

(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  
2019年3月28日(28.03.2019)



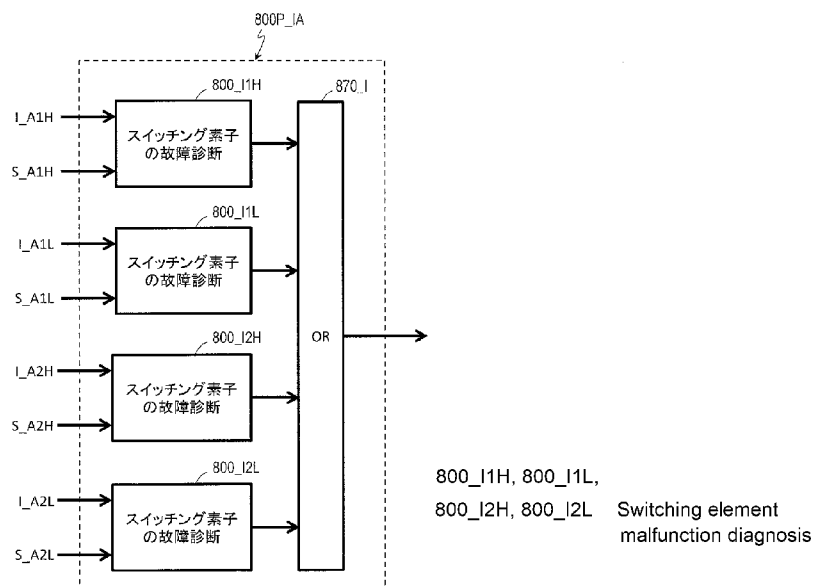
(10) 国際公開番号

**WO 2019/058675 A1**

- (51) 国際特許分類:  
*H02P 27/06* (2006.01) *H02M 7/48* (2007.01)  
*B62D 5/04* (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2018/023517
- (22) 国際出願日: 2018年6月20日(20.06.2018)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (30) 優先権データ:  
特願 2017-184128 2017年9月25日(25.09.2017) JP
- (71) 出願人: 日本電産株式会社 (**NIDEC CORPORATION**) [JP/JP]; 〒6018205 京都府京都市南区久世殿城町 3 3 8 番地 Kyoto (JP).
- (72) 発明者: ガデリー アハマッド (**GHADERI, Ahmad**); 〒6018205 京都府京都市南区久世殿城町 3 3 8 番地 日本電産株式会社内 Kyoto (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,

(54) **Title:** MALFUNCTION DIAGNOSIS METHOD, MOTOR CONTROL METHOD, POWER CONVERSION DEVICE, MOTOR MODULE, AND ELECTRIC POWER STEERING DEVICE

(54) 発明の名称: 故障診断方法、モータ制御方法、電力変換装置、モータモジュールおよび電動パワーステアリング装置



(57) **Abstract:** This malfunction diagnosis method involves executing, for each of a plurality of switching elements: a step for determining whether the current flowing in the switching element when the switching element has been controlled to be in an on state is below a prescribed current; a step for detecting, when the current flowing in the switching element is

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))

below the prescribed current, the amount of time that the current flowing in the switching element is below the prescribed current; a step for determining whether the detected amount of time is at least a prescribed amount of time; a step for counting, when the detected amount of time is at least the prescribed amount of time, the number of times that the detected amount of time has been at least the prescribed amount of time; and a step for determining whether a counted total number of times is at least a prescribed number of times. Of n phases, the phases of windings that are connected to switching elements for which the counted total number of times is at least the prescribed number of times are determined to be malfunctioning phases.

(57) 要約: 実施形態にかかる故障診断方法は、複数のスイッチング素子のそれぞれにおいて、スイッチング素子がオン状態に制御されたときにスイッチング素子に流れる電流が所定電流未満であるか判定するステップと、スイッチング素子に流れる電流が所定電流未満である場合、スイッチング素子に流れる電流が所定電流未満になる時間を検出するステップと、検出した時間が所定時間以上であるか判定するステップと、検出した時間が所定時間以上である場合、検出した時間が所定時間以上になる回数をカウントするステップと、カウントした合計回数が所定回数以上であるか判定するステップとを実行し、n相のうちの、カウントした合計回数が所定回数以上となるスイッチング素子が接続される巻線の相を故障した相と判定する。

## 明 細 書

発明の名称：

故障診断方法、モータ制御方法、電力変換装置、モータモジュールおよび  
電動パワーステアリング装置

### 技術分野

[0001] 本開示は、故障診断方法、モータ制御方法、電力変換装置、モータモジュールおよび電動パワーステアリング装置に関する。

### 背景技術

[0002] 近年、電動モータ（以下、単に「モータ」と表記する。）、インバータおよびECUが一体化された機電一体型モータが開発されている。特に車載分野において、安全性の観点から高い品質保証が要求される。そのため、部品の一部が故障した場合でも安全動作を継続できる冗長設計が取り入れられている。冗長設計の一例として、1つのモータに対して2つの電力変換装置を設けることが検討されている。他の一例としてメインのマイクロコントローラにバックアップ用マイクロコントローラを設けることが検討されている。

[0003] 特許文献1は、第1系統および第2系統を有するモータ駆動装置を開示する。第1系統は、モータの第1巻線組に接続され、第1インバータ部、電源リレーおよび逆接続保護リレーなどを有する。第2系統は、モータの第2巻線組に接続され、第2インバータ部、電源リレーおよび逆接続保護リレーなどを有する。モータ駆動装置に故障が生じていないとき、第1系統および第2系統の両方を用いてモータを駆動することが可能である。これに対し、第1系統および第2系統の一方、または、第1巻線組および第2巻線組の一方に故障が生じたとき、電源リレーは、電源から、故障した系統、または、故障した巻線組に接続された系統への電力供給を遮断する。故障していない他方の系統を用いてモータ駆動を継続させることが可能である。

[0004] 特許文献2および3も、第1系統および第2系統を有するモータ駆動装置を開示する。一方の系統または一方の巻線組が故障したとしても、故障してい

ない系統によってモータ駆動を継続させることができる。

- [0005] 特許文献4は、4つの電氣的分離手段、および、2つのインバータを有し、三相モータに供給する電力を変換するモータ駆動装置を開示する。1つのインバータに対し、電源およびインバータの間に1つの電氣的分離手段が設けられ、インバータおよびグランド（以下、GNDと表記する。）の間に1つの電氣的分離手段が設けられている。故障したインバータにおける巻線の中性点を用いて、故障していないインバータによってモータを駆動することが可能である。そのとき、故障したインバータに接続された2つの電氣的分離手段を遮断状態にすることによって、故障したインバータは電源およびGNDから分離される。

## 先行技術文献

### 特許文献

- [0006] 特許文献1：特開2016-34204号公報  
特許文献2：特開2016-32977号公報  
特許文献3：特開2008-132919号公報  
特許文献4：特許第5797751号公報

## 発明の概要

### 発明が解決しようとする課題

- [0007] 上記のような電力変換装置を用いてモータを駆動する装置において、電力変換装置に故障が発生した場合、その故障箇所を特定することが求められる。
- [0008] 例えば、電力変換装置が備えるスイッチング素子に故障が発生した場合、複数のスイッチング素子のうちのどのスイッチング素子が故障したのかを特定することが求められる。また、例えば、 $n$ 相（ $n$ は3以上の整数）の巻線を備えるモータに電力を供給する電力変換装置に故障が発生した場合、複数の相のうちのどの相が故障したのかを特定することが求められる。
- [0009] 本開示の実施形態は、故障が発生した場合に、複数のスイッチング素子のうちのどのスイッチング素子が故障したのかを特定することが可能な故障診断

方法を提供する。

[0010] また、本開示の実施形態は、故障が発生した場合に、複数の相のうちのどの相が故障したのかを特定することが可能な故障診断方法を提供する。

### 課題を解決するための手段

[0011] 本開示の例示的な故障診断方法は、モータに電力を供給する電力変換装置の故障の有無を診断する故障診断方法であって、前記電力変換装置は、複数のスイッチング素子を備え、前記複数のスイッチング素子は、前記モータが備える $n$ 相（ $n$ は3以上の整数）の巻線に接続され、前記複数のスイッチング素子のそれぞれにおいて、前記スイッチング素子がオン状態に制御されたときに前記スイッチング素子に流れる電流が所定電流未満であるか判定するステップと、前記スイッチング素子に流れる電流が前記所定電流未満である場合、前記スイッチング素子に流れる電流が前記所定電流未満になる時間を検出するステップと、前記検出した時間が所定時間以上であるか判定するステップと、前記検出した時間が前記所定時間以上である場合、前記検出した時間が前記所定時間以上になる回数をカウントするステップと、前記カウントした合計回数が所定回数以上であるか判定するステップとを実行し、前記 $n$ 相のうちの、前記カウントした合計回数が前記所定回数以上となるスイッチング素子が接続される前記巻線の相を故障した相と判定する。

[0012] 本開示の実施形態によれば、故障が発生した場合に、複数のスイッチング素子のうちのどのスイッチング素子が故障したのかを特定することができる。

### 発明の効果

[0013] また、本開示の実施形態によれば、故障が発生した場合に、複数の相のうちのどの相が故障したのかを特定することができる。

### 図面の簡単な説明

[0014] [図1]図1は、例示的な実施形態1によるモータモジュール2000の典型的なブロック構成を模式的に示すブロック図である。

[図2]図2は、例示的な実施形態1によるインバータユニット100の回路構成を模式的に示す回路図である。

[図3]図3は、三相通電制御に従ってインバータユニット100を制御したときにモータ200のA相、B相およびC相の各巻線に流れる電流値をプロットして得られる電流波形（正弦波）を例示するグラフである。

[図4]図4は、モータ制御全般を行うためのコントローラ340の機能ブロックを例示する機能ブロック図である。

[図5]図5は、スイッチング素子を流れる電流の値を用いて、スイッチング素子の故障の有無を診断する動作を示すフローチャートである。

[図6]図6は、スイッチング素子を流れる電流の値を用いて、スイッチング素子の故障の有無を診断する動作の一例を説明する図である。

[図7]図7は、ANDブロック822の出力値、積分器831の出力値、比較器841の出力値の関係を示す図である。

[図8]図8は、ANDブロック822の出力値、積分器831の出力値、比較器851の出力値の関係を示す図である。

[図9]図9は、スイッチング素子にかかる電圧の値を用いて、スイッチング素子の故障の有無を診断する動作を示すフローチャートである。

[図10]図10は、スイッチング素子にかかる電圧の値を用いて、スイッチング素子の故障の有無を診断する動作の一例を説明する図である。

[図11]図11は、電流値および電圧値の両方を用いてスイッチング素子の故障の有無を診断するコントローラ340を示す図である。

[図12]図12は、故障診断ユニット800\_\_I Vの機能ブロックの一例を示す図である。

[図13]図13は、故障診断ユニット800\_\_I Vの機能ブロックの別の例を示す図である。

[図14]図14は、電流値を用いて相の故障の有無を診断するコントローラ340を示す図である。

[図15]図15は、故障診断ユニット800P\_\_Iの機能ブロックの一例を示す図である。

[図16]図16は、故障診断ユニット800P\_\_I Aの機能ブロックの一例を

示す図である。

[図17]図17は、電圧値を用いて相の故障の有無を診断するコントローラ340を示す図である。

[図18]図18は、故障診断ユニット800P\_\_Vの機能ブロックの一例を示す図である。

[図19]図19は、故障診断ユニット800P\_\_VAの機能ブロックの一例を示す図である。

[図20]図20は、電流値および電圧値の両方を用いて相の故障の有無を診断するコントローラ340を示す図である。

[図21]図21は、故障診断ユニット800P\_\_IVの機能ブロックの一例を示す図である

[図22]図22は、故障診断ユニット800P\_\_IVの機能ブロックの別の例を示す図である

[図23]図23は、実施形態1の変形例による、単体のインバータ140を有するインバータユニット100Aの回路構成を模式的に示す回路図である。

[図24]図24は、実施形態2による電動パワーステアリング装置3000の典型的な構成を示す模式図である。

### 発明を実施するための形態

[0015] 以下、添付の図面を参照しながら、本開示の故障診断方法、モータ制御方法、電力変換装置、モータモジュールおよび電動パワーステアリング装置の実施形態を詳細に説明する。但し、以下の説明が不必要に冗長になるのを避け、当業者の理解を容易にするため、必要以上に詳細な説明は省略する場合がある。例えば、既によく知られた事項の詳細説明や実質的に同一の構成に対する重複説明を省略する場合がある。

[0016] 本明細書において、電源からの電力を、三相（A相、B相、C相）の巻線を有する三相モータに供給する電力に変換する電力変換装置を例にして、本開示の実施形態を説明する。ただし、電源からの電力を、四相または五相などのn相（nは4以上の整数）の巻線を有するn相モータに供給する電力に変

換する電力変換装置、およびその装置に用いるモータ制御方法も本開示の範疇である。

[0017] (実施形態1)

〔1. モータモジュール2000および電力変換装置1000の構造〕

図1は、本実施形態によるモータモジュール2000の典型的なブロック構成を模式的に示している。

[0018] モータモジュール2000は、典型的に、電力変換装置1000およびモータ200を備える。電力変換装置1000は、インバータユニット100と制御回路300とを備える。モータモジュール2000は、モジュール化され、例えば、モータ、センサ、ドライバおよびコントローラを有する機電一体型モータとして製造および販売され得る。

[0019] 電力変換装置1000は、電源101（図2を参照）からの電力をモータ200に供給する電力に変換することが可能である。電力変換装置1000は、モータ200に接続される。例えば、電力変換装置1000は、直流電力を、A相、B相およびC相の擬似正弦波である三相交流電力に変換することが可能である。本明細書において、部品（構成要素）同士の間の「接続」とは、主に電氣的な接続を意味する。

[0020] モータ200は、例えば三相交流モータである。モータ200は、A相の巻線M1、B相の巻線M2およびC相の巻線M3を備え、インバータユニット100の第1インバータ120と第2インバータ130とに接続される。具体的に説明すると、第1インバータ120はモータ200の各相の巻線の一端に接続され、第2インバータ130は各相の巻線他端に接続される。

[0021] 制御回路300は、例えば、電源回路310と、角度センサ320と、入力回路330と、コントローラ340と、駆動回路350と、ROM360とを備える。制御回路300の各部品は、例えば1枚の回路基板（典型的にはプリント基板）に実装される。制御回路300は、インバータユニット100に接続され、電流センサ150および角度センサ320からの入力信号に基づいてインバータユニット100を制御する。その制御手法として、例え

ばベクトル制御、パルス幅変調（PWM）または直接トルク制御（DTC）がある。ただし、モータ制御手法（例えばセンサレス制御）によっては、角度センサ320は不要な場合がある。

[0022] 制御回路300は、目的とする、モータ200のロータの位置、回転速度、および電流などを制御してクローズドループ制御を実現することができる。なお、制御回路300は、角度センサ320に代えてトルクセンサを備えてもよい。この場合、制御回路300は、目的とするモータトルクを制御することができる。

[0023] 電源回路310は、電源101の例えば12Vの電圧に基づいて回路内の各ブロックに必要な電源電圧（例えば3V、5V）を生成する。

[0024] 角度センサ320は、例えばレゾルバまたはホールICである。または、角度センサ320は、磁気抵抗（MR）素子を有するMRセンサとセンサマグネットとの組み合わせによっても実現される。角度センサ320は、ロータの回転角（以下、「回転信号」と表記する。）を検出し、回転信号をコントローラ340に出力する。

[0025] 入力回路330は、電流センサ150によって検出された相電流（以下、「実電流値」と表記する場合がある。）を受け取って、実電流値のレベルをコントローラ340の入力レベルに必要な応じて変換し、実電流値をコントローラ340に出力する。入力回路330は、例えばアナログデジタル変換回路である。

[0026] コントローラ340は、電力変換装置1000の全体を制御する集積回路であり、例えば、マイクロコントローラまたはFPGA（Field Programmable Gate Array）である。コントローラ340は、インバータユニット100の第1および第2インバータ120、130における各スイッチング素子（典型的には半導体スイッチング素子）のスイッチング動作（ターンオンまたはターンオフ）を制御する。コントローラ340は、実電流値およびロータの回転信号などに従って目標電流値を設定してPWM信号を生成し、それを駆動回路350に出力する。

[0027] 駆動回路 350 は、典型的にはブリドライバ（「ゲートドライバ」と呼ばれることもある。）である。駆動回路 350 は、インバータユニット 100 の第 1 および第 2 インバータ 120、130 における各スイッチング素子のスイッチング動作を制御する制御信号（ゲート制御信号）を PWM 信号に従って生成し、各スイッチング素子のゲートに制御信号を与える。駆動対象が低電圧で駆動可能なモータであるとき、ブリドライバは必ずしも必要とされない場合がある。その場合、ブリドライバの機能は、コントローラ 340 に実装され得る。

[0028] 駆動回路 350 は、電圧検出回路 380 を備える。電圧検出回路 380 は、例えば、第 1 および第 2 インバータ 120、130 が備える複数のスイッチング素子のそれぞれにかかる電圧を検出する。例えば、スイッチング素子が FET である場合は、電圧検出回路 380 は、各 FET のソースドレイン間の電圧を検出する。

[0029] ROM 360 は、例えば書き込み可能なメモリ（例えば PROM）、書き換え可能なメモリ（例えばフラッシュメモリ）または読み出し専用のメモリである。ROM 360 は、コントローラ 340 に電力変換装置 1000 を制御させるための命令群を含む制御プログラムを格納している。例えば、制御プログラムはブート時に RAM（不図示）に一旦展開される。

[0030] 図 2 を参照し、インバータユニット 100 の具体的な回路構成を説明する。

[0031] 図 2 は、本実施形態によるインバータユニット 100 の回路構成を模式的に示している。

[0032] 電源 101 は、所定の電源電圧（例えば 12V）を生成する。電源 101 として、例えば直流電源が用いられる。ただし、電源 101 は、AC-DC コンバータまたは DC-DC コンバータであってもよいし、バッテリー（蓄電池）であってもよい。電源 101 は、図示するように、第 1 および第 2 インバータ 120、130 に共通の単一電源であってもよいし、第 1 インバータ 120 用の第 1 電源（不図示）および第 2 インバータ 130 用の第 2 電源（不図示）を備えていてもよい。

- [0033] ヒューズ I SW\_\_1 1、I SW\_\_1 2 が、電源 1 0 1 と第 1 インバータ 1 2 0 との間に接続される。ヒューズ I SW\_\_1 1、I SW\_\_1 2 は、電源 1 0 1 から第 1 インバータ 1 2 0 に流れ得る大電流を遮断することができる。ヒューズ I SW\_\_2 1、I SW\_\_2 2 が、電源 1 0 1 と第 2 インバータ 1 3 0 との間に接続される。ヒューズ I SW\_\_2 1、I SW\_\_2 2 は、電源 1 0 1 から第 2 インバータ 1 3 0 に流れ得る大電流を遮断することができる。ヒューズの代わりにリレーなどを用いてもよい。
- [0034] 図示されていないが、電源 1 0 1 と第 1 インバータ 1 2 0 の間、および、電源 1 0 1 と第 2 インバータ 1 3 0 の間にコイルが設けられる。コイルは、ノイズフィルタとして機能し、各インバータに供給する電圧波形に含まれる高周波ノイズ、または各インバータで発生する高周波ノイズを電源 1 0 1 側に流出させないように平滑化する。また、各インバータの電源端子には、コンデンサが接続される。コンデンサは、いわゆるバイパスコンデンサであり、電圧リップルを抑制する。コンデンサは、例えば電解コンデンサであり、容量および使用する個数は設計仕様などによって適宜決定される。
- [0035] 第 1 インバータ 1 2 0 は、3 個のレグから構成されるブリッジ回路を有する。各レグは、ハイサイドスイッチング素子、ローサイドスイッチング素子及びシャント抵抗を有する。A 相レグは、ハイサイドスイッチング素子 SW\_\_A 1 H、ローサイドスイッチング素子 SW\_\_A 1 L 及び第 1 シャント抵抗 S\_\_A 1 を有する。B 相レグは、ハイサイドスイッチング素子 SW\_\_B 1 H、ローサイドスイッチング素子 SW\_\_B 1 L 及び第 1 シャント抵抗 S\_\_B 1 を有する。C 相レグは、ハイサイドスイッチング素子 SW\_\_C 1 H、ローサイドスイッチング素子 SW\_\_C 1 L 及び第 1 シャント抵抗 S\_\_C 1 を有する。
- [0036] スwitching素子として、例えば、寄生ダイオードが内部に形成された電界効果トランジスタ（典型的には MOSFET）、または、絶縁ゲートバイポーラトランジスタ（IGBT）とそれに並列接続された還流ダイオードとの組み合わせを用いることができる。

[0037] 第1シャント抵抗 $S\_A1$ は、A相の巻線 $M1$ を流れるA相電流 $I\_A1$ を検出するために用いられ、例えば、ローサイドスイッチング素子 $SW\_A1L$ とGNDライン $GL$ の間に接続される。第1シャント抵抗 $S\_B1$ は、B相の巻線 $M2$ を流れるB相電流 $I\_B1$ を検出するために用いられ、例えば、ローサイドスイッチング素子 $SW\_B1L$ とGNDライン $GL$ の間に接続される。第1シャント抵抗 $S\_C1$ は、C相の巻線 $M3$ を流れるC相電流 $I\_C1$ を検出するために用いられ、例えば、ローサイドスイッチング素子 $SW\_C1L$ とGNDライン $GL$ の間に接続される。3個のシャント抵抗 $S\_A1$ 、 $S\_B1$ 、 $S\_C1$ は、第1インバータ120のGNDライン $GL$ と共通に接続されている。

[0038] 第2インバータ130は、3個のlegから構成されるブリッジ回路を有する。各legは、ハイサイドスイッチング素子、ローサイドスイッチング素子およびシャント抵抗を有する。A相legは、ハイサイドスイッチング素子 $SW\_A2H$ 、ローサイドスイッチング素子 $SW\_A2L$ およびシャント抵抗 $S\_A2$ を有する。B相legは、ハイサイドスイッチング素子 $SW\_B2H$ 、ローサイドスイッチング素子 $SW\_B2L$ およびシャント抵抗 $S\_B2$ を有する。C相legは、ハイサイドスイッチング素子 $SW\_C2H$ 、ローサイドスイッチング素子 $SW\_C2L$ およびシャント抵抗 $S\_C2$ を有する。

[0039] シャント抵抗 $S\_A2$ は、A相電流 $I\_A2$ を検出するために用いられ、例えば、ローサイドスイッチング素子 $SW\_A2L$ とGNDライン $GL$ の間に接続される。シャント抵抗 $S\_B2$ は、B相電流 $I\_B2$ を検出するために用いられ、例えば、ローサイドスイッチング素子 $SW\_B2L$ とGNDライン $GL$ の間に接続される。シャント抵抗 $S\_C2$ は、C相電流 $I\_C2$ を検出するために用いられ、例えばローサイドスイッチング素子 $SW\_C2L$ とGNDライン $GL$ の間に接続される。3個のシャント抵抗 $S\_A2$ 、 $S\_B2$ 、 $S\_C2$ は、第2インバータ130のGNDライン $GL$ と共通に接続される。

[0040] 上述した電流センサ150は、例えば、シャント抵抗 $S\_A1$ 、 $S\_B1$ 、 $S\_C1$ 、 $S\_A2$ 、 $S\_B2$ 、 $S\_C2$ および各シャント抵抗に流れる電

流を検出する電流検出回路（不図示）を備える。

[0041] 第1インバータ120のA相レグ（具体的には、ハイサイドスイッチング素子SW\_\_A1Hおよびローサイドスイッチング素子SW\_\_A1Lの間のノード）は、モータ200のA相の巻線M1の一端A1に接続され、第2インバータ130のA相レグは、A相の巻線M1の他端A2に接続される。第1インバータ120のB相レグは、モータ200のB相の巻線M2の一端B1に接続され、第2インバータ130のB相レグは、巻線M2の他端B2に接続される。第1インバータ120のC相レグは、モータ200のC相の巻線M3の一端C1に接続され、第2インバータ130のC相レグは、巻線M3の他端C2に接続される。

[0042] 制御回路300は、第1および第2インバータ120、130の両方を用いて三相通電制御することによってモータ200を駆動する。具体的に、制御回路300は、第1インバータ110のスイッチング素子と第2インバータ140のスイッチング素子とを互いに逆位相（位相差＝180°）でスイッチング制御することにより三相通電制御を行う。このとき、ヒューズISW\_\_11、ISW\_\_12、ISW\_\_21、ISW\_\_22はオンにする。例えば、スイッチング素子SW\_\_A1L、SW\_\_A1H、SW\_\_A2LおよびSW\_\_A2Hを含むHブリッジに着目すると、スイッチング素子SW\_\_A1Lがオンすると、スイッチング素子SW\_\_A2Lはオフし、スイッチング素子SW\_\_A1Lがオフすると、スイッチング素子SW\_\_A2Lはオンする。これと同様に、スイッチング素子SW\_\_A1Hがオンすると、スイッチング素子SW\_\_A2Hはオフし、スイッチング素子SW\_\_A1Hがオフすると、スイッチング素子SW\_\_A2Hはオンする。電源101から出力された電流は、ハイサイドスイッチング素子、巻線、ローサイドスイッチング素子を通してGNDラインGLに流れる。電力変換装置100の結線は、オープン結線と称される場合がある。

[0043] ここで、A相の巻線M1を流れる電流の経路の例を説明する。スイッチング素子SW\_\_A1Hおよびスイッチング素子SW\_\_A2Lがオンであり、スイ

ツチング素子SW\_\_A 2 Hおよびスイッチング素子SW\_\_A 1 Lがオフのとき、電流は、電源1 0 1、スイッチング素子SW\_\_A 1 H、巻線M 1、スイッチング素子SW\_\_A 2 L、GNDラインG Lの順に流れる。スイッチング素子SW\_\_A 2 Hおよびスイッチング素子SW\_\_A 1 Lがオンであり、スイッチング素子SW\_\_A 1 Hおよびスイッチング素子SW\_\_A 2 Lがオフのとき、電流は、電源1 0 1、スイッチング素子SW\_\_A 2 H、巻線M 1、スイッチング素子SW\_\_A 1 L、GNDラインG Lの順に流れる。

[0044] なお、スイッチング素子SW\_\_A 1 Hから巻線M 1へ流れた電流の一部が、スイッチング素子SW\_\_A 2 Hへ流れる場合がある。すなわち、スイッチング素子SW\_\_A 1 Hから巻線M 1へ流れた電流が、スイッチング素子SW\_\_A 2 Lとスイッチング素子SW\_\_A 2 Hとに分岐して流れる場合がある。同様に、スイッチング素子SW\_\_A 2 Hから巻線M 1へ流れた電流の一部が、スイッチング素子SW\_\_A 1 Hへ流れる場合がある。

[0045] 次に、B相の巻線M 2を流れる電流の経路の例を説明する。スイッチング素子SW\_\_B 1 Hおよびスイッチング素子SW\_\_B 2 Lがオンであり、スイッチング素子SW\_\_B 2 Hおよびスイッチング素子SW\_\_B 1 Lがオフのとき、電流は、電源1 0 1、スイッチング素子SW\_\_B 1 H、巻線M 2、スイッチング素子SW\_\_B 2 L、GNDラインG Lの順に流れる。スイッチング素子SW\_\_B 2 Hおよびスイッチング素子SW\_\_B 1 Lがオンであり、スイッチング素子SW\_\_B 1 Hおよびスイッチング素子SW\_\_B 2 Lがオフのとき、電流は、電源1 0 1、スイッチング素子SW\_\_B 2 H、巻線M 2、スイッチング素子SW\_\_B 1 L、GNDラインG Lの順に流れる。

[0046] なお、上記と同様に、スイッチング素子SW\_\_B 1 Hから巻線M 2へ流れた電流の一部が、スイッチング素子SW\_\_B 2 Hへ流れる場合がある。また、スイッチング素子SW\_\_B 2 Hから巻線M 2へ流れた電流の一部が、スイッチング素子SW\_\_B 1 Hへ流れる場合がある。

[0047] 次に、C相の巻線M 3を流れる電流の経路の例を説明する。スイッチング素子SW\_\_C 1 Hおよびスイッチング素子SW\_\_C 2 Lがオンであり、スイッ

チング素子SW\_\_C 2 Hおよびスイッチング素子SW\_\_C 1 Lがオフのとき、電流は、電源1 0 1、スイッチング素子SW\_\_C 1 H、巻線M 3、スイッチング素子SW\_\_C 2 L、GNDラインG Lの順に流れる。スイッチング素子SW\_\_C 2 Hおよびスイッチング素子SW\_\_C 1 Lがオンであり、スイッチング素子SW\_\_C 1 Hおよびスイッチング素子SW\_\_C 2 Lがオフのとき、電流は、電源1 0 1、スイッチング素子SW\_\_C 2 H、巻線M 3、スイッチング素子SW\_\_C 1 L、GNDラインG Lの順に流れる。

[0048] なお、上記と同様に、スイッチング素子SW\_\_C 1 Hから巻線M 3へ流れた電流の一部が、スイッチング素子SW\_\_C 2 Hへ流れる場合がある。また、スイッチング素子SW\_\_C 2 Hから巻線M 3へ流れた電流の一部が、スイッチング素子SW\_\_C 1 Hへ流れる場合がある。

[0049] 図3は、三相通電制御に従ってインバータユニット1 0 0を制御したときにモータ2 0 0のA相、B相およびC相の各巻線に流れる電流値をプロットして得られる電流波形（正弦波）を例示している。横軸は、モータ電気角（deg）を示し、縦軸は電流値（A）を示している。図3の電流波形において、電気角3 0°毎に電流値をプロットしている。 $I_{pk}$ は各相の最大電流値（ピーク電流値）を表している。例えば、制御回路3 0 0は、図3に示す電流波形を得るためのPWM信号を生成することができる。

[0050] [2. 故障診断]

次に、本実施形態による故障診断方法を説明する。ここでは、図1に示す電力変換装置1 0 0 0を例に、スイッチング素子の故障の有無を診断する方法を説明する。

[0051] スwitchング素子がFETである場合、故障には大きく分けて「オープン故障」と「ショート故障」とがある。「オープン故障」は、FETのソースドレイン間が開放する故障（換言すると、ソースドレイン間の抵抗が常時ハイインピーダンスになること）を指す。「ショート故障」は、FETのソースドレイン間が常時短絡する故障を指す。本実施形態の故障診断では、スイッチング素子のオープン故障を検出する。

- [0052] 本実施形態による故障診断方法を実現するためのアルゴリズムは、例えばマイクロコントローラ、特定用途向け集積回路（ASIC）またはFPGAなどのハードウェアのみで実現することもできるし、ハードウェアおよびソフトウェアの組み合わせによっても実現することができる。
- [0053] 図4は、モータ制御全般を行うためのコントローラ340の機能ブロックを例示している。図5は、コントローラ340が実行する故障診断の一例を示すフローチャートである。
- [0054] 本明細書において、機能ブロック図における各ブロックは、ハードウェア単位ではなく機能ブロック単位で示される。モータ制御および故障診断に用いるソフトウェアは、例えば、各機能ブロックに対応した特定の処理を実行させるためのコンピュータプログラムを構成するモジュールであり得る。そのようなコンピュータプログラムは、例えばROM360に格納される。コントローラ340は、ROM360から命令を読み出して各処理を逐次実行することができる。
- [0055] コントローラ340は、入力回路330（図1）を介して、電流センサ150が検出した電流値を受け取る。電流センサ150が上記のシャント抵抗を用いて各相を流れる電流を検出することで、第1および第2インバータ120、130が備える複数のスイッチング素子のそれぞれを流れる電流を把握することができる。電圧検出回路380（図1）は、例えば、第1および第2インバータ120、130が備える複数のスイッチング素子のそれぞれにかかる電圧を検出して、コントローラ340へ出力する。
- [0056] コントローラ340は、例えば、故障診断ユニット800およびモータ制御ユニット900を有する。故障診断ユニット800は、複数のスイッチング素子のそれぞれに関する電流および／または電圧の情報を用いて、故障の有無を診断する。故障診断ユニット800は、故障の有無の診断結果を示す信号をモータ制御ユニット900に出力する。
- [0057] モータ制御ユニット900は、例えばベクトル制御を用いて、第1および第2インバータ120、130のスイッチング素子のスイッチング動作の全般

を制御するPWM信号を、診断結果に基づいて生成する。モータ制御ユニット900は、PWM信号を駆動回路350に出力する。

[0058] モータ制御ユニット900は、第1および第2インバータ120、130の制御を診断結果に応じて切替える。具体的に説明すると、モータ制御ユニット900は、第1および第2インバータ120、130のスイッチング素子のオン・オフ動作を診断結果に基づいて決定することが可能である。モータ制御ユニット900は、さらに、ヒューズISW\_\_11、ISW\_\_12、ISW\_\_21およびISW\_\_22のオン・オフ動作を診断結果に基づいて決定することが可能である。

[0059] 本明細書において、説明の便宜上、各機能ブロックをユニットと表記する場合がある。当然に、この表記は、各機能ブロックを、ハードウェアまたはソフトウェアに限定解釈する意図で用いられない。

[0060] 各機能ブロックはソフトウェアとしてコントローラ340に実装される場合、そのソフトウェアの実行主体は、例えばコントローラ340のコアであり得る。上述したように、コントローラ340は、FPGAによって実現され得る。その場合、全てまたは一部の機能ブロックは、ハードウェアで実現され得る。

[0061] 複数のFPGAを用いて処理を分散させることにより、特定のコンピュータの演算負荷を分散させることができる。その場合、図示される機能ブロックの全てまたは一部は、複数のFPGAに分散して実装され得る。複数のFPGAは、例えば車載のコントロールエリアネットワーク（CAN）によって互いに通信可能に接続され、データの送受信を行うことが可能である。

[0062] 第1および第2インバータ120、130が備える複数のスイッチング素子に故障が発生していないとき、制御回路300は、正常時の制御モードとして上記の三相通電制御を実行する。三相通電制御において、複数のスイッチング素子のそれぞれは、オンとオフの切替えを繰り返す。故障診断ユニット800は、第1および第2インバータ120、130が備える12個のスイッチング素子SW\_\_A1H、SW\_\_A1L、SW\_\_B1H、SW\_\_B1L、

SW\_\_C1H、SW\_\_C1L、SW\_\_A2H、SW\_\_A2L、SW\_\_B2H、SW\_\_B2L、SW\_\_C2H、SW\_\_C2Lのそれぞれに対して、本実施形態の故障診断を実行する。

[0063] [2-1. 電流値を用いたスイッチング素子の故障診断]

図5を参照しながら、スイッチング素子を流れる電流を検出してスイッチング素子の故障の有無を診断する動作を説明する。スイッチング素子がFETである場合、スイッチング素子を流れる電流は、FETのソースとドレインとの間を流れる電流である。ここでは、スイッチング素子を流れる電流の値を用いてスイッチング素子の故障の有無を診断する故障診断ユニット800を故障診断ユニット800\_\_Iと表現する。

[0064] ここでは、第1および第2インバータ120、130が備える複数のスイッチング素子のうちの1つであるスイッチング素子SW\_\_A1Hの故障の有無を診断する例を説明する。この故障診断は、スイッチング素子SW\_\_A1Hをオンにする動作を行う毎に繰り返し行され得る。

[0065] 故障診断ユニット800\_\_Iは、スイッチング素子SW\_\_A1Hがオン状態に制御されたときにスイッチング素子SW\_\_A1Hを流れる電流を検出する（ステップS101）。例えば、スイッチング素子SW\_\_A1Hおよびスイッチング素子SW\_\_A2Lがオンであり、スイッチング素子SW\_\_A2Hおよびスイッチング素子SW\_\_A1Lがオフのとき、電流は、電源101、スイッチング素子SW\_\_A1H、巻線M1、スイッチング素子SW\_\_A2L、シャント抵抗S\_\_A2、GNDラインGLの順に流れる。シャント抵抗S\_\_A2を流れる電流の大きさは、スイッチング素子SW\_\_A1Hを流れる電流の大きさに該当する。故障診断ユニット800\_\_Iは、例えば、シャント抵抗S\_\_A2を流れる電流からスイッチング素子SW\_\_A1Hを流れる電流の大きさを検出することができる。

[0066] 次に、故障診断ユニット800\_\_Iは、スイッチング素子SW\_\_A1Hがオン状態に制御されたときにスイッチング素子SW\_\_A1Hを流れる電流が所定電流未満であるか判定する（ステップS102）。所定電流は例えば10

mAである。なお、10mAは一例であり、本開示の実施形態はそれに限定されない。

[0067] この例では、スイッチング素子SW\_\_A1Hが故障していない、すなわち正常である場合は、ゲート制御信号が供給されたスイッチング素子SW\_\_A1Hには10mA以上の電流が流れる。スイッチング素子SW\_\_A1Hがオープン故障している場合、ゲート制御信号が供給されたスイッチング素子SW\_\_A1Hを流れる電流は10mA未満になる。

[0068] 故障診断ユニット800\_\_Iは、検出した電流は10mA未満でないと判定した場合、スイッチング素子SW\_\_A1Hは正常であると判定する（ステップS108）。故障診断ユニット800\_\_Iは、スイッチング素子SW\_\_A1Hが正常であることを示す信号をモータ制御ユニット900に出力し、ステップS101の処理に戻る。

[0069] ステップS102において、検出した電流が10mA未満であると判定した場合、ステップS103の処理に進む。ステップS103において、故障診断ユニット800\_\_Iは、スイッチング素子SW\_\_A1Hがオン状態に制御されたときに、スイッチング素子SW\_\_A1Hを流れる電流が10mA未満になる時間を検出する。次に、故障診断ユニット800\_\_Iは、検出した時間が所定時間以上であるか判定する（ステップS104）。所定時間は例えば50μsである。なお、50μsは一例であり、本開示の実施形態はそれに限定されない。所定時間は、モータ200の構造および回転数に応じて設定され得る。

[0070] スwitchング素子SW\_\_A1Hが正常である場合であっても、ノイズ等の外乱により、オン状態のスイッチング素子SW\_\_A1Hを流れる電流が10mA未満になることが短時間発生し得る。このようなノイズに起因した異常値に基づいて、スイッチング素子SW\_\_A1Hは異常であると判定してしまうと、正しい判定ができない。そこで、本実施形態では、電流が10mA未満になる時間が短時間（例えば50μs未満）である場合は、スイッチング素子SW\_\_A1Hは正常であると判定する。

- [0071] 故障診断ユニット800\_\_Iは、検出した時間が50  $\mu$ s以上でないと判定した場合、スイッチング素子SW\_\_A1Hは正常であると判定する（ステップS108）。故障診断ユニット800\_\_Iは、スイッチング素子SW\_\_A1Hが正常であることを示す信号をモータ制御ユニット900に出力し、ステップS101の処理に戻る。
- [0072] ステップS104において、検出した時間が50  $\mu$ s以上であると判定した場合、ステップS105の処理に進む。ステップS105において、故障診断ユニット800\_\_Iは、検出した時間が50  $\mu$ s以上になる回数をカウントする。次に、故障診断ユニット800\_\_Iは、カウントした合計回数が所定回数以上であるか判定する（ステップS106）。所定回数は例えば3回である。なお、3回は一例であり、本開示の実施形態はそれに限定されない。所定回数は複数回数であればよく、2回でもよく、4回以上でもよい。
- [0073] 検出した時間が50  $\mu$ s以上である場合、スイッチング素子SW\_\_A1Hはオープン故障している可能性があるが、それを1回検出したのみの段階では、未だ故障とは判定しない。スイッチング素子SW\_\_A1Hが本当にオープン故障している場合、制御回路300がスイッチング素子SW\_\_A1Hにゲート制御信号を供給するたびに、ステップS104の処理において、検出した時間は50  $\mu$ s以上であると判定される。検出した時間は50  $\mu$ s以上であるとの判定が複数回（例えば3回）行われた場合、スイッチング素子SW\_\_A1Hはオープン故障していると判定する。
- [0074] ステップS106において、カウントした合計回数が3回以上でないと判定した場合、故障診断ユニット800\_\_Iは、スイッチング素子SW\_\_A1Hは正常であると判定する（ステップS108）。故障診断ユニット800\_\_Iは、スイッチング素子SW\_\_A1Hが正常であることを示す信号をモータ制御ユニット900に出力し、ステップS101の処理に戻る。
- [0075] ステップS106において、カウントした合計回数が3回以上であると判定した場合、スイッチング素子SW\_\_A1Hはオープン故障していると判定する（ステップS107）。故障診断ユニット800\_\_Iは、スイッチング素

子SW\_\_A 1 Hは故障していることを示す信号をモータ制御ユニット900に出力する。故障診断ユニット800\_\_Iは、スイッチング素子SW\_\_A 1 Hが故障していることを示す信号をモータ制御ユニット900に出力した後、ステップS101の処理に戻ってもよい。

[0076] モータ制御ユニット900は、スイッチング素子SW\_\_A 1 Hが故障していることを示す信号を受け取ると、モータ200の制御モードを正常時の制御モードから異常時の制御モードに変更する。

[0077] 異常時の制御モードは、例えば、故障したインバータに巻線の中性点を構成し、故障していないインバータによってモータ200を駆動する制御モードである。スイッチング素子SW\_\_A 1 Hが故障している場合、モータ制御ユニット900は、ヒューズISW\_\_11、ISW\_\_12をオフにする制御を行う。これにより、故障したスイッチング素子SW\_\_A 1 Hを備える第1インバータ120は、電源およびGNDから分離される。そして、例えば、スイッチング素子SW\_\_A 1 H、SW\_\_B 1 H、SW\_\_C 1 Hをオフにし、スイッチング素子SW\_\_A 1 L、SW\_\_B 1 L、SW\_\_C 1 Lをオンにすることで、第1インバータ120に中性点が構成される。この中性点を用いることで、故障していない第2インバータ130によってモータ200を駆動することができる。

[0078] また、異常時の制御モードは、二相通電制御であってもよい。A相に属するスイッチング素子SW\_\_A 1 Hが故障している場合、モータ制御ユニット900は、A相に属する全てのスイッチング素子SW\_\_A 1 H、SW\_\_A 1 L、SW\_\_A 2 H、SW\_\_A 2 Lをオフにする。そして、B相およびC相に属するスイッチング素子SW\_\_B 1 H、SW\_\_B 1 L、SW\_\_B 2 H、SW\_\_B 2 L、SW\_\_C 1 H、SW\_\_C 1 L、SW\_\_C 2 H、SW\_\_C 2 Lを用いて、二相通電制御を行う。このように、故障していない相を用いてモータ200を駆動することができる。

[0079] なお、異常時の制御モードは、シャットダウンであってもよい。シャットダウンは、モータ200の動作を停止させる制御である。

- [0080] 故障診断ユニット800\_\_Iは、第1および第2インバータ120、130が備える複数のスイッチング素子におけるスイッチング素子SW\_\_A1H以外のスイッチング素子に対しても、上記のスイッチング素子SW\_\_A1Hに対する故障診断と同様の故障診断を実行する。
- [0081] 本実施形態の故障診断では、スイッチング素子に故障が発生した場合、複数のスイッチング素子のうちのどのスイッチング素子が故障したのかを特定することができる。故障したスイッチング素子を特定できることにより、故障箇所に応じた適切な制御を行うことができる。
- [0082] 次に、図6を用いて、検出したスイッチング素子を流れる電流を検出してスイッチング素子の故障の有無を診断する動作の一例を説明する。
- [0083] 図6に示す故障診断ユニット800\_\_Iは、検出したスイッチング素子を流れる電流の値を用いて、スイッチング素子の故障の有無を診断する故障診断ユニット800である。ここでは、第1および第2インバータ120、130が備える複数のスイッチング素子のうちの1つであるスイッチング素子SW\_\_A1Hの故障の有無を診断する例を説明する。
- [0084] 故障診断ユニット800\_\_Iには、検出したスイッチング素子SW\_\_A1Hの電流値（図6中の“I”）が入力される。また、故障診断ユニット800\_\_Iには、スイッチング素子SW\_\_A1Hをオンにするゲート制御信号（図6中の“S”）が入力される。絶対値ブロック811は、検出したスイッチング素子SW\_\_A1Hの電流の絶対値を求める。比較器（Comparator）812は、得られた絶対値と、予め決められた電流下限値とを比較する。この電流下限値は、図5に示すステップS102の処理において用いる所定電流に相当し、例えば10mAである。なお、10mAは一例であり、本開示の実施形態はそれに限定されない。
- [0085] 比較器812は、電流の絶対値が10mA以上である場合は1を出力し、10mA未満である場合は0を出力する。NOTブロック821は、“NOT”の論理演算を行い、比較器812の出力値を反転させる。
- [0086] ANDブロック822には、NOTブロック821の出力値とゲート制御信

号とが入力される。ここで、スイッチング素子SW\_\_A 1 HをオンにするためのHighレベルのゲート制御信号を1とし、スイッチング素子SW\_\_A 1 HをオフにするためのLowレベルのゲート制御信号を0とする。ANDブロック822は、“AND”の論理演算を行う。ANDブロック822は、NOTブロック821の出力値およびゲート制御信号の両方が1のときに、1を出力する。すなわち、ANDブロック822は、スイッチング素子SW\_\_A 1 Hがオン状態に制御されたときにスイッチング素子SW\_\_A 1 Hを流れる電流が下限値未満である場合に、1を出力する。それ以外の場合は、ANDブロック822は0を出力する。

[0087] ORブロック832には、ANDブロック822の出力値と比較器841の出力値とが入力される。ORブロック832は、“OR”の論理演算を行う。比較器841が出力する初期値は0である。ORブロック832は、ANDブロック822の出力値および比較器841の出力値の少なくとも一方が1のときは、1を出力する。ORブロック832は、ANDブロック822の出力値および比較器841の出力値の両方が0のときは、0を出力する。NOTブロック833は、“NOT”の論理演算を行い、ORブロック832の出力値を反転させる。

[0088] 積分器(Integrator)831は、ANDブロック822の出力値を積算して出力する。比較器841は、積分器831の出力値と第1基準値とを比較する。比較器851は、積分器831の出力値と第2基準値とを比較する。

[0089] 図7は、ANDブロック822の出力値、積分器831の出力値、比較器841の出力値の関係を示す図である。図7の横軸は時間を表している。第1基準値は、図5に示すステップS104の処理において用いる所定時間に相当する値である。例えば、所定時間50 $\mu$ sに相当する積分器831の出力値を10とする。積分器831がハードウェアである場合等、積分器831の出力値を電圧で表すと、出力値“10”は、例えば積分器831の出力電圧1.0Vに相当する。

[0090] 上述したように、スイッチング素子SW\_\_A 1 Hが正常である場合であっても、ノイズ等の外乱により、オン状態のスイッチング素子SW\_\_A 1 Hを流れる電流が10 mA未満になることが短時間発生し得る。図7の例では、ANDブロック822が1を10  $\mu$ sの時間出力している部分がノイズに該当する。積分器831は、10  $\mu$ sの期間、ANDブロック822の出力値を積算した値を出力する。図7の例では、積分器831は2を出力する。比較器841は、積分器831の出力値“2”は第1基準値“10”未満であることから、0を出力する。

[0091] スwitchング素子SW\_\_A 1 Hがオフになると、ANDブロック822は0を出力する。ORブロック832は、ANDブロック822の出力値および比較器841の出力値の両方が0のときは、0を出力する。これに応じて、NOTブロック833は1を出力する。積分器831は、NOTブロック833から1が入力されると、積算した値をリセットする。

[0092] 一方、ANDブロック822が1を出力する時間が50  $\mu$ s以上になると、積分器831が積算して出力する値は10以上になる。比較器841は、積分器831の出力値が第1基準値“10”以上であることから、1を出力する。

[0093] 比較器841の出力値が1になることにより、スイッチング素子SW\_\_A 1 Hがオフになっても、ORブロック832は1を出力し、NOTブロック833は0を出力する。積分器831は、NOTブロック833から0が入力されると、積算した値を保持したまま積算を続ける。積算値のリセットは行わない。

[0094] 図8は、ANDブロック822の出力値、積分器831の出力値、比較器851の出力値の関係を示す図である。図8の横軸は時間を表している。第2基準値は、図5に示すステップS106の処理において用いる所定回数に相当する値である。例えば、カウント回数3回に相当する積分器831の出力値を30とする。

[0095] 比較器841の出力値が1になった場合、積分器831は、ANDブロック

８２２の出力値を積算し続ける。比較器８５１は、積分器８３１の出力値が第２基準値“３０”未満である間は、０を出力する。比較器８５１は、積分器８３１の出力値が第２基準値“３０”以上になると１を出力する。この比較器８５１の出力値“１”が、スイッチング素子ＳＷ＿Ａ１Ｈは故障していることを示す信号となり、モータ制御ユニット９００に入力される。

[0096] 積分器８３１の出力値が第２基準値“３０”未満である間は、比較器８５１は０を出力する。この比較器８５１の出力値“０”が、スイッチング素子ＳＷ＿Ａ１Ｈは正常であることを示す信号となり、モータ制御ユニット９００に入力される。

[0097] なお、比較器８４１の出力値が１になった後、一定時間（例えば数秒間）が経過しても、積分器８３１の出力値が第２基準値“３０”未満である場合は、積分器８３１は積算した値をリセットしてもよい。ＡＮＤブロック８２２が１を５０μｓ以上出力した場合、スイッチング素子ＳＷ＿Ａ１Ｈは故障している可能性がある。しかし、ＡＮＤブロック８２２が１を５０μｓ以上出力することが連続しない場合は、スイッチング素子ＳＷ＿Ａ１Ｈは故障していないとみなし、積分器８３１をリセットして故障診断を継続してもよい。

[0098] このように、故障診断ユニット８００＿Ｉは、検出したスイッチング素子を流れる電流の値を用いて、スイッチング素子の故障の有無を診断することができる。

[0099] 故障診断ユニット８００＿Ｉは、第１および第２インバータ１２０、１３０が備える複数のスイッチング素子におけるスイッチング素子ＳＷ＿Ａ１Ｈ以外のスイッチング素子に対しても、上記のスイッチング素子ＳＷ＿Ａ１Ｈに対する故障診断と同様の故障診断を実行する。

[0100] 本実施形態の故障診断では、スイッチング素子に故障が発生した場合、複数のスイッチング素子のうちのどのスイッチング素子が故障したのかを特定することができる。故障したスイッチング素子を特定できることにより、故障箇所に応じた適切な制御を行うことができる。

[0101] 〔２－２．電圧値を用いたスイッチング素子の故障診断〕

次に、図9を参照しながら、スイッチング素子にかかる電圧を検出して、スイッチング素子の故障の有無を診断する動作を説明する。ここでは、スイッチング素子にかかる電圧の値を用いてスイッチング素子の故障の有無を診断する故障診断ユニット800を故障診断ユニット800\_\_Vと表現する。図9は、スイッチング素子にかかる電圧の値を用いて、スイッチング素子の故障の有無を診断する動作を示すフローチャートである。スイッチング素子がFETである場合、スイッチング素子にかかる電圧は、FETのソースドレイン間電圧である。図9に示すステップS105からS108の動作は、図5に示すステップS105からS108の動作と同様である。

[0102] ここでは、第1および第2インバータ120、130が備える複数のスイッチング素子のうちの1つであるスイッチング素子SW\_\_A1Hの故障の有無を診断する例を説明する。この故障診断は、スイッチング素子SW\_\_A1Hをオンにする動作を行う毎に繰り返し実行され得る。

[0103] 故障診断ユニット800\_\_Vは、スイッチング素子SW\_\_A1Hがオン状態に制御されたときのスイッチング素子SW\_\_A1Hのソースドレイン間電圧を検出する（ステップS111）。例えば、故障診断ユニット800\_\_Vは、電圧検出回路380（図1）の出力信号を用いて、スイッチング素子SW\_\_A1Hのソースドレイン間電圧を検出することができる。

[0104] 次に、故障診断ユニット800\_\_Vは、スイッチング素子SW\_\_A1Hがオン状態に制御されたときのスイッチング素子SW\_\_A1Hのソースドレイン間電圧が所定電圧以上であるか判定する（ステップS112）。所定電圧は例えば0.5Vである。なお、0.5Vは一例であり、本開示の実施形態はそれに限定されない。

[0105] この例では、スイッチング素子SW\_\_A1Hが故障していない、すなわち正常である場合は、ゲート制御信号が供給されたスイッチング素子SW\_\_A1Hのソースドレイン間電圧は0.5V未満になる。スイッチング素子SW\_\_A1Hがオープン故障している場合、ゲート制御信号が供給されたスイッチング素子SW\_\_A1Hのソースドレイン間電圧は0.5V以上になる。

- [0106] 故障診断ユニット800\_\_Vは、検出した電圧は0.5V以上でないと判定した場合、スイッチング素子SW\_\_A1Hは正常であると判定する（ステップS108）。故障診断ユニット800\_\_Vは、スイッチング素子SW\_\_A1Hが正常であることを示す信号をモータ制御ユニット900に出力し、ステップS111の処理に戻る。
- [0107] ステップS112において、検出した電圧が0.5V以上であると判定した場合、ステップS113の処理に進む。ステップS113において、故障診断ユニット800\_\_Vは、スイッチング素子SW\_\_A1Hがオン状態に制御されたときに、スイッチング素子SW\_\_A1Hのソースドレイン間電圧が0.5V以上になる時間を検出する。次に、故障診断ユニット800\_\_Vは、検出した時間が所定時間以上であるか判定する（ステップS114）。所定時間は例えば50 $\mu$ sである。なお、50 $\mu$ sは一例であり、本開示の実施形態はそれに限定されない。
- [0108] スwitchング素子SW\_\_A1Hが正常である場合であっても、ノイズ等の外乱により、オン状態のスイッチング素子SW\_\_A1Hのソースドレイン間電圧が0.5V以上になることが短時間発生し得る。このようなノイズに起因した異常値に基づいて、スイッチング素子SW\_\_A1Hは異常であると判定してしまうと、正しい判定ができない。そこで、本実施形態では、電圧が0.5V以上になる時間が短時間（例えば50 $\mu$ s未満）である場合は、スイッチング素子SW\_\_A1Hは正常であると判定する。
- [0109] 故障診断ユニット800\_\_Vは、検出した時間が50 $\mu$ s以上でないと判定した場合、スイッチング素子SW\_\_A1Hは正常であると判定する（ステップS108）。故障診断ユニット800\_\_Vは、スイッチング素子SW\_\_A1Hが正常であることを示す信号をモータ制御ユニット900に出力し、ステップS111の処理に戻る。
- [0110] ステップS114において、検出した時間が50 $\mu$ s以上であると判定した場合、ステップS105の処理に進む。図9に示すステップS105からS108の動作は、図5に示すステップS105からS108の動作と同様で

あるので、ここでは、その詳細な説明の繰り返しは省略する。

- [0111] 図9の例では、ステップS108において、スイッチング素子SW\_\_A1Hは正常であると判定した場合、故障診断ユニット800\_\_Vは、スイッチング素子SW\_\_A1Hが正常であることを示す信号をモータ制御ユニット900に出力し、ステップS111の処理に戻る。ステップS107において、スイッチング素子SW\_\_A1Hはオープン故障していると判定した場合、故障診断ユニット800\_\_Vは、スイッチング素子SW\_\_A1Hが故障していることを示す信号をモータ制御ユニット900に出力する。故障診断ユニット800\_\_Iは、スイッチング素子SW\_\_A1Hが故障していることを示す信号をモータ制御ユニット900に出力した後、ステップS111の処理に戻ってもよい。
- [0112] モータ制御ユニット900は、スイッチング素子SW\_\_A1Hが故障していることを示す信号を受け取ると、モータ200の制御モードを正常時の制御モードから異常時の制御モードに変更する。
- [0113] 故障診断ユニット800\_\_Vは、第1および第2インバータ120、130が備える複数のスイッチング素子におけるスイッチング素子SW\_\_A1H以外のスイッチング素子に対しても、上記のスイッチング素子SW\_\_A1Hに対する故障診断と同様の故障診断を実行する。
- [0114] 本実施形態の故障診断では、スイッチング素子に故障が発生した場合、複数のスイッチング素子のうちのどのスイッチング素子が故障したのかを特定することができる。故障したスイッチング素子を特定できることにより、故障箇所に応じた適切な制御を行うことができる。
- [0115] 次に、図10を用いて、スイッチング素子にかかる電圧を検出して、スイッチング素子の故障の有無を診断する動作の一例を説明する。
- [0116] 図10に示す故障診断ユニット800\_\_Vは、検出したスイッチング素子にかかる電圧の値を用いて、スイッチング素子の故障の有無を診断する故障診断ユニット800である。ここでは、第1および第2インバータ120、130が備える複数のスイッチング素子のうちの1つであるスイッチング素子

SW\_\_A 1 Hの故障の有無を診断する例を説明する。

- [0117] 故障診断ユニット800\_\_Vには、検出したスイッチング素子SW\_\_A 1 Hのソースドレイン間電圧（図10中の“V”）が入力される。また、故障診断ユニット800\_\_Vには、スイッチング素子SW\_\_A 1 Hをオンにするゲート制御信号（図10中の“S”）が入力される。絶対値ブロック813は、検出したスイッチング素子SW\_\_A 1 Hのソースドレイン間電圧の絶対値を求める。比較器814は、得られた絶対値と、予め決められた電圧下限値とを比較する。この電圧下限値は、図9に示すステップS112の処理において用いる所定電圧に相当し、例えば0.5Vである。なお、0.5Vは一例であり、本開示の実施形態はそれに限定されない。
- [0118] 比較器814は、電圧の絶対値が0.5V以上である場合は1を出力し、0.5V未満である場合は0を出力する。ANDブロック822には、比較器814の出力とゲート制御信号とが入力される。ANDブロック822は、比較器814の出力値およびゲート制御信号の両方が1のときに、1を出力する。すなわち、ANDブロック822は、スイッチング素子SW\_\_A 1 Hがオン状態に制御されたときのスイッチング素子SW\_\_A 1 Hのソースドレイン間電圧が下限値以上である場合に、1を出力する。それ以外の場合は、ANDブロック822は0を出力する。ANDブロック822の出力は、積分器831およびORブロック832に入力される。
- [0119] 積分器831、ORブロック832、NOTブロック833、比較器841、比較器851の動作は、図6から図8を用いて説明した動作と同様であるため、ここではその詳細な説明の繰り返しは省略する。
- [0120] 比較器841の出力値が1になった場合、積分器831は、ANDブロック822の出力値を積算し続ける。比較器851は、積分器831の出力値が第2基準値“30”未満である間は、0を出力する。比較器851は、積分器831の出力値が第2基準値“30”以上になると1を出力する。
- [0121] このように、故障診断ユニット800\_\_Vは、検出したスイッチング素子にかかる電圧の値を用いて、スイッチング素子の故障の有無を診断することが

できる。

[0122] 故障診断ユニット800\_\_Vは、第1および第2インバータ120、130が備える複数のスイッチング素子におけるスイッチング素子SW\_\_A1H以外のスイッチング素子に対しても、上記のスイッチング素子SW\_\_A1Hに対する故障診断と同様の故障診断を実行する。

[0123] 本実施形態の故障診断では、スイッチング素子に故障が発生した場合、複数のスイッチング素子のうちのどのスイッチング素子が故障したのかを特定することができる。故障したスイッチング素子を特定できることにより、故障箇所に応じた適切な制御を行うことができる。

[0124] [2-3. 電流値及び電圧値の両方を用いたスイッチング素子の故障診断]

次に、スイッチング素子を流れる電流の値およびスイッチング素子にかかる電圧の値の両方を用いてスイッチング素子の故障の有無を診断する動作を説明する。この例では、図11に示すように、コントローラ340は、故障診断ユニット800として、故障診断ユニット800\_\_I Vを備える。故障診断ユニット800\_\_I Vは、スイッチング素子を流れる電流の値およびスイッチング素子にかかる電圧の値の両方を用いてスイッチング素子の故障の有無を診断する。

[0125] 図12は、故障診断ユニット800\_\_I Vの機能ブロックの一例を示す。図12に示す故障診断ユニット800\_\_I Vは、故障診断ユニット800\_\_Iと、故障診断ユニット800\_\_Vと、ORブロック861とを備える。

[0126] 故障診断ユニット800\_\_Iは、図5から図8を参照しながら説明した、電流値を用いた診断を行う。但し、この例では、図5に示すステップS108において、故障診断ユニット800\_\_Iは、スイッチング素子SW\_\_A1Hを流れる電流は正常であると判定する。この場合、故障診断ユニット800\_\_Iは、スイッチング素子SW\_\_A1Hを流れる電流は正常であることを示す信号（例えば“0”）をORブロック861に出力し、ステップS101の処理に戻る。また、図5に示すステップS107において、故障診断ユニット800\_\_Iは、スイッチング素子SW\_\_A1Hを流れる電流は異常であ

ると判定する。故障診断ユニット800\_\_Iは、スイッチング素子SW\_\_A 1 Hを流れる電流は異常であることを示す信号（例えば“1”）をORブロック861に出力する。

[0127] また、この例では、図6に示す比較器851の出力値“0”は、スイッチング素子SW\_\_A 1 Hを流れる電流は正常であることを示す信号となる。比較器851の出力値“1”は、スイッチング素子SW\_\_A 1 Hを流れる電流は異常であることを示す信号となる。比較器851の出力は、ORブロック861に入力される。

[0128] このように、図12に示す故障診断ユニット800\_\_Iは、スイッチング素子を流れる電流の異常の有無を判定する。

[0129] 故障診断ユニット800\_\_Vは、図9および図10を参照しながら説明した、電圧値を用いた診断を行う。但し、この例では、図9に示すステップS108において、故障診断ユニット800\_\_Vは、スイッチング素子SW\_\_A 1 Hにかかる電圧は正常であると判定する。この場合、故障診断ユニット800\_\_Vは、スイッチング素子SW\_\_A 1 Hにかかる電圧は正常であることを示す信号（例えば“0”）をORブロック861に出力し、ステップS111の処理に戻る。また、図9に示すステップS107において、故障診断ユニット800\_\_Vは、スイッチング素子SW\_\_A 1 Hにかかる電圧は異常であると判定する。故障診断ユニット800\_\_Vは、スイッチング素子SW\_\_A 1 Hにかかる電圧は異常であることを示す信号（例えば“1”）をORブロック861に出力する。

[0130] また、この例では、図10に示す比較器851の出力値“0”は、スイッチング素子SW\_\_A 1 Hにかかる電圧は正常であることを示す信号となる。比較器851の出力値“1”は、スイッチング素子SW\_\_A 1 Hにかかる電圧は異常であることを示す信号となる。比較器851の出力は、ORブロック861に入力される。

[0131] このように、図12に示す故障診断ユニット800\_\_Vは、スイッチング素子にかかる電圧の異常の有無を判定する。

[0132] ORブロック861は、故障診断ユニット800\_\_Iおよび800\_\_Vが出力する信号の両方が正常であることを示す場合、スイッチング素子SW\_\_A1Hは正常であると判定する。スイッチング素子SW\_\_A1Hは正常であると判定した場合、ORブロック861は、スイッチング素子SW\_\_A1Hは正常であることを示す信号（例えば“0”）をモータ制御ユニット900に出力する。

[0133] ORブロック861は、故障診断ユニット800\_\_Iおよび800\_\_Vが出力する信号の少なくとも一方が異常であることを示す場合、スイッチング素子SW\_\_A1Hは故障していると判定する。スイッチング素子SW\_\_A1Hは故障していると判定した場合、ORブロック861は、スイッチング素子SW\_\_A1Hが故障していることを示す信号（例えば“1”）をモータ制御ユニット900に出力する。モータ制御ユニット900は、スイッチング素子SW\_\_A1Hが故障していることを示す信号を受け取ると、モータ200の制御モードを正常時の制御モードから異常時の制御モードに変更する。

[0134] 図12に示す例では、故障診断ユニット800\_\_IVは、検出した電流値および電圧値の両方を用いて故障診断を行う。そして、検出した電流値および電圧値のうちの少なくとも一方が異常である場合に、スイッチング素子は故障していると判定する。例えば、電流センサ150が故障した場合はスイッチング素子を流れる電流は検出できなくなるが、この場合でも、検出した電圧値を用いて故障の有無を診断することができる。また、例えば、電圧検出回路380が故障した場合はスイッチング素子にかかる電圧は検出できなくなるが、この場合でも、検出した電流値を用いて故障の有無を診断することができる。

[0135] 図13は、故障診断ユニット800\_\_IVの機能ブロックの別の例を示す。

図13に示す故障診断ユニット800\_\_IVは、故障診断ユニット800\_\_Iと、故障診断ユニット800\_\_Vと、ANDブロック862とを備える。

[0136] 図13に示す故障診断ユニット800\_\_Iおよび800\_\_IVの動作は、図12に示す故障診断ユニット800\_\_Iおよび800\_\_IVの動作と同様で

ある。図 1 3 に示す例では、故障診断ユニット 8 0 0 \_\_ I および 8 0 0 \_\_ V のそれぞれの出力は、AND ブロック 8 6 2 に入力される。

[0137] AND ブロック 8 6 2 は、故障診断ユニット 8 0 0 \_\_ I および 8 0 0 \_\_ V が出力する信号の少なくとも一方が正常であることを示す場合、スイッチング素子 SW \_\_ A 1 H は正常であると判定する。スイッチング素子 SW \_\_ A 1 H は正常であると判定した場合、AND ブロック 8 6 2 は、スイッチング素子 SW \_\_ A 1 H は正常であることを示す信号（例えば “0” ）をモータ制御ユニット 9 0 0 に出力する。

[0138] AND ブロック 8 6 2 は、故障診断ユニット 8 0 0 \_\_ I および 8 0 0 \_\_ V が出力する信号の両方が異常であることを示す場合、スイッチング素子 SW \_\_ A 1 H は故障していると判定する。スイッチング素子 SW \_\_ A 1 H は故障していると判定した場合、AND ブロック 8 6 2 は、スイッチング素子 SW \_\_ A 1 H が故障していることを示す信号（例えば “1” ）をモータ制御ユニット 9 0 0 に出力する。モータ制御ユニット 9 0 0 は、スイッチング素子 SW \_\_ A 1 H が故障していることを示す信号を受け取ると、モータ 2 0 0 の制御モードを正常時の制御モードから異常時の制御モードに変更する。

[0139] 図 1 3 に示す例では、故障診断ユニット 8 0 0 \_\_ I V は、検出した電流値および電圧値の両方を用いて故障診断を行う。そして、検出した電流値および電圧値の両方が異常である場合に、スイッチング素子は故障していると判定する。電流値および電圧値の両方が異常である場合に故障と判定することにより、故障という判定の信頼性を高めることができる。

[0140] 上記の説明では、電力変換装置 1 0 0 0 を例に、スイッチング素子の故障の有無を診断する方法を説明した。本開示の実施形態にかかるスイッチング素子の故障の有無を診断する故障診断方法は、電力変換装置 1 0 0 0 以外の様々な装置に適用することができる。例えば、DC-DC コンバータなどの各種コンバータ、風力発電システムなどの各種発電システムにもこれらの故障診断方法を適用することができる。本開示の実施形態にかかるスイッチング素子の故障の有無を診断する故障診断方法は、オンとオフの切替えが繰り返さ

れるスイッチング素子を備える電気機器に適用することができる。

[0141] [2-4. 電流値を用いた相の故障診断]

次に、本実施形態による相の故障の有無を診断する故障診断方法を説明する。ここでは、図1に示す電力変換装置1000を例に、相の故障の有無を診断する方法を説明する。

[0142] 第1及び第2インバータ120、130が備える複数のスイッチング素子は、モータ200が備えるA相の巻線M1、B相の巻線M2、C相の巻線M3に接続される。故障が発生した場合、その故障がA相、B相、C相のうちの何れの相で発生しているのか特定することができれば、その故障箇所に応じた適切な制御を行うことができる。例えばA相に故障が発生していることが特定できれば残りのB相、C相を用いて二相通電制御を行うことができる。

[0143] この例では、図14に示すように、コントローラ340は、故障診断ユニット800として、故障診断ユニット800P\_\_Iを備える。故障診断ユニット800P\_\_Iは、スイッチング素子を流れる電流の値を用いて相の故障の有無を診断する。

[0144] 図15は、故障診断ユニット800P\_\_Iの機能ブロックの一例を示している。図15に示す故障診断ユニット800P\_\_Iは、故障診断ユニット800P\_\_IA、800P\_\_IB、800P\_\_ICを備える。故障診断ユニット800P\_\_IAは、A相に属するスイッチング素子を流れる電流の値を用いてA相の故障診断を行う。故障診断ユニット800P\_\_IBは、B相に属するスイッチング素子を流れる電流の値を用いてB相の故障診断を行う。故障診断ユニット800P\_\_ICは、C相に属するスイッチング素子を流れる電流の値を用いてC相の故障診断を行う。

[0145] 図16は、故障診断ユニット800P\_\_IAの機能ブロックの一例を示している。図16に示す故障診断ユニット800P\_\_IAは、故障診断ユニット800\_\_I1H、800\_\_I1L、800\_\_I2H、800\_\_I2Lと、ORブロック870\_\_Iとを備える。

- [0146] 図2に示す例では、A相の巻線M1には、スイッチング素子SW\_\_A1H、SW\_\_A1L、SW\_\_A2H、SW\_\_A2Lが接続される。
- [0147] 故障診断ユニット800\_\_11Hには、スイッチング素子SW\_\_A1Hを流れる電流I\_\_A1Hと、スイッチング素子SW\_\_A1Hをオンにするゲート制御信号S\_\_A1Hとが入力される。故障診断ユニット800\_\_11Lには、スイッチング素子SW\_\_A1Lを流れる電流I\_\_A1Lと、スイッチング素子SW\_\_A1Lをオンにするゲート制御信号S\_\_A1Lとが入力される。故障診断ユニット800\_\_12Hには、スイッチング素子SW\_\_A2Hを流れる電流I\_\_A2Hと、スイッチング素子SW\_\_A2Hをオンにするゲート制御信号S\_\_A2Hとが入力される。故障診断ユニット800\_\_12Lには、スイッチング素子SW\_\_A2Lを流れる電流I\_\_A2Lと、スイッチング素子SW\_\_A2Lをオンにするゲート制御信号S\_\_A2Lとが入力される。
- [0148] 故障診断ユニット800\_\_11Hは、図5から図8を参照しながら説明した、電流値を用いた故障診断を行う。図5のステップS108において、スイッチング素子SW\_\_A1Hは正常であると判定した場合、故障診断ユニット800\_\_11Hは、スイッチング素子SW\_\_A1Hが正常であることを示す信号（例えば“0”）をORブロック870\_\_1に出力し、ステップS101の処理に戻る。ステップS107において、スイッチング素子SW\_\_A1Hは故障していると判定した場合、故障診断ユニット800\_\_11Hは、スイッチング素子SW\_\_A1Hは故障していることを示す信号（例えば“1”）をORブロック870\_\_1に出力する。
- [0149] 故障診断ユニット800\_\_11Hと同様に、故障診断ユニット800\_\_11L、800\_\_12H、800\_\_12Lも、スイッチング素子SW\_\_A1L、SW\_\_A2H、SW\_\_A2Lの故障診断を行う。4個の故障診断ユニット800\_\_11H、800\_\_11L、800\_\_12H、800\_\_12Lのそれぞれの出力は、ORブロック870\_\_1に入力される。
- [0150] ORブロック870\_\_1は、4個の故障診断ユニット800\_\_11H、800\_\_11L、800\_\_12H、800\_\_12Lの出力の全てが正常を示して

いた場合、A相は正常であると判定する。A相は正常であると判定した場合、ORブロック870\_\_Iは、A相は正常であることを示す信号（例えば“0”）をモータ制御ユニット900に出力する。

[0151] ORブロック870\_\_Iは、4個の故障診断ユニット800\_\_I1H、800\_\_I1L、800\_\_I2H、800\_\_I2Lの出力信号のいずれかが故障を示していた場合、A相に故障が発生していると判定する。A相に故障が発生していると判定した場合、ORブロック870\_\_Iは、A相に故障が発生していることを示す信号（例えば“1”）をモータ制御ユニット900に出力する。

[0152] 故障診断ユニット800P\_\_IAと同様に、図15に示す故障診断ユニット800P\_\_IB、800P\_\_ICも、B相およびC相の故障の有無の診断を行う。故障診断ユニット800P\_\_IB、800P\_\_ICは、故障診断の結果を示す信号をモータ制御ユニット900に出力する。

[0153] モータ制御ユニット900は、故障診断ユニット800P\_\_IA、800P\_\_IB、800P\_\_ICの出力信号から、A相、B相、C相の故障の有無を判定することができる。また、故障が発生した場合、モータ制御ユニット900は、故障診断ユニット800P\_\_IA、800P\_\_IB、800P\_\_ICの出力信号から、どの相に故障が発生しているのかを特定することができる。故障している相が特定できることにより、モータ制御ユニット900は、故障箇所に応じた適切な制御を行うことができる。例えば、モータ制御ユニット900は、故障相以外の残りの二相を用いて二相通電制御を行うことができる。

[0154] [2-5. 電圧値を用いた相の故障診断]

次に、電圧値を用いて相の故障の有無を診断する故障診断方法を説明する。ここでは、図1に示す電力変換装置1000を例に、相の故障の有無を診断する方法を説明する。

[0155] この例では、図17に示すように、コントローラ340は、故障診断ユニット800として、故障診断ユニット800P\_\_Vを備える。故障診断ユニッ

ト 800P\_\_V は、スイッチング素子にかかる電圧の値を用いて相の故障の有無を診断する。

[0156] 図 18 は、故障診断ユニット 800P\_\_V の機能ブロックの一例を示している。図 18 に示す故障診断ユニット 800P\_\_V は、故障診断ユニット 800P\_\_VA、800P\_\_VB、800P\_\_VC を備える。故障診断ユニット 800P\_\_VA は、A 相に属するスイッチング素子にかかる電圧の値を用いて A 相の故障診断を行う。故障診断ユニット 800P\_\_VB は、B 相に属するスイッチング素子にかかる電圧の値を用いて B 相の故障診断を行う。故障診断ユニット 800P\_\_VC は、C 相に属するスイッチング素子にかかる電圧の値を用いて C 相の故障診断を行う。

[0157] 図 19 は、故障診断ユニット 800P\_\_VA の機能ブロックの一例を示している。図 19 に示す故障診断ユニット 800P\_\_VA は、故障診断ユニット 800\_\_V1H、800\_\_V1L、800\_\_V2H、800\_\_V2L と、OR ブロック 870\_\_V とを備える。

[0158] 故障診断ユニット 800\_\_V1H には、スイッチング素子 SW\_\_A1H にかかる電圧 V\_\_A1H と、ゲート制御信号 S\_\_A1H とが入力される。故障診断ユニット 800\_\_V1L には、スイッチング素子 SW\_\_A1L にかかる電圧 V\_\_A1L と、ゲート制御信号 S\_\_A1L とが入力される。故障診断ユニット 800\_\_V2H には、スイッチング素子 SW\_\_A2H にかかる電圧 V\_\_A2H と、ゲート制御信号 S\_\_A2H とが入力される。故障診断ユニット 800\_\_V2L には、スイッチング素子 SW\_\_A2L にかかる電圧 V\_\_A2L と、ゲート制御信号 S\_\_A2L とが入力される。

[0159] 故障診断ユニット 800\_\_V1H は、図 9 および図 10 を参照しながら説明した、電圧値を用いた故障診断を行う。図 9 のステップ S108 において、スイッチング素子 SW\_\_A1H は正常であると判定した場合、故障診断ユニット 800\_\_V1H は、スイッチング素子 SW\_\_A1H が正常であることを示す信号（例えば“0”）を OR ブロック 870\_\_V に出力し、ステップ S111 の処理に戻る。図 9 のステップ S107 において、スイッチング素子

SW\_\_A 1 Hは故障していると判定した場合、故障診断ユニット800\_\_V 1 Hは、スイッチング素子SW\_\_A 1 Hは故障していることを示す信号（例えば“1”）をORブロック870\_\_Vに出力する。

[0160] 故障診断ユニット800\_\_V 1 Hと同様に、故障診断ユニット800\_\_V 1 L、800\_\_V 2 H、800\_\_V 2 Lも、スイッチング素子SW\_\_A 1 L、SW\_\_A 2 H、SW\_\_A 2 Lの故障診断を行う。4個の故障診断ユニット800\_\_V 1 H、800\_\_V 1 L、800\_\_V 2 H、800\_\_V 2 Lのそれぞれの出力は、ORブロック870\_\_Vに入力される。

[0161] ORブロック870\_\_Vは、4個の故障診断ユニット800\_\_V 1 H、800\_\_V 1 L、800\_\_V 2 H、800\_\_V 2 Lの出力信号の全てが正常を示していた場合、A相は正常であると判定する。A相は正常であると判定した場合、ORブロック870\_\_Vは、A相は正常であることを示す信号（例えば“0”）をモータ制御ユニット900に出力する。

[0162] ORブロック870\_\_Vは、4個の故障診断ユニット800\_\_V 1 H、800\_\_V 1 L、800\_\_V 2 H、800\_\_V 2 Lの出力信号のいずれかが故障を示していた場合、A相に故障が発生していると判定する。A相に故障が発生していると判定した場合、ORブロック870\_\_Vは、A相に故障が発生していることを示す信号（例えば“1”）をモータ制御ユニット900に出力する。

[0163] 故障診断ユニット800P\_\_V Aと同様に、図18に示す故障診断ユニット800P\_\_V B、800P\_\_V Cも、B相およびC相の故障の有無の診断を行う。故障診断ユニット800P\_\_V B、800P\_\_V Cは、故障診断の結果を示す信号をモータ制御ユニット900に出力する。

[0164] モータ制御ユニット900は、故障診断ユニット800P\_\_V A、800P\_\_V B、800P\_\_V Cの出力信号から、A相、B相、C相の故障の有無を判定することができる。また、故障が発生した場合、モータ制御ユニット900は、故障診断ユニット800P\_\_V A、800P\_\_V B、800P\_\_V Cの出力信号から、どの相に故障が発生しているのかを特定することができる。

る。故障している相が特定できることにより、モータ制御ユニット 900 は、故障箇所に応じた適切な制御を行うことができる。例えば、モータ制御ユニット 900 は、故障相以外の残りの二相を用いて二相通電制御を行うことができる。

[0165] [2-6. 電流値および電圧値の両方を用いた相の故障診断]

次に、電流値および電圧値の両方を用いて相の故障の有無を診断する故障診断方法を説明する。この例では、図 20 に示すように、コントローラ 340 は、故障診断ユニット 800 として、故障診断ユニット 800P\_\_I V を備える。故障診断ユニット 800P\_\_I V は、スイッチング素子を流れる電流の値およびスイッチング素子にかかる電圧の値の両方を用いて相の故障の有無を診断する。

[0166] 図 21 は、故障診断ユニット 800P\_\_I V の機能ブロックの一例を示す。

図 21 に示す故障診断ユニット 800P\_\_I V は、故障診断ユニット 800P\_\_I A および 800P\_\_V A と、OR ブロック 881 A とを備える。

[0167] 故障診断ユニット 800P\_\_I A は、図 15 および図 16 を参照しながら説明した、電流値を用いた診断を行う。故障診断ユニット 800P\_\_V A は、図 18 および図 19 を参照しながら説明した、電圧値を用いた診断を行う。

[0168] OR ブロック 881 A は、故障診断ユニット 800P\_\_I A および 800P\_\_V A が出力する信号の両方が正常であることを示す場合、A 相は正常であると判定する。A 相は正常であると判定した場合、OR ブロック 881 A は、A 相は正常であることを示す信号（例えば“0”）をモータ制御ユニット 900 に出力する。

[0169] OR ブロック 881 A は、故障診断ユニット 800P\_\_I A および 800P\_\_V A が出力する信号の少なくとも一方が異常であることを示す場合、A 相は故障していると判定する。A 相は故障していると判定した場合、OR ブロック 881 A は、A 相が故障していることを示す信号（例えば“1”）をモータ制御ユニット 900 に出力する。

[0170] 故障診断ユニット 800P\_\_I V は、故障診断ユニット 800P\_\_I B およ

び800P\_\_VBと、ORブロック881Bとをさらに備える。

[0171] 故障診断ユニット800P\_\_IBは、図15および図16を参照しながら説明した、電流値を用いた診断を行う。故障診断ユニット800P\_\_VBは、図18および図19を参照しながら説明した、電圧値を用いた診断を行う。

[0172] ORブロック881Bは、故障診断ユニット800P\_\_IB及び800P\_\_VBが出力する信号の両方が正常であることを示す場合、B相は正常であると判定する。B相は正常であると判定した場合、ORブロック881Bは、B相は正常であることを示す信号をモータ制御ユニット900に出力する。

[0173] ORブロック881Bは、故障診断ユニット800P\_\_IBおよび800P\_\_VBが出力する信号の少なくとも一方が異常であることを示す場合、B相は故障していると判定する。B相は故障していると判定した場合、ORブロック881Bは、B相が故障していることを示す信号をモータ制御ユニット900に出力する。

[0174] 故障診断ユニット800P\_\_IVは、故障診断ユニット800P\_\_ICおよび800P\_\_VCと、ORブロック881Cとをさらに備える。

[0175] 故障診断ユニット800P\_\_ICは、図15および図16を参照しながら説明した、電流値を用いた診断を行う。故障診断ユニット800P\_\_VCは、図18および図19を参照しながら説明した、電圧値を用いた診断を行う。

[0176] ORブロック881Cは、故障診断ユニット800P\_\_IC及び800P\_\_VCが出力する信号の両方が正常であることを示す場合、C相は正常であると判定する。C相は正常であると判定した場合、ORブロック881Cは、C相は正常であることを示す信号をモータ制御ユニット900に出力する。

[0177] ORブロック881Cは、故障診断ユニット800P\_\_ICおよび800P\_\_VCが出力する信号の少なくとも一方が異常であることを示す場合、C相は故障していると判定する。C相は故障していると判定した場合、ORブロック881Cは、C相が故障していることを示す信号をモータ制御ユニット

９００に出力する。

[0178] モータ制御ユニット９００は、ＯＲブロック８８１Ａ、８８１Ｂ、８８１Ｃの出力信号から、Ａ相、Ｂ相、Ｃ相の故障の有無を判定することができる。故障が発生した場合、モータ制御ユニット９００は、どの相に故障が発生しているのかを特定することができる。故障している相が特定できることにより、モータ制御ユニット９００は、故障箇所に応じた適切な制御を行うことができる。例えば、モータ制御ユニット９００は、故障相以外の残りの二相を用いて二相通電制御を行うことができる。

[0179] 図２１に示す例では、故障診断ユニット８００Ｐ\_\_ＩＶは、検出した電流値および電圧値の両方を用いて故障診断を行う。例えば、電流センサ１５０が故障した場合はスイッチング素子を流れる電流は検出できなくなるが、この場合でも、検出した電圧値を用いて故障の有無を診断することができる。また、例えば、電圧検出回路３８０が故障した場合はスイッチング素子にかかる電圧は検出できなくなるが、この場合でも、検出した電流値を用いて故障の有無を診断することができる。

[0180] 図２２は、故障診断ユニット８００Ｐ\_\_ＩＶの機能ブロックの別の例を示している。図２１に示す故障診断ユニット８００\_\_ＩＶと比較して、図２２に示す故障診断ユニット８００\_\_ＩＶは、ＯＲブロック８８１Ａ、８８１Ｂおよび８８１Ｃの代わりに、ＡＮＤブロック８８２Ａ、８８２Ｂおよび８８２Ｃを備える。

[0181] 図２２に示す例では、故障診断ユニット８００Ｐ\_\_ＩＡおよび８００Ｐ\_\_ＶＡのそれぞれの出力は、ＡＮＤブロック８８２Ａに入力される。故障診断ユニット８００Ｐ\_\_ＩＢおよび８００Ｐ\_\_ＶＢのそれぞれの出力は、ＡＮＤブロック８８２Ｂに入力される。故障診断ユニット８００Ｐ\_\_ＩＣおよび８００Ｐ\_\_ＶＣのそれぞれの出力は、ＡＮＤブロック８８２Ｃに入力される。

[0182] ＡＮＤブロック８８２Ａは、故障診断ユニット８００Ｐ\_\_ＩＡおよび８００Ｐ\_\_ＶＡが出力する信号の少なくとも一方が正常であることを示す場合、Ａ相は正常であると判定する。Ａ相は正常であると判定した場合、ＡＮＤブ

ック 882 A は、A 相は正常であることを示す信号（例えば “0”）をモータ制御ユニット 900 に出力する。

[0183] AND ブロック 882 A は、故障診断ユニット 800 P\_\_I A および 800 P\_\_V A が出力する信号の両方が異常であることを示す場合、A 相は故障していると判定する。A 相は故障していると判定した場合、AND ブロック 882 A は、A 相が故障していることを示す信号（例えば “1”）をモータ制御ユニット 900 に出力する。

[0184] AND ブロック 882 B は、故障診断ユニット 800 P\_\_I B および 800 P\_\_V B が出力する信号の少なくとも一方が正常であることを示す場合、B 相は正常であると判定する。B 相は正常であると判定した場合、AND ブロック 882 B は、B 相は正常であることを示す信号をモータ制御ユニット 900 に出力する。

[0185] AND ブロック 882 B は、故障診断ユニット 800 P\_\_I B および 800 P\_\_V B が出力する信号の両方が異常であることを示す場合、B 相は故障していると判定する。B 相は故障していると判定した場合、AND ブロック 882 B は、B 相が故障していることを示す信号をモータ制御ユニット 900 に出力する。

[0186] AND ブロック 882 C は、故障診断ユニット 800 P\_\_I C および 800 P\_\_V C が出力する信号の少なくとも一方が正常であることを示す場合、C 相は正常であると判定する。C 相は正常であると判定した場合、AND ブロック 882 C は、C 相は正常であることを示す信号をモータ制御ユニット 900 に出力する。

[0187] AND ブロック 882 C は、故障診断ユニット 800 P\_\_I C および 800 P\_\_V C が出力する信号の両方が異常であることを示す場合、C 相は故障していると判定する。C 相は故障していると判定した場合、AND ブロック 882 C は、C 相が故障していることを示す信号をモータ制御ユニット 900 に出力する。

[0188] モータ制御ユニット 900 は、OR ブロック 882 A、882 B、882 C

の出力信号から、A相、B相、C相の故障の有無を判定することができる。故障が発生した場合、モータ制御ユニット900は、どの相に故障が発生しているのかを特定することができる。故障している相が特定できることにより、モータ制御ユニット900は、故障箇所に応じた適切な制御を行うことができる。

[0189] 図22に示す例では、故障診断ユニット800P\_\_I Vは、検出した電流値および電圧値の両方を用いて故障診断を行う。電流値および電圧値の両方が異常である場合に故障と判定することにより、故障という判定の信頼性を高めることができる。

[0190] 本開示の実施形態にかかる故障診断方法は、図2に示すような3個のHブリッジを有すインバータユニット100を備える電力変換装置1000に限られず、巻線の一端同士がY結線されたモータを駆動する電力変換装置にも好適に用いることができる。

[0191] 図23は、本実施形態の変形例による、単体のインバータ140を有するインバータユニット100Aの回路構成を模式的に示している。

[0192] この例では、インバータユニット100Aは、一端同士がY結線された三相の巻線を有するモータ200に接続される。実施形態にかかる故障診断方法は、例えば三相電流を用いるモータに適用可能であり、一端同士がデルタ結線された巻線を有するモータにも適用可能である。インバータ140のA相レグは、ローサイドスイッチ素子SW\_\_A L、ハイサイドスイッチ素子SW\_\_A Hおよびシャント抵抗S\_\_Aを有する。B相レグは、ローサイドスイッチ素子SW\_\_B L、ハイサイドスイッチ素子SW\_\_B Hおよびシャント抵抗S\_\_Bを有する。C相レグは、ローサイドスイッチ素子SW\_\_C L、ハイサイドスイッチ素子SW\_\_C Hおよびシャント抵抗S\_\_Cを有する。

[0193] コントローラ340は、上述した故障診断方法と同様の方法で、インバータ140が備える複数のスイッチング素子の故障の有無を診断することができる。また、コントローラ340は、上述した故障診断方法と同様の方法で、A相、B相、C相の故障の有無を診断することができる。

[0194] インバータ 140 に故障が発生していないときは、コントローラ 340 は、例えば、三相通電制御でモータ 200 を制御する。インバータ 140 に故障が発生したとき、コントローラ 340 は、例えば、モータ 200 の駆動を停止させる制御を行う。

[0195] このように、コントローラ 340 は、インバータ 140 が正常であるか異常であるかに応じて、モータ 200 の制御を変更することができる。

[0196] (実施形態 2)

図 24 は、本実施形態による電動パワーステアリング装置 3000 の典型的な構成を模式的に示す。

[0197] 自動車等の車両は一般に、電動パワーステアリング装置を有する。本実施形態による電動パワーステアリング装置 3000 は、ステアリングシステム 520、および補助トルクを生成する補助トルク機構 540 を有する。電動パワーステアリング装置 3000 は、運転者がステアリングハンドルを操作することによって発生するステアリングシステムの操舵トルクを補助する補助トルクを生成する。補助トルクにより、運転者の操作の負担は軽減される。

[0198] ステアリングシステム 520 は、例えばステアリングハンドル 521、ステアリングシャフト 522、自在軸継手 523A、523B、回転軸 524、ラックアンドピニオン機構 525、ラック軸 526、左右のボールジョイント 552A、552B、タイロッド 527A、527B、ナックル 528A、528B、および左右の操舵車輪 529A、529B から構成され得る。

[0199] 補助トルク機構 540 は、例えば、操舵トルクセンサ 541、自動車用電子制御ユニット (ECU) 542、モータ 543 および減速機構 544 などから構成される。操舵トルクセンサ 541 は、ステアリングシステム 520 における操舵トルクを検出する。ECU 542 は、操舵トルクセンサ 541 の検出信号に基づいて駆動信号を生成する。モータ 543 は、駆動信号に基づいて操舵トルクに応じた補助トルクを生成する。モータ 543 は、減速機構 544 を介してステアリングシステム 520 に、生成した補助トルクを伝達する。

[0200] ECU542は、例えば、実施形態1によるコントローラ340および駆動回路350などを有する。自動車ではECUを核とした電子制御システムが構築される。電動パワーステアリング装置3000では、例えば、ECU542、モータ543およびインバータ545によって、モータ駆動ユニットが構築される。そのシステムに、実施形態1によるモータモジュール2000を好適に用いることができる。

[0201] 本開示の実施形態は、シフトバイワイヤ、ステアリングバイワイヤ、ブレーキバイワイヤなどのエクスバイワイヤおよびトラクションモータなどのモータ制御システムにも好適に用いられる。例えば、本開示の実施形態によるモータ制御方法を実装したEPSは、日本政府および米国運輸省道路交通安全局（NHTSA）によって定められたレベル0から4（自動化の基準）に対応した自動運転車に搭載され得る。

### 産業上の利用可能性

[0202] 本開示の実施形態は、掃除機、ドライヤ、シーリングファン、洗濯機、冷蔵庫および電動パワーステアリング装置などの、各種モータを備える多様な機器に幅広く利用され得る。

### 符号の説明

[0203] 100、100A：インバータユニット、101：電源、120：第1インバータ、130：第2インバータ、140：インバータ、150：電流センサ、200：モータ、300：制御回路、310：電源回路、320：角度センサ、330：入力回路、340：マイクロコントローラ、350：駆動回路、360：ROM、1000：電力変換装置、2000：モータモジュール、3000：電動パワーステアリング装置

## 請求の範囲

- [請求項1] モータに電力を供給する電力変換装置の故障の有無を診断する故障診断方法であって、
- 前記電力変換装置は、複数のスイッチング素子を備え、
- 前記複数のスイッチング素子は、前記モータが備える $n$ 相（ $n$ は3以上の整数）の巻線に接続され、
- 前記複数のスイッチング素子のそれぞれにおいて、
- 前記スイッチング素子がオン状態に制御されたときに前記スイッチング素子に流れる電流が所定電流未満であるか判定するステップと、
- 前記スイッチング素子に流れる電流が前記所定電流未満である場合、前記スイッチング素子に流れる電流が前記所定電流未満になる時間を検出するステップと、
- 前記検出した時間が所定時間以上であるか判定するステップと、
- 前記検出した時間が前記所定時間以上である場合、前記検出した時間が前記所定時間以上になる回数をカウントするステップと、
- 前記カウントした合計回数が所定回数以上であるか判定するステップと、
- を実行し、
- 前記 $n$ 相のうちの、前記カウントした合計回数が前記所定回数以上となるスイッチング素子が接続される前記巻線の相を故障した相と判定する、故障診断方法。
- [請求項2] 前記スイッチング素子に流れる電流が前記所定電流未満でない場合、前記スイッチング素子は正常であると判定するステップをさらに含む、請求項1に記載の故障診断方法。
- [請求項3] 前記検出した時間が所定時間以上でない場合、前記スイッチング素子は正常であると判定するステップをさらに含む、請求項1または2に記載の故障診断方法。
- [請求項4] 前記カウントした合計回数が前記所定回数以上でない場合、前記スイ

ッチング素子は正常であると判定するステップをさらに含む、請求項 1 から 3 のいずれかに記載の故障診断方法。

[請求項5] 前記スイッチング素子はトランジスタであり、  
前記スイッチング素子を流れる電流は、前記トランジスタのソースとドレインとの間を流れる電流である、請求項 1 から 4 のいずれかに記載の故障診断方法。

[請求項6] 請求項 1 から 5 のいずれかに記載の故障診断方法を実行するモータ制御方法であって、

前記スイッチング素子は故障していないと判定したときは、第 1 制御モードで前記モータを制御し、

前記スイッチング素子は故障していると判定したときは、前記第 1 の制御モードとは異なる第 2 制御モードで前記モータを制御する、モータ制御方法。

[請求項7] モータに電力を供給する電力変換装置であって、

複数のスイッチング素子と、

前記複数のスイッチング素子のオンとオフの切替え動作を制御する制御回路と、

を備え、

前記複数のスイッチング素子は、前記モータが備える  $n$  相（ $n$  は 3 以上の整数）の巻線に接続され、

前記制御回路は、前記複数のスイッチング素子のそれぞれにおいて、

前記スイッチング素子がオン状態に制御されたときに前記スイッチング素子に流れる電流が所定電流未満であるか判定し、

前記スイッチング素子に流れる電流が前記所定電流未満である場合、前記スイッチング素子に流れる電流が前記所定電流未満になる時間を検出し、

前記検出した時間が所定時間以上であるか判定し、

前記検出した時間が前記所定時間以上である場合、前記検出した時間が前記所定時間以上になる回数をカウントし、

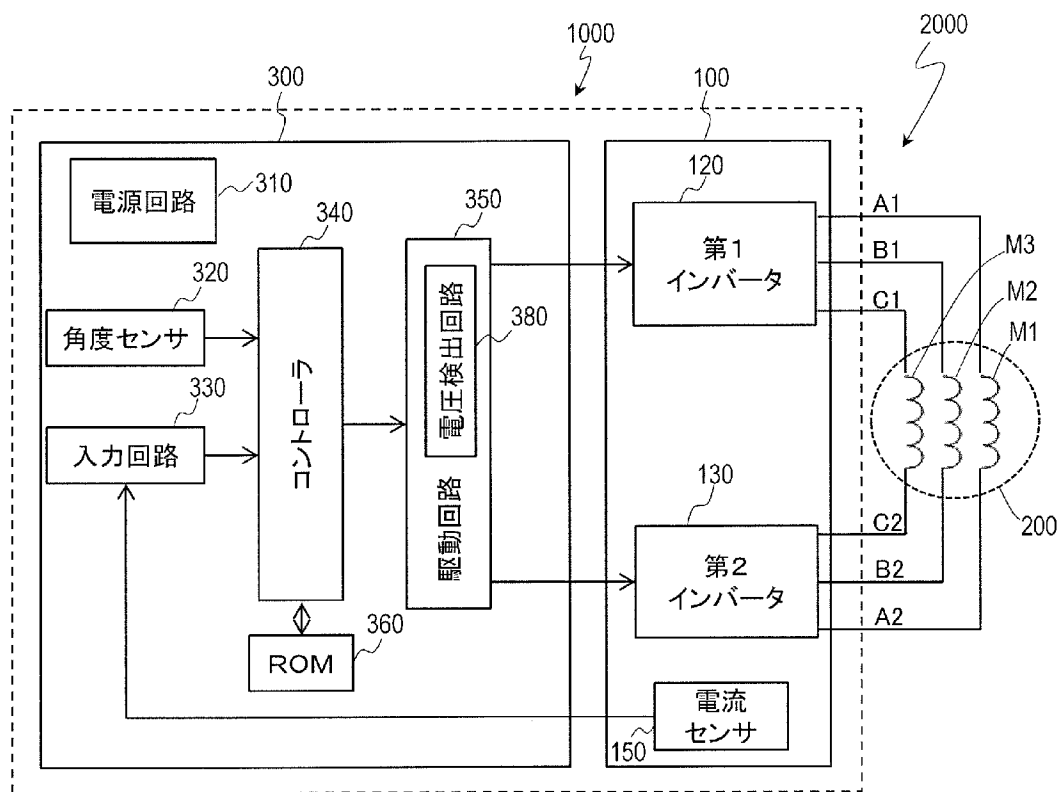
前記カウントした合計回数が所定回数以上であるか判定し、

前記制御回路は、前記  $n$  相のうちの、前記カウントした合計回数が前記所定回数以上となるスイッチング素子が接続される前記巻線の相を故障した相と判定する、電力変換装置。

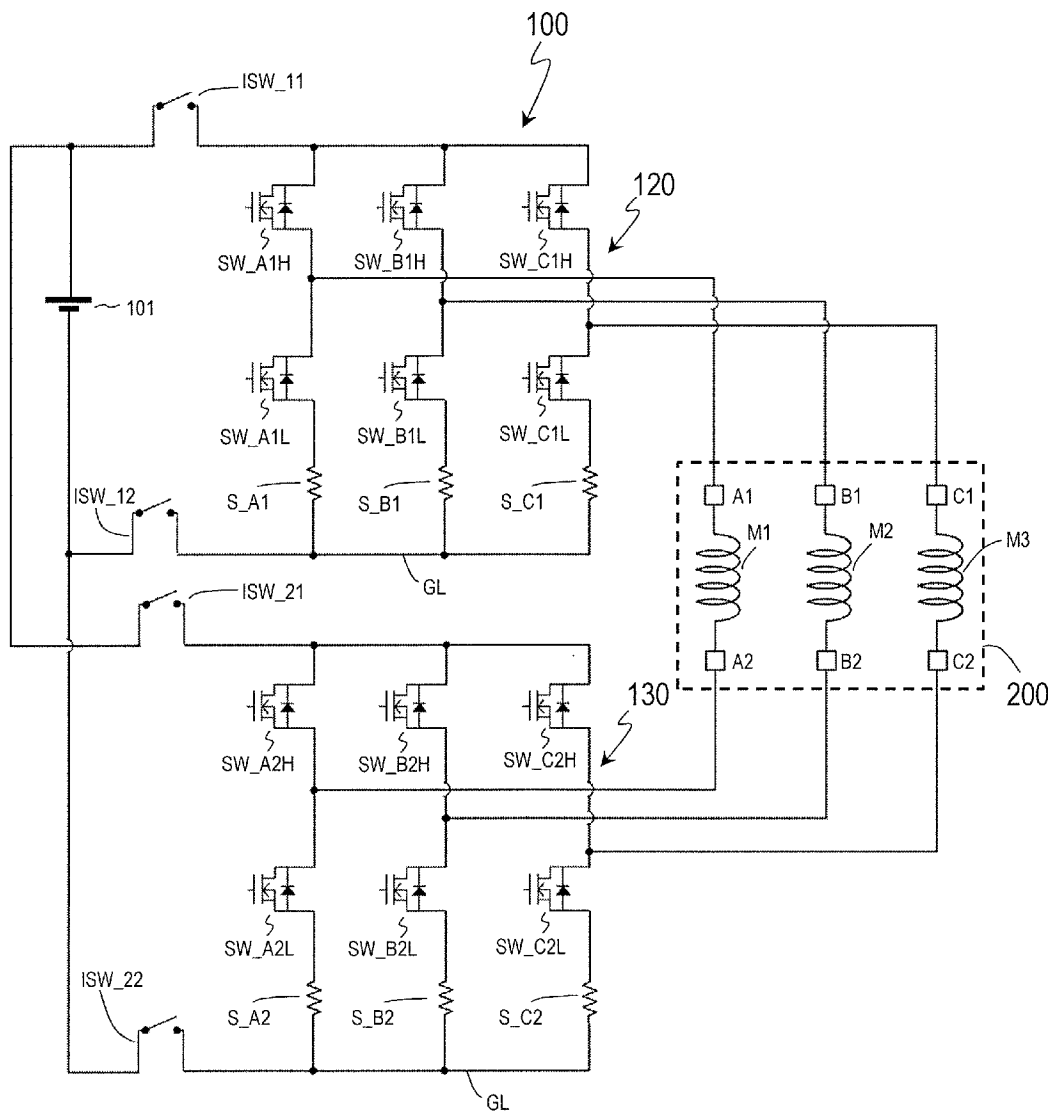
[請求項8]      モータと、  
請求項 7 に記載の電力変換装置と、  
を備えるモータモジュール。

[請求項9]      請求項 8 に記載のモータモジュールを備える電動パワーステアリング装置。

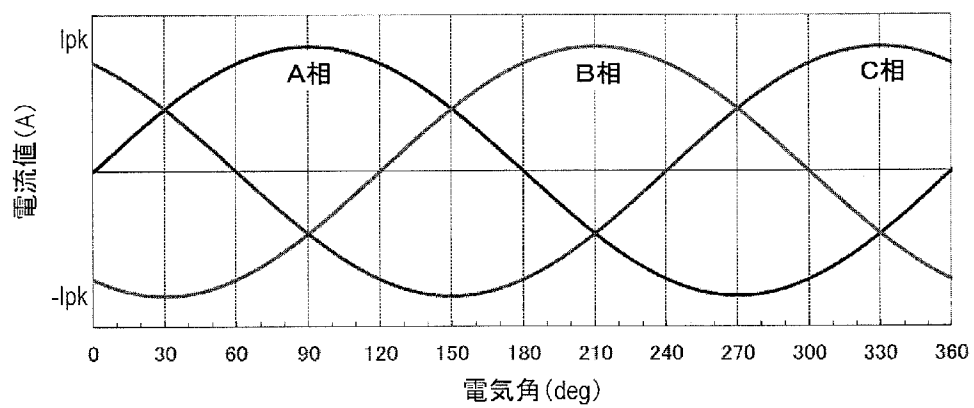
[図1]



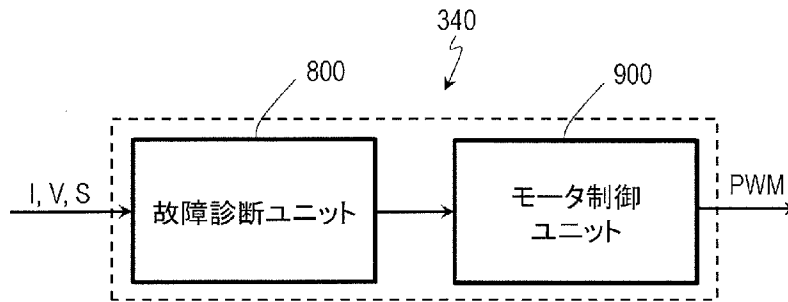
[図2]



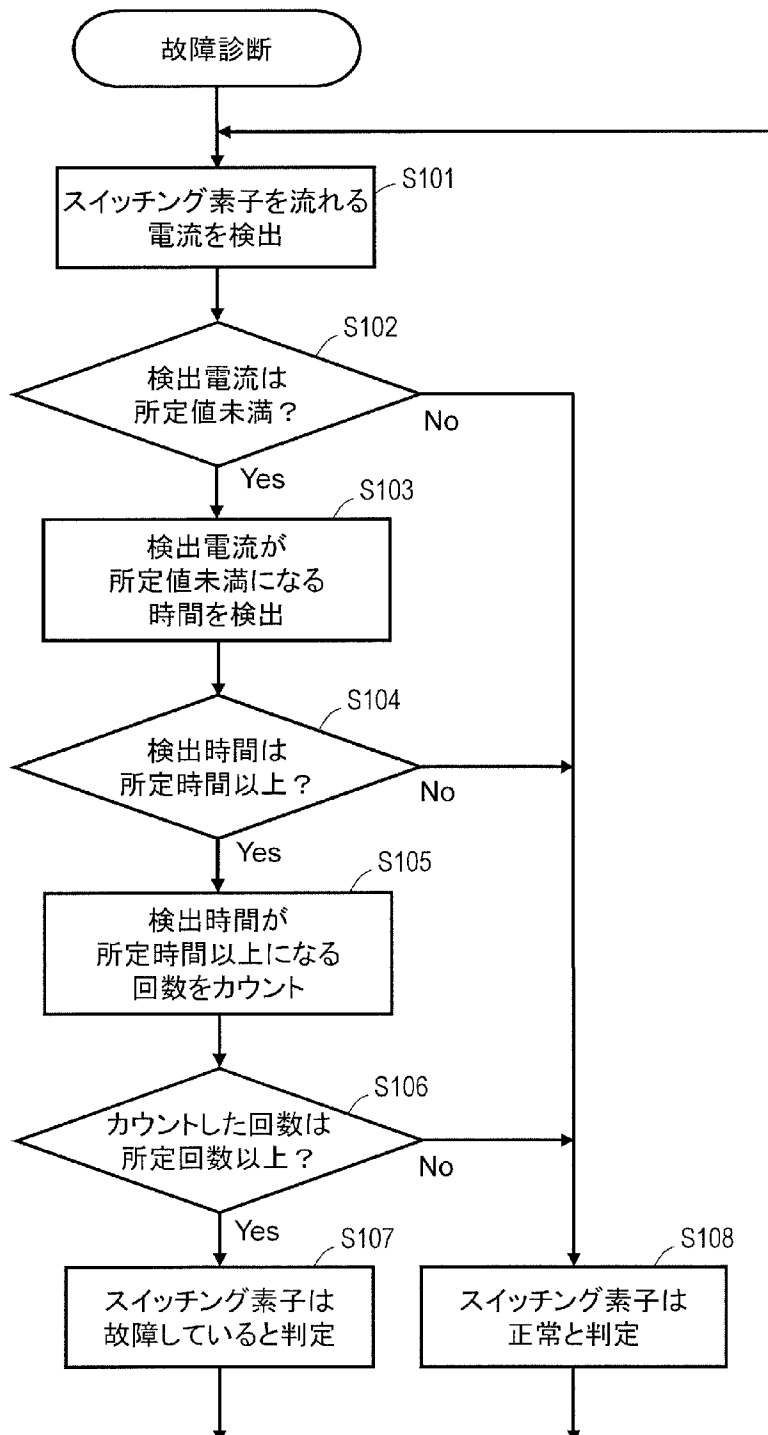
[図3]



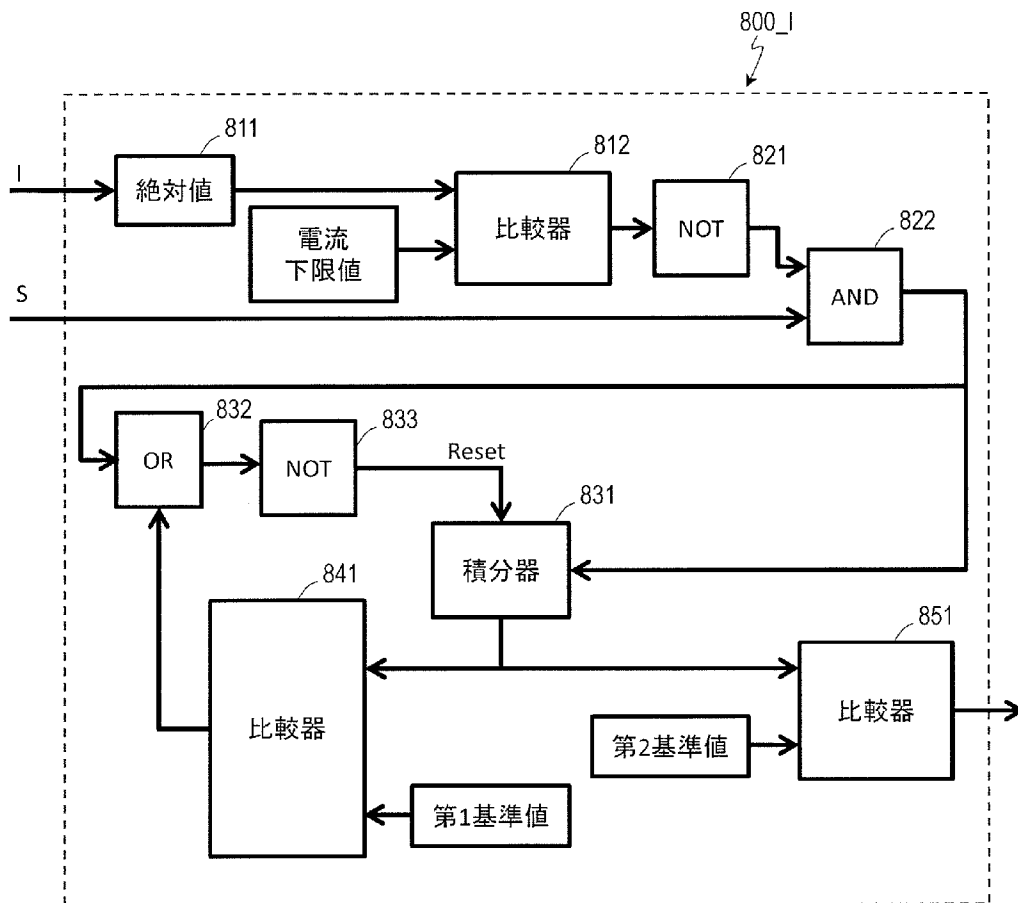
[図4]



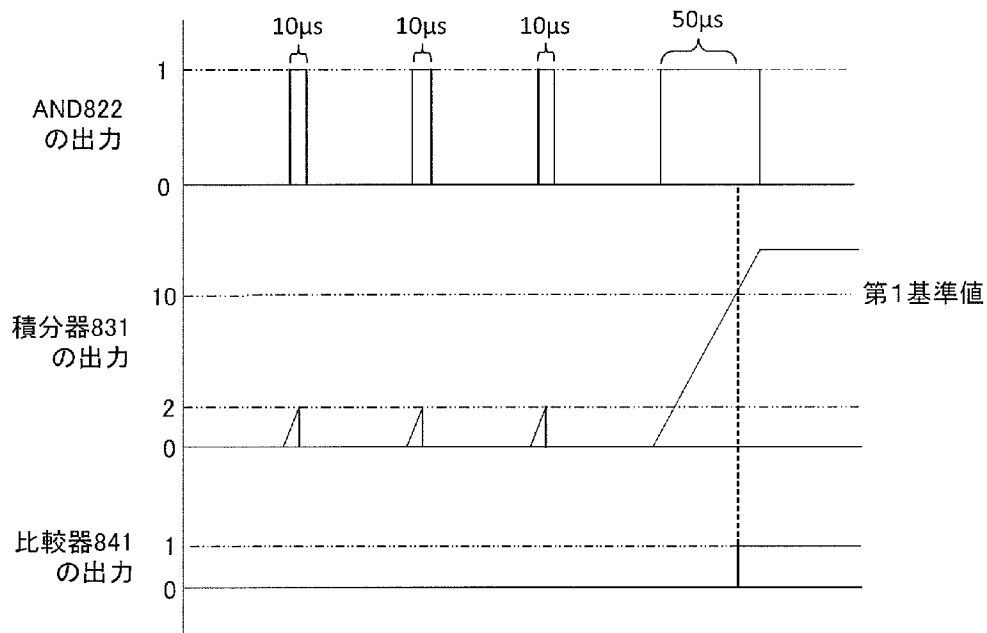
[図5]



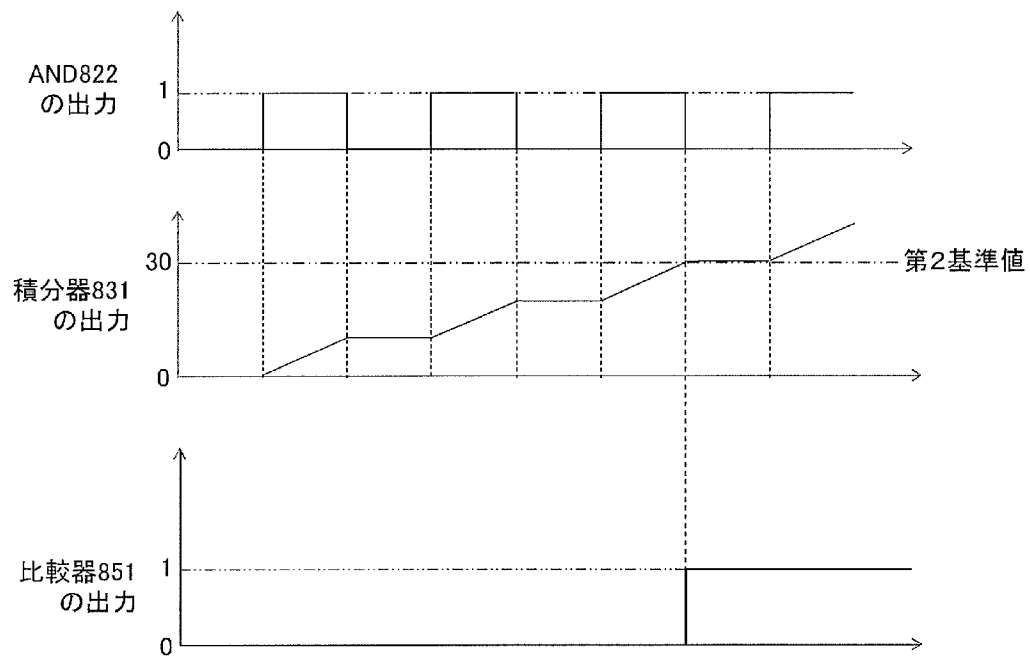
[図6]



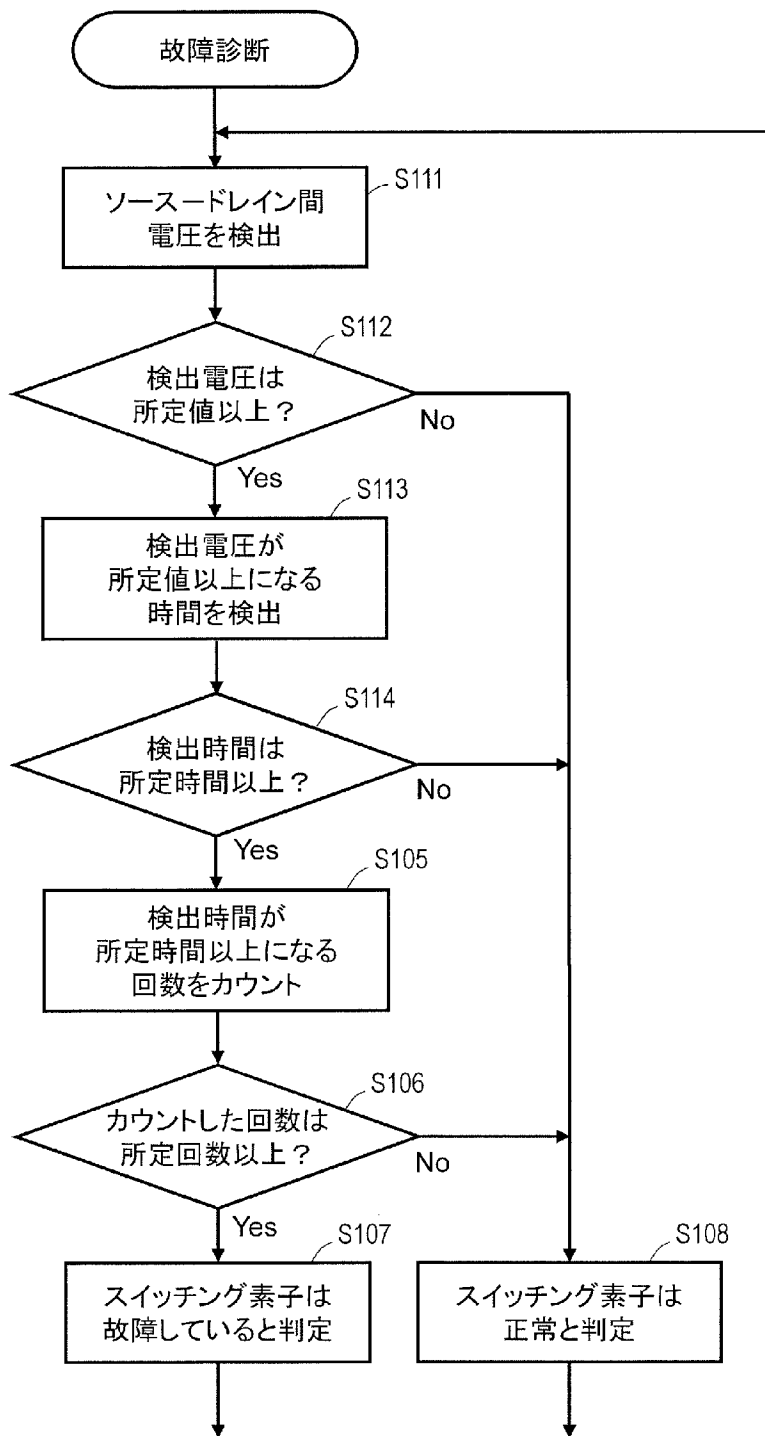
[図7]



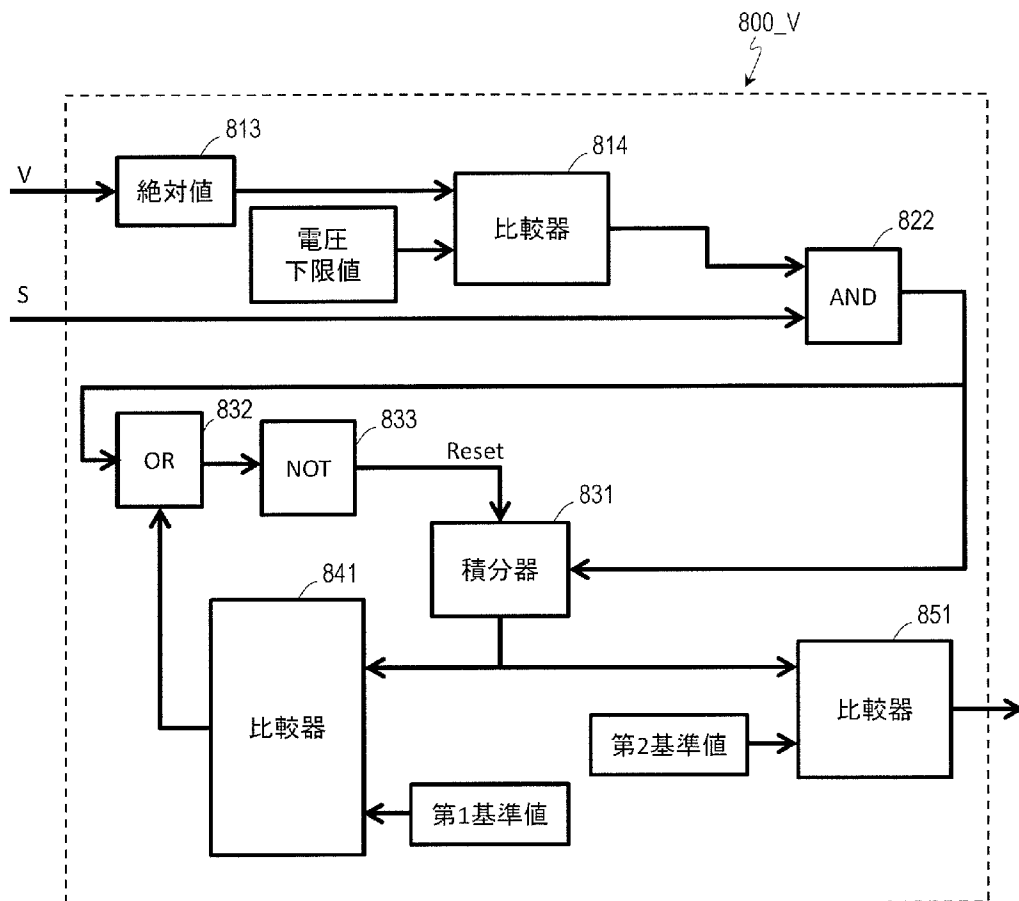
[図8]



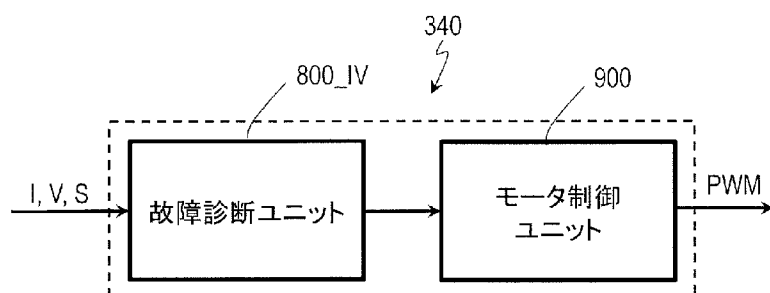
[図9]



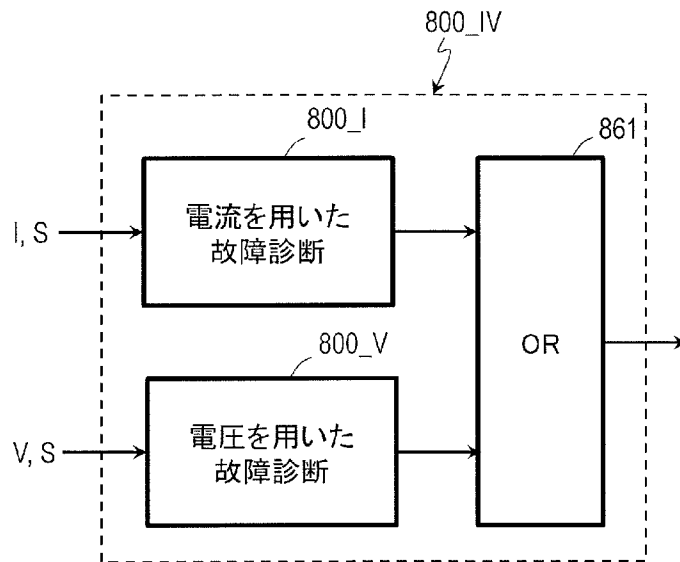
[図10]



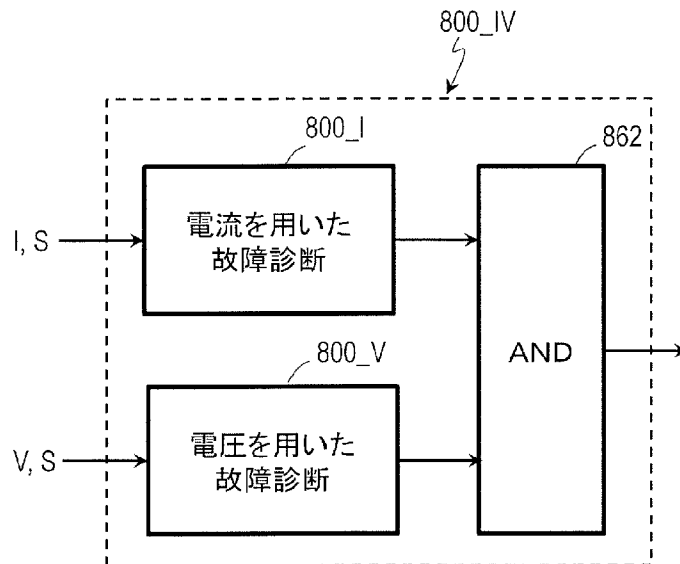
[図11]



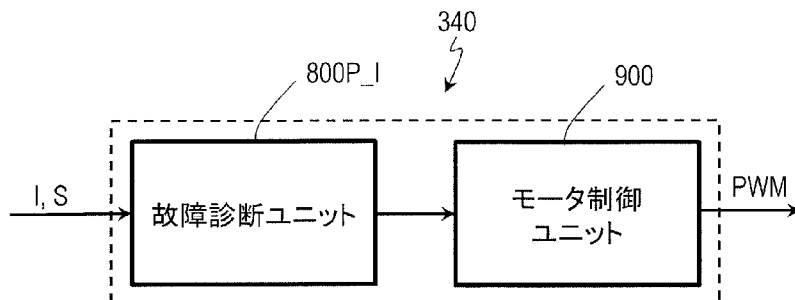
[図12]



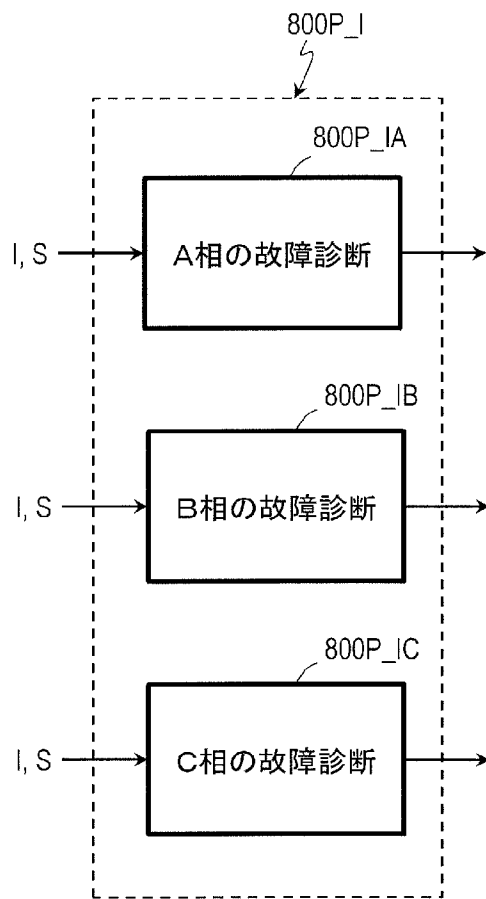
[図13]



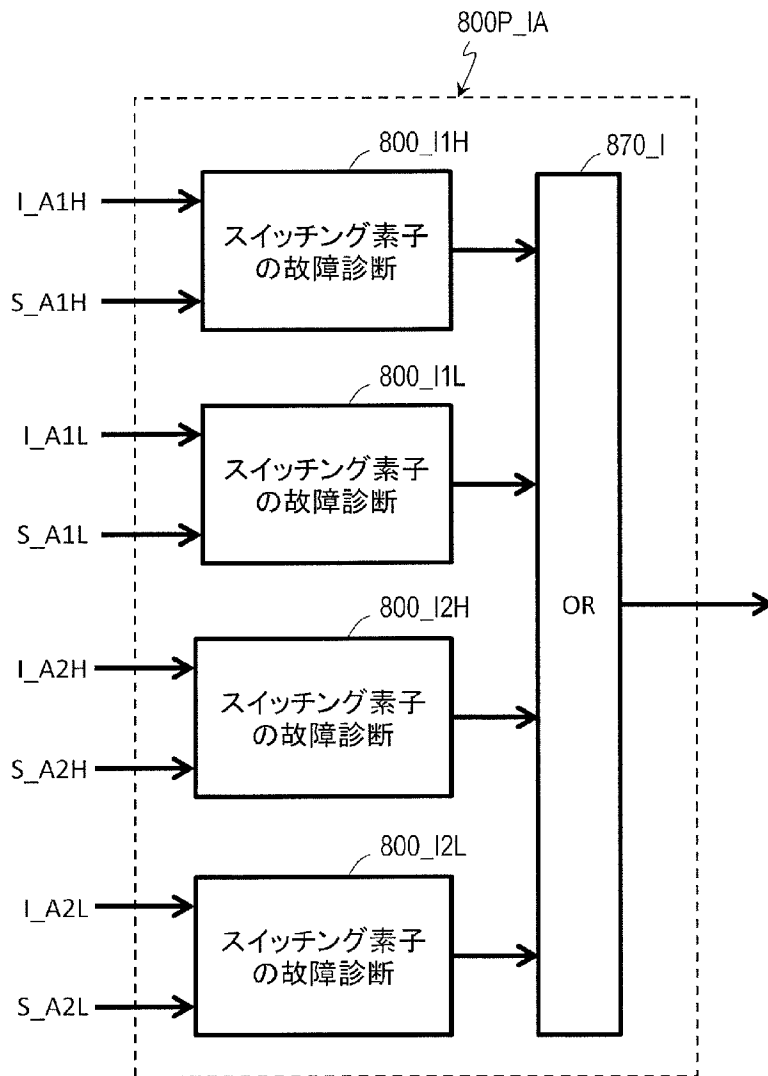
[図14]



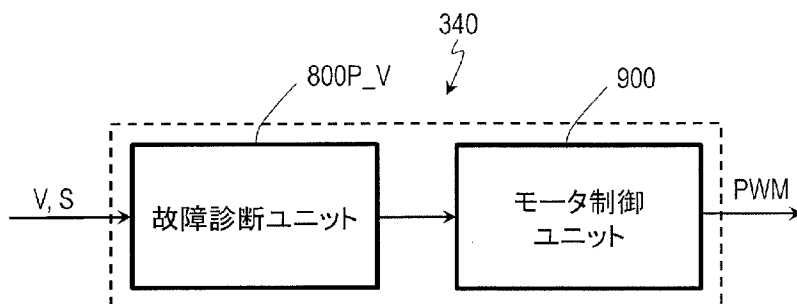
[図15]



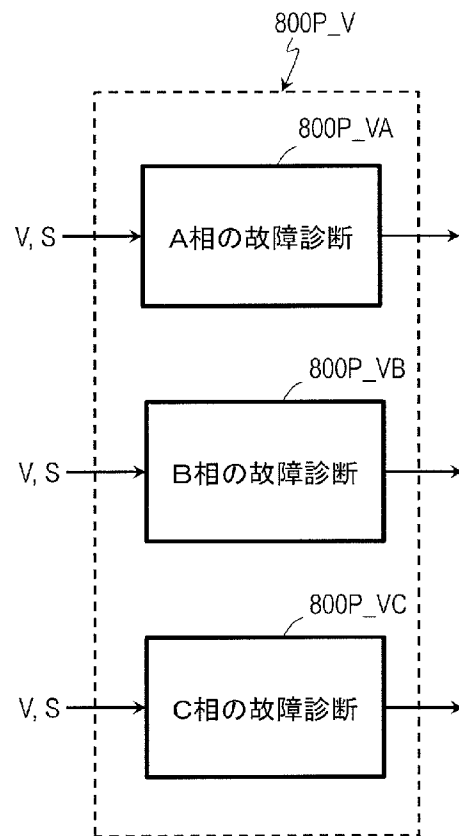
[図16]



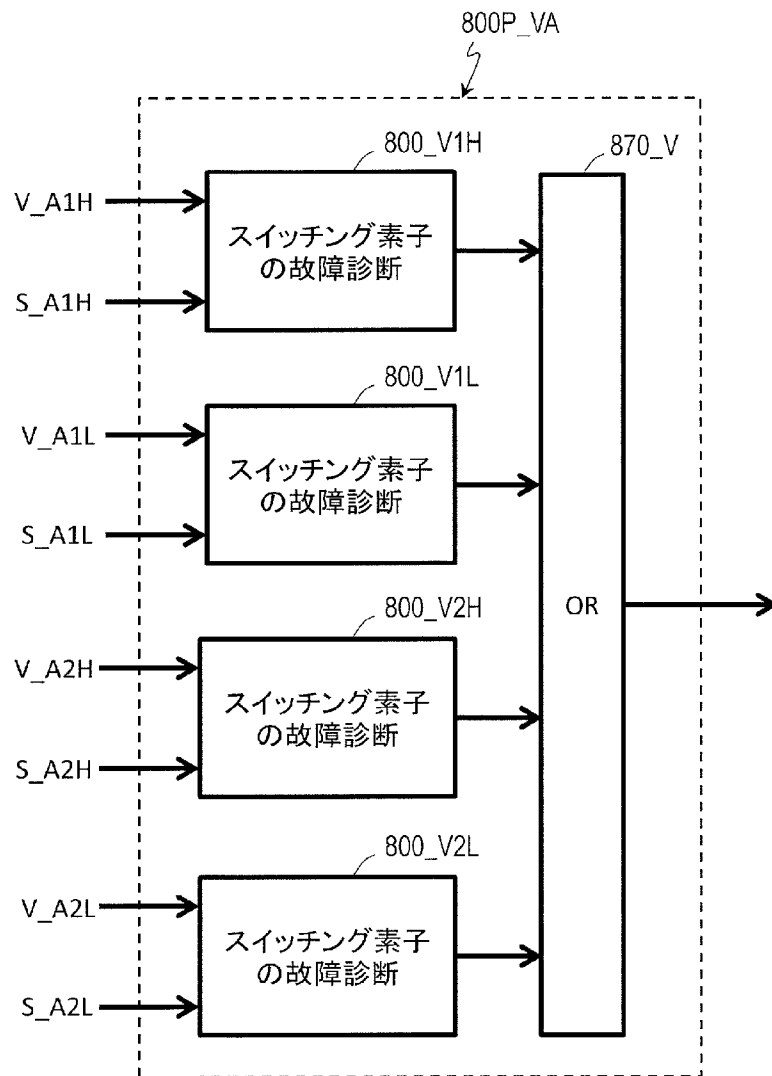
[図17]



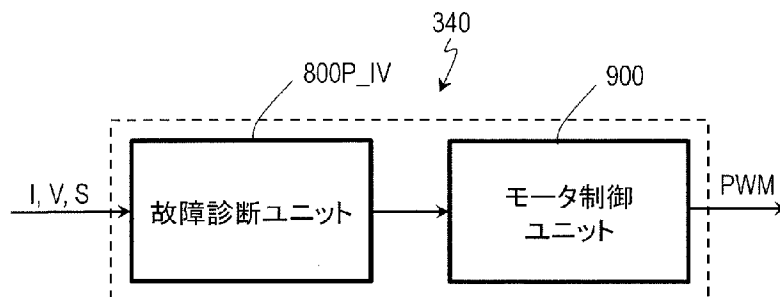
[図18]



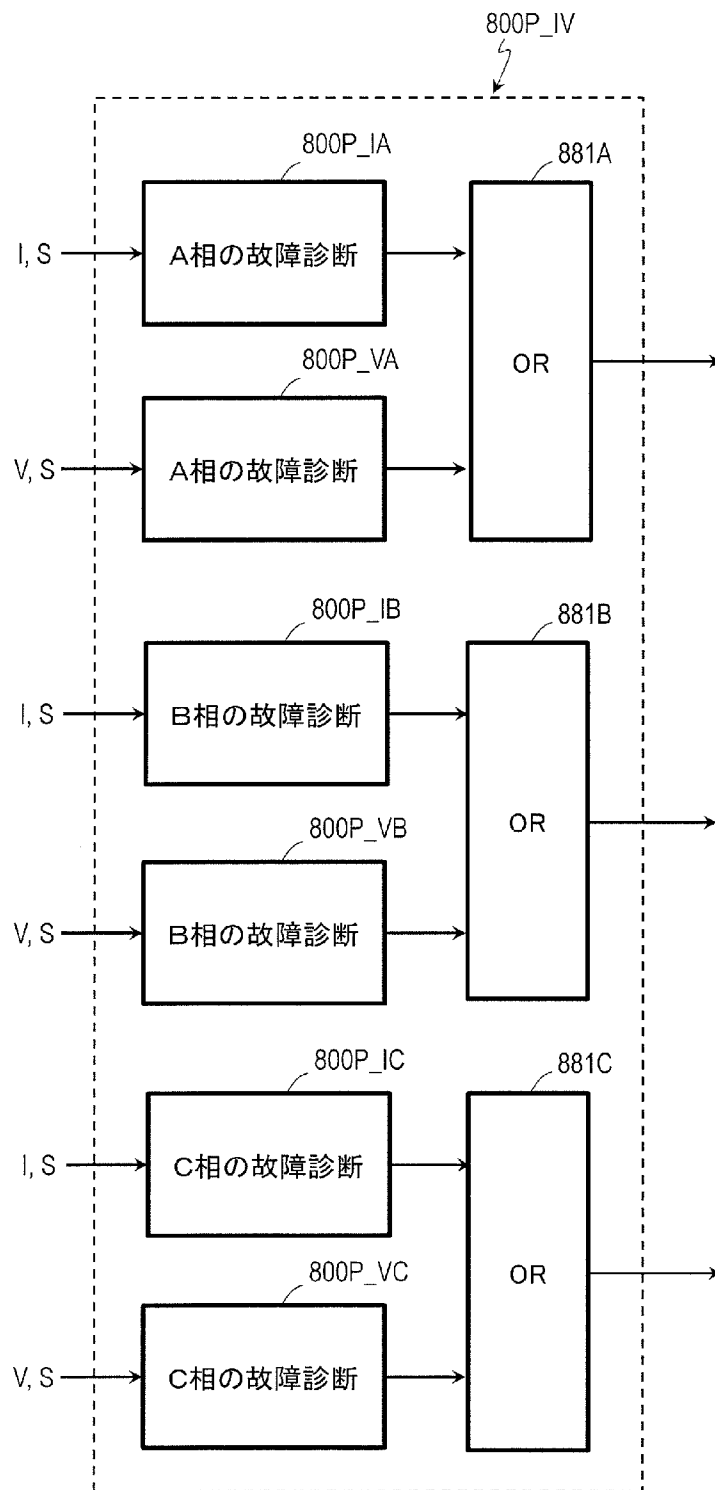
[図19]



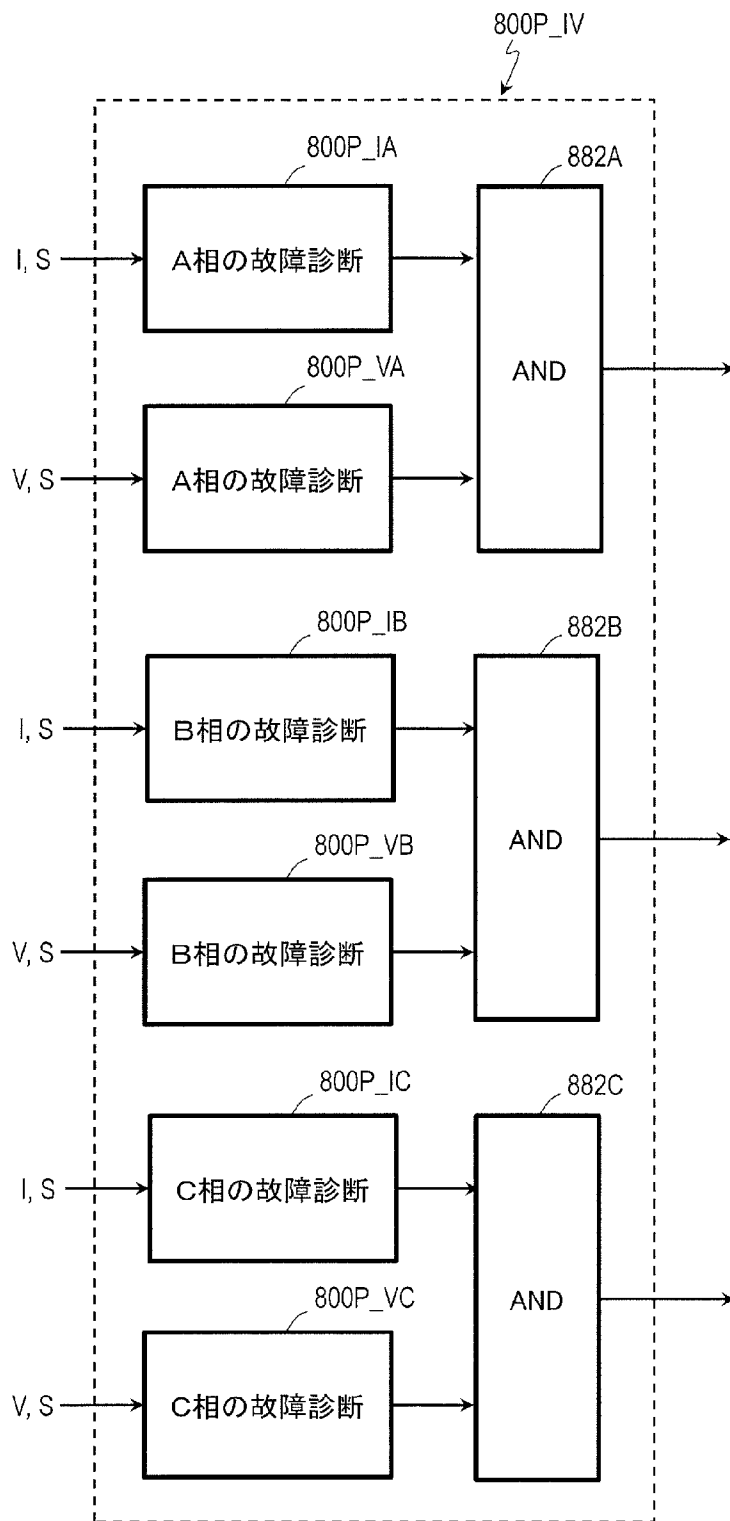
[図20]



[図21]



[図22]





# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2018/023517

| <b>A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER</b><br>Int. Cl. H02P27/06 (2006.01) i, B62D5/04 (2006.01) i, H02M7/48 (2007.01) i                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |                                                                                                                                                                             |                                                                  |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------|
| According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |                                                                                                                                                                             |                                                                  |
| <b>B. FIELDS SEARCHED</b><br>Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)<br>Int. Cl. H02P27/06, B62D5/04, H02M7/48                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                                                                                                             |                                                                  |
| Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched<br>Published examined utility model applications of Japan 1922-1996<br>Published unexamined utility model applications of Japan 1971-2018<br>Registered utility model specifications of Japan 1996-2018<br>Published registered utility model applications of Japan 1994-2018                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |                                                                                                                                                                             |                                                                  |
| Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |                                                                                                                                                                             |                                                                  |
| <b>C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |                                                                                                                                                                             |                                                                  |
| Category*                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages                                                                                          | Relevant to claim No.                                            |
| A                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | WO 2016/038683 A1 (MITSUBISHI ELECTRIC CORP.) 17 March 2016, entire text, all drawings & US 2017/0201204 A1, entire text, all drawings & EP 3193443 A1 & CN 106716822 A     | 1-9                                                              |
| A                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | JP 2015-29393 A (DENSO CORP.) 12 February 2015, entire text, all drawings (Family: none)                                                                                    | 1-9                                                              |
| A                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | JP 2013-31356 A (MITSUBISHI ELECTRIC CORP.) 07 February 2013, entire text, all drawings & US 2014/0054103 A1, entire text, all drawings & WO 2012/176553 A1 & EP 2725705 A1 | 1-9                                                              |
| <input type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of Box C. <input type="checkbox"/> See patent family annex.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |                                                                                                                                                                             |                                                                  |
| * Special categories of cited documents:<br>"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance<br>"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date<br>"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)<br>"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means<br>"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed<br>"T" 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<br>"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<br>"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<br>"&" document member of the same patent family |                                                                                                                                                                             |                                                                  |
| Date of the actual completion of the international search<br>21.09.2018                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |                                                                                                                                                                             | Date of mailing of the international search report<br>02.10.2018 |
| Name and mailing address of the ISA/<br>Japan Patent Office<br>3-4-3, Kasumigaseki, Chiyoda-ku,<br>Tokyo 100-8915, Japan                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |                                                                                                                                                                             | Authorized officer<br><br>Telephone No.                          |

## A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（I P C））

Int.Cl. H02P27/06(2006.01)i, B62D5/04(2006.01)i, H02M7/48(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（I P C））

Int.Cl. H02P27/06, B62D5/04, H02M7/48

## 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 | 1971-2018年 |
| 日本国実用新案登録公報 | 1996-2018年 |
| 日本国登録実用新案公報 | 1994-2018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<br>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<br>請求項の番号 |
|-----------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------|
| A               | WO 2016/038683 A1（三菱電機株式会社）2016.03.17,<br>全文、全図 & US 2017/0201204 A1 全文、全図<br>& EP 3193443 A1 & CN 106716822 A | 1-9            |
| A               | JP 2015-29393 A（株式会社デンソー）2015.02.12,<br>全文、全図（ファミリーなし）                                                         | 1-9            |

☒ 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

21.09.2018

## 国際調査報告の発送日

02.10.2018

## 国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁（I S A/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）

尾家 英樹

3 V

9335

電話番号 03-3581-1101 内線 3357

| C (続き) . 関連すると認められる文献 |                                                                                                                     |                |
|-----------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------|
| 引用文献の<br>カテゴリ*        | 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<br>請求項の番号 |
| A                     | JP 2013-31356 A (三菱電機株式会社) 2013. 02. 07,<br>全文、全図 & US 2014/0054103 A1 全文、全図<br>& WO 2012/176553 A1 & EP 2725705 A1 | 1-9            |