

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第6651782号  
(P6651782)

(45) 発行日 令和2年2月19日(2020.2.19)

(24) 登録日 令和2年1月27日(2020.1.27)

(51) Int. Cl.		F I	
<b>H02P 25/22</b>	<b>(2006.01)</b>	H02P 25/22	
<b>H02P 27/06</b>	<b>(2006.01)</b>	H02P 27/06	
<b>B62D 6/00</b>	<b>(2006.01)</b>	B62D 6/00	
<b>B62D 5/04</b>	<b>(2006.01)</b>	B62D 5/04	
<b>B62D 119/00</b>	<b>(2006.01)</b>	B62D 119/00	

請求項の数 8 (全 26 頁)

(21) 出願番号 特願2015-201958 (P2015-201958)  
 (22) 出願日 平成27年10月13日(2015.10.13)  
 (65) 公開番号 特開2017-77048 (P2017-77048A)  
 (43) 公開日 平成29年4月20日(2017.4.20)  
 審査請求日 平成30年9月11日(2018.9.11)

(73) 特許権者 000004260  
 株式会社デンソー  
 愛知県刈谷市昭和町1丁目1番地  
 (74) 代理人 100093779  
 弁理士 服部 雅紀  
 (72) 発明者 鈴木 崇志  
 愛知県刈谷市昭和町1丁目1番地 株式会  
 社デンソー内

審査官 尾家 英樹

(56) 参考文献 特開2015-154694 (JP, A)  
 )  
 特開2012-039740 (JP, A)  
 )

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 回転電機制御装置、および、これを用いた電動パワーステアリング装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

それぞれ複数相のコイル(811~813、821~823)を含む複数の巻線組(810、820)を有する回転電機(80)を制御する回転電機制御装置であって、  
 前記巻線組ごとに設けられ、前記回転電機の電力を変換するインバータ(120、220)と、

前記インバータごとに対応して設けられ、電源(5)から対応する前記インバータへの電力供給を遮断可能な電源リレー部(180、280)と、

前記コイルの端子電圧を検出する端子電圧検出部(140、240、165、265)と、

前記インバータを制御するインバータ制御部(41、42)、前記電源リレー部を制御するリレー制御部(43)、ならびに、前記インバータおよび前記巻線組の異常を判定する異常判定部(45)を有する制御部(40)と、

を備え、

対応する前記巻線組と前記インバータとの組み合わせを系統とし、異常が生じている前記系統を異常系統、正常である前記系統を正常系統とすると、

前記正常系統を用いて前記回転電機を駆動しているとき、

前記リレー制御部は、前記電源から前記異常系統の前記インバータへの電力供給を遮断するように前記電源リレー部を制御し、

前記異常判定部は、前記異常系統の前記端子電圧に基づき、短絡箇所を特定し、

前記インバータ制御部は、前記異常系統の全てのスイッチング素子をオフにし、特定された前記短絡箇所に応じ、前記正常系統の前記インバータの制御に係る指令値を補正する回転電機制御装置。

【請求項 2】

それぞれ複数相のコイル（811～813、821～823）を含む複数の巻線組（810、820）を有する回転電機（80）を制御する回転電機制御装置であって、

前記巻線組ごとに設けられ、前記回転電機の電力を変換するインバータ（120、220）と、

前記インバータごとに対応して設けられ、電源（5）から対応する前記インバータへの電力供給を遮断可能な電源リレー部（180、280）と、

前記コイルの端子電圧を検出する端子電圧検出部（140、240、165、265）と、

前記インバータを制御するインバータ制御部（41、42）、前記電源リレー部を制御するリレー制御部（43）、ならびに、前記インバータおよび前記巻線組の異常を判定する異常判定部（45）を有する制御部（40）と、

を備え、

対応する前記巻線組と前記インバータとの組み合わせを系統とし、異常が生じている前記系統を異常系統、正常である前記系統を正常系統とすると、

前記正常系統を用いて前記回転電機を駆動しているとき、

前記リレー制御部は、前記電源から前記異常系統の前記インバータへの電力供給を遮断するように前記電源リレー部を制御し、

前記異常判定部は、前記異常系統の前記端子電圧に基づき、短絡箇所を特定し、

前記インバータ制御部は、特定された前記短絡箇所に応じ、前記正常系統の前記インバータの制御に係る指令値を補正し、

前記異常系統において、複数相が短絡していると特定された場合、

前記短絡箇所に応じた前記指令値の補正が禁止される回転電機制御装置。

【請求項 3】

前記巻線組ごとに設けられ、一端が相毎に前記コイルの端子（111～113、211～213）に接続され、他端が結線部（164、264）で結線される抵抗群（161～163、261～263）である擬似中性点生成部（160、260）をさらに備え、

前記端子電圧検出部（165、265）は、前記結線部の電圧である擬似中性点電圧を前記端子電圧として検出する請求項 1 または 2 に記載の回転電機制御装置。

【請求項 4】

前記端子電圧検出部（140、240）は、前記端子電圧を相毎に検出するものであって、

前記異常判定部は、前記異常系統における各相の前記端子電圧の平均値に基づき、前記短絡箇所を特定する請求項 1 または 2 に記載の回転電機制御装置。

【請求項 5】

前記異常判定部は、前記電源から前記異常系統の前記インバータへの電力供給を遮断してから所定の待機時間が経過した後、前記短絡箇所を特定する請求項 1～4 のいずれか一項に記載の回転電機制御装置。

【請求項 6】

前記異常判定部は、前記回転電機が一定回転状態であるとき、前記短絡箇所を特定する請求項 1～5 のいずれか一項に記載の回転電機制御装置。

【請求項 7】

短絡箇所を特定するとは、短絡相を特定するとともに、短絡相が地絡しているか天絡しているかを特定し、

前記インバータ制御部は、短絡相、短絡相の天絡か地絡か、および、電気角に応じた補正值にて前記指令値を補正する請求項 1～6 のいずれか一項に記載の回転電機制御装置。

【請求項 8】

10

20

30

40

50

請求項 1 ~ 7 のいずれか一項に記載の回転電機制御装置 ( 1、2 ) と、  
 運転者による操舵を補助する補助トルクを出力する前記回転電機と、  
 を備える電動パワーステアリング装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、回転電機制御装置、および、これを用いた電動パワーステアリング装置に関する。

【背景技術】

【0002】

従来、多相回転機の制御装置が知られている。例えば特許文献 1 では、故障した系統において生じるブレーキトルクを打ち消すよう、故障していない系統のスイッチング素子を制御する。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0003】

【特許文献 1】特許第 4 8 3 1 5 0 3 号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

特許文献 1 では、制御部が PWM 制御を停止した状態、すなわちモータが停止した状態にて、オン故障したスイッチング素子を特定している。しかしながら、特許文献 1 では、モータが回転している状態にてオン故障したスイッチング素子を特定することができない。

本発明は、上述の課題に鑑みてなされたものであり、その目的は、回転電機が回転している状態にて短絡箇所を特定可能である回転電機制御装置、および、これを用いた電動パワーステアリング装置を提供することにある。

【課題を解決するための手段】

【0005】

本発明の回転電機制御装置は、それぞれ複数相のコイル ( 8 1 1 ~ 8 1 3、8 2 1 ~ 8 2 3 ) を含む複数の巻線組 ( 8 1 0、8 2 0 ) を有する回転電機 ( 8 0 ) を制御するものであって、インバータ ( 1 2 0、2 2 0 ) と、電源リレー部 ( 1 8 0、2 8 0 ) と、端子電圧検出部 ( 1 4 0、2 4 0、1 6 5、2 6 5 ) と、制御部 ( 4 0 ) と、を備える。

インバータは、巻線組ごとに対応して設けられ、回転電機の電力を変換する。

電源リレー部は、インバータごとに対応して設けられ、電源から対応するインバータへの電力供給を遮断可能である。

端子電圧検出部は、巻線の端子電圧を検出する。

制御部は、インバータを制御するインバータ制御部 ( 4 1 )、電源リレー部を制御するリレー制御部 ( 4 3 )、ならびに、インバータおよび巻線組の異常を判定する異常判定部 ( 4 5 ) を有する。

【0006】

ここで、対応する巻線組とインバータとの組み合わせを系統とし、異常が生じている系統を異常系統、正常である系統を正常系統とする。

正常系統を用いて回転電機を駆動しているとき、リレー制御部は、電源から異常系統のインバータへの電力供給を遮断するように、電源リレー部を制御する。また、異常判定部は、異常系統の端子電圧に基づき、短絡異常が生じている短絡箇所を特定する。ここで、「短絡箇所を特定する」とは、短絡相を特定するとともに、短絡相が地絡しているか、天絡しているかを特定することを意味する。

第 1 の態様では、インバータ制御部は、異常系統の全てのスイッチング素子をオフにし、特定された短絡箇所に応じ、正常系統のインバータの制御に係る指令値を補正する。第

10

20

30

40

50

2の態様では、インバータ制御部は、特定された短絡箇所に応じ、正常系統のインバータの制御に係る指令値を補正する。また、異常系統において、複数相が短絡していると特定された場合、短絡箇所に応じた指令値の補正が禁止される。

【0007】

本発明では、異常系統の電源リレー部により電源からインバータへの電力供給を遮断した状態にて、回転電機の逆起電力により発生する端子電圧に基づき、短絡箇所を判定している。これにより、回転電機が回転している状態にて短絡箇所を適切に特定することができる。また、短絡箇所に応じて指令値を補正することで、トルクリップルを低減することができる。

【図面の簡単な説明】

10

【0008】

【図1】本発明の第1実施形態によるステアリングシステムを示す概略構成図である。

【図2】本発明の第1実施形態によるモータを説明する図であり、(a)が模式的な斜視図、(b)が相配列を説明する説明図である。

【図3】本発明の第1実施形態による電気角を説明する説明図である。

【図4】本発明の第1実施形態によるモータ制御装置を説明する回路図である。

【図5】本発明の第1実施形態による制御部を説明するブロック図である。

【図6】本発明の第1実施形態による異常判定処理を説明するフローチャートである。

【図7】本発明の第1実施形態による短絡箇所特定処理を説明するフローチャートである。

20

【図8】本発明の第1実施形態によるq軸電流補正值を説明する説明図である。

【図9】本発明の第1実施形態において、短絡異常が生じていない場合の片系統駆動時の(a)端子電圧平均値、(b)各相の端子電圧を説明する説明図である。

【図10】本発明の第1実施形態において、W相地絡異常が生じている場合の片系統駆動時の(a)端子電圧平均値、(b)各相の端子電圧を説明する説明図である。

【図11】本発明の第1実施形態において、W相天絡異常が生じている場合の片系統駆動時の(a)端子電圧平均値、(b)各相の端子電圧を説明する説明図である。

【図12】本発明の第2実施形態によるモータ制御装置を説明する回路図である。

【図13】本発明の第2実施形態において、短絡異常が生じていない場合の片系統駆動時の擬似中性点電圧を説明する説明図である。

30

【図14】本発明の第2実施形態において、W相地絡異常が生じている場合の片系統駆動時の擬似中性点電圧を説明する説明図である。

【図15】本発明の第2実施形態において、W相天絡異常が生じている場合の片系統駆動時の擬似中性点電圧を説明する説明図である。

【発明を実施するための形態】

【0009】

以下、本発明による回転電機制御装置、および、これを用いた電動パワーステアリング装置を図面に基づいて説明する。以下、複数の実施形態において、実質的に同一の構成には同一の符号を付して説明を省略する。

(第1実施形態)

40

本発明の第1実施形態を図1～図11に示す。

図1に示すように、回転電機制御装置としてのモータ制御装置1は、回転電機としてのモータ80とともに、運転者によるステアリング操作を補助する電動パワーステアリング装置8に適用される。

【0010】

図1は、電動パワーステアリング装置8を備えるステアリングシステム90の構成を示す。ステアリングシステム90は、操舵部材であるステアリングホイール91、ステアリングシャフト92、ピニオンギア96、ラック軸97、車輪98、および、電動パワーステアリング装置8等を有する。

【0011】

50

ステアリングホイール 9 1 は、ステアリングシャフト 9 2 と接続される。ステアリングシャフト 9 2 には、運転者がステアリングホイール 9 1 を操作することにより入力される操舵トルクを検出するトルクセンサ 9 4 が設けられる。ステアリングシャフト 9 2 の先端には、ピニオンギア 9 6 が設けられる。ピニオンギア 9 6 は、ラック軸 9 7 に噛み合っている。ラック軸 9 7 の両端には、タイロッド等を介して一对の車輪 9 8 が連結される。

【 0 0 1 2 】

運転者がステアリングホイール 9 1 を回転させると、ステアリングホイール 9 1 に接続されたステアリングシャフト 9 2 が回転する。ステアリングシャフト 9 2 の回転運動は、ピニオンギア 9 6 によってラック軸 9 7 の直線運動に変換される。一对の車輪 9 8 は、ラック軸 9 7 の変位量に応じた角度に操舵される。

10

【 0 0 1 3 】

電動パワーステアリング装置 8 は、モータ 8 0、モータ 8 0 の回転を減速してステアリングシャフト 9 2 またはラック軸 9 7 に伝える減速ギア 8 9、および、モータ制御装置 1 等を備える。すなわち、本実施形態の電動パワーステアリング装置 8 は、所謂「コラムアシストタイプ」であるが、モータ 8 0 の回転をラック軸 9 7 に伝える所謂「ラックアシストタイプ」としてもよい。

モータ 8 0 は、運転者によるステアリングホイール 9 1 の操舵を補助する補助トルクを出力するものであって、電源としてのバッテリー 5 ( 図 2 参照 ) から電力が供給されることにより駆動され、減速ギア 8 9 を正逆回転させる。

【 0 0 1 4 】

20

図 2 ~ 図 4 に示すように、モータ 8 0 は、3 相ブラシレスモータであって、ロータ 8 3、ステータ 8 5、および、2 組の巻線組 8 1 0、8 2 0 を有する。

図 4 に示すように、第 1 巻線組 8 1 0 は、U 1 コイル 8 1 1、V 1 コイル 8 1 2、および、W 1 コイル 8 1 3 を有する。コイル 8 1 1、8 1 2、8 1 3 は、一端が第 1 インバータ 1 2 0 と接続され、他端が結線部 8 1 9 で結線される。以下、U 1 コイル 8 1 1 の一端を U 1 端子 1 1 1、V 1 コイル 8 1 2 の一端を V 1 端子 1 1 2、W 1 コイル 8 1 3 の一端を W 1 端子 1 1 3 とする。

【 0 0 1 5 】

第 2 巻線組 8 2 0 は、U 2 コイル 8 2 1、V 2 コイル 8 2 2、および、W 2 コイル 8 2 3 を有する。コイル 8 2 1、8 2 2、8 2 3 は、一端が第 2 インバータ 2 2 0 と接続され、他端が結線部 8 2 9 で結線される。以下、U 2 コイル 8 2 1 の一端を U 2 端子 2 1 1、V 1 コイル 8 1 2 の一端を V 2 端子 2 1 2、W 2 コイル 8 2 3 の一端を W 2 端子 2 1 3 とする。

30

【 0 0 1 6 】

図 2 に示すように、ロータ 8 3 は、ステータ 8 5 の径方向内側に配置され、回転軸 O を中心として、ステータ 8 5 に対して相対回転可能に設けられる。ロータ 8 3 の径方向外側には、極数が  $( 2 \times m )$  の永久磁石 8 4 が設けられる。m は自然数であって、本実施形態では、 $m = 2$  である。すなわち、本実施形態のロータ 8 3 の磁極数が 4 であり、1 つの磁極が機械角 9 0 度の範囲に配置されている。

ステータ 8 5 には、コイル 8 1 1 ~ 8 1 3、8 2 1 ~ 8 2 3 が巻回されている。

40

【 0 0 1 7 】

図 2 ( b ) は、図 2 ( a ) を Z 方向から見た模式図である。本実施形態では、ロータ 8 3 が、図 2 ( b ) の時計方向に回転する場合を正回転、反時計方向に回転する場合を負回転とする。

図 2 ( b ) に基づいてコイル 8 1 1 ~ 8 1 3、8 2 1 ~ 8 2 3 の相配列を説明する。図 2 ( b ) 中では、U 1 コイル 8 1 1 を「U 1」、V 1 コイル 8 1 2 を「V 1」、W 1 コイル 8 1 3 を「W 1」、U 2 コイル 8 2 1 を「U 2」、V 2 コイル 8 2 2 を「V 2」、W 2 コイル 8 2 3 を「W 2」と記載した。

【 0 0 1 8 】

図 2 ( b ) に示すように、巻線組 8 1 0、8 2 0 は、1 つの磁極に対し、基準線 B から

50

、機械角15度ごとに、U1コイル811、U2コイル821、W1コイル813、W2コイル823、V1コイル812、V2コイル822の順で配列されている。

また、本実施形態では、U1コイル811、U2コイル821、V1コイル812およびV2コイル822は、第1方向に巻回され、W1コイル813および第2コイル823は、第1方向と反対方向である第2方向に巻回される。

#### 【0019】

電気角で見たときの相配列は、図3に示す如くとなる。後述する第1系統101のU相とd軸とのなす角を第1電気角 $\theta_1$ 、第2系統201のU相とd軸とのなす角を第2電気角 $\theta_2$ とする。第1電気角 $\theta_1$ と第2電気角 $\theta_2$ との関係を、式(1-1)に示す。また、第1電気角 $\theta_1$ または第2電気角 $\theta_2$ と、後述の電気角 $\theta_e$ との関係を式(1-2)、(1-3)に示す。本明細書では、電気角の単位を[deg]として記載する。

$$\theta_1 - \theta_2 = 30 \quad \dots (1-1)$$

$$\theta_1 = \theta_e + 15 \quad \dots (1-2)$$

$$\theta_2 = \theta_e - 15 \quad \dots (1-3)$$

#### 【0020】

また、各相の誘起電圧を、式(2-1)、(2-2)、(2-3)に示す。

$$E_{un} = -\sin(n\theta) \quad \dots (2-1)$$

$$E_{vn} = -\sin(n - 120) \quad \dots (2-2)$$

$$E_{wn} = -\sin(n + 120) \quad \dots (2-3)$$

式中のnは、1または2である。n=1のとき、誘起電圧 $E_{u1}$ 、 $E_{v1}$ 、 $E_{w1}$ は、第1巻線組810の各相に生じる誘起電圧であり、n=2のとき、誘起電圧 $E_{u2}$ 、 $E_{v2}$ 、 $E_{w2}$ は、第2巻線組820の各相に生じる誘起電圧である。

#### 【0021】

図4に示すように、モータ制御装置1は、パルス幅変調制御等により、モータ80の駆動を制御するものである。モータ制御装置1は、インバータ120、220、端子電圧検出部140、240、コンデンサ170、270、コンデンサ電圧検出部175、275、電源リレー部180、280、回転角センサ30、および、制御部40等を備える。なお、図4では、煩雑になることを避けるため、制御線等を適宜省略した。

#### 【0022】

本実施形態では、第1巻線組810、および、第1巻線組810に対応して設けられる第1インバータ120、各検出部130、140、175、第1コンデンサ170、および、第1電源リレー部180等の電子部品を、第1系統101とする。また、第2巻線組820、および、第2巻線組820に対応して設けられる第2インバータ220、各検出部230、240、275、第2コンデンサ270、および、第2電源リレー部280等の電子部品を、第2系統201とする。

#### 【0023】

以下、3桁で付番した構成について、百の位が「1」である場合、第1系統101に含まれるものであることを意味し、百の位が「2」である場合、第2系統202に含まれるものであることを意味する。また、第1系統101に含まれる構成と、第2系統201に含まれる構成とで、下2桁が同じである場合、同様のものであることを意味するものとする。

以下、第1系統101に係る構成および制御を中心に説明し、第2系統201に係る構成の説明を適宜省略する。なお、第2系統201に係る構成や値の名称は、対応する第1系統101に係る名称の「第1」を「第2」に読み替える、或いは、「U1」を「U2」とする、といった具合に、添え字の「1」を「2」に読み替える。

#### 【0024】

第1インバータ120は、3相インバータであり、U1上アーム素子121、V1上アーム素子122、W1上アーム素子123、U1下アーム素子124、V1下アーム素子125、および、W1下アーム素子126を有する。

以下適宜、素子121~126、221~226を、「SW素子」という。

10

20

30

40

50

SW素子121～126、221～226は、いずれもMOSFETであるが、IGBTやサイリスタ等としてもよい。

【0025】

上アーム素子121、122、123のドレインは、第1正側母線116と接続される、上アーム素子121、122、123のソースは、それぞれ対になる下アーム素子124、125、126のドレインに接続される。下アーム素子124、125、126のソースは、第1負側母線117に接続される。

対になるU相の上アーム素子121と下アーム素子124との接続点は、U1端子111に接続される。対になるV相の上アーム素子122と下アーム素子125との接続点は、V1端子112に接続される。対になるW相の上アーム素子123と下アーム素子126との接続点は、W1端子113に接続される。

10

【0026】

第1正側母線116は、上アーム素子121～123の高電位側とバッテリー5の正極を接続する高電位側配線であって、第1リレー部180の下流側とする。ここで、第1リレー部180の下流側とは、バッテリー5と反対側であるものとする。第1負側母線117は、下アーム素子124～126の低電位側とバッテリー5の負極またはグランドと接続する低電位側配線である。

【0027】

第1電流検出部130は、電流センサ131、132、133を有する。電流センサ131～133は、それぞれ第1下アーム素子124～126と第1負側母線117との間に設けられ、第1巻線組810の各相に通電される各相電流 $I_{u1}$ 、 $I_{v1}$ 、 $I_{w1}$ を検出する。本実施形態の電流センサ131～133は、いずれもシャント抵抗である。電流センサ131～133の両端電圧は、それぞれ、各相電流 $I_{u1}$ 、 $I_{v1}$ 、 $I_{w1}$ に係る検出値として、オペアンプ134、135、136を經由して、制御部40に出力される。

20

【0028】

第1端子電圧検出部140は、U1端子電圧検出部141、V1端子電圧検出部144、および、W1端子電圧検出部147を有する。

U1端子電圧検出部141は、分圧抵抗である抵抗142、143を有し、U1端子111と第1負側母線117とに接続される。抵抗142、143の接続点の電圧は、U1端子111のU1端子電圧 $V_{u1}$ に係る検出値であるU1端子電圧検出値 $V_{u1\_d}$ として、制御部40に出力される。

30

【0029】

V1端子電圧検出部144は、分圧抵抗である抵抗145、146を有し、V1端子112と第1負側母線117とに接続される。抵抗145、146の接続点の電圧は、V1端子112のV1端子電圧 $V_{v1}$ に係る検出値であるV1端子電圧検出値 $V_{v1\_d}$ として、制御部40に出力される。

W1端子電圧検出部147は、分圧抵抗である抵抗148、149を有し、W1端子113と第1負側母線117とに接続される。抵抗148、149の接続点の電圧は、W1端子113のW1端子電圧 $V_{w1}$ に係る検出値であるW1端子電圧検出値 $V_{w1\_d}$ として、制御部40に出力される。

40

【0030】

第2端子電圧検出部240では、抵抗242、243の接続点の電圧が、U2端子211の端子電圧 $V_{u2}$ に係る検出値であるU2端子電圧検出値 $V_{u2\_d}$ として、制御部40に出力される。また、抵抗245、246の接続点の電圧がV2端子212の端子電圧 $V_{v2}$ に係る検出値であるV2端子電圧検出値 $V_{v2\_d}$ として制御部40に出力され、抵抗248、248の接続点の電圧がW2端子213の端子電圧 $V_{w2}$ に係る検出値であるW2端子電圧検出値 $V_{w2\_d}$ として制御部40に出力される。

制御部40では、各端子電圧検出値を抵抗比に基づいて換算し、各端子電圧を演算する。

50

なお、換算前の各端子電圧検出値は、端子電圧に換算可能な値であるので、第1端子電圧検出部140が端子電圧 $V_{u1}$ 、 $V_{v1}$ 、 $V_{w1}$ を検出し、第2端子電圧検出部240が端子電圧 $V_{u2}$ 、 $V_{v2}$ 、 $V_{w2}$ を検出しているとみなす。

#### 【0031】

第1プルアップ抵抗群150は、U1プルアップ抵抗151、V1プルアップ抵抗152、および、W1プルアップ抵抗153を有する。U1プルアップ抵抗151は、第1正側母線116とU1端子電圧検出部141とに接続される。V1プルアップ抵抗152は、第1正側母線116とV1端子電圧検出部144とに接続される。W1プルアップ抵抗153は、第1正側母線116とW1端子電圧検出部147とに接続される。

第1端子電圧検出部140を構成する各抵抗、および、第1プルアップ抵抗群150を構成する各抵抗の抵抗値は、適宜設定可能である。本実施形態では、これらの全ての抵抗の抵抗値が等しいものとする。

10

#### 【0032】

第1コンデンサ170は、第1正側母線116と第1負側母線117とに接続され、電荷を蓄えることで、第1インバータ120への電力供給を補助したり、サージ電流などのノイズ成分を抑制したりする。

第1コンデンサ電圧検出部175は、分圧抵抗である抵抗176、177を有し、第1正側母線116と第1負側母線117とに接続される。抵抗176、177の接続点の電圧は、第1コンデンサ170の電圧である第1コンデンサ電圧 $V_{c1}$ に係る検出値として制御部40に出力される。なお、第1コンデンサ電圧 $V_{c1}$ は、第1正側母線116の電圧、あるいは、第1リレー部180の下流側の電圧であるリレー後電圧と捉えることもできる。

20

#### 【0033】

第1電源リレー部180は、第1電源リレー181および第1逆接保護リレー182を有する。

第1電源リレー181は、第1インバータ120、第1端子電圧検出部140、第1コンデンサ170、および、第1コンデンサ電圧検出部175と、バッテリー5との間に設けられ、バッテリー5から第1インバータ120側への電力供給を遮断可能である。

第1逆接保護リレー182は、第1電源リレー181と寄生ダイオードの向きが逆向きとなるように、第1電源リレー181と直列に接続される。第1逆接保護リレー182を設けることで、バッテリー5等が誤って逆向きに接続された場合に逆向きの電流が流れるのを防ぐ。

30

本実施形態のリレー181、182は、いずれもMOSFETであるが、半導体リレーに限らず、メカリレーとしてもよい。寄生ダイオードを持たない半導体リレーやメカリレーとする場合、逆接保護リレー182は省略可能である。

#### 【0034】

回転角センサ30は、モータ80の電気角 $\theta$ を検出する。回転角センサ30の検出値は、制御部40へ出力される。

図4および図5に示すように、制御部40は、マイコン等を主体として構成される。制御部40における各処理は、ROM等の実体的なメモリ装置に予め記憶されたプログラムをCPUで実行することによるソフトウェア処理であってもよいし、専用の電子回路によるハードウェア処理であってもよい。

40

#### 【0035】

制御部40は、トルクセンサ94(図1参照)から取得されるトルク検出値、および、回転角センサ30から取得される電気角 $\theta$ に係る検出値等に基づき、上アーム素子121~123、211~213および下アーム素子124~126、214~216のオンオフ作動を制御することで、モータ80の駆動を制御する。

#### 【0036】

図5に示すように、制御部40は、機能ブロックとして、第1インバータ制御部41、第2インバータ制御部42、リレー制御部43、および、異常判定部45等を有する。

50

第1インバータ制御部41は、3相2相変換部410、補正電流演算部411、切替部412、補正部413、減算器414、415、制御器416、2相3相変換部417、デューティ演算部418、および、信号生成部419を有する。

第2インバータ制御部42は、3相2相変換部420、補正電流演算部421、切替部422、補正部423、減算器424、425、制御器426、2相3相変換部427、デューティ演算部428、および、信号生成部429を有する。

第1インバータ制御部41の各演算部と、第2インバータ制御部42の各演算部とは、3桁で付番される下1桁が同じである場合、同様のものを意味する。以下、第1インバータ制御部41を中心に説明し、第2インバータ制御部42の説明を適宜省略する。

#### 【0037】

3相2相変換部410は、第1電流検出部130の検出値に基づいて演算される各相電流 $I_{u1}$ 、 $I_{v1}$ 、 $I_{w1}$ を、電気角 $e$ に基づいて $dq$ 変換し、 $d$ 軸電流検出値 $I_{d1}$ および $q$ 軸電流検出値 $I_{q1}$ を演算する。

補正電流演算部411は、異常判定部45にて特定された第2系統201の異常箇所に応じ、モータ80の逆起電力により生じるトルクリップルを補正する $q$ 軸電流補正值 $I_{q1\_a}$ を演算する。

#### 【0038】

切替部412は、 $q$ 軸電流補正值 $I_{q1\_a}$ を出力するか否かを切り替える。切替部412は、異常判定部45から出力される切替フラグ $FlgB2$ がセットされているとき、 $q$ 軸電流補正值 $I_{q1\_a}$ を出力し、切替フラグ $FlgB2$ がセットされていないとき、 $q$ 軸電流補正值 $I_{q1\_a}$ を出力しない。

#### 【0039】

第2インバータ制御部42について言及しておく、補正電流演算部421は、異常判定部45にて特定された第1系統101の短絡箇所に応じ、モータ80の逆起電力により生じるトルクリップルを補正する $q$ 軸電流補正值 $I_{q2\_a}$ を演算する。

切替部422は、 $q$ 軸電流補正值 $I_{q2\_a}$ を出力するか否かを切り替える。切替部422は、異常判定部45から出力される切替フラグ $FlgB1$ がセットされているとき、 $q$ 軸電流補正值 $I_{q2\_a}$ を出力する。切替フラグ $FlgB1$ がセットされていないとき、 $q$ 軸電流補正值 $I_{q2\_a}$ を出力しない。

補正電流演算部411、421および切替部412、422における処理の詳細は、後述する。

#### 【0040】

補正部413は、 $q$ 軸電流指令値 $I_{q1}^*$ を、切替部412から出力される電流補正值 $I_{q1\_a}$ で補正する。なお、電流補正值 $I_{q1\_a}$ が出力されない場合、 $q$ 軸電流補正值 $I_{q1\_a}$ を0とみなす。すなわち、この場合、 $q$ 軸電流指令値 $I_{q1}^*$ は補正されず、 $q$ 軸電流指令値 $I_{q1}^*$ を補正後 $q$ 軸電流指令値 $I_{q1}^{**}$ とする。本実施形態では、補正部413は加算器であって、 $q$ 軸電流指令値 $I_{q1}^*$ に $q$ 軸電流補正值 $I_{q1\_a}$ を加算し、補正後 $q$ 軸電流指令値 $I_{q1}^{**}$ を演算する。

$d$ 軸減算器414は、 $d$ 軸電流指令値 $I_{d1}^*$ とフィードバックされる $d$ 軸電流検出値 $I_{d1}$ との偏差である $d$ 軸電流偏差 $I_{d1}$ を演算する。

$q$ 軸減算器415は、補正後 $q$ 軸電流指令値 $I_{q1}^{**}$ とフィードバックされる $q$ 軸電流検出値 $I_{q1}$ との偏差である $q$ 軸電流偏差 $I_{q1}$ を演算する。

#### 【0041】

制御器416は、電流偏差 $I_{d1}$ 、 $I_{q1}$ が0に収束するよう、 $PI$ 演算等により、 $d$ 軸電圧指令値 $V_{d1}^*$ および $q$ 軸電圧指令値 $V_{q1}^*$ を演算する。

2相3相変換部417は、電気角 $e$ に基づき、 $d$ 軸電圧指令値 $V_{d1}^*$ および $q$ 軸電圧指令値 $V_{q1}^*$ を逆 $dq$ 変換し、 $U1$ 電圧指令値 $V_{u1}^*$ 、 $V1$ 電圧指令値 $V_{v1}^*$ 、および、 $W1$ 電圧指令値 $V_{w1}^*$ を演算する。

デューティ演算部418は、電圧指令値 $V_{u1}^*$ 、 $V_{v1}^*$ 、 $V_{w1}^*$ に基づき、変調処

10

20

30

40

50

理等を行い、デューティ指令値  $Du1$ 、 $Dv1$ 、 $Dw1$  を演算する。

【0042】

信号生成部419は、デューティ指令値  $Du1$  に基づき、三角波比較等により、U1上アーム素子121のオンオフを指令するU1上駆動信号  $U1\_H$ 、および、U1下アーム素子124のオンオフを指令するU1下駆動信号  $U1\_L$  を生成する。

信号生成部419は、デューティ指令値  $Dv1$  に基づき、三角波比較等により、V1上アーム素子122のオンオフを指令するV1上駆動信号  $V1\_H$ 、および、V1下アーム素子125のオンオフを指令するV1下駆動信号  $V1\_L$  を生成する。

【0043】

信号生成部419は、デューティ指令値  $Dw1$  に基づき、三角波比較等により、W1上アーム素子123のオンオフを指令するW1上駆動信号  $W1\_H$ 、および、W1下アーム素子126のオンオフを指令するW1下駆動信号  $W1\_L$  を生成する。

第2インバータ制御部42においても同様の処理が行われ、U2上駆動信号  $U2\_H$ 、U2下駆動信号  $U2\_L$ 、V2上駆動信号  $V2\_H$ 、V2下駆動信号  $V2\_L$ 、W2上駆動信号  $W2\_H$ 、W2下駆動信号  $W2\_L$  が生成される。

生成された駆動信号に基づいて第1インバータ120および第2インバータ220を制御することでモータ80の駆動が制御される。

【0044】

リレー制御部43は、リレー181、182、281、282のオンオフ作動を制御する。本実施形態では、異常フラグ  $F1gA1$  がセットされているとき、リレー181、182をオフし、異常フラグ  $F1gA2$  がセットされているとき、リレー281、282をオフする。

【0045】

異常判定部45は、各相電流  $Iu1$ 、 $Iv1$ 、 $Iw1$ 、 $Iu2$ 、 $Iv2$ 、 $Iw2$  に基づき、第1系統101または第2系統201に異常が生じているか否かを判定する。例えば、 $Iu1$ 、 $Iv1$ 、 $Iw1$  の3相和が0でない場合、すなわち、 $Iu1 + Iv1 + Iw1 \neq 0$  のとき、第1系統101に異常が生じていると判定することができる。同様に、 $Iu2$ 、 $Iv2$ 、 $Iw2$  の3相和が0でない場合、すなわち、 $Iu2 + Iv2 + Iw2 \neq 0$  のとき、第2系統201に異常が生じていると判定することができる。

以下適宜、異常が生じている系統を異常系統、正常である系統を正常系統とする。

【0046】

第1系統101に異常が生じており、第2系統201が正常である場合、正常である第2系統201にてモータ80の駆動を継続する。

第1系統101に異常が生じている場合、異常判定部45は、異常フラグ  $F1gA1$  を信号生成部419に出力する。信号生成部419は、第1インバータ120の駆動に係る駆動信号  $U1\_H$ 、 $U1\_L$ 、 $V1\_H$ 、 $V1\_L$ 、 $W1\_H$ 、 $W1\_L$  をオフ指令とし、第1インバータ120の全てのSW素子121～126をオフにする。

また、異常判定部45は、異常フラグ  $F1gA1$  をリレー制御部43に出力する。リレー制御部43は、リレー181、182をオフにする。

【0047】

第1系統101が正常であり、第2系統201に異常が生じている場合、正常である第1系統101にてモータ80の駆動を継続する。

第2系統201に異常が生じている場合、異常判定部45は、異常フラグ  $F1gA2$  を信号生成部429に出力する。信号生成部429は、第2インバータ220の駆動に係る駆動信号  $U2\_H$ 、 $U2\_L$ 、 $V2\_H$ 、 $V2\_L$ 、 $W2\_H$ 、 $W2\_L$  をオフ指令とし、第2インバータ220の全SW素子221～226をオフにする。

また、異常判定部45は、異常フラグ  $F1gA2$  をリレー制御部43に出力する。リレー制御部43は、リレー281、282をオフにする。

【0048】

以下、短絡異常について説明する。U1コイル811と、第1正側母線116または第

10

20

30

40

50

1 負側母線 1 1 7 とが短絡する異常を、U 1 短絡異常とする。U 1 短絡異常には、U 1 コイル 8 1 1 が第 1 正側母線 1 1 6 と短絡する U 1 天絡異常、および、U 1 コイル 8 1 1 と第 1 負側母線 1 1 7 とが短絡する U 1 地絡異常が含まれる。

【 0 0 4 9 】

U 1 天絡異常には、U 1 コイル 8 1 1 自体が第 1 正側母線 1 1 6 と短絡する場合、および、U 1 上アーム素子 1 2 1 にショート故障が生じている場合が含まれる。U 1 上アーム素子 1 2 1 のショート故障には、素子自体がショートしている場合、および、駆動信号 U 1 \_ H が異常である場合が含まれる。

U 1 地絡異常には、U 1 コイル 8 1 1 自体が第 1 負側母線 1 1 7 と短絡する場合、および、U 1 下アーム素子 1 2 4 にショート故障が生じている場合が含まれる。U 1 下アーム素子 1 2 4 のショート故障には、素子自体がショートしている場合、および、駆動信号 U 1 \_ L の異常である場合が含まれる。

【 0 0 5 0 】

V 1 コイル 8 1 2 と、第 1 正側母線 1 1 6 または第 1 負側母線 1 1 7 との間の電流を遮断できなくなる異常を、V 1 短絡異常とする。V 1 短絡異常には、V 1 天絡異常、および、V 1 地絡異常が含まれる。

W 1 コイル 8 1 3 と、第 1 正側母線 1 1 6 または第 1 負側母線 1 1 7 との間の電流を遮断できなくなる異常を、W 1 短絡異常とする。W 1 短絡異常には、W 1 天絡異常、および、W 1 地絡異常が含まれる。

V 相、W 相の天絡異常、地絡異常の詳細は、U 相の天絡異常、地絡異常と同様である。

また、第 2 系統 2 0 1 側における各相の短絡異常についても同様であるので、説明を省略する。

【 0 0 5 1 】

第 1 系統 1 0 1 にて短絡異常が生じている状態にて、第 2 系統 2 0 1 を用いてモータ 8 0 の駆動を継続すると、逆起電力による還流電流が生じ、トルクリップルが発生する。

同様に、第 2 系統 2 0 1 にて短絡異常が生じている状態にて、第 1 系統 1 0 1 を用いてモータ 8 0 の駆動を継続すると、逆起電力による還流電流が生じ、トルクリップルが発生する。

【 0 0 5 2 】

本実施形態では、異常判定部 4 5 は、天絡異常または地絡異常が生じている相を、モータ 8 0 が回転している状態における異常系統の端子電圧に基づいて特定する。また、短絡箇所に応じたトルクリップル分を正常系統側で補償することで、片系統駆動時における逆起電力に起因するトルクリップルを低減している。

【 0 0 5 3 】

本実施形態における異常判定処理を図 6 に示すフローチャートに基づいて説明する。図中、第 1 系統 1 0 1 を「系統 1」、第 2 系統 2 0 1 を「系統 2」と記載する。ここでは、第 1 系統 1 0 1 および第 2 系統 2 0 1 の少なくとも一方が正常であるものとする。なお、第 1 系統 1 0 1 および第 2 系統 2 0 2 が共に異常である場合、リレー部 1 8 0、2 8 0 をオフし、モータ 8 0 を停止する。また、ここでは、リレー部 1 8 0、2 8 0 が正常であることを前提とする。リレー部 1 8 0、2 8 0 の異常は、別途の処理にて監視されるものとする。

【 0 0 5 4 】

最初のステップ S 1 1 では、異常判定部 4 5 は、第 1 系統 1 0 1 が異常であるか否かを判断する。以下、ステップ S 1 1 の「ステップ」を省略し、単に記号「S」と記す。他のステップについても同様である。第 1 系統 1 0 1 が正常であると判断された場合 ( S 1 1 : N O )、S 2 1 へ移行する。第 1 系統 1 0 1 が異常であると判断された場合 ( S 1 1 : Y E S )、S 1 2 へ移行する。

【 0 0 5 5 】

第 1 系統 1 0 1 が異常であり、第 2 系統 2 0 1 が正常である場合に移行する S 1 2 では、異常判定部 4 5 は、異常フラグ F l g A 1 をセットし、信号生成部 4 1 9、および、リ

10

20

30

40

50

レー制御部 43 に出力する。

S13では、リレー制御部 43 は、リレー 181、182 をオフし、バッテリー 5 から第 1 インバータ 120 側への電力供給を停止する。また、信号生成部 419 は、第 1 インバータ 120 の全ての SW 素子 121 ~ 126 をオフすべく、駆動信号 U1\_H、U1\_L、V1\_H、V1\_L、W1\_H、W1\_L をオフ指令とする。図中では、駆動信号 U1\_H、U1\_L、V1\_H、V1\_L、W1\_H、W1\_L を、「(U, V, W) 1\_(H, L)」と記載した。

【0056】

S14では、異常判定部 45 は、リレー 181、182 をオフしてから、待機時間  $T_s$  が経過したか否かを判断する。待機時間  $T_s$  は、第 1 コンデンサ 170 の放電により、第 1 コンデンサ電圧  $V_{c1}$  が異常判定可能な上限電圧まで低下するのに要する時間とする。なお、リレー 181、182 をオフしてからの経過時間に替えて、第 1 コンデンサ電圧  $V_{c1}$  に基づき、第 1 コンデンサ電圧  $V_{c1}$  が上限電圧以下となった場合に肯定判断するようにしてもよい。リレー 181、182 をオフしてから、待機時間  $T_s$  が経過していないと判断された場合 (S14: NO)、すなわち第 1 コンデンサ電圧  $V_{c1}$  が異常判定可能な上限電圧より高いと推定される場合、この判断処理を繰り返す。リレー 181、182 をオフしてから、待機時間  $T_s$  が経過したと判断された場合 (S14: YES)、すなわち第 1 コンデンサ電圧  $V_{c1}$  が異常判定可能な上限電圧以下と推定される場合、S15 へ移行する。

【0057】

S15では、異常判定部 45 は、第 1 系統 101 の短絡箇所特定処理を行う。短絡相が 1 相である場合、切替フラグ  $Flg_{B1}$  がセットされる。また、短絡相が特定されていない、或いは、短絡相が複数特定された場合、切替フラグ  $Flg_{B1}$  はセットされない。短絡箇所特定処理の詳細は、図 7 に示すサブフローに基づいて後述する。

短絡箇所特定処理終了後に移行する S16 では、異常判定部 45 は、切替フラグ  $Flg_{B1}$  がセットされているか否かを判断する。切替フラグ  $Flg_{B1}$  がセットされていないと判断された場合 (S16: NO)、S15 に戻り、短絡箇所特定処理を繰り返す。切替フラグ  $Flg_{B1}$  がセットされていると判断された場合 (S16: YES)、S17 へ移行する。

【0058】

S17では、正常である第 2 系統 201 にて、第 1 系統 101 の異常箇所に応じたトルクリップルを補償するトルク補償を行う。詳細には、切替部 422 は、補正電流演算部 421 にて演算される q 軸電流補正值  $I_{q2\_a}$  を出力する。

q 軸電流補正值  $I_{q2\_a}$  は、補正電流演算部 421 にて、第 1 電気角  $\theta_1$  に基づき、第 1 系統 101 の異常箇所に応じたマップを用いて演算される。q 軸電流補正值  $I_{q2\_a}$  の演算に用いるマップを図 8 に示す。図 8 (a) は U1 天絡異常時、(b) は V1 天絡異常時、(c) は W1 天絡異常時、(d) は U1 地絡異常時、(e) は V1 地絡異常時、(f) は W1 地絡異常時であって、正回転時の q 軸電流補正值  $I_{q2\_a}$  を示す。負回転時は、-1 を乗じ、正負を反対にした値とする。

図中の「 $n$ 」の  $n$  は「1」または「2」であって、第 1 電気角  $\theta_1$  または第 2 電気角  $\theta_2$  であることを意味する。また、図 8 では、q 軸電流補正值  $I_{qn\_a}$  を、単に「補正值」と記載した。

【0059】

図 6 に戻り、第 1 系統 101 が正常であると判断された場合 (S11: NO) に移行する S21 では、第 2 系統 201 が異常であるか否かを判断する。第 2 系統 202 が正常であると判断された場合 (S21: NO)、S11 に戻る。すなわち、第 1 系統 101 および第 2 系統 201 が共に正常である場合、S11 および S21 の判断処理を繰り返すことになる。第 2 系統 201 が異常であると判断された場合 (S21: YES)、S22 へ移行する。

【0060】

10

20

30

40

50

S 2 2 ~ S 2 7 の処理は、S 1 2 ~ S 1 7 の処理と対応しているため、適宜説明を省略する。

第 2 系統 2 0 1 が異常であり、第 1 系統 1 0 1 が正常である場合に移行する S 2 2 では、異常判定部 4 5 は、異常フラグ F l g A 2 をセットし、信号生成部 4 1 9 およびリレー制御部 4 3 に出力する。

【 0 0 6 1 】

S 2 3 では、リレー制御部 4 3 は、リレー 2 8 1、2 8 2 をオフし、バッテリー 5 から第 2 インバータ 2 2 0 側への電力供給を停止する。また、信号生成部 4 2 9 は、駆動信号 U 2 \_\_ H、U 2 \_\_ L、V 2 \_\_ H、V 2 \_\_ L、W 2 \_\_ H、W 2 \_\_ L をオフ指令とする。図中では、駆動信号 U 2 \_\_ H、U 2 \_\_ L、V 2 \_\_ H、V 2 \_\_ L、W 2 \_\_ H、W 2 \_\_ L を、「( U , V , W ) 2 \_\_ ( H , L ) 」と記載した。

10

【 0 0 6 2 】

S 2 4 では、異常判定部 4 5 は、待機時間 T s が経過したか否かを判断する。待機時間 T s が経過していないと判断された場合 ( S 2 4 : N O )、この判断処理を繰り返す。待機時間 T s が経過したと判断された場合 ( S 2 4 : Y E S )、S 2 5 へ移行する。

S 2 5 では、異常判定部 4 5 は、第 2 系統 2 0 1 の短絡箇所特定処理を行う。短絡相が 1 相である場合、切替フラグ F l g B 2 がセットされる。また、短絡相が特定されていない、或いは、短絡相が複数特定された場合、切替フラグ F l g B 2 はセットされない。

【 0 0 6 3 】

短絡箇所特定処理終了後に移行する S 2 6 では、異常判定部 4 5 は、切替フラグ F l g B 2 がセットされているか否かを判断する。切替フラグ F l g B 2 がセットされていないと判断された場合 ( S 2 6 : N O )、短絡箇所特定処理を繰り返す。切替フラグ F l g B 2 がセットされていると判断された場合 ( S 2 6 : Y E S )、S 2 7 へ移行する。

20

【 0 0 6 4 】

S 2 7 では、正常である第 1 系統 1 0 1 にて、第 2 系統 2 0 1 の異常箇所に応じたトルクリップルを補償するトルク補償を行う。詳細には、切替部 4 1 2 は、補正電流演算部 4 1 1 にて演算される q 軸電流補正值 I q 1 \_\_ a を出力する。

q 軸電流補正值 I q 1 \_\_ a は、補正電流演算部 4 1 1 にて、第 2 電気角  $\theta_2$  に基づき、第 2 系統 2 0 1 の異常箇所に応じたマップ ( 図 8 参照 ) を用いて演算される。

【 0 0 6 5 】

短絡箇所特定処理に係るサブフローを図 7 に示す。S 1 5 では、 $n = 1$  とし、後述の第 1 端子電圧平均値 V t 1 に基づき、第 1 系統 1 0 1 の短絡箇所を特定する。S 2 5 では、 $n = 2$  とし、後述の第 2 端子電圧平均値 V t 2 に基づき、第 2 系統 2 0 1 の短絡箇所を特定する。

30

以下、第 1 系統 1 0 1 の短絡箇所特定を中心に説明する。なお、第 2 系統 2 0 1 の短絡箇所特定は、第 1 端子電圧平均値 V t 1 に替えて第 2 端子電圧平均値 V t 2 を用い、第 1 電気角  $\theta_1$  に替えて第 2 電気角  $\theta_2$  を用いる。

【 0 0 6 6 】

S 5 0 1 では、モータ 8 0 が一定回転しているか否かを判断する。本実施形態では、モータ 8 0 の回転数が所定範囲内である状態が所定時間以上継続されている場合、モータ 8 0 が一定回転しており、判定可能条件を満たしているものとする。モータ 8 0 の回転数に係る「所定範囲」は、適宜設定可能であり、例えば 5 0 0 [ r p m ] 以上、1 0 0 0 [ r p m ] 以下とする。継続時間についても適宜設定可能である。モータ 8 0 が一定回転していると判断された場合 ( S 5 0 1 : Y E S )、S 5 0 3 へ移行する。モータ 8 0 が一定回転していないと判断された場合 ( S 5 0 1 : N O )、S 5 0 2 へ移行する。

40

S 5 0 2 では、短絡箇所判定に係る各カウンタをリセットし、メインフローに戻る。

【 0 0 6 7 】

モータ 8 0 が一定回転していると判断された場合 ( S 5 0 1 : Y E S ) に移行する S 5 0 3 では、異常判定部 4 5 は、端子電圧 V u 1、V v 1、V w 1 の平均値である第 1 端子電圧平均値 V t 1 を演算する。第 1 端子電圧平均値 V t 1 は、式 ( 3 - 1 ) で演算される

50

。式(3-1)は、抵抗142、143、145、146、148、149の抵抗値が等しい場合の例である。端子電圧検出値 $V_{u1\_d}$ 、 $V_{v1\_d}$ 、 $V_{w1\_d}$ に乘じる係数は、抵抗値に応じて適宜設定される。式(3-2)も同様である。

$$\begin{aligned} V_{t1} &= (V_{u1} + V_{v1} + V_{w1}) / 3 \\ &= (V_{u1\_d} \times 2 + V_{v1\_d} \times 2 + V_{w1\_d} \times 2) / 3 \end{aligned} \quad \dots (3-1)$$

【0068】

第2系統201の短絡箇所を特定する場合、異常判定部45は、第2端子電圧平均値 $V_{t2}$ を演算する。第2端子電圧平均値 $V_{t2}$ は、式(3-2)で演算される。

$$\begin{aligned} V_{t2} &= (V_{u2} + V_{v2} + V_{w2}) / 3 \\ &= (V_{u2\_d} \times 2 + V_{v2\_d} \times 2 + V_{w2\_d} \times 2) / 3 \end{aligned} \quad \dots (3-2)$$

【0069】

補足として、第1系統101の短絡箇所を特定する場合、リレー部180がオフであり、かつ、SW素子121~126はオフ指令となっているため、端子電圧 $V_{u1}$ 、 $V_{v1}$ 、 $V_{w1}$ は、モータ80の回転によって生じる逆起電力に起因する。また、第2系統201の短絡を特定する場合、SW素子221~226はオフ指令となっているため、端子電圧 $V_{u2}$ 、 $V_{v2}$ 、 $V_{w2}$ は、モータ80の回転によって生じる逆起電力に起因する。

【0070】

S504では、異常判定部45は、第1電気角 $\theta_1$ がU相地絡判定範囲内である場合、U相地絡判定を行う。モータ80の正回転時におけるU相地絡判定範囲は、 $240^\circ \sim 300^\circ$ であり、モータ80の負回転時におけるU相地絡判定範囲は、 $60^\circ \sim 120^\circ$ である。地絡判定範囲は、第1巻線組810の相配置や、電気角の定義に応じ、適宜設定される。天絡判定範囲についても同様である。

【0071】

異常判定部45は、第1電気角 $\theta_1$ がU相地絡判定範囲内である場合の第1端子電圧平均値 $V_{t1}$ が、地絡判定閾値 $V_{th\_g}$ 以下である場合、U相が地絡しているとみなす。地絡判定閾値 $V_{th\_g}$ は、検出誤差等を考慮し、0に近い任意の所定値(例えば $0.3[V]$ )に設定される。なお、第1電気角 $\theta_1$ がU相地絡判定範囲外である場合、U相の地絡判定を行わない。V相、W相の地絡についても同様である。

【0072】

U相が地絡していない場合、または、地絡判定を行わない場合(S504:NO)、S506へ移行する。U相が地絡していると判断された場合(S504:YES)、S505へ移行する。

S505では、異常判定部45は、U相地絡カウンタ $U_{1\_g}$ をインクリメントする。

【0073】

S506では、異常判定部45は、第1電気角 $\theta_1$ がU相天絡判定範囲内である場合、U相天絡判定を行う。モータ80の正回転時におけるU相天絡判定範囲は、 $60^\circ \sim 120^\circ$ であり、モータ80の負回転時におけるU相天絡判定範囲は、 $240^\circ \sim 300^\circ$ である。

【0074】

異常判定部45は、第1電気角 $\theta_1$ がU相天絡判定範囲内である場合の第1端子電圧平均値 $V_{t1}$ が、天絡判定閾値 $V_{th\_p}$ 以上である場合、U相が天絡しているとみなす。天絡判定閾値 $V_{th\_p}$ は、検出誤差等を考慮し、第1コンデンサ電圧 $V_{c1}$ に近い値となるように、第1コンデンサ電圧 $V_{c1}$ に応じて、適宜設定される。本実施形態では、天絡判定閾値 $V_{th\_p}$ は、第1コンデンサ電圧 $V_{c1}$ に所定の係数(例えば $0.9$ )を乗じた値とする。なお、第2系統202の短絡箇所を特定する場合、第1コンデンサ電圧 $V_{c1}$ に替えて、第2コンデンサ電圧 $V_{c2}$ を用いる。なお、第1電気角 $\theta_1$ がU相天絡判定範囲外である場合、U相の天絡判定を行わない。V相、W相の天絡についても同様である。

10

20

30

40

50

## 【 0 0 7 5 】

U相が天絡していない場合、または、天絡判定を行わない場合 ( S 5 0 6 : N O )、S 5 0 8 へ移行する。U相が天絡していると判断された場合 ( S 5 0 4 : Y E S )、S 5 0 7 へ移行する。

S 5 0 7 では、異常判定部 4 5 は、U相天絡カウンタ U 1 \_ p をインクリメントする。

## 【 0 0 7 6 】

S 5 0 8 では、異常判定部 4 5 は、第 1 電気角  $\theta_1$  が V 相地絡判定範囲内である場合、V 相地絡判定を行う。モータ 8 0 の正回転時における V 相地絡判定範囲は、 $0 \leq \theta_1 < 60$  であり、モータ 8 0 の負回転時における V 相地絡判定範囲は、 $180 \leq \theta_1 < 240$  である。

10

異常判定部 4 5 は、第 1 電気角  $\theta_1$  が V 相地絡判定範囲内である場合の第 1 端子電圧平均値  $V_{t1}$  が、地絡判定閾値  $V_{th\_g}$  以下である場合、V 相が地絡しているとみなす。

## 【 0 0 7 7 】

V相が地絡していない場合、または、地絡判定を行わない場合 ( S 5 0 8 : N O )、S 5 1 0 へ移行する。V相が地絡していると判断された場合 ( S 5 0 8 : Y E S )、S 5 0 9 へ移行する。

S 5 0 9 では、異常判定部 4 5 は、V相地絡カウンタ V 1 \_ g をインクリメントする。

## 【 0 0 7 8 】

S 5 1 0 では、異常判定部 4 5 は、第 1 電気角  $\theta_1$  が V 相天絡判定範囲内である場合、V 相天絡判定を行う。モータ 8 0 の正回転時における V 相天絡判定範囲は、 $180 \leq \theta_1 < 240$  であり、モータ 8 0 の負回転時における V 相天絡判定範囲は、 $0 \leq \theta_1 < 60$  である。

20

異常判定部 4 5 は、第 1 電気角  $\theta_1$  が V 相天絡判定範囲内である場合の第 1 端子電圧平均値  $V_{t1}$  が、天絡判定閾値  $V_{th\_p}$  以上である場合、V 相が天絡しているとみなす。

## 【 0 0 7 9 】

V相が天絡していない場合、または、天絡判定を行わない場合 ( S 5 1 0 : N O )、S 5 1 2 へ移行する。V相が天絡していると判断された場合 ( S 5 1 0 : Y E S )、S 5 1 1 へ移行する。

S 5 1 1 では、異常判定部 4 5 は、V相天絡カウンタ V 1 \_ p をインクリメントする。

## 【 0 0 8 0 】

S 5 1 2 では、異常判定部 4 5 は、第 1 電気角  $\theta_1$  が W 相地絡判定範囲内である場合、W 相地絡判定を行う。モータ 8 0 の正回転時における W 相地絡判定範囲は、 $120 \leq \theta_1 < 180$  であり、モータ 8 0 の負回転時における W 相地絡判定範囲は、 $300 \leq \theta_1 < 360$  である。

30

異常判定部 4 5 は、第 1 電気角  $\theta_1$  が W 相地絡判定範囲内である場合の第 1 端子電圧平均値  $V_{t1}$  が、地絡判定閾値  $V_{th\_g}$  以下である場合、W 相が地絡しているとみなす。

## 【 0 0 8 1 】

W相が地絡していない場合、または、地絡判定を行わない場合 ( S 5 1 2 : N O )、S 5 1 4 へ移行する。W相が地絡していると判断された場合 ( S 5 1 2 : Y E S )、S 5 1 3 へ移行する。

40

S 5 1 3 では、異常判定部 4 5 は、W相地絡カウンタ W 1 \_ g をインクリメントする。

## 【 0 0 8 2 】

S 5 1 4 では、異常判定部 4 5 は、第 1 電気角  $\theta_1$  が W 相天絡判定範囲内である場合、W 相天絡判定を行う。モータ 8 0 の正回転時における W 相天絡判定範囲は、 $300 \leq \theta_1 < 360$  であり、モータ 8 0 の負回転時における W 相天絡判定範囲は、 $120 \leq \theta_1 < 180$  である。

異常判定部 4 5 は、第 1 電気角  $\theta_1$  が W 相天絡判定範囲内である場合の第 1 端子電圧平均値  $V_{t1}$  が、天絡判定閾値  $V_{th\_p}$  以上である場合、W 相が天絡しているとみなす。

## 【 0 0 8 3 】

W相が天絡していない場合、または、天絡判定を行わない場合 ( S 5 1 4 : N O )、S

50

516へ移行する。W相が天絡していると判断された場合(S514: YES)、S515へ移行する。

S515では、異常判定部45は、W相天絡カウンタW1\_\_pをインクリメントする。

なお、図7では、S504~S515において、U相地絡、U相天絡、V相地絡、V相天絡、W相地絡、W相天絡の順で判定しているが、判定順は問わず、順番を入れ替えても差し支えない。

【0084】

S516では、異常判定部45は、カウンタ値Cが異常確定値Cdより大きいカウンタが、複数か否かを判断する。カウンタ値Cが異常確定値Cdより大きい地絡カウンタまたは天絡カウンタが、複数であると判断された場合(S516: YES)、切替フラグFlgB1をセットせず、短絡箇所特定処理を終了する。すなわち、複数のカウンタにおいてカウンタ値Cが異常確定値Cdより大きく、複数相が短絡相として特定された場合、該当箇所の短絡ではなく、他の異常、例えば、端子電圧検出部の高電位側の分圧抵抗のショートや、プルアップ抵抗のショート等、の虞がある。そのため、他の異常であるにも関わらず、複数相の短絡しているものとしてトルク補償を行うと、トルクリップルをより増大させてしまう虞がある。したがって本実施形態では、複数相が短絡相として特定された場合、トルク補償を行わないようにすることで、トルクリップルの増大を防いでいる。

カウンタ値Cが異常確定値Cdより大きいカウンタが、1以下であると判断された場合(S516: NO)、S517へ移行する。

【0085】

S517では、異常判定部45は、カウンタ値Cが異常確定値Cdより大きい地絡カウンタまたは天絡カウンタが1つであるか否かを判断する。カウンタ値Cが異常確定値Cdより大きい地絡カウンタまたは天絡カウンタがないと判断された場合(S517: NO)、切替フラグFlgB1をセットせず、短絡箇所特定処理を終了する。カウンタ値Cが異常確定値Cdより大きい地絡カウンタまたは天絡カウンタが1つであると判断された場合(S517: YES)、S518へ移行する。

【0086】

S518では、異常判定部45は、カウンタ値Cが異常確定値Cdより大きい地絡カウンタまたは天絡カウンタに対応する箇所に、短絡異常が生じていると確定する。例えば、U相地絡カウンタU1\_\_gのカウンタ値Cが異常確定値Cdより大きい場合、第1系統101のU相が地絡していると特定する。換言すると、異常判定部45は、U相地絡カウンタU1\_\_gのカウンタ値Cが異常確定値Cdより大きい場合、短絡相が第1系統101のU相であり、短絡状態が地絡であると特定する。また、U相天絡カウンタU1\_\_pのカウンタ値Cが異常確定値Cdより大きい場合、第1系統101のU相が天絡していると特定する。換言すると、異常判定部45は、U相天絡カウンタU1\_\_pのカウンタ値Cが異常確定値Cdより大きい場合、短絡相が第1系統101のU相であり、短絡状態が天絡であると特定する。他相の天絡、地絡についても同様である。

また、異常判定部45は、特定された短絡箇所に係る情報を、補正電流演算部421に出力する。さらにまた、異常判定部45は、切替フラグFlgB1を、切替部422に出力する。

【0087】

ここで、第1系統101に異常が生じ、第2系統201を用いた片系統駆動によりモータ80を正回転させる場合のシミュレーション結果を、図9~図11に示す。図9~図11では、いずれも、横軸を第1電気角1とし、(a)に第1コンデンサ電圧Vc1、および、第1端子電圧平均値Vt1を示し、(b)に各相の端子電圧Vu1、Vv1、Vw1を示す。

【0088】

図9は、第1系統101に、短絡異常以外の異常(例えばオープン故障)が生じている場合の例である。第1系統101に生じている異常が短絡異常以外であれば、駆動信号U1\_\_H、U1\_\_L、V1\_\_H、V1\_\_L、W1\_\_H、W1\_\_Lをオフ指令とすることで、

10

20

30

40

50

モータ 80 の回転により生じる逆起電力による電流が第 1 インバータ 120 側に流れない。そのため、図 9 ( a ) に示すように、第 1 系統 101 に短絡異常が生じておらず、第 2 系統 201 にて片側駆動する場合の第 1 端子電圧平均値  $V_{t1}$  は、第 1 電気角  $\theta_1$  によらず、地絡判定閾値  $V_{th\_g}$  より大きく、天絡判定閾値  $V_{th\_p}$  より小さい範囲となる。

また、本実施形態では、第 1 系統 101 の異常が短絡異常以外であって、第 2 系統 201 にて片系統駆動する場合、トルクリップル分を補償するトルク補償を行わない。

#### 【 0089 】

図 10 は、第 1 系統 101 において、W 相の地絡異常が生じている場合の例である。図 10 ( a ) に示すように、第 1 系統 101 にて W 相の地絡異常が生じている場合、W 相地絡判定範囲である  $120 \sim 180$  を含む角度範囲  $R_{w\_g}$  において、端子電圧平均値  $V_{t1}$  が地絡判定閾値  $V_{th\_g}$  以下となる。また、U 相および V 相の地絡判定範囲の端子電圧平均値  $V_{t1}$  は、地絡判定閾値  $V_{th\_g}$  より大きい。これにより、地絡異常が生じている相を適切に特定することができる。

10

#### 【 0090 】

図 11 は、第 1 系統 101 において、W 相の天絡異常が生じている場合の例である。図 11 ( a ) に示すように、第 1 系統 101 にて W 相の天絡異常が生じている場合、W 相天絡判定範囲である  $300 \sim 360$  を含む角度範囲  $R_{w\_p}$  において、端子電圧平均値  $V_{t1}$  が天絡判定閾値  $V_{th\_p}$  以上となる。また、U 相および V 相の天絡判定範囲の端子電圧平均値  $V_{t1}$  は、天絡判定閾値  $V_{th\_p}$  より小さい。これにより、天絡異常が生じている相を適切に特定することができる。

20

#### 【 0091 】

なお、ここでは、W 相が天絡または地絡している例を図示しているが、U 相、V 相の天絡、地絡については、位相が異なる点を除いて W 相の天絡、地絡と同様であるので、説明を省略する。また、第 2 系統 201 において異常が生じた場合、第 1 電気角  $\theta_1$  に替えて、第 2 電気角  $\theta_2$  とし、第 1 端子電圧平均値  $V_{t1}$  に替えて第 2 端子電圧平均値  $V_{t2}$  を用いることで、同様に地絡異常および天絡異常が生じている相を適切に特定することができる。

#### 【 0092 】

以上説明したように、本実施形態のモータ制御装置 1 は、複数の巻線組 810、820 を有するモータ 80 を制御する。巻線組 810、820 は、それぞれ、複数相のコイル 811 ~ 813、821 ~ 823 を含む。

30

モータ制御装置 1 は、インバータ 120、220 と、電源リレー部 180、280 と、端子電圧検出部 140、240 と、制御部 40 と、を備える。

インバータ 120、220 は、巻線組 810、820 ごとに設けられ、モータ 80 の電力を変換する。

#### 【 0093 】

電源リレー部 180、280 は、インバータ 120、220 ごとに対応して設けられ、バッテリー 5 から対応するインバータ 120、220 への電力供給を遮断可能である。すなわち、第 1 電源リレー部 180 は、バッテリー 5 から第 1 インバータ 120 への電力供給を遮断可能であり、第 2 電源リレー部 280 は、バッテリー 5 から第 2 インバータ 220 への電力供給を遮断可能である。

40

端子電圧検出部 140、240 は、コイル 811 ~ 813、821 ~ 823 の端子電圧  $V_{u1}$ 、 $V_{v1}$ 、 $V_{w1}$ 、 $V_{u2}$ 、 $V_{v2}$ 、 $V_{w2}$  を検出する。

#### 【 0094 】

制御部 40 は、インバータ制御部 41、42、リレー制御部 43、および、異常判定部 45 を有する。

インバータ制御部 41、42 は、インバータ 120、220 を制御する。詳細には、第 1 インバータ制御部 41 が第 1 インバータ 120 の SW 素子 121 ~ 126 のオンオフ作動を制御し、第 2 インバータ制御部 42 が第 2 インバータ 220 の SW 素子 221 ~ 22

50

6のオンオフ作動を制御する。

リレー制御部43は、電源リレー部180、280を制御する。

異常判定部45は、インバータ120、220、および、巻線組810、820の異常を判定する。

【0095】

本実施形態では、対応する巻線組810、820と、インバータ120、220との組み合わせを「系統」とする。すなわち、対応する第1巻線組810と第1インバータ120との組み合わせを第1系統101とし、第2巻線組820と第2インバータ220との組み合わせを第2系統201とする。また、異常が生じている系統を異常系統、正常である系統を正常系統とする。以下、第1系統101が異常系統であり、第2系統201が正常系統であるのものとして説明する。

10

【0096】

正常系統である第2系統201を用いてモータ80を駆動しているとき、リレー制御部43は、バッテリー5から異常系統である第1系統101の第1インバータ120への電力供給を遮断するように、第1電源リレー部180を制御する。

また、異常判定部45は、第1系統101の端子電圧 $V_{u1}$ 、 $V_{v1}$ 、 $V_{w1}$ に基づき、短絡箇所を特定する。ここで、「短絡箇所を特定する」とは、短絡相を特定するとともに、短絡相が地絡しているか天絡しているかを特定することを意味する。

第2インバータ制御部42は、短絡箇所に応じ、正常系統である第2系統202の第2インバータ220の制御に係る指令値を補正する。本実施形態では、第2インバータ制御部42は、 $q$ 軸電流指令値 $I_{q2}^*$ を補正する。

20

【0097】

本実施形態では、異常系統である第1系統101の電源リレー部180によりバッテリー5から第1インバータ120への電力供給を遮断した状態にて、モータ80の逆起電力により発生する端子電圧 $V_{u1}$ 、 $V_{v1}$ 、 $V_{w1}$ に基づき、短絡箇所を特定している。これにより、モータ80が回転している状態にて、短絡箇所を適切に特定することができる。

また、短絡相に流れる電流により生じるトルクが補償されるように、短絡箇所に応じて $q$ 軸電流指令値 $I_{q2}^*$ が補正される。これにより、逆起電力により短絡相に流れる電流により生じるトルク分が補償されるので、トルクリップルを低減可能である。

【0098】

30

端子電圧検出部140、240は、端子電圧 $V_{u1}$ 、 $V_{v1}$ 、 $V_{w1}$ 、 $V_{u2}$ 、 $V_{v2}$ 、 $V_{w2}$ を相毎に検出する。

異常判定部45は、異常系統である第1系統101の各相の端子電圧 $V_{u1}$ 、 $V_{v1}$ 、 $V_{w1}$ の平均値である端子電圧平均値 $V_{t1}$ に基づき、短絡箇所を特定する。

これにより、異常系統の端子電圧に基づき、適切に短絡箇所を特定することができる。

【0099】

異常判定部45は、バッテリー5から異常系統である第1系統101の第1インバータ120への電力供給を遮断してから、所定の待機時間が経過した後、短絡箇所を特定する。これにより、特に天絡異常の誤判定を防ぐことができる。

異常判定部45は、モータ80が一定回転状態であるとき、短絡箇所を特定する。モータ80が一定回転状態ではない場合、コンデンサ電圧 $V_{c1}$ 、 $V_{c2}$ が安定していない虞がある。そので、本実施形態では、モータ80が一定回転状態であるときに判定可能条件を満たすものとし、短絡箇所の特定を行う。これにより、適切に短絡相および短絡状態を特定することができる。

40

【0100】

異常系統において、複数相が短絡相として特定された場合、短絡相に流れる電流により生じるトルクに応じた指令値の補正が禁止される。複数相が短絡相として特定される場合、天絡異常または地絡異常ではなく、他の箇所の異常である虞がある。そのため、指令値の補正を禁止することで、補正によるトルクリップルの増大を防ぐ。

【0101】

50

電動パワーステアリング装置 8 は、モータ制御装置 1 と、運転者による操舵を補助する補助トルクを出力するモータ 80 と、を備える。

本実施形態のモータ 80 およびモータ制御装置 1 は、複数系統からなるので、一方の系統に異常が生じた場合であっても、正常系統を用いた片系統駆動により、モータ 80 の駆動を継続可能であり、操舵の補助を継続することができる。また、短絡箇所に応じ、正常系統の指令値を補正するので、モータ 80 のトルクリプルを低減することができる。これにより、正常系統を用いてモータ 80 の駆動を継続する際に、ステアリングシステム 90 にて生じる振動や騒音を抑制することができる。

なお、第 1 系統 101 が異常系統である場合を中心に言及したが、第 2 系統 201 が異常系統である場合も同様の効果を奏する。

#### 【0102】

(第 2 実施形態)

本発明の第 2 実施形態を図 12 ~ 図 15 に基づいて説明する。

図 12 に示すように、本実施形態の回転電機制御装置としてのモータ制御装置 2 は、インバータ 120、220、擬似中性点生成部 160、260、擬似中性点電圧検出部 165、265、コンデンサ 170、270、コンデンサ電圧検出部 175、275、電源リレー部 180、280、回転角センサ 30、および、制御部 40 等を備える。すなわち、本実施形態では、端子電圧検出部 140、240 に替えて、擬似中性点生成部 160、260 および擬似中性点電圧検出部 165、265 が設けられている点が、上記実施形態と異なる。

#### 【0103】

また、本実施形態では、第 1 巻線組 810、および、第 1 巻線組 810 に対応して設けられる第 1 インバータ 120 等の電子部品を、第 1 系統 102 とし、第 2 巻線組 820 に対応して設けられる第 2 インバータ 220 等の電子部品を、第 2 系統 202 とする。

以下、第 1 実施形態と同様、第 1 系統 102 に係る構成を中心に説明する。

#### 【0104】

第 1 擬似中性点生成部 160 は、抵抗 161、162、163 を有する。抵抗 161 の一端は U1 端子 111 に接続され、抵抗 162 の一端は V1 端子 112 に接続され、抵抗 163 の一端は W1 端子 113 に接続される。抵抗 161、162、163 の他端は、結線部 164 で結線される。結線部 164 を、擬似中性点とする。結線部 164 は、プルアップ抵抗 155 を介して、第 1 正側母線 116 と接続される。

#### 【0105】

第 1 擬似中性点電圧検出部 165 は、分圧抵抗である抵抗 166、167 を有し、結線部 164 と第 1 負側母線 117 とに接続される。抵抗 166、167 の接続点の電圧は、第 1 擬似中性点電圧  $V_{n1}$  に係る検出値である第 1 擬似中性点電圧検出値  $V_{n1\_d}$  として、制御部 40 に出力される。

#### 【0106】

第 1 擬似中性点生成部 160 を構成する抵抗 161 ~ 163、プルアップ抵抗 155、および、第 1 擬似中性点電圧検出部 165 を構成する抵抗 166、167 の抵抗値は、適宜設定可能である。本実施形態では、抵抗 155、161 ~ 163、166 の抵抗値は等しく、抵抗 155、161 ~ 163、166 の抵抗値と、抵抗 167 との抵抗比は、3 : 2 である。

#### 【0107】

制御部 40 は、抵抗 166、167 の抵抗比に基づいて第 1 擬似中性点電圧検出値  $V_{n1\_d}$  を換算し、第 1 擬似中性点電圧  $V_{n1}$  を演算する。

すなわち、擬似中性点電圧  $V_{n1}$  は、式 (4-1) で表される。また、第 2 擬似中性点電圧  $V_{n2}$  は、式 (4-2) で表される。

$$V_{n1} = V_{n1\_d} \times \{ (3 + 2) / 2 \} \cdots (4-1)$$

$$V_{n2} = V_{n2\_d} \times \{ (3 + 2) / 2 \} \cdots (4-2)$$

#### 【0108】

10

20

30

40

50

本実施形態の異常箇所特定処理では、端子電圧平均値 $V_{t1}$ 、 $V_{t2}$ に替えて、擬似中性点電圧 $V_{n1}$ 、 $V_{n2}$ を用いる。その他の点については、上記実施形態と同様である。

ここで、第1系統102に異常が生じ、第2系統202を用いてモータ80を正回転させる場合のシミュレーション結果を、図13～図15に示す。

【0109】

図13は、第1系統102に短絡異常以外の異常（例えばオープン故障）が生じた場合の例である。第1系統102に生じている異常が短絡異常以外であれば、駆動信号 $U_{1H}$ 、 $U_{1L}$ 、 $V_{1H}$ 、 $V_{1L}$ 、 $W_{1H}$ 、 $W_{1L}$ をオフ指令とすることで、モータ80の回転により生じる逆起電力による電流が第1インバータ120側に流れない。そのため、図13に示すように、第1系統102に短絡異常が生じておらず、第2系統202にて片系統駆動する場合の第1擬似中性点電圧 $V_{n1}$ は、第1電気角 $\theta_1$ によらず、地絡判定閾値 $V_{thg}$ より大きく、天絡判定閾値 $V_{thp}$ より小さい範囲となる。

10

また、上記実施形態と同様、第1系統102の異常が短絡異常以外であって、第2系統202にて片系統駆動する場合、トルクリップル分を補償するトルク補償を行わない。

【0110】

図14は、第1系統102において、W相の地絡異常が生じている場合の例である。図14に示すように、第1系統102にてW相の地絡異常が生じている場合、W相地絡判定範囲である $120^\circ \sim 180^\circ$ を含む角度範囲 $R_{wg}$ において、擬似中性点電圧 $V_{n1}$ が地絡判定閾値 $V_{thg}$ 以下となる。また、U相およびV相の地絡判定範囲の第1擬似中性点電圧 $V_{n1}$ は、地絡判定閾値 $V_{thg}$ より大きい。これにより、地絡異常が生じている相を適切に特定することができる。

20

【0111】

図15は、第1系統102において、W相の天絡異常が生じている場合の例である。図15に示すように、第1系統102にてW相の天絡異常が生じている場合、W相地絡判定範囲である $300^\circ \sim 360^\circ$ を含む角度範囲 $R_{wp}$ において、擬似中性点電圧 $V_{n1}$ が天絡判定閾値 $V_{thp}$ 以上となる。また、U相およびV相の天絡判定範囲の第1擬似中性点電圧 $V_{n1}$ は、天絡判定閾値 $V_{thp}$ より小さい。これにより、天絡異常が生じている相を適切に特定することができる。

【0112】

なお、ここでは、W相が天絡または地絡している例を図示しているが、U相、V相の天絡、地絡については、位相が異なる点を除いてW相の天絡、地絡と同様であるので、説明を省略する。また、第2系統202において異常が生じた場合、第1電気角 $\theta_1$ に替えて、第2電気角 $\theta_2$ とし、第1擬似中性点電圧 $V_{n1}$ に替えて第2擬似中性点電圧 $V_{n2}$ を用いることで、同様に地絡異常および天絡異常が生じている相を適切に特定することができる。

30

【0113】

モータ制御装置2は、巻線組810、820ごとに設けられる擬似中性点生成部160、260をさらに備える。

第1擬似中性点生成部160は、一端が相毎にコイル811～813の端子111～113に接続され、他端が結線部164で結線される抵抗群である。

40

第2擬似中性点生成部260は、一端が相毎にコイル821～823の端子211～213に接続され、他端が結線部264で結線される抵抗群である。

擬似中性点電圧検出部165、265は、結線部164、264の電圧である擬似中性点電圧 $V_{n1}$ 、 $V_{n2}$ を、端子電圧として検出する。すなわち、本実施形態では、擬似中性点電圧検出部165、265が、「端子電圧検出部」に対応する。

このように構成しても、上記実施形態と同様の効果を奏する。また、相毎に端子電圧検出部を設ける場合と比較し、抵抗数を低減可能である。

【0114】

（他の実施形態）

（ア）指令値

50

上記実施形態では、上記実施形態では、短絡箇所に応じて補正される指令値は、q軸電流指令値である。他の実施形態では、例えばトルク指令値等、q軸電流指令値以外の指令値を、短絡箇所に応じて補正してもよい。

(イ) 電流検出部

上記実施形態では、電流検出素子は、シャント抵抗であって、下アーム素子の低電位側に設けられる。他の実施形態では、電流検出素子は、シャント抵抗に限らず、例えばホールIC等であってもよい。また、他の実施形態では、電流検出素子を、上アーム素子の高電位側、または、巻線組とインバータ部との間等、低電位側SW素子の低電位側以外の箇所に設けてもよい。

【0115】

(ウ) 回転電機

上記実施形態では、巻線組が2組設けられ、これに対応してインバータ部等も2組設けられる。他の実施形態では、巻線組および対応して設けられるインバータは、3組以上であってもよい。この場合、例えば1系統が異常であれば、残りの2系統でトルクリップルを補うように、指令値を補正すればよい。

また、上記実施形態では、第1巻線組と第2巻線組とが、各相の位相が30 [deg]ずれて配置される。他の実施形態では、巻線の配置は、どのようであってもよい。また、巻線の配置および電気角の定義に応じ、各相の地絡異常判定範囲および天絡異常判定範囲が設定される。

上記実施形態では、回転電機は、3相のブラシレスモータである。他の実施形態では、回転電機は、3相に限らず、4相以上としてもよい。また、ブラシレスモータに限らず、どのようなモータとしてもよい。また、回転電機は、モータに限らず、発電機であってもよいし、電動機と発電機の機能を併せ持つ、所謂モータジェネレータであってもよい。

【0116】

上記実施形態では、回転電機は、電動パワーステアリング装置に適用される。他の実施形態では、回転電機駆動装置を電動パワーステアリング装置以外の装置に適用してもよい。

以上、本発明は、上記実施形態になんら限定されるものではなく、発明の趣旨を逸脱しない範囲において種々の形態で実施可能である。

【符号の説明】

【0117】

1、2・・・モータ制御装置（回転電機制御装置）

40・・・制御部

41、42・・・インバータ制御部

43・・・リレー制御部

45・・・異常判定部

80・・・モータ（回転電機）                      810、820・・・巻線組

120、220・・・インバータ

140、240・・・端子電圧検出部

165、265・・・擬似中性点電圧検出部（端子電圧検出部）

180、280・・・電源リレー部

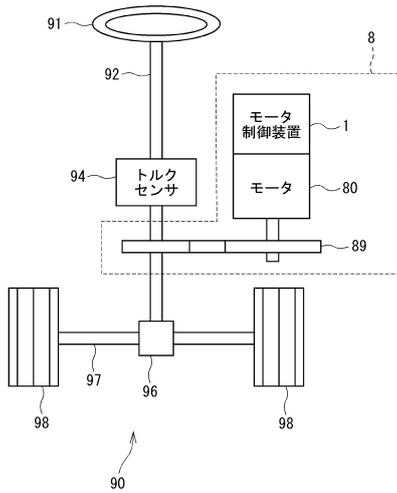
10

20

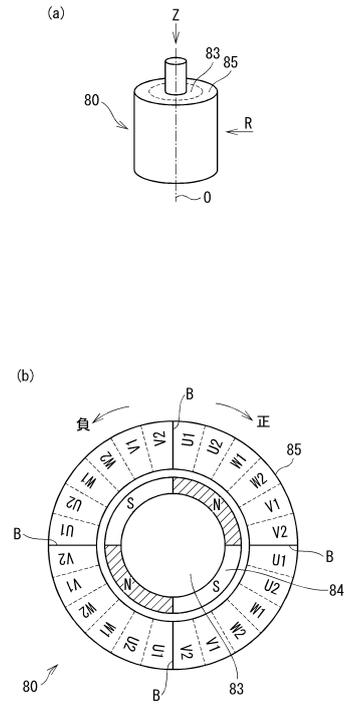
30

40

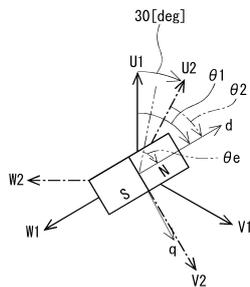
【図1】



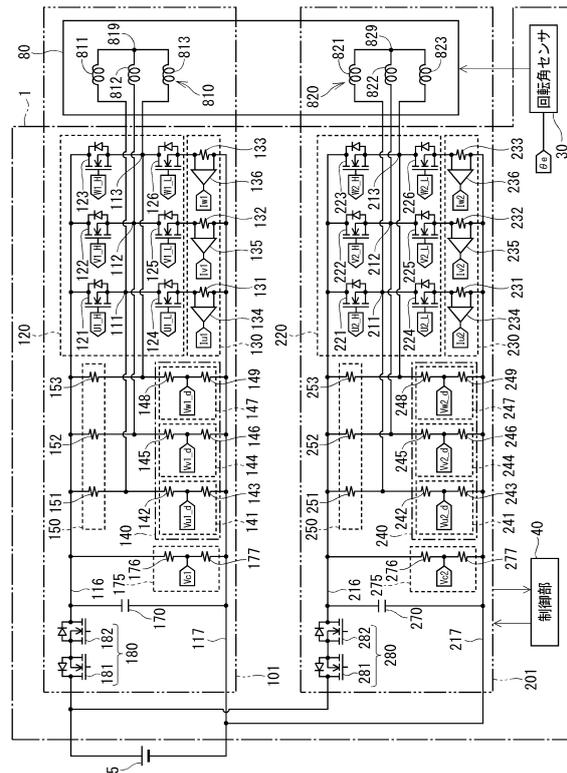
【図2】



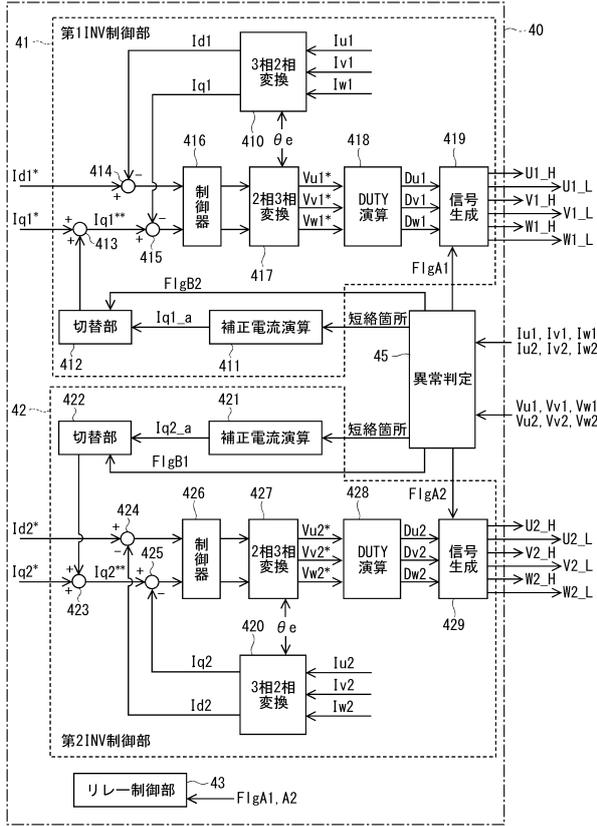
【図3】



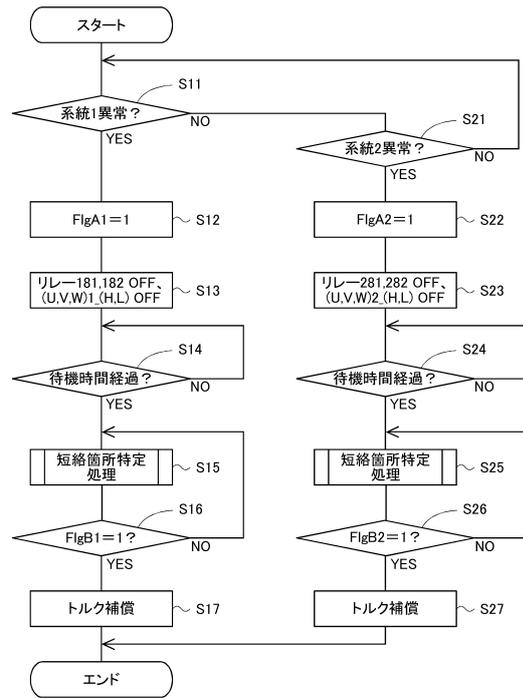
【図4】



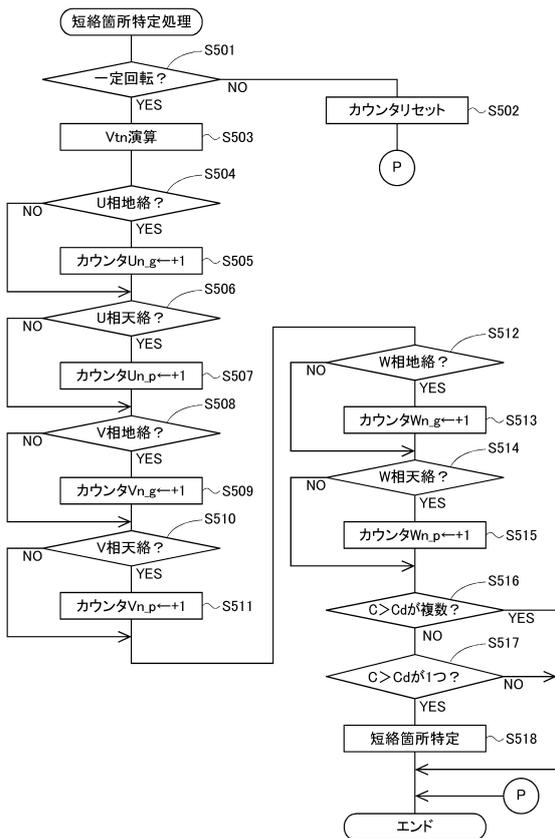
【図5】



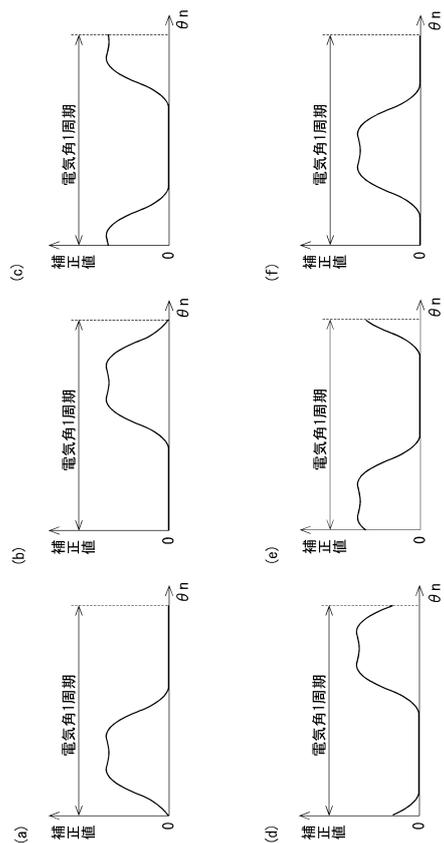
【図6】



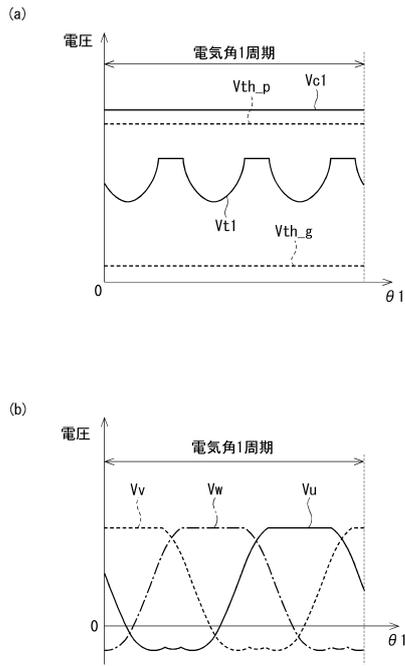
【図7】



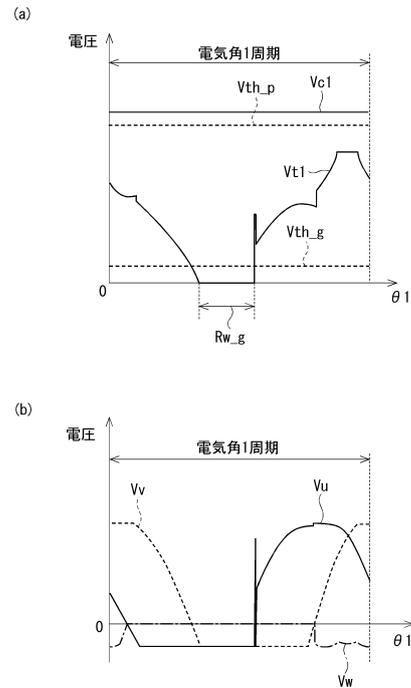
【図8】



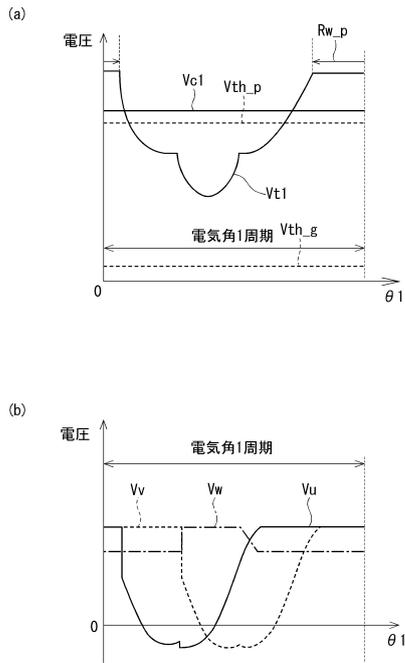
【図9】



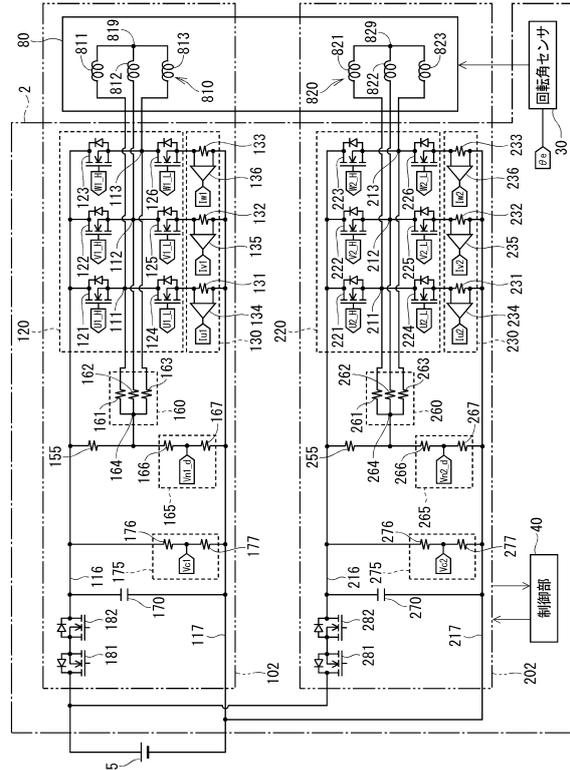
【図10】



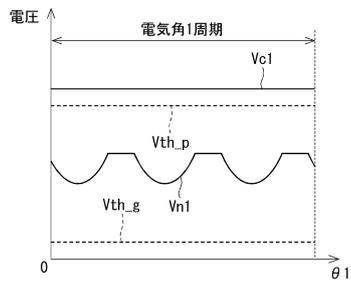
【図11】



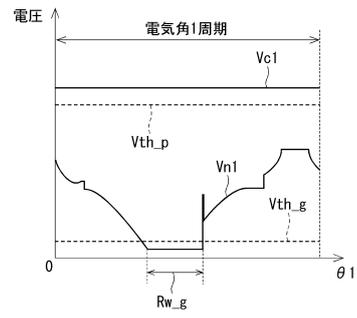
【図12】



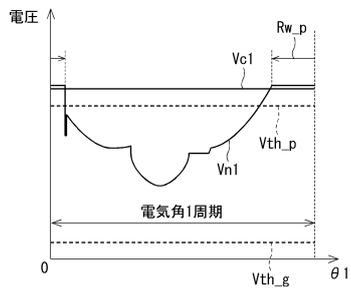
【図 13】



【図 14】



【図 15】



フロントページの続き

(58)調査した分野(Int.Cl. , DB名)

H02P 21/00 - 31/00