2}$  に到達したか否かを判断する (ステップ S 1 5)。第 2 の閾値電圧  $V_{t2}$  は、第 2 の短絡故障診断の開始時の基準となる電圧である。第 2 の閾値電圧  $V_{t2}$  は、コンデンサ 1 4 と抵抗器 1 5 の時定数に従って上昇する電圧波形に基づいて設定される。第 2 の閾値電圧  $V_{t2}$  は、第 1 の閾値電圧  $V_{t1}$  よりも高い。故障診断部 2 0 は、コンデンサ 1 4 の電圧が第 2 の閾値電圧  $V_{t2}$  以上になるまでステップ S 1 5 の処理を繰り返す (S 1 5 : N o)。

30

#### 【 0 0 4 0 】

コンデンサ 1 4 の電圧が第 2 の閾値電圧  $V_{t2}$  以上となった場合 (S 1 5 : Y e s)、故障診断部 2 0 は、リレー制御部 2 3 に初期充電スイッチ S W 2 をオフさせる信号を出力する (ステップ S 1 6)。これにより、コンデンサ 1 4 および主回路 1 3 は、直流電源 3 0 から電氣的に切り離される。その後、故障診断部 2 0 は、第 2 の短絡故障診断であるステップ S 1 7 ~ ステップ S 2 2 の処理を行う。

40

#### 【 0 0 4 1 】

図 4 は、ステップ S 1 6 において初期充電スイッチ S W 2 がオフした後のコンデンサ 1 4 の電圧の変化の一例を示すタイムチャートである。初期充電スイッチ S W 2 がオフすると、コンデンサ 1 4 は、直流電源 3 0 からの直流電力の供給が遮断されるため、蓄積した電荷の放電を開始する。コンデンサ 1 4 から放電される電荷は、上下アーム等によって消費される。コンデンサ 1 4 の電圧は、このようなコンデンサ 1 4 の自然放電によって電圧波形 V 2 1 に示すように徐々に低下する。

#### 【 0 0 4 2 】

初期充電スイッチ S W 2 をオフさせた後、故障診断部 2 0 は、スイッチング素子 1 1 U ~ 1 1 Z のうちのいずれか 1 つのスイッチング素子 1 1 U ~ 1 1 Z のみに極めて短時間の

50

間オンさせるパルスを与え（ステップS 17）、ステップS 18～S 22の処理を行う。そして、故障診断部20は、1つだけオンさせるスイッチング素子11U～11Zを順次に切り替えて（S 17）ステップS 18～S 22の処理を行うというように、すべてのスイッチング素子11U～11ZについてステップS 17～S 22を繰り返す。

【0043】

まず、故障診断部20は、スイッチング素子11V～11Zをオフさせた状態で、スイッチング素子11Uのみに極めて短時間の間オンさせるパルスを与える（ステップS 17）。具体的には、スイッチング素子11Uをオンさせる内容の故障診断信号を故障診断部20がゲート駆動回路16に出力し、ゲート駆動回路16がその故障診断信号に従ってスイッチング素子11Uのゲートに極めて短時間の間立ち上がるパルス状のゲート信号を出力する。

10

【0044】

故障診断部20は、スイッチング素子11Uのみにパルスを与えている間（パルスの立ち上がりから立下りまでの時間）、コンデンサ14の電圧の検出結果を蓄積し、それを基にコンデンサ14の電圧の単位時間当たりの低下率を算出する。例えば、故障診断部20は、スイッチング素子11Uに与えるパルスの立ち上がり時刻におけるコンデンサ14の電圧検出結果と、そのパルスの立下り時刻におけるコンデンサ14の電圧検出結果との差分の絶対値を算出する。故障診断部20は、スイッチング素子11Uに与えるパルスの立ち上がり時刻と立下り時刻との差分の絶対値を算出する。故障診断部20は、コンデンサ14の電圧検出結果の差分の絶対値を時刻の差分の絶対値で除算する。このようにして算出した除算結果をコンデンサ14の電圧の低下率とする。

20

【0045】

故障診断部20は、算出したコンデンサ14の電圧の低下率が所定の閾値よりも大きいかな否かを判断する（ステップS 18）。この比較基準である所定の閾値は、コンデンサ14の自然放電による電圧の低下率よりも少しだけ大きな値に設定される。コンデンサ14の自然放電による電圧の低下率をコンデンサ14の容量などから予測することが可能であるため、この所定の閾値を自然放電による低下率よりも少しだけ大きな値に設定しておくことは可能である。すなわち、ステップS 18では、故障診断部20は、コンデンサ14の電圧の低下率が自然放電による低下率よりも大きいかな否かを判断する。

【0046】

コンデンサ14の電圧の低下率が所定の閾値よりも小さい場合（S 18：No）、故障診断部20は、パルスを与えたスイッチング素子11Uを含むアーム（U相上アーム）とは反対側のすべてのアーム（U相下アーム、V相下アームおよびW相下アーム）の各スイッチング素子11X～11Zに短絡故障は発生していないと判断する。この判断の後、故障診断部20は、すべてのスイッチング素子11U～11ZについてステップS 18の判断が完了していない場合、ステップS 17の処理に戻ってパルスを与えるスイッチング素子11U～11Zを切り替え、すべてのスイッチング素子11U～11ZについてステップS 18の判断が完了した場合、ステップS 23の処理に進む。

30

【0047】

また、故障診断部20は、ステップS 17においてスイッチング素子11Uのみにパルスを与えている間（パルスの立ち上がりから立下りまでの時間）、すべての相の出力電流を検出し、その検出結果を示すデータを蓄積する。そして、ステップS 18において、コンデンサ14の電圧の低下率が所定の閾値よりも大きい場合（S 18：Yes）、故障診断部20は、スイッチング素子11Uにパルスを与えている間、すべての相の出力電流の検出結果の絶対値が所定の電流閾値以下であるかな否かを判断する（ステップS 19）。この比較基準である所定の電流閾値は、ゼロよりも少しだけ大きな値に設定される。すなわち、ステップS 19では、故障診断部20は、すべての相の出力電流の検出結果がゼロであるかな否かを判断する。

40

【0048】

すべての相で出力電流の検出結果の絶対値が所定の電流閾値以下であった場合（S 19

50

: Yes)、故障診断部20は、パルスを与えたスイッチング素子11Uを含むアーム(U相上アーム)と同一相における反対側のアーム(U相下アーム)のスイッチング素子11Xに短絡故障が発生していると判断する(ステップS20)。このように判断する理由は以下の通りである。パルスを与えるスイッチング素子11Uと同一相における反対側のアームのスイッチング素子11Xに短絡故障が発生していると、パルスを与えたスイッチング素子11Uがオンした瞬間にスイッチング素子11Uおよび11Xを介して入力電源線31Pおよび31N間が短絡する。スイッチング素子11Uがオンした瞬間にコンデンサ14の放電電荷がスイッチング素子11Uおよび11Xを介して移動するため、電圧波形V22に示すように、コンデンサ14の電圧が急激に低下する。そして、スイッチング素子11Uおよび11Xを介して電流が流れるため、モータ40へは電流が流れず、出力電流の検出結果はゼロのままとなる。

10

#### 【0049】

ステップS19において、すべての相で出力電流の検出結果の絶対値が所定の電流閾値よりも大きかった場合(S19:No)、故障診断部20は、パルスを与えたスイッチング素子11Uを含むアーム(U相上アーム)の相とは異なる相における反対側のアーム(V相下アームまたはW相下アーム)の少なくとも1つ以上のスイッチング素子11Yおよび11Zに短絡故障が発生していると判断する(ステップS21)。このように判断する理由は以下の通りである。パルスを与えるスイッチング素子11Uの相とは異なる相における反対側のアームのスイッチング素子11Yまたは11Zに短絡故障が発生していると、パルスを与えるスイッチング素子11Uがオンした瞬間に、モータ40の固定子巻線を介して電流が流れる。スイッチング素子11Uのオンの後にコンデンサ14の放電電荷がモータ40の固定子巻線で速やかに消費されるため、電圧波形V23に示すように、自然放電による低下率に比べてコンデンサ14の電圧の低下率が大きくなる。そして、電力変換装置10からモータ40へ電流が供給されるため、ゼロではない出力電流が検出される。

20

#### 【0050】

ステップS21において、故障診断部20は、出力電流の検出結果の絶対値が所定の電流閾値よりも大きかった相(換言すると、出力電流がゼロではなかった相)から短絡故障が発生しているスイッチング素子11U~11Zを特定する。例えば、スイッチング素子11Uをオンした場合において、W相の出力電流がゼロであり、U相の出力電流とV相の出力電流がゼロでない場合、故障診断部20は、V相下アームのスイッチング素子11Yに短絡故障が発生していると判断する。また、V相の出力電流がゼロであり、U相の出力電流とW相の出力電流がゼロでない場合、故障診断部20は、W相下アームのスイッチング素子11Zに短絡故障が発生していると判断する。また、U相、V相およびW相のすべての出力電流がゼロでない場合、故障診断部20は、スイッチング素子11Yとスイッチング素子11Zの両方に短絡故障が発生していると判断する。

30

#### 【0051】

ステップS20およびステップS21において短絡故障が発生していると判断した後、故障診断部20は、判断結果を表示装置に表示させ、短絡故障が発生している旨の通知を上位コントローラなどに送信する(ステップS22)。その後、故障診断部20は、すべてのスイッチング素子11U~11ZについてステップS18の判断が完了していない場合、ステップS17の処理に戻ってオンするスイッチング素子11U~11Zを切り替え、すべてのスイッチング素子11U~11ZについてステップS18の判断が完了した場合、通常運転に移るのを禁止し(ステップS22)、一連の処理を終了する。

40

#### 【0052】

ステップS18において、すべてのスイッチング素子11U~11Zについて短絡故障が発生していないと判断した後、故障診断部20は、オープン故障診断であるステップS23~S26の処理を行う。

#### 【0053】

図5は、オープン故障診断時のコンデンサ14の電圧の変化の一例を示すタイムチャー

50

トである。オープン故障診断は、第2の短絡故障診断に後続して行われ、メインスイッチSW1および初期充電スイッチSW2をオフした状態、すなわち、コンデンサ14と主回路13とが直流電源30から切り離された状態で行われる。

#### 【0054】

故障診断部20は、いずれかの相における上アームのスイッチング素子11U~11Wと、そのスイッチング素子11U~11Wを含む相とは異なる相のいずれかにおける下アームのスイッチング素子11X~11Zとに極めて短時間の間同時にオンさせるパルスを与え(ステップS23)、ステップS24~S26の処理を行う。そして、故障診断部20は、パルスを与えるスイッチング素子11U~11Zの組を順次に切り替えて(S23)、各組についてステップS24~S26の処理を繰り返す。

10

#### 【0055】

まず、故障診断部20は、スイッチング素子11V、11W、11Xおよび11Zをオフさせた状態で、スイッチング素子11Uと11Yとにパルスを与える(ステップS23)。具体的には、スイッチング素子11Uと11Yとをオンさせる内容の故障診断信号を故障診断部20がゲート駆動回路16に出力し、ゲート駆動回路16がその故障診断信号に従ってスイッチング素子11Uのゲートとスイッチング素子11Yのゲートとに互いに同期したパルス状のゲート信号を出力する。

#### 【0056】

故障診断部20は、スイッチング素子11Uと11Yとにパルスを与えている間、コンデンサ14の電圧の検出結果を蓄積し、それを基にコンデンサ14の電圧の単位時間当たりの低下率を算出する。コンデンサ14の電圧の低下率の算出方法は、第2の短絡故障診断におけるそれと同様である。

20

#### 【0057】

故障診断部20は、算出したコンデンサ14の電圧の低下率が所定の閾値よりも大きいかが否かを判断する(ステップS24)。所定の閾値は、第2の短絡故障診断におけるそれと同様に、コンデンサ14の自然放電による電圧の低下率よりも少しだけ大きな値に設定される。すなわち、ステップS24では、故障診断部20は、コンデンサ14の電圧の低下率が自然放電による低下率よりも大きいかが否かを判断する。

#### 【0058】

ここで、スイッチング素子11Uおよび11Yのいずれにおいてもオープン故障が発生していなければ、スイッチング素子11Uおよび11Yにパルスを与えた瞬間に、スイッチング素子11Uおよび11Yがオンし、スイッチング素子11U、モータ40の固定子巻線、スイッチング素子11Yの経路で電流が流れる。この場合、コンデンサ14の放電電荷がモータ40の固定子巻線で速やかに消費されるため、電圧波形V32に示すように、コンデンサ14の電圧の低下率は、自然放電による低下率に比べて大きくなる。

30

#### 【0059】

そこで、コンデンサ14の電圧の低下率が所定の閾値よりも大きい場合(S24:Yes)、故障診断部20は、パルスを与えたスイッチング素子11Uおよび11Yの両方にオープン故障が発生していないと判断する。この判断の後、故障診断部20は、すべてのスイッチング素子11U~11ZについてステップS24の判断が完了していない場合、ステップS23の処理に戻ってパルスを与えるスイッチング素子11U~11Zの組を切り替え、すべてのスイッチング素子11U~11ZについてステップS24の判断が完了した場合、ステップS27の処理に進む。

40

#### 【0060】

ところで、オープン故障が発生しているスイッチング素子11U~11Zでは、ゲートにパルスが与えられてもコレクタ-エミッタ間が短絡することはない。このため、パルスが与えられるスイッチング素子11Uおよび11Yの少なくとも一方がオープン故障していれば、モータ40の固定子巻線を経由する電流が流れない。この場合、電圧波形V31に示すように、コンデンサ14は自然放電を維持する。

#### 【0061】

50

そこで、コンデンサ 14 の電圧の低下率が所定の閾値よりも小さい場合 ( S 2 4 : N o )、故障診断部 20 は、パルスを与えたスイッチング素子 11 U および 11 Y の少なくとも一方にオープン故障が発生していると判断する ( ステップ S 2 5 )。

【 0 0 6 2 】

オープン故障が発生していると判断した後、故障診断部 20 は、判断結果を表示装置に表示させ、オープン故障が発生している旨の通知を上位コントローラなどに送信する ( ステップ S 2 6 )。その後、故障診断部 20 は、すべてのスイッチング素子 11 U ~ 11 Z についてステップ S 2 4 の判断が完了していない場合、ステップ S 2 4 の処理に戻ってパルスを与えるスイッチング素子 11 U ~ 11 Z の組を切り替え、すべてのスイッチング素子 11 U ~ 11 Z についてステップ S 2 4 の判断が完了した場合、通常運転に移るのを禁止し ( ステップ S 2 6 )、一連の処理を終了する。

10

【 0 0 6 3 】

ステップ S 2 4 において、すべてのスイッチング素子 11 U ~ 11 Z についてオープン故障が発生していないと判断した後、故障診断部 20 は、リレー制御部 23 に初期充電スイッチ S W 2 を再びオンさせる信号を出力する ( ステップ S 2 7 )。初期充電スイッチ S W 2 がオンすると、コンデンサ 14 の初期充電が再開され、コンデンサ 14 の電圧が上昇する。その後、故障診断部 20 は、コンデンサ 14 の電圧の検出結果が、コンデンサ 14 の電圧が十分に立ち上がったことを表す所定電圧に到達したか否かを判断する ( ステップ S 2 8 )。故障診断部 20 は、コンデンサ 14 の電圧がこの所定電圧以上になるまでステップ S 2 8 の処理を繰り返す ( S 2 8 : N o )。

20

【 0 0 6 4 】

故障診断部 20 は、コンデンサ 14 の電圧がこの所定電圧以上になった場合 ( S 2 8 : Y e s )、リレー制御部 23 にメインスイッチ S W 1 をオンさせる信号を出力する ( ステップ S 2 9 )。メインスイッチ S W 1 がオンすると抵抗器 15 の両端がメインスイッチ S W 1 によって短絡するため、メインスイッチ S W 1 を介してコンデンサ 14 が完全に充電される。コンデンサ 14 の充電が完了すると、故障診断部 20 は、ゲート駆動回路 16 に制御信号を出力する制御回路に運転許可を通知する ( ステップ S 3 0 )。

【 0 0 6 5 】

以上のように、本実施形態の電力変換装置 10 では、コンデンサ 14 の初期充電の開始から所定時間が経過するまでの間にスイッチング素子 11 U ~ 11 Z の短絡故障の有無の判断 ( 第 1 の短絡故障診断 ) が行われる。このようなコンデンサ 14 の初期充電の開始直後では、コンデンサ 14 の電圧、すなわち主回路 13 の電圧が十分に低い。電力変換装置 10 では、主回路 13 の電圧が十分に低いときにスイッチング素子 11 U ~ 11 Z の短絡故障の有無の判断を行うため、主回路 13 のスイッチング素子 11 U ~ 11 Z が短絡故障して入力電源線 31 P および 31 N 間が短絡したとしても、主回路 13 における正常なスイッチング素子 11 U ~ 11 Z が破壊されることはない。

30

【 0 0 6 6 】

また、本実施形態の電力変換装置 10 では、コンデンサ 14 と主回路 13 とを直流電源 30 から電氣的に切り離れた状態でスイッチング素子 11 U ~ 11 Z の短絡故障およびオープン故障の有無の判断 ( 第 2 の短絡故障診断およびオープン故障診断 ) が行われる。このため、スイッチング素子 11 U ~ 11 Z の短絡故障およびオープン故障の有無の判断に際して主回路 13 にかかる電圧は、直流電源 30 から切り離される直前の電圧を超えることはない。このため、電力変換装置 10 では、直流電源 30 から主回路 13 を切り離す基準となる第 2 の閾値電圧  $V_{t2}$  を適切な値に設定しておくことで、短絡故障およびオープン故障の有無の判断に際して入力電源線 31 P および 31 N 間が短絡したとしても、主回路 13 における正常なスイッチング素子 11 U ~ 11 Z が破壊されることはない。

40

【 0 0 6 7 】

従って、電力変換装置 10 では、正常なスイッチング素子 11 U ~ 11 Z を破損することなくスイッチング素子 11 U ~ 11 Z の故障診断が可能である。

【 0 0 6 8 】

50

また、電力変換装置 10 では、各相の出力端がモータ 40 に接続された状態でスイッチング素子 11U ~ 11Z の故障の有無の判断が行われる。これにより、第 1 の短絡故障診断では、上アームのスイッチング素子 11U ~ 11W と、そのスイッチング素子 11U ~ 11W が属する相とは異なる他の相の下アームのスイッチング素子 11X ~ 11Z とに短絡故障が発生していた場合、モータ 40 を介して電流が流れることとなり、スイッチング素子 11U ~ 11Z に短絡故障が発生していない場合に比べてコンデンサ 14 の電圧の上昇が遥かに遅くなる。このため、電力変換装置 10 では、上アームのスイッチング素子 11U ~ 11W と、その上アームと同一相の下アームのスイッチング素子 11X ~ 11Z とに短絡故障が発生していた場合だけでなく、上アームのスイッチング素子 11U ~ 11W と、そのスイッチング素子 11U ~ 11W の属する相とは異なる他の相の下アームのスイッチング素子 11X ~ 11Z とに短絡故障が発生していた場合も含めて、それらスイッチング素子 11U ~ 11Z の短絡故障の有無を検出することができる。

10

**【0069】**

また、電力変換装置 10 では、オープン故障診断において、いずれかの相における上下アームの一方側のスイッチング素子 11U ~ 11Z と、その一方側のスイッチング素子 11U ~ 11Z を含む相とは異なる相のいずれかにおける他方側のスイッチング素子 11U ~ 11Z との両方にパルスを与えて、モータ 40 を介して 2 相通流させる。このため、電力変換装置 10 では、同一相の上下アームのスイッチング素子 11U ~ 11Z の両方をオンさせる態様に比べ、スイッチング素子 11U ~ 11Z に流れる電流を抑えることができ、正常なスイッチング素子 11U ~ 11Z を破損する虞がない。また、スイッチング素子 11U ~ 11Z に流れる電流が抑えられるため、特許文献 1 の技術に比べ、第 2 の短絡故障診断およびオープン故障診断の際のコンデンサ 14 にかかる電圧を高くすることが可能である。

20

**【0070】**

また、電力変換装置 10 では、第 2 の短絡故障診断およびオープン故障診断において、コンデンサ 14 の電圧の検出結果と出力電流の検出結果とに基づいてスイッチング素子 11U ~ 11Z の故障の有無を診断する。このため、電力変換装置 10 では、故障しているスイッチング素子 11U ~ 11Z を特定することができ、コンデンサ 14 の電圧の検出結果のみに基づいてスイッチング素子 11U ~ 11Z の故障の有無を診断する態様に比べ、故障診断の精度が向上する。

30

**【0071】**

また、モータを駆動制御する一般的な電力変換装置では、モータに供給する電流を制御するために各相の出力端とモータとの間に電流検出器が設けられることが多い。本実施形態の電力変換装置 10 では、このような位置に一般的に設置される電流検出器の検出結果を故障診断に用いる。このため、電力変換装置 10 では、スイッチング素子 11U ~ 11Z の故障診断のために新たな電流検出器を増設する必要が無く、コストを抑えることができる。

**【0072】**

また、電力変換装置 10 では、直流電源 30 に対して抵抗器 15 が直列接続された状態で第 1 の短絡故障診断が行われる。このため、電力変換装置 10 では、第 1 の短絡故障診断時に短絡故障が発生していたとしても、入力電源線 31P および 31N 間に流れる電流は抵抗器 15 によって限流されることとなり、正常なスイッチング素子 11U ~ 11Z 等に大きなダメージを与える可能性は低い。

40

**【0073】**

また、電力変換装置 10 では、所定時間  $T_{t1}$ 、第 1 の閾値電圧  $V_{t1}$  および第 2 の閾値電圧  $V_{t2}$  をコンデンサ 14 の容量や抵抗器 15 の抵抗値やスイッチング素子 11U ~ 11Z の耐電圧などに応じて設定変更しても良い。所定時間  $T_{t1}$ 、第 1 の閾値電圧  $V_{t1}$  および第 2 の閾値電圧  $V_{t2}$  を最適な値に設定することで、より安全に故障診断を行うことが可能となるからである。

**【0074】**

50

また、電力変換装置 10 では、所定時間  $T_{t1}$  を極力小さい値に設定しておくことで、電力変換装置 10 の電源が投入されてから第 1 の短絡故障診断の判断結果が出力されるまでの時間を極力短くすることができる。

【0075】

また、電力変換装置 10 では、初期充電の開始後の初期充電スイッチ  $SW2$  をオフするタイミングが故障診断部 20 によって指示される。これにより、電力変換装置 10 では、直流電源 30 の電圧が変動してコンデンサ 14 の充電に要する時間が変化したとしても、コンデンサ 14 の電圧が第 2 の閾値電圧に到達したタイミングで初期充電スイッチ  $SW2$  をオフすることができる。このため、電力変換装置 10 では、第 2 の短絡故障診断およびオープン故障診断における基準電圧を安定して得ることができる。

10

【0076】

(変形)

以上本発明の一実施形態について説明したが、これら実施形態に以下の変形を加えても勿論良い。

【0077】

(1) 実施形態の電力変換装置 10 は、出力が 3 相の構成であった。しかし、電力変換装置は、出力が 3 相の構成に限らず、出力が 2 相の構成であっても良いし、出力が 4 相以上の構成であっても良い。

【0078】

(2) 実施形態の電力変換装置 10 の故障診断部 20 は、第 1 の短絡故障診断、第 2 の短絡故障診断およびオープン故障診断の 3 種類の故障診断を行っていた。しかし、電力変換装置は、故障診断部 20 がこれら 3 種類の故障診断のすべてを行う態様に限らない。例えば、故障診断部 20 は、第 1 の短絡故障診断のみを行っても良いし、第 1 の故障診断を省略して第 2 の短絡故障診断とオープン故障診断の 2 種類の故障診断を行っても良い。また、故障診断部 20 は、初期充電スイッチ  $SW2$  をオフした後、第 2 の短絡故障診断を省略してオープン故障診断を行っても良い。また、故障診断部 20 は、オープン故障診断を省略して第 1 の短絡故障診断と第 2 の短絡故障診断を行っても良い。

20

【0079】

(3) 実施形態の電力変換装置 10 の提供に限らず、実施形態で説明した第 1 の短絡故障診断の方法、第 2 の短絡故障診断の方法およびオープン故障診断の方法を提供しても良い。

30

【0080】

(4) 実施形態の電力変換装置 10 のスイッチング素子  $11U \sim 11Z$  は、IGBT に限らない。例えば、スイッチング素子  $11U \sim 11Z$  は、GTO (Gate Turn-Off thyristor) や MOSFET (Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor; 金属-酸化膜-半導体構造の電界効果トランジスタ) などであっても良い。

【0081】

(5) 初期充電スイッチ  $SW2$  およびメインスイッチ  $SW1$  は、リレーに限らず、例えば、開閉器であっても良い。

40

【0082】

(6) ゲート駆動回路 16 に制御信号を出力してモータ 40 を駆動制御する制御回路とは別個の回路によって故障診断部 20 が実現されても良いし、その制御回路が故障診断部 20 の機能を兼ねても良い。

【符号の説明】

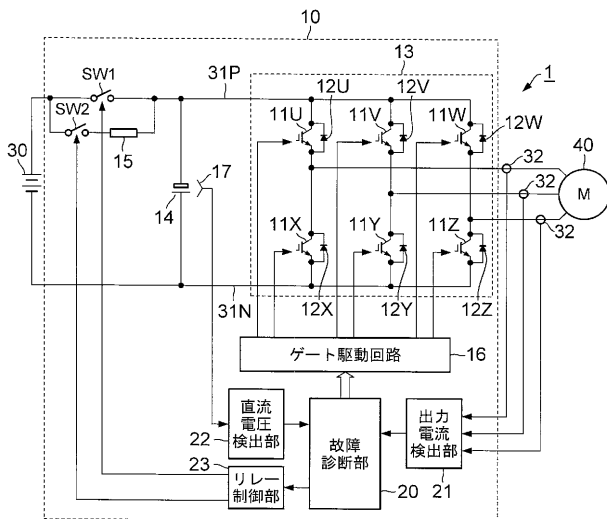
【0083】

1 ... モータ駆動システム、10 ... 電力変換装置、11U, 11V, 11W, 11X, 11Y, 11Z ... スwitching素子、12U, 12V, 12W, 12X, 12Y, 12Z ... 還流ダイオード、13 ... 主回路、14 ... コンデンサ、15 ... 抵抗器、16 ... ゲート駆動回路、17 ... 電圧検出器、 $SW1$  ... メインスイッチ、 $SW2$  ... 初期充電スイッチ、20 ... 故

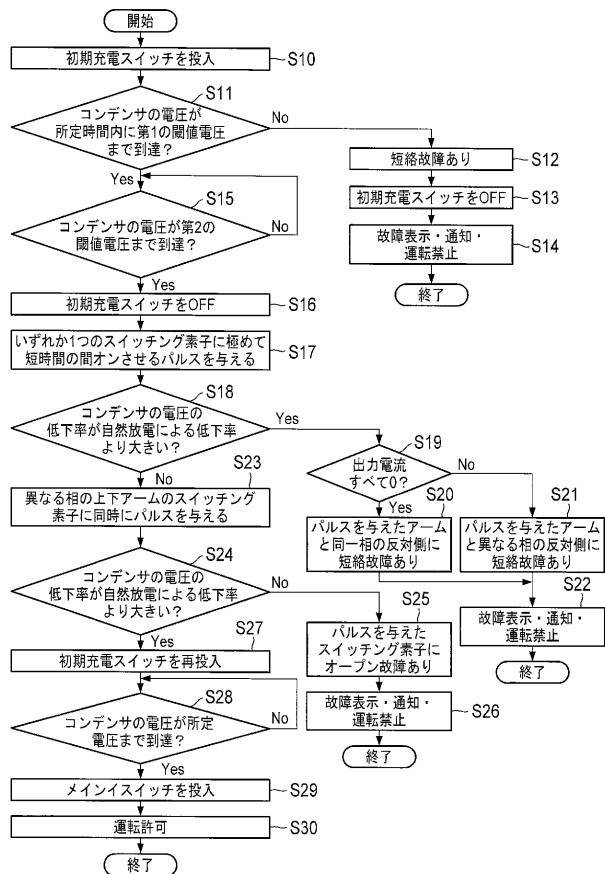
50

障診断部、21...出力電流検出部、22...直流電圧検出部、23...リレー制御部、30...  
直流電源、31P, 31N...入力電源線、32...電流検出器、40...モータ。

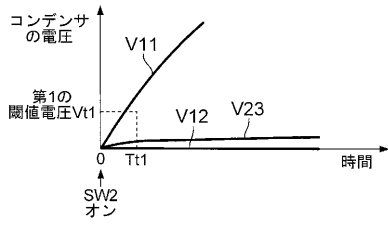
【図1】



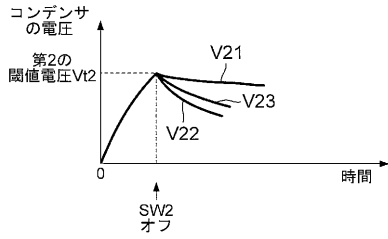
【図2】



【 図 3 】



【 図 4 】



【 図 5 】

