

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第6822074号  
(P6822074)

(45) 発行日 令和3年1月27日(2021.1.27)

(24) 登録日 令和3年1月12日(2021.1.12)

(51) Int. Cl. F I  
 HO 2 P 29/024 (2016.01) HO 2 P 29/024  
 HO 2 P 27/06 (2006.01) HO 2 P 27/06

請求項の数 9 (全 23 頁)

|   |   |
|---|---|
| <p>(21) 出願番号 特願2016-216417 (P2016-216417)<br/>                 (22) 出願日 平成28年11月4日 (2016.11.4)<br/>                 (65) 公開番号 特開2018-74879 (P2018-74879A)<br/>                 (43) 公開日 平成30年5月10日 (2018.5.10)<br/>                 審査請求日 令和1年6月18日 (2019.6.18)</p> | <p>(73) 特許権者 000004260<br/>                 株式会社デンソー<br/>                 愛知県刈谷市昭和町1丁目1番地<br/>                 (74) 代理人 100121821<br/>                 弁理士 山田 強<br/>                 (74) 代理人 100139480<br/>                 弁理士 日野 京子<br/>                 (74) 代理人 100125575<br/>                 弁理士 松田 洋<br/>                 (74) 代理人 100175134<br/>                 弁理士 北 裕介<br/>                 (72) 発明者 鈴木 崇志<br/>                 愛知県刈谷市昭和町1丁目1番地 株式会<br/>                 社デンソー内</p> |
|---|---|

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 回転電機システム

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

回転電機(10)、前記回転電機に電力を供給する電源システム(21, 22)、及び前記回転電機の制御に用いる所定の状態量を検出するセンサ(26, 28, 29, 94)を備える回転電機システム(5)であって、

所定の異常判定期間にわたって所定の異常判定条件が継続して成立している場合に、前記回転電機システムに異常が生じていると判定する異常判定を実施する異常判定部(41)と、

所定の正常判定期間にわたって、前記回転電機の動作時に成立する所定の正常判定条件が成立し、かつ、前記異常判定条件が成立していない場合に、前記回転電機システムが正常であると判定する正常判定を実施するとともに、前記回転電機システムが正常であると判定した場合に、外部装置に対して、前記回転電機システムが正常である旨を通知する正常判定部(41)と、を備え、

10

前記異常判定部及び前記正常判定部は、前記回転電機又は前記電源システムにおいてショート異常が生じていることを前記異常判定条件とし、

前記正常判定部は、前記電源システムから前記回転電機へ電流が出力されていることを前記正常判定条件として、前記ショート異常が生じていないか否かの前記正常判定を実施する、回転電機システム。

【請求項2】

ドライバによる操舵トルクに応じたトルクを出力する手動制御と、ドライバによる操舵

20

トルクによらず自律的にトルクを出力する自律制御とを切り替えて実施する電動パワーステアリング装置に適用されるものであり、

前記電動パワーステアリング装置は、前記外部装置として、前記自律制御を実施する自律運転制御装置を含み、

前記自律運転制御装置は、

前記手動制御から前記自律制御への切り替えの際、前記回転電機システムが正常である旨の通知が前記正常判定部から行われていないことを条件として、前記電源システムから前記回転電機に対して所定パターンの電力を供給することで前記正常判定条件を成立させ、

前記電源システムから前記回転電機に対して前記所定パターンの電力を供給した後に、前記正常判定部から、前記回転電機システムが正常である旨の通知がなされたことを条件として、前記手動制御から前記自律制御への切り替えを実施する請求項 1 に記載の回転電機システム。

【請求項 3】

回転電機 ( 1 0 )、前記回転電機に電力を供給する電源システム ( 2 1 , 2 2 )、及び前記回転電機の制御に用いる所定の状態量を検出するセンサ ( 2 6 , 2 8 , 2 9 , 9 4 ) を備える回転電機システム ( 5 ) であって、

所定の異常判定期間にわたって所定の異常判定条件が継続して成立している場合に、前記回転電機システムに異常が生じていると判定する異常判定を実施する異常判定部 ( 4 1 ) と、

所定の正常判定期間にわたって、前記回転電機の動作時に成立する所定の正常判定条件が成立し、かつ、前記異常判定条件が成立していない場合に、前記回転電機システムが正常であると判定する正常判定を実施するとともに、前記回転電機システムが正常であると判定した場合に、外部装置に対して、前記回転電機システムが正常である旨を通知する正常判定部 ( 4 1 ) と、を備え、

ドライバによる操舵トルクに応じたトルクを出力する手動制御と、ドライバによる操舵トルクによらず自律的にトルクを出力する自律制御とを切り替えて実施する電動パワーステアリング装置に適用されるものであり、

前記電動パワーステアリング装置は、前記外部装置として、前記自律制御を実施する自律運転制御装置を含み、

前記自律運転制御装置は、

前記手動制御から前記自律制御への切り替えの際、前記回転電機システムが正常である旨の通知が前記正常判定部から行われていないことを条件として、前記電源システムから前記回転電機に対して所定パターンの電力を供給することで前記正常判定条件を成立させ、

前記電源システムから前記回転電機に対して前記所定パターンの電力を供給した後に、前記正常判定部から、前記回転電機システムが正常である旨の通知がなされたことを条件として、前記手動制御から前記自律制御への切り替えを実施する、

回転電機システム。

【請求項 4】

前記自律運転制御装置は、前記所定パターンの電力として、前記回転電機に流れる d 軸電流が 0 以外の所定電流となり、かつ、前記回転電機に流れる q 軸電流が略 0 となる電力を供給する請求項 2 又は 3 に記載の回転電機システム。

【請求項 5】

ドライバによる操舵トルクに応じたトルクを出力する電動パワーステアリング装置に適用されるものであり、

前記自律運転制御装置は、前記所定パターンの電力として、前記回転電機に対し、前記回転電機からトルクが出力されてから車両のヨーレートが変化するまでの応答時間であるヨーレート時定数より短い周期で変化する電力パターンを供給する請求項 2 乃至 4 のいずれか 1 項に記載の回転電機システム。

10

20

30

40

50

## 【請求項 6】

前記回転電機は、独立した 2 組の電機子巻線を含むものであり、

前記自律運転制御装置は、前記所定パターンの電力として、前記 2 組の電機子巻線において、出力トルクが打ち消しあう電力を供給する請求項 2 乃至 5 のいずれか 1 項に記載の回転電機システム。

## 【請求項 7】

前記異常判定部及び前記正常判定部は、前記回転電機又は前記電源システムにおいてオープン異常が生じていることを前記異常判定条件とするものであり、

前記正常判定部は、前記回転電機又は前記電源システムに所定の閾値より大きい電流が流れていることを前記正常判定条件として、前記オープン異常が生じていないか否かの前記正常判定を実施する請求項 1 乃至 6 のいずれか 1 項に記載の回転電機システム。

10

## 【請求項 8】

ドライバによる操舵トルクに応じたトルクを出力する電動パワーステアリング装置 ( 5 ) に適用されるものであり、

前記センサは、前記回転電機の回転角度を検出する角度センサ ( 2 8 , 2 9 ) を含み、

前記異常判定部及び前記正常判定部は、前記角度センサの検出値に異常が生じていることを前記異常判定条件とするものであり、

前記正常判定部は、前記角度センサの検出値が所定の範囲で変化したことを前記正常判定条件として、前記角度センサの検出値が正常であるか否かの前記正常判定を実施する請求項 1 乃至 7 のいずれか 1 項に記載の回転電機システム。

20

## 【請求項 9】

ドライバによる操舵トルクに応じたトルクを出力する電動パワーステアリング装置に適用されるものであり、

前記センサ、前記操舵トルクを検出するトルクセンサ ( 9 4 ) を含み、

前記異常判定部及び前記正常判定部は、前記トルクセンサの検出値に異常が生じていることを前記異常判定条件とするものであり、

前記正常判定部は、前記トルクセンサの検出値が所定値より大きいことを条件として、前記トルクセンサの検出値が正常であるか否かの前記正常判定を実施する請求項 1 乃至 8 のいずれか 1 項に記載の回転電機システム。

30

## 【発明の詳細な説明】

## 【技術分野】

## 【0001】

回転電機、回転電機に電力を供給する電源システム、及び回転電機の制御に用いる所定の状態量を検出するセンサを含む回転電機システムの異常判定装置に関する。

## 【背景技術】

## 【0002】

特許文献 1 には、回転電機における異常判定を行う構成が記載されている。特許文献 1 の構成では、回転電機に供給される電圧が所定値以上であるタイミングにおいて、回転電機の巻線に流れる電流が閾値以下の状態が所定時間継続した場合に、断線が生じていると判定する。

40

## 【先行技術文献】

## 【特許文献】

## 【0003】

【特許文献 1】特開 2 0 1 5 - 2 1 3 6 6 6 号公報

## 【発明の概要】

## 【発明が解決しようとする課題】

## 【0004】

ここで、回転電機、回転電機に電力を供給する電源システム、及び回転電機の制御に用いる所定の状態量を検出するセンサを含む回転電機システムにおける異常判定を行う構成では、回転電機システムに生じた異常を判定できるものの回転電機システムが正常である

50

か否かを判定することはできない。

【0005】

本発明は、上記課題に鑑みてなされたものであり、回転電機システムを対象として、異常判定に加え、精度よく正常判定を実施することが可能な異常判定装置を提供することを主たる目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0006】

第1の構成は、回転電機(10)、前記回転電機に電力を供給する電源システム(21, 22)、及び前記回転電機の制御に用いる所定の状態量を検出するセンサ(26, 28, 94)を備える回転電機システム(5)であって、所定の異常判定期間にわたって所定の異常判定条件が継続して成立している場合に、前記回転電機システムに異常が生じていると判定する異常判定を実施する異常判定部(41)と、所定の正常判定期間にわたって、前記回転電機の動作時に成立する所定の正常判定条件が成立し、かつ、前記異常判定条件が成立していない場合に、前記回転電機システムが正常であると判定する正常判定を実施するとともに、前記回転電機システムが正常であると判定した場合に、外部装置に対して、前記回転電機システムが正常である旨を通知する正常判定部(41)と、を備える。

10

【0007】

異常判定部による異常判定では、所定の異常判定期間にわたって、所定の異常判定条件が継続して成立している場合に回転電機、電源システム、及びセンサを含む回転電機システムに異常が生じていると判定する。当該構成によって、実際に異常が生じている可能性が高い場合には、異常が生じている判定することができる。

20

【0008】

ここで、異常判定部による異常判定は、回転電機システムに異常が生じていることを好適に判定できる一方で、回転電機システムが正常であるか否かの判定を行うものではない。そこで、本構成では、回転電機の動作時に成立する所定の正常判定条件が成立し、かつ、所定の正常判定期間にわたって前記異常判定条件が成立していない場合に回転電機システムが正常であると判定する正常判定部を備えるものとした。当該正常判定部を備える構成とすることで、実際に回転電機が動作する状況下において、回転電機システムが正常であると判定することが可能になる。回転電機が動作している状況下で正常判定を実施することで、精度よく正常判定を実施することができる。

30

【0009】

そして、正常判定部が、回転電機システムが正常である旨を外部装置に対して通知することで、例えば、外部装置による回転電機に対する制御を許可したり、回転電機システムが正常であることをユーザに通知したりすることが可能になる。

【0010】

第2の構成は、第1の構成において、前記異常判定部及び前記正常判定部は、前記回転電機又は前記電源システムにおいてショート異常が生じていることを前記異常判定条件とし、前記正常判定部は、前記電源システムから前記回転電機へ電流が出力されていることを前記正常判定条件として、前記ショート異常が生じていないか否かの前記正常判定を実施する。

40

【0011】

制御装置は、回転電機又は電源システムにおいてショート異常が生じていることを異常判定条件とするものである。さらに、制御装置は、電源システムから前記回転電機へ電流が出力されていることを正常判定条件として、回転電機又は電源システムにおいてショート異常が生じていないか否かの正常判定を実施する。電源システムから前記回転電機へ電流が出力されていることを正常判定条件とすることで、電源システムから回転電機に対して実際に電力供給が実施されている状況下で、ショート異常が生じているか否かの正常判定が実施される。このため、ショート異常が生じているか否かの正常判定の精度を向上させることができる。

【0012】

50

第3の構成は、第1又は第2の構成において、前記異常判定部及び前記正常判定部は、前記回転電機又は前記電源システムにおいてオープン異常が生じていることを前記異常判定条件とするものであり、前記正常判定部は、前記回転電機又は前記電源システムに所定の閾値より大きい電流が流れていることを前記正常判定条件として、前記オープン異常が生じていないか否かの前記正常判定を実施する。

【0013】

制御装置は、回転電機又は電源システムにおいてオープン異常が生じていることを異常判定条件とするものである。さらに、制御装置は、回転電機又は電源システムに所定の閾値より大きい電流が流れていることを正常判定条件として、回転電機又は電源システムにおいてオープン異常が生じていないか否かの正常判定を実施する。当該構成によれば、実際に電流が流れている状況下でオープン異常の有無に関する正常判定が実施される。このため、オープン異常が生じているか否かの正常判定の精度を向上させることができる。

10

【0014】

第4の構成は、第1乃至第3の構成のいずれかにおいて、ドライバによる操舵トルクに応じたトルクを出力する電動パワーステアリング装置(5)に適用されるものであり、前記センサは、前記回転電機の回転角度を検出する角度センサ(28, 29)を含み、前記異常判定部及び前記正常判定部は、前記角度センサの検出値に異常が生じていることを前記異常判定条件とするものであり、前記正常判定部は、前記角度センサの検出値が所定の範囲で変化したことを前記正常判定条件として、前記角度センサの検出値が正常であるか否かの前記正常判定を実施する。

20

【0015】

制御装置は、回転電機の回転角度を検出する角度センサの検出値に異常が生じていることを異常判定条件とするものである。さらに、制御装置は、角度センサの検出値が所定の範囲で変化したことを正常判定条件として、角度センサの検出値が正常であるか否かの正常判定を実施する。当該構成によれば、実際に回転電機が回転している状況下で角度センサの検出値が正常であるか否かの正常判定が実施される。このため、角度センサの検出値に異常が生じているか否かの正常判定の精度を向上させることができる。

【0016】

第5の構成は、第1乃至第4の構成のいずれかにおいて、ドライバによる操舵トルクに応じたトルクを出力する電動パワーステアリング装置に適用されるものであり、前記センサ、前記操舵トルクを検出するトルクセンサ(94)を含み、前記異常判定部及び前記正常判定部は、前記トルクセンサの検出値に異常が生じていることを前記異常判定条件とするものであり、前記正常判定部は、前記トルクセンサの検出値が所定値より大きいことを条件として、前記トルクセンサの検出値が正常であるか否かの前記正常判定を実施する。

30

【0017】

制御装置は、操舵トルクを検出するトルクセンサの検出値に異常が生じていることを異常判定条件とするものである。さらに、制御装置は、トルクセンサの検出値が所定値より大きいことを正常判定条件として、トルクセンサの検出値が正常であるか否かの正常判定を実施する。当該構成によれば、トルクセンサが実際に操舵トルクを検出している状況下でトルクセンサの検出値に対する正常判定が実施される。このため、トルクセンサの検出値が正常であるか否かの正常判定の精度を向上させることができる。

40

【0018】

第6の構成は、第1乃至第5の構成において、ドライバによる操舵トルクに応じたトルクを出力する手動制御と、ドライバによる操舵トルクによらず自律的にトルクを出力する自律制御とを切り替えて実施する電動パワーステアリング装置に適用されるものであり、前記電動パワーステアリング装置は、前記外部装置として、前記自律制御を実施する自律運転制御装置を含み、前記自律運転制御装置は、前記手動制御から前記自律制御への切り替えの際、前記回転電機システムが正常である旨の通知が前記正常判定部から行われていないことを条件として、前記電源システムから前記回転電機に対して所定パターンの電力を供給することで前記正常判定条件を成立させ、前記電源システムから前記回転電機に対

50

して前記所定パターンの電力を供給した後に、前記正常判定部から、前記回転電機システムが正常である旨の通知がなされたことを条件として、前記手動制御から前記自律制御への切り替えを実施する。

【0019】

自律運転制御装置は、手動制御から自律制御への切り替えの際、回転電機システムが正常である旨の通知が正常判定部から行われていないことを条件として、電源システムから回転電機に対して所定パターンの電力を供給する制御を実施する。回転電機に対して所定パターンの電力を供給することで、回転電機を動作させ、正常判定条件を成立させる。これにより、正常判定部としての制御装置による正常判定が実施される。そして、正常判定部としての制御装置から回転電機システムが正常である旨の通知がなされたことを条件として、手動制御から自律制御への切り替えを実施する。このような自立運転ECUによる制御によって、回転電機システムの正常判定が行われた後に手動制御から自律制御への切り替えが実施されることになり、回転電機システムが正常でない場合に、自律制御が実施されることが抑制される。このため、自律制御の安全性を向上させることができる。

10

【0020】

第7の構成は、第6の構成において、前記自律運転制御装置は、前記所定パターンの電力として、前記回転電機に流れるd軸電流が0以外の所定電流となり、かつ、前記回転電機に流れるq軸電流が略0となる電力を供給する。

【0021】

具体的には、所定パターンの電力として、d軸電流の大きさが所定値より大きく、かつ、q軸電流が略0となるような電流を供給する。q軸電流を略0とすることで、回転電機の出出力トルクを略0とするとともに、d軸電流の大きさを0より大きくすることで、電源システムから回転電機に対して電力が供給される状況を作ることができる。電源システムから回転電機に対して電力が供給される状況下では、特に、オープン異常、及び、ショート異常に関する正常判定を実施することが可能になる。

20

【0022】

第8の構成は、第6又は第7の構成において、ドライバによる操舵トルクに応じたトルクを出力する電動パワーステアリング装置に適用されるものであり、前記自律運転制御装置は、前記所定パターンの電力として、前記回転電機に対し、前記回転電機からトルクが出力されてから車両のヨーレートが変化するまでの応答時間であるヨーレイト時定数より短い周期で変化する電力パターンを供給する。

30

【0023】

所定パターンの電力として、回転電機からトルクが出力されてから車両のヨーレートが変化するまでの応答時間であるヨーレイト時定数より短い周期で変化する電力を供給することで、車両のヨーレイトの変動を抑制するとともに、電源システムから回転電機に対して電力が供給される状況を作ることができる。電源システムから回転電機に対して電力が供給される状況下では、特に、オープン異常、及び、ショート異常に関する正常判定を実施することが可能になる。

【0024】

第9の構成は、前記回転電機は、独立した2組の電機子巻線を含むものであり、前記自律運転制御装置は、前記所定パターンの電力として、前記2組の電機子巻線において、出力トルクが打ち消しあう電力を供給する。

40

【0025】

所定パターンの電力として、2組の電機子巻線において、出力トルクが打ち消しあうように電力を供給することで、回転電機の出出力トルクを略0とするとともに、電源システムから回転電機に対して電力が供給される状況を作ることができる。電源システムから回転電機に対して電力が供給される状況下では、特に、オープン異常、及び、ショート異常に関する正常判定を実施することが可能になる。

【図面の簡単な説明】

【0026】

50

【図 1】ステアリングシステムの全体構成を表す図。

【図 2】電動パワーステアリング装置の電氣的構成を表す図。

【図 3】制御部による制御を表す制御ブロック図。

【図 4】回轉電機制御装置と自律運轉制御装置との関係を表す図。

【図 5】角度センサの出力電圧を表す図。

【図 6】トルクセンサの出力電圧を表す図。

【図 7】ショート異常に係る異常判定及び正常判定処理を表すフローチャート。

【図 8】オープン異常に係る異常判定及び正常判定処理を表すフローチャート。

【図 9】第 1 角度センサに係る異常判定及び正常判定処理を表すフローチャート。

【図 10】第 1 電流検出部に係る異常判定及び正常判定処理を表すフローチャート。

10

【図 11】トルクセンサに係る異常判定及び正常判定処理を表すフローチャート。

【図 12】自律制御と手動制御との切り替え処理を表すフローチャート。

【発明を実施するための形態】

【0027】

本実施形態における「回轉電機システム」を図 1 ~ 図 3 に示す。本実施形態の「回轉電機システム」は、ドライバによるステアリング操作を補助するための電動パワーステアリング装置 5 を含むステアリングシステム 90 に適用される。

【0028】

図 1 は、ステアリングシステム 90 の全体構成を示す。ステアリングシステム 90 は、ハンドル（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 5 を備えている。

20

【0029】

ハンドル 91（ステアリングホイール）に接続されたステアリングシャフト 92 には、操舵トルクを検出するためのトルクセンサ 94 が設けられている。トルクセンサ 94 は、ステアリングシャフト 92 の回轉に伴うトルクを電圧に変換して出力する。ステアリングシャフト 92 の先端にはピニオンギア 96 が設けられており、ピニオンギア 96 はラック軸 97 に噛み合っている。ラック軸 97 の両端には、タイロッド等を介して一対の車輪 98 が回轉可能に連結されている。

【0030】

運轉者がハンドル 91 を回轉させると、ハンドル 91 に接続されたステアリングシャフト 92 が回轉する。ステアリングシャフト 92 の回轉運動は、ピニオンギア 96 によってラック軸 97 の直線運動に変換され、ラック軸 97 の変位量に応じた角度に一対の車輪 98 が操舵される。

30

【0031】

電動パワーステアリング装置 5 は、操舵アシストトルクを発生するモータ 10（回轉電機）、モータ 10 を駆動する回轉電機制御装置 1、回轉軸の回轉を減速してステアリングシャフト 92 に伝達する減速ギア 9、及び、トルクセンサ 94 を含む。本実施形態のモータ 10 は 3 相交流ブラシレスモータであり、減速ギア 9 を正逆回轉させる。

【0032】

図 2 に示すように、モータ 10 は、3 相ブラシレスモータであって、いずれも図示しないロータおよびステータを有する。ロータは、円筒状の部材であり、その表面に永久磁石が貼り付けられ、磁極を有する。ステータには、2 組の巻線群 11、12（電機子巻線群）が巻回される。

40

【0033】

第 1 巻線群 11 は、U1 コイル 111、V1 コイル 112、及び、W1 コイル 113 から構成される。第 2 巻線群 12 は、U2 コイル 121、V2 コイル 122、及び、W2 コイル 123 から構成される。

【0034】

第 1 巻線群 11 と第 2 巻線群 12 とは、電氣的には独立しているが、同一のステータに巻回されており、モータ 10 が構成する磁氣回路により磁氣的に結合されている。また、

50

第1巻線群11のU1コイル111と、第2巻線群12のU2コイル121とは、位相が30°ずれた位置に配置される。V相、W相についても同様である。

【0035】

回転電機制御装置1は、第1インバータ部21、第2インバータ部22、第1電流検出部26（電流センサ）、第2電流検出部27、第1角度センサ28、第2角度センサ29、第1電源リレー31、第2電源リレー32、第1コンデンサ33、第2コンデンサ34、駆動回路（ブリドライバ）35、及び、制御部41を備える。

【0036】

第1インバータ部21は、6つのスイッチング素子（以下、「スイッチ」と記載する。）211～216を有し、第1巻線群11のコイル111、112、113への通電を切り替える。

10

【0037】

高電位側に設けられる上アームスイッチ211、212、213のドレインは、第1上側母線218を經由してバッテリー30の正極側とそれぞれ接続されている。上アームスイッチ211、212、213のソースは、低電位側に設けられる下アームスイッチ214、215、216のドレインとそれぞれ接続されている。下アームスイッチ214、215、216のソースは、第1下側母線219を經由してバッテリー30の負極側と接続される。上アームスイッチ211、212、213と下アームスイッチ214、215、216との接続点は、それぞれ、U1コイル111、V1コイル112、W1コイル113の一端と接続される。

20

【0038】

第2インバータ部22は、6つのスイッチ221～226を有し、第2巻線群12のコイル121、122、123への通電を切り替える。

【0039】

高電位側に設けられる上アームスイッチ221、222、223のドレインは、第2上側母線228を經由してバッテリー30の正極側とそれぞれ接続されている。上アームスイッチ221、222、223のソースは、低電位側に設けられる下アームスイッチ224、225、226のドレインとそれぞれ接続されている。下アームスイッチ224、225、226のソースは、第2下側母線229を經由してバッテリー30の負極側と接続される。上アームスイッチ221、222、223と下アームスイッチ224、225、226との接続点は、それぞれ、U2コイル121、V2コイル122、W2コイル123の一端と接続される。

30

【0040】

本実施形態のスイッチ211～216、221～226は、いずれもMOSFET（金属酸化物絶縁効果トランジスタ）であるが、IGBT（絶縁ゲートバイポーラトランジスタ）やサイリスタや機械式のリレースイッチなどとしてもよい。

【0041】

第1電流検出部26は、電流検出素子261、262、263から構成される。電流検出素子261は、スイッチ214の低電位側に設けられ、U1コイル111に通電される電流であるU1電流 $I_{u1}$ を検出する。電流検出素子262は、スイッチ215の低電位側に設けられ、V1コイル112に通電される電流であるV1電流 $I_{v1}$ を検出する。電流検出素子263は、スイッチ216の低電位側に設けられ、W1コイル113に通電される電流であるW1電流 $I_{w1}$ を検出する。

40

【0042】

第2電流検出部27は、電流検出素子271、272、273から構成される。電流検出素子271は、スイッチ224の低電位側に設けられ、U2コイル121に通電される電流であるU2電流 $I_{u2}$ を検出する。電流検出素子272は、スイッチ225の低電位側に設けられ、V2コイル122に通電される電流であるV2電流 $I_{v2}$ を検出する。電流検出素子273は、スイッチ226の低電位側に設けられ、W2コイル123に通電される電流であるW2電流 $I_{w2}$ を検出する。本実施形態の電流検出素子261～263、

50

271～273は、シャント抵抗である。なお、シャント抵抗に代えてホール素子などを用いてもよい。

【0043】

角度センサ28, 29は、ともにモータ10の回転角を検出する。角度センサ28, 29は、それぞれ、モータ10の回転子側に設けられる磁気発生部である磁石と、当該磁石に近接して設けられる磁気検出素子とによって構成され、モータ10の回転角度に応じた電圧を出力する。角度センサ28, 29を構成する磁気検出素子は、具体的には、トンネル磁気抵抗(TMR: Tunnel Magneto Resistance)素子である。なお、角度センサ28, 29を構成する磁気検出素子としてホール素子などを用いてもよい。角度センサ28, 29により検出されたモータ10の電気角は、制御部41へ出力される。

10

【0044】

角度センサ28, 29は、モータ10の回転子の回転角度に応じた正弦波電圧と、当該正弦波に対して90度位相が進んだ余弦波電圧とを出力する。また、角度センサ28, 29における異常などに対応すべく、角度センサ28, 29はそれぞれ、第1の余弦波電圧 $V \times 1$ 、及び第1の正弦波電圧 $V y 1$ を出力する第1磁気検出素子と、第2の余弦波電圧 $V \times 2$ 、及び第2の正弦波電圧 $V y 2$ を出力する第2磁気検出素子と、を備える構成としている。角度センサ28, 29がそれぞれ正常な場合、余弦波電圧 $V \times 1$ と余弦波電圧 $V \times 2$ とは略等しい値となり、正弦波電圧 $V y 1$ と正弦波電圧 $V y 2$ とは略等しい値となる。

【0045】

20

後述する制御部41は、余弦波電圧 $V \times 1$ ,  $V \times 2$ と正弦波電圧 $V y 1$ ,  $V y 2$ との比( $V y 1 / V \times 1$ ,  $V y 2 / V \times 2$ )の逆正接を算出することで、モータ10の電気角を取得する。ここで、第1角度センサ28の出力値に基づいて取得されるモータ10の電気角の検出値を $\theta 1$ と表し、第2角度センサ29の出力値に基づいて取得されるモータ10の電気角の検出値を $\theta 2$ と表す。

【0046】

第1電源リレー31は、バッテリー30から第1インバータ部21への電力供給を遮断可能に設けられている。第2電源リレー32は、バッテリー30から第2インバータ部22への電力供給を遮断可能に設けられている。本実施形態において、電源リレー31, 32は、スイッチ211などと同様にMOSFETとしているが、IGBTやサイリスタや機械式のリレースイッチなどとしてもよい。

30

【0047】

また、電源リレー31, 32をMOSFETとする場合、バッテリー30が誤って逆向きに接続された場合にダイオードを経由して逆向きの電流が流れるのを防ぐべく、ダイオードの向きが反対向きとなるように電源リレー31, 32と直列に接続される図示しない逆接保護リレーをそれぞれ設けることが好ましい。

【0048】

第1コンデンサ33は、バッテリー30及び第1インバータ部21の入力側と並列に接続される。第2コンデンサ34は、バッテリー30及び第2インバータ部22の入力側と並列に接続される。コンデンサ33, 34は、電荷を蓄えることで、インバータ部21, 22への入力電圧を安定化させたり、サージ電流などのノイズ成分を抑制したりする。

40

【0049】

本実施形態では、第1巻線群11、ならびに、第1巻線群11の通電制御に係る第1インバータ部21、第1電流検出部26、第1角度センサ28、第1電源リレー31、及び、第1コンデンサ33を「第1系統101」とし、第2巻線群12、ならびに、第2巻線群12の通電制御に係る第2インバータ部22、第2電流検出部27、第2角度センサ29、第2電源リレー32、及び、第2コンデンサ34を「第2系統102」とする。

【0050】

制御部41は、電動パワーステアリング装置5全体の制御を司るものであり、各種演算を実行するマイクロコンピュータ等により構成される。制御部41における各処理は、R

50

OMなど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によって実施されてもよいし、専用の電子回路によるハードウェアによって実施されてもよい。

【0051】

制御部41は、信号生成部48を有する。信号生成部48は、トルクセンサ94から取得される操舵トルク、および、角度センサ28, 29から取得される電気角 $\theta_1$ ,  $\theta_2$ などに基づき、スイッチ211~216, 221~226のオンオフを制御する制御信号を生成する。生成された制御信号は、駆動回路35を經由して、スイッチ211~216, 221~226のゲートに出力される。制御部41は、スイッチ211~216, 221~226のオンオフ動作を制御することにより、モータ10の駆動を制御する。なお、図2においては、信号生成部48以外の制御部41の構成の記載を省略している。

10

【0052】

制御部41の詳細を図3に示す。図3では、第1系統101の制御に係る構成を記載している。また、制御部41は、第2系統102の制御に係る構成を備えているが、図3では省略している。

【0053】

制御部41は、3相2相変換部510、減算器512, 513、制御器514, 515、dq非干渉電圧演算部516, 517、非干渉電圧補正部518, 519、及び、2相3相変換部520を有する。

【0054】

3相2相変換部510は、第1電流検出部26により検出されたU1電流検出値 $I_{u1}$ 、V1電流検出値 $I_{v1}$ 、及び、W1電流検出値 $I_{w1}$ を、電気角 $\theta_1$ に基づいてUVW座標系からdq座標系に変換し、第1巻線群11のd軸電流検出値 $I_{d1}$ 、及び、q軸電流検出値 $I_{q1}$ を算出する。ここで、dq軸の電流検出値 $I_{d1}$ ,  $I_{q1}$ は、3相の電流検出値 $I_{u1}$ ,  $I_{v1}$ ,  $I_{w1}$ をdq変換した値であり、いずれも電流検出値の概念に含まれるものである。

20

【0055】

d軸減算器512は、d軸電流偏差 $I_{d1}$ を算出する。d軸電流偏差 $I_{d1}$ は、d軸電流指令値 $I_{d1}^*$ とフィードバック制御の対象であるd軸電流検出値 $I_{d1}$ との偏差である。q軸減算器513は、q軸電流偏差 $I_{q1}$ を算出する。q軸電流偏差 $I_{q1}$ は、q軸電流指令値 $I_{q1}^*$ とフィードバック制御の対象であるq軸電流検出値 $I_{q1}$ との偏差である。

30

【0056】

d軸制御器514は、d軸電流偏差 $I_{d1}$ が0に収束するように、PI演算により基本d軸電圧指令値 $V_{d1}^*_{-b}$ を算出する。q軸制御器515は、q軸電流偏差 $I_{q1}$ が0に収束するように、PI演算により基本q軸電圧指令値 $V_{q1}^*_{-d}$ を算出する。制御器514, 515はPID演算などを実施してもよい。

【0057】

dq非干渉電圧演算部516は、q軸電流偏差 $I_{q1}$ に基づき、d軸非干渉化電圧 $V_{d1}_{-dc}$ を算出する。dq非干渉電圧演算部517は、d軸電流偏差 $I_{d1}$ に基づき、q軸非干渉化電圧 $V_{q1}_{-dc}$ を算出する。

40

【0058】

d軸非干渉電圧補正部518は、基本d軸電圧指令値 $V_{d1}^*_{-b}$ からd軸非干渉化電圧 $V_{d1}_{-dc}$ を減算することで、d軸電圧指令値 $V_{d1}^*$ を算出する。q軸非干渉電圧補正部519は、基本q軸電圧指令値 $V_{q1}^*_{-d}$ にq軸非干渉化電圧 $V_{q1}_{-dc}$ を加算することで、q軸電圧指令値 $V_{q1}^*$ を算出する。

【0059】

2相3相変換部520は、電気角 $\theta_1$ 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dq座標系からUVW座標系に変換する逆dq変換を行い、U相電圧指令値 $V_{u1}^*$ 、V相電圧指令値 $V_{v1}^*$ 、及び、W相電圧指令値 $V_{w1}^*$ を算出する。

【0060】

50

2相3相変換部520により算出された電圧指令値 $V_{u1*}$ 、 $V_{v1*}$ 、 $V_{w1*}$ は、信号生成部48(図2参照)に出力される。信号生成部48では、電圧指令値 $V_{u1*}$ 、 $V_{v1*}$ 、 $V_{w1*}$ に基づいて、スイッチ211~216のオンオフを制御する制御信号を生成する。具体的には、信号生成部48は、各電圧指令値 $V_{u1*}$ 、 $V_{v1*}$ 、 $V_{w1*}$ に応じた電圧が出力されるようにPWM演算を実施する。生成された制御信号は、駆動回路35(図2参照)を經由して、第1インバータ部21に出力される。図3においては、信号生成部48および駆動回路35の記載を省略している。

#### 【0061】

制御部41による第2系統102の制御は、上述した第1系統101の制御と同等であるため説明を省略する。本実施形態の制御部41は、第1角度センサ28の検出値1に基づいて第1インバータ部21の制御を行い、第2角度センサ29の検出値2に基づいて第2インバータ部22の電力制御を行う。ここで、第1インバータ部21の制御主体と、第2インバータ部22の制御主体とは異なる装置であってもよい。

10

#### 【0062】

以上説明したように、本実施形態の電動パワーステアリング装置5は、互いに磁気的に結合する複数の巻線群11、12を有するモータ10の駆動を制御するものであって、インバータ部21、22と、制御部41と、を備える。

#### 【0063】

インバータ部21、22は、巻線群11、12毎に設けられている。第1インバータ部21は、第1巻線群11の各相に対応して設けられる上アームスイッチ211~213、及び、上アームスイッチ211~213の低電位側に接続される下アームスイッチ214~216を有する。第2インバータ部22は、第2巻線群12の各相に対応して設けられる上アームスイッチ221~223、及び、上アームスイッチ221~223の低電位側に接続される下アームスイッチ224~226を有する。制御部41は、インバータ部21、22を制御する。具体的には、制御部41は、インバータ部21、22のスイッチ211~216、221~226のオンオフ作動を制御する。

20

#### 【0064】

図4に示すように、回転電機制御装置1(制御部41)は、車両の自律運転用の制御を行う制御装置60と、表示装置61との通信を行う。

#### 【0065】

制御装置60は、ドライバなどによって操作される操作部63からの入力信号に応じて、ドライバの操作に応じて車両の走行状態を制御する手動制御と、車両の走行状態を各種センサからの入力に応じて自律的に制御する自律制御とを切り替えて実施する。手動制御時には、電動パワーステアリング装置5は、ドライバによる操舵トルクに応じたトルクを出力する。

30

#### 【0066】

ここで、制御装置60が実施する自律制御は、ドライバの操作に応じた制御と、自律的な制御とを組み合わせたものを含み、例えば、ドライバの操作に応じた車両の加減速に関する制御と、車両の操舵を自律的に行う制御と、を組み合わせたものを含むものである。制御装置60は、自律制御時には、車両に取り付けられたカメラなどを含む各種センサから入力される情報に基づいて、車両の操舵を自律的に制御する。

40

#### 【0067】

表示装置61は、車両の速度などの情報を表示する一般的なものであり、液晶ディスプレイを含む表示部と、当該表示部を制御する制御部とを含むものである。操作部62は、機械的に操作されるスイッチや、タッチパネルに対する入力や音声による入力などによって操作されるソフトウェア的なものを含むものである。

#### 【0068】

制御装置60は、操作部62に対するドライバによる操作に応じて、手動制御から自律制御への切り替えを行う。制御装置60は、車両の操舵を自律的に制御する場合、モータ10が出力すべきトルク量(トルク指令値)を回転電機制御装置1に通知する。回転電機

50

制御装置 1 は、モータ 10 からそのトルク指令値に応じたトルクを出力させる制御を実施する。なお、制御装置 60 から回転電機制御装置 1 に対し、トルク指令値に代えて、ステアリングシャフト 92 の回転角度などを通知するものであってもよい。

【0069】

ここで、モータ 10 を含む電動パワーステアリング装置 5 に異常が生じている状態では、自律制御を正常に実施できない。そこで、制御装置 60 は、電動パワーステアリング装置 5 に異常が生じている場合に、手動制御から自律制御への切り替えを禁止する。なお、手動制御から自律制御への切り替えを禁止する主体は制御部 41 であってもよい。

【0070】

制御部 41 は、電動パワーステアリング装置 5 の異常判定を行う。具体的には、制御部 41 は、巻線群 11, 12、巻線群 11, 12 に電力供給を行うインバータ部 21, 22、巻線群 11, 12 とインバータ部 21, 22 との間の配線、インバータ部 21, 22 とバッテリー 30 との配線、及び、バッテリー 30 を含む電源システム、並びに、インバータ部 21, 22 から巻線群 11, 12 への電力出力の制御に用いられる所定の状態量 ( $I_d1$ ,  $I_q1$ ,  $I_d2$ ,  $I_q2$ ) を検出する電流検出部 26, 27、及び、角度センサ 28, 29 の異常を判定する。また、制御部 41 は、トルクセンサ 94 の異常を判定する。「異常判定部」としての制御部 41 は、所定の異常判定期間にわたって所定の異常判定条件が継続して成立している場合に、電動パワーステアリング装置 5 に異常が生じていると判定する。

【0071】

「異常判定部」としての制御部 41 は、以下に説明する第 1 巻線群 11 及び第 1 電源システムにおけるショート異常、オープン異常、第 1 電流検出部 26 の異常、第 1 角度センサ 28 の異常、及び、トルクセンサ 94 の異常を判定する。以下、ショート異常、オープン異常、第 1 電流検出部 26 の異常、第 1 角度センサ 28 の異常、及び、トルクセンサ 94 の異常のそれぞれについて説明する。なお、制御部 41 は、第 2 巻線群 12 及び第 2 電源システムにおけるショート異常、オープン異常、第 2 電流検出部 27 の異常、及び、第 2 角度センサ 29 の異常を判定するが、第 1 巻線群 11 及び第 1 電源システムにおけるショート異常、オープン異常、第 1 電流検出部 26 の異常、及び、第 1 角度センサ 28 の異常の判定と同等であるため、説明を省略する。

【0072】

制御部 41 によるショート異常の判定について説明する。制御部 41 は、第 1 巻線群 11、及び、第 1 巻線群 11 に電力供給を行う第 1 電源システムの少なくとも一方においてショート異常が生じているか否かを判定する。ここで、第 1 巻線群 11 に電力供給を行う第 1 電源システムとは、バッテリー 30、バッテリー 30 と第 1 インバータ部 21 との間の配線、第 1 巻線群 11 に電力供給を行う第 1 インバータ部 21、及び第 1 巻線群 11 と第 1 インバータ部 21 との間の配線を含むものである。また、ショート異常は、第 1 巻線群 11 が筐体などと接触することで生じる地絡や、第 1 インバータ部 21 におけるスイッチ 211 ~ 216 におけるショート故障（閉固着）や、バッテリー 30 と第 1 インバータ部 21 との間の配線が筐体などと接触することで生じる地絡や、第 1 巻線群 11 と第 1 インバータ部 21 との間の配線が筐体などと接触することで生じる地絡を含むものである。

【0073】

第 1 電流検出部 26 による相電流  $I_{u1}$ ,  $I_{v1}$ ,  $I_{w1}$  の検出値や、バッテリー 30 から第 1 インバータ部 21 への入力電流の検出値に基づいて、ショート異常の発生を判定する。より具体的には、第 1 電流検出部 26 による相電流  $I_{u1}$ ,  $I_{v1}$ ,  $I_{w1}$  の検出値が所定の閾値を超える場合に、第 1 巻線群 11、又は、第 1 巻線群 11 と第 1 インバータ部 21 との間の配線におけるショート異常が発生していると判定する。また、制御部 41 は、バッテリー 30 から第 1 インバータ部 21 への入力電流の検出値が所定値を超える場合に、バッテリー 30 と第 1 インバータ部 21 との間の配線、又は、第 1 インバータ部 21 におけるショート異常が発生していると判定する。

【0074】

10

20

30

40

50

次に、制御部 4 1 によるオープン異常の判定について説明する。制御部 4 1 は、第 1 巻線群 1 1、及び、第 1 巻線群 1 1 に電力供給を行う第 1 電源システムの少なくとも一方においてオープン異常が生じているか否かを判定する。オープン異常は、第 1 巻線群 1 1 における断線や、第 1 インバータ部 2 1 におけるスイッチ 2 1 1 ~ 2 1 6 におけるオープン故障（開固着）や、バッテリー 3 0 と第 1 インバータ部 2 1 との間の配線における断線や、第 1 巻線群 1 1 と第 1 インバータ部 2 1 との間の配線における断線を含むものである。

【 0 0 7 5 】

制御部 4 1 は、第 1 電流検出部 2 6 による相電流  $I_{u1}$ 、 $I_{v1}$ 、 $I_{w1}$  の検出値や、バッテリー 3 0 から第 1 インバータ部 2 1 への入力電流の検出値に基づいて、オープン異常の発生を判定する。より具体的には、第 1 インバータ部 2 1 が所定電圧を出力している状況下で第 1 電流検出部 2 6 による相電流  $I_{u1}$ 、 $I_{v1}$ 、 $I_{w2}$  の検出値が所定の閾値を下回る場合に、第 1 巻線群 1 1、第 1 巻線群 1 1 と第 1 インバータ部 2 1 との間の配線、又は、第 1 インバータ部 2 1 におけるオープン異常が発生していると判定する。また、制御部 4 1 は、第 1 インバータ部 2 1 の出力電圧の指令値  $V_{u1*}$ 、 $V_{v*1}$ 、 $V_{w*1}$  が 0 より大きい所定電圧とされている状況下でバッテリー 3 0 から第 1 インバータ部 2 1 への入力電流の検出値が所定値を下回る場合に、バッテリー 3 0 と第 1 インバータ部 2 1 との間の配線、又は、第 1 インバータ部 2 1 におけるオープン異常が発生していると判定する。

【 0 0 7 6 】

次に、制御部 4 1 による第 1 電流検出部 2 6 における異常の判定について説明する。制御部 4 1 は、第 1 電流検出部 2 6 に異常が生じているか否かを判定する。第 1 電流検出部 2 6 による電流  $I_{u1}$ 、 $I_{v1}$ 、 $I_{w1}$  の検出値の合計値の大きさは、第 1 電流検出部 2 6 が正常な場合略 0 となり、相電流を検出する検出素子 2 6 1 ~ 2 6 3 や、検出素子 2 6 1 ~ 2 6 3 と制御部 4 1 との配線などにおいて異常が生じていると 0 より大きい値となる。そこで、制御部 4 1 は、第 1 電流検出部 2 6 による電流  $I_{u1}$ 、 $I_{v1}$ 、 $I_{w1}$  の検出値の合計値の大きさが所定値より大きい（略 0 となっていない）場合に、第 1 電流検出部 2 6 に異常が生じていると判定する。

【 0 0 7 7 】

次に、制御部 4 1 による第 1 角度センサ 2 8 における異常の判定について説明する。制御部 4 1 は、第 1 角度センサ 2 8 に異常が生じているか否かを判定する。第 1 角度センサ 2 8 は、同一の回転角度を出力する 2 つの検出素子を備えている。これらの検出素子が正常である場合、検出素子の出力値は同じ値となる。そこで、制御部 4 1 は、第 1 角度センサ 2 8 を構成する 2 つの検出素子の出力値を比較して、所定値以上のずれが生じていた場合に第 1 角度センサ 2 8 に異常が生じていると判定する。

【 0 0 7 8 】

具体的には、制御部 4 1 は、第 1 角度センサ 2 8 の第 1 磁気検出素子が出力する余弦波電圧  $V_{x1}$  と、第 1 角度センサ 2 8 の第 2 磁気検出素子が出力する余弦波電圧  $V_{x2}$  とを比較する。また、制御部 4 1 は、第 1 角度センサ 2 8 の第 1 磁気検出素子が出力する正弦波電圧  $V_{y1}$  と第 1 角度センサ 2 8 の第 2 磁気検出素子が出力する正弦波電圧  $V_{y2}$  とを比較する。図 5 に各磁気検出素子が出力する余弦波電圧  $V_{x1}$ 、 $V_{x2}$  と、正弦波電圧  $V_{y1}$ 、 $V_{y2}$  と、を示す。制御部 4 1 は、余弦波電圧  $V_{x1}$ 、 $V_{x2}$  の間で所定値以上の差異が生じている場合、又は、正弦波電圧  $V_{y1}$ 、 $V_{y2}$  の間で所定値以上の差異が生じている場合、第 1 角度センサ 2 8 に異常が生じていると判定する。

【 0 0 7 9 】

次に、制御部 4 1 によるトルクセンサ 9 4 における異常の判定について説明する。制御部 4 1 は、トルクセンサ 9 4 に異常が生じているか否かを判定する。トルクセンサ 9 4 は、2 つの検出素子を備え、その 2 つの検出素子が、それぞれステアリングシャフト 9 2 の回転に伴うトルクを電圧に変換し、制御部 4 1 に対して出力する。本実施形態では、2 つの検出素子は逆方向のトルクを検出するように設けられており、それぞれ図 6 に示す電圧  $V_{t1}$ 、 $V_{t2}$  を出力する。なお、2 つの検出素子は、同一方向のトルクを検出するものであってもよい。トルクセンサ 9 4 を構成する検出素子は、正常時においては、同一の大

10

20

30

40

50

きさとなる。そこで、制御部 41 は、トルクセンサ 94 を構成する 2 つの検出素子による出力電圧  $V_{t1}$ 、 $V_{t2}$  を比較して、所定値以上のずれが生じていた場合にトルクセンサ 94 に異常が生じていると判定する。

【0080】

ここで、「正常判定部」としての制御部 41 は、上述した異常判定に加え、電動パワーステアリング装置 5 が正常に動作するか否かの判定を行う。そして、制御部 41 は、外部装置としての制御装置 60 及び表示装置 61 に対して、電動パワーステアリング装置 5 が正常である旨を通知する。本実施形態の制御装置 60 は、電動パワーステアリング装置 5 が正常である旨が制御部 41 から通知されたことを条件として、手動制御から自律制御への切り替えを許可する。なお、手動制御から自律制御への切り替えを許可する主体は制御部 41 であってもよい。「正常判定部」としての制御部 41 は、所定の正常判定期間にわたって、モータ 10 の動作時に成立する所定の正常判定条件が成立し、且つ、異常判定条件が成立していない場合に、電動パワーステアリング装置 5 が正常であると判定する。

10

【0081】

なお、「正常判定部」としての制御部 41 は、第 2 巻線群 12 及び第 2 電源システムにおけるショート異常、オープン異常、第 2 電流検出部 27 の異常、及び、第 2 角度センサ 29 の異常に係る正常判定を実施するが、第 1 巻線群 11 及び第 1 電源システムにおけるショート異常、オープン異常、第 1 電流検出部 26 の異常、及び、第 1 角度センサ 28 の異常に係る正常判定と同等であるため、説明を省略する。

【0082】

「正常判定部」としての制御部 41 は、ショート異常に係る正常判定時において、第 1 電流検出部 26 による相電流  $I_{u1}$ 、 $I_{v1}$ 、 $I_{v2}$  の検出値が所定値を超えることを異常判定条件とするともに、正常判定条件とする。

20

【0083】

「正常判定部」としての制御部 41 は、オープン異常に係る正常判定時において、第 1 インバータ部 21 が所定電圧を出力している状況下で第 1 電流検出部 26 による相電流  $I_{u1}$ 、 $I_{v1}$ 、 $I_{w2}$  の検出値のいずれかが所定の閾値を下回ることを異常判定条件とする。また、制御部 41 は、第 1 電流検出部 26 による相電流  $I_{u1}$ 、 $I_{v1}$ 、 $I_{v2}$  の検出値それぞれが所定の閾値を超えることを正常判定条件とする。

【0084】

また、「正常判定部」としての制御部 41 は、第 1 電流検出部 26 の正常判定時において、第 1 電流検出部 26 による相電流  $I_{u1}$ 、 $I_{v1}$ 、 $I_{w1}$  の検出値の合計値の大きさが所定の閾値を超えることを異常判定条件とする。また、制御部 41 は、第 1 電流検出部 26 による相電流  $I_{u1}$ 、 $I_{v1}$ 、 $I_{w1}$  の検出値の大きさがそれぞれ所定の閾値を超えることを正常判定条件とする。

30

【0085】

また、「正常判定部」としての制御部 41 は、第 1 角度センサ 28 の正常判定時において、第 1 角度センサ 28 を構成する 2 つの検出素子の出力値を比較して、所定の閾値を超えるずれが生じていることを異常判定条件とする。また、制御部 41 は、第 1 角度センサ 28 の検出値が所定の範囲で変化したことを正常判定条件とする。具体的には、第 1 角度センサ 28 の検出値 1 の変化量を積算した値が所定の閾値（例えば、360 度）を超えていることを正常判定条件とする。また、モータ 10 が第 1 角度センサ 28 の検出範囲の半分以上、即ち、180 度以上回転したことを判定できるように所定の範囲を設定してもよい。

40

【0086】

また、第 1 角度センサ 28 による電気角 1 の検出範囲を所定数の区画に分割し、第 1 角度センサ 28 の検出値 1 が所定数の区画を通過したことを正常判定条件としてもよい。例えば、第 1 角度センサ 28 による電気角 1 の検出範囲を 6 つの区画、即ち、第 1 区画：0 度～60 度、第 2 区画：60 度～120 度、第 3 区画：120 度～180 度、第 4 区画：180 度～240 度、第 5 区画：240 度～300 度、第 6 区画：300 度～360 度

50

に分割する。そして、第1角度センサ28の検出値1が、第1～第6区画の全てを通過したこと(第1角度センサ28の検出値1が、各区画に属する値のいずれかと等しくなったこと)を正常判定条件としてもよい。なお、第1角度センサ28の検出値1が、第1～第6区画のうち所定数(例えば、3つの区画)を通過したことを正常判定条件としてもよい。

【0087】

また、「正常判定部」としての制御部41は、トルクセンサ94を構成する第1検出素子の出力値 $V_t1$ の大きさと第2検出素子の出力値 $V_t2$ の大きさとを比較して、所定の閾値を超えるずれが生じていることを異常判定条件とする。また、制御部41は、トルクセンサ94によるトルクの検出値の大きさが所定値を超えることを正常判定条件とする。

10

【0088】

図7にショート異常に係る異常判定及び正常判定処理を表すフローチャートを示す。当該処理は制御部41によって実施される。ステップS01～S05の処理が「異常判定部」としての制御部41による処理に相当し、ステップS01～S09が「正常判定部」としての制御部41による処理に相当する。

【0089】

ステップS01において、第1電流検出部26からU1相、V1相、W1相に流れる電流 $I_{u1}$ 、 $I_{v1}$ 、 $I_{w1}$ の検出値を取得し、相電流 $I_{u1}$ 、 $I_{v1}$ 、 $I_{w1}$ の検出値の大きさのいずれかが所定の閾値(例えば、100A)を超えているか否かを判定する。ここで、ステップS01の判定に用いる閾値は、第1インバータ部21から第1巻線群11に電流が流れる経路において、ショート異常が生じていることが判定可能な値に設定されている。つまり、ステップS01の判定に用いる閾値は、モータ10の正常動作時における相電流 $I_{u1}$ 、 $I_{v1}$ 、 $I_{w1}$ の検出値の大きさより大きく、ショート異常の発生時の相電流 $I_{u1}$ 、 $I_{v1}$ 、 $I_{w1}$ の検出値の大きさより小さい値に設定されている。

20

【0090】

ステップS01において肯定的な判断がなされた場合(S01: YES)、即ち、ショート異常に係る異常判定条件が成立している場合、ステップS02において、異常カウンタを1増加させる。なお、異常カウンタの初期値は0に設定されている。また、ステップS01において否定的な判断がなされた場合(S01: NO)、即ち、ショート異常に係る異常判定条件が成立していない場合、ステップS03において、異常カウンタを0に初期化する。ステップS02、S03の後、ステップS04において、異常カウンタの値が所定値(例えば、50)以下か否かを判定する。異常カウンタの値が所定値より大きい場合(S04: NO)、ステップS05においてショート異常が発生していると判定を行い、当該異常判定の結果を制御装置80に通知し、処理を終了する。

30

【0091】

ステップS04において異常カウンタの値が所定値以下であると判定された場合(S04: YES)の後、ステップS06において、異常カウンタが0であるか否かを判定する。異常カウンタが0より大きい場合(S06: NO)、ステップS01以降の処理を繰り返し実施する。異常カウンタが0の場合(S06: YES)、ステップS07において、正常カウンタを1増加させる。なお、正常カウンタの初期値は0に設定されている。ステップS08において、正常カウンタが50より大きいか否かを判定する。正常カウンタが50以下の場合(S08: NO)、ステップS09において、ショート異常が生じていないとする正常判定を行い、当該正常判定の結果を制御装置80に通知し、ステップS01以降の処理を繰り返し実施する。

40

【0092】

図8にオープン異常に係る異常判定及び正常判定処理を表すフローチャートを示す。当該処理は制御部41によって実施される。図7と同等の処理については同一の符号を付し、適宜説明を省略する。また、図7に示す異常カウンタ及び正常カウンタと、図8に示す異常カウンタ及び正常カウンタとは、説明の便宜上同一の名前を付しているが異なる変数である。

50

## 【 0 0 9 3 】

図 8 に示すフローチャートでは、図 7 のステップ S 0 1 に代えて、ステップ S 1 1 の処理を実行し、ステップ S 0 4 の肯定的な判断とステップ S 0 6 の処理との間でステップ S 1 2 の処理を実行する。ステップ S 1 1 , S 0 2 ~ S 0 5 の処理が「異常判定部」としての制御部 4 1 による処理に相当し、ステップ S 1 1 , S 0 2 ~ S 0 5 , S 1 2 , S 0 6 ~ S 0 9 の処理が「正常判定部」としての制御部 4 1 による処理に相当する。

## 【 0 0 9 4 】

ステップ S 1 1 では、オープン異常時の異常判定条件が成立しているか否かを判定する。具体的には、相電流  $I_{u1}$  ,  $I_{v1}$  ,  $I_{w1}$  の検出値、バッテリー 3 0 の出力電圧（電源電圧）の検出値、第 1 インバータ部 2 1 の出力電圧の指令値  $V_{u1*}$  ,  $V_{v1*}$  ,  $V_{w1*}$  、及び、モータ 1 0 の回転速度を取得する。そして、電源電圧の検出値が所定値（例えば、9 V）より大きく、且つ、出力電圧の指令値  $V_{u1*}$  ,  $V_{v1*}$  ,  $V_{w1*}$  のそれぞれが所定値（例えば、5 V）より大きく、且つ、モータ 1 0 の回転速度が所定値（例えば 5 0 0 r p m）より小さく、且つ、相電流  $I_{u1}$  ,  $I_{v1}$  ,  $I_{w1}$  の検出値の少なくとも一つが所定の閾値（3 0 A）より小さい場合に、オープン異常が生じていると判定する。ステップ S 1 1 において肯定的な判断がなされた場合、ステップ S 0 2 の処理に進み、ステップ S 1 1 において否定的な判断がなされた場合、ステップ S 0 3 の処理に進む。

## 【 0 0 9 5 】

ステップ S 1 2 では、相電流  $I_{u1}$  ,  $I_{v1}$  ,  $I_{w1}$  の検出値の大きさのうち少なくとも一つが、所定の閾値（5 A）より大きいと判定する。相電流  $I_{u1}$  ,  $I_{v1}$  ,  $I_{w1}$  の検出値の大きさのうち少なくとも一つが、所定の閾値（5 A）より大きい場合（S 1 2 : Y E S）、ステップ S 0 6 以降の処理を実施する。また、相電流  $I_{u1}$  ,  $I_{v1}$  ,  $I_{w1}$  の検出値の大きさのいずれもが、所定の閾値（5 A）以下の場合（S 1 2 : N O）、再度ステップ S 1 1 以降の処理を実施する。

## 【 0 0 9 6 】

図 9 に第 1 電流検出部 2 6 に係る異常判定及び正常判定処理を表すフローチャートを示す。当該処理は制御部 4 1 によって実施される。図 6 と同等の処理については同一の符号を付し、適宜説明を省略する。図 9 に示すフローチャートでは、図 6 のステップ S 0 1 に代えて、ステップ S 2 1 の処理を実行し、ステップ S 0 4 の肯定的な判断とステップ S 0 6 の処理との間にステップ S 2 2 の処理を実行する。ステップ S 2 1 , S 0 2 ~ S 0 5 の処理が「異常判定部」としての制御部 4 1 による処理に相当し、ステップ S 2 1 , S 0 2 ~ S 0 5 , S 2 2 , S 0 6 ~ S 0 9 の処理が「正常判定部」としての制御部 4 1 による処理に相当する。

## 【 0 0 9 7 】

ステップ S 2 1 では、第 1 電流検出部 2 6 に係る異常判定条件が成立しているか否かを判定する。具体的には、相電流  $I_{u1}$  ,  $I_{v1}$  ,  $I_{w1}$  の検出値の合計値の大きさが所定の閾値（5 A）より大きいと判定する。相電流  $I_{u1}$  ,  $I_{v1}$  ,  $I_{w1}$  の検出値の合計値の大きさが所定の閾値（5 A）より大きい場合、電流検出素子 2 6 1 , 2 6 2 , 2 6 3 の少なくとも一つにおいて異常（例えば、出力値が常に 0 になる異常）が生じていると判定する。ステップ S 2 1 において肯定的な判断がなされた場合、ステップ S 0 2 の処理に進み、ステップ S 2 1 において否定的な判断がなされた場合、ステップ S 0 3 の処理に進む。

## 【 0 0 9 8 】

ステップ S 2 2 では、相電流  $I_{u1}$  ,  $I_{v1}$  ,  $I_{w1}$  の検出値の大きさのうち少なくとも一つが、所定の閾値（5 A）より大きいと判定する。相電流  $I_{u1}$  ,  $I_{v1}$  ,  $I_{w1}$  の検出値の大きさのうち少なくとも一つが、所定の閾値（5 A）より大きい場合（S 2 2 : Y E S）、ステップ S 0 6 以降の処理を実施する。また、相電流  $I_{u1}$  ,  $I_{v1}$  ,  $I_{w1}$  の検出値の大きさのいずれもが、所定の閾値（5 A）以下の場合（S 2 2 : N O）、再度ステップ S 2 1 以降の処理を実施する。

## 【 0 0 9 9 】

10

20

30

40

50

図10に第1角度センサ28に係る異常判定及び正常判定処理を表すフローチャートを示す。当該処理は制御部41によって実施される。図6と同等の処理については同一の符号を付し、適宜説明を省略する。図10に示すフローチャートでは、図6のステップS01に代えて、ステップS31の処理を実行し、ステップS04の肯定的な判断とステップS06の処理との間にステップS32の処理を実行する。ステップS31, S02~S05の処理が「異常判定部」としての制御部41による処理に相当し、ステップS31, S02~S05, S32, S06~S09の処理が「正常判定部」としての制御部41による処理に相当する。

【0100】

ステップS31では、第1角度センサ28に異常が生じているか否かを判定する。具体的には、余弦波電圧 $V_{x1}$ ,  $V_{x2}$ の間で所定値(例えば、0.2V)以上の差異が生じている場合、又は、正弦波電圧 $V_{y1}$ ,  $V_{y2}$ の間で所定値(例えば、0.2V)以上の差異が生じている場合、第1角度センサ28に異常が生じていると判定する。ステップS31において肯定的な判断がなされた場合、ステップS02の処理に進み、ステップS31において否定的な判断がなされた場合、ステップS03の処理に進む。

10

【0101】

ステップS32では、第1角度センサ28から入力されるモータ10の電気角1の変化量の積算値が所定値(例えば、360度)を超えているか否かを判定する。第1角度センサ28から入力されるモータ10の電気角1の変化量の積算値が所定値を超えている場合(S32: YES)、ステップS06以降の処理を実施する。また、第1角度センサ28から入力されるモータ10の電気角1の変化量の積算値が所定値以下の場合(S32: NO)、再度ステップS31以降の処理を実施する。

20

【0102】

図11にトルクセンサ94に係る異常判定及び正常判定処理を表すフローチャートを示す。当該処理は制御部41によって実施される。図6と同等の処理については同一の符号を付し、適宜説明を省略する。図11に示すフローチャートでは、図6のステップS01に代えて、ステップS41の処理を実行し、ステップS03の処理とステップS06の処理との間にステップS42の処理を実行する。ステップS41, S02~S05の処理が「異常判定部」としての制御部41による処理に相当し、ステップS41, S02~S05, S42, S06~S09の処理が「正常判定部」としての制御部41による処理に相当する。

30

【0103】

ステップS41では、トルクセンサ94に異常が生じているか否かを判定する。具体的には、トルクセンサ94の第1検出素子によるトルクの検出値と、トルクセンサ94の第2検出素子によるトルクの検出値とを比較して、所定値以上のずれが生じている場合、トルクセンサ94において異常が生じていると判定する。ステップS41において肯定的な判断がなされた場合、ステップS02の処理に進み、ステップS41において否定的な判断がなされた場合、ステップS03の処理に進む。

【0104】

ステップS42では、トルクセンサ94から入力されるハンドル91のトルクの検出値が所定値(例えば、0.5Nm)より大きいかが否かを判定する。トルクセンサ94入力されるトルクの検出値が所定値より大きい場合(S42: YES)、ステップS06以降の処理を実施する。また、トルクセンサ94から入力されるトルクの検出値が所定値以下の場合(S42: NO)、再度ステップS41以降の処理を実施する。

40

【0105】

図12に手動制御から自律制御への切り替え処理を表すフローチャートを示す。当該処理は、制御装置60によって所定周期毎に実施される。

【0106】

ステップS51において、操作部63から手動制御から自律制御への切り替え指令が入力されているか否かを判定する。切り替え指令が入力されていない場合(S51: NO)

50

、処理を終了する。切り替え指令が入力されている場合（S51：YES）、ステップS52において、電動パワーステアリング装置5に異常が発生している旨の判定が制御部41によってなされているか否かを判定する。

【0107】

電動パワーステアリング装置5に異常が発生している旨の判定が制御部41によってなされていない場合（S52：NO）、ステップS53において、電動パワーステアリング装置5が正常である旨の判定が制御部41によってなされているか否かを判定する。電動パワーステアリング装置5が正常である旨の通知が制御部41によってなされている場合（S53：YES）、ステップS54において、手動制御から自律制御への切り替えを実施する。電動パワーステアリング装置5に異常が発生している旨の判定が制御部41によ

10

【0108】

電動パワーステアリング装置5が正常である旨の判定が制御部41によってなされていない場合（S53：NO）、ステップS55において、インバータ部21，22から巻線群11，12に対して所定の電力パターンを供給するように制御部41に指令を行い、所定時間待機する。その後、ステップS56において、電動パワーステアリング装置5が正常である旨の判定が制御部41によってなされているか否かを再び判定する。電動パワーステアリング装置5が正常である旨の判定が制御部41によってなされている場合（S56：YES）、ステップS54において、手動制御から自律制御への切り替えを実施する。電動パワーステアリング装置5が正常である旨の通知が制御部41によってなされていない場合（S56：NO）、ステップS57において、手動制御から自律制御への切り替えを禁止し処理を終了する。

20

【0109】

ステップS53～57の処理により、制御装置60は、手動制御から自律制御への切り替えの際、電動パワーステアリング装置5が正常である旨の通知が制御部41から行われていないことを条件として、インバータ部21，22からモータ10に対して所定パターンの電力を供給することで正常判定条件を成立させる。そして、インバータ部21，22からモータ10に対して所定パターンの電力を供給した後に、制御部41から、電動パワーステアリング装置5が正常である旨の通知がなされたことを条件として、手動制御から自律制御への切り替えを実施する。

30

【0110】

ここで、ステップS55における指令に伴って、インバータ部21，22から巻線群11，12に対して供給される所定の電力パターンとは、特に、ショート異常、オープン異常、第1電流検出部26の異常、又は、第1角度センサ28の異常を検出可能な電力パターンである。

【0111】

例えば、制御部41は、所定の電力パターンとして、モータ10に流れるd軸電流 $I_{d1}$ ， $I_{d2}$ が0以外の所定電流となり、かつ、モータ10に流れるq軸電流 $I_{q1}$ ， $I_{q2}$ が略0となる電力を供給する。当該電力を供給することで、モータ10の出力トルクを変動させることなく、オープン異常、及び、ショート異常に関する正常判定を実施することが可能になる。

40

【0112】

また、例えば、制御部41は、所定パターンの電力として、モータ10に対し、モータ10からトルクが出力されてから車両のヨーレートが変化するまでの応答時間であるヨーレート時定数より短い周期で変化する電力を供給する。当該電力を通電することで、車両のヨーレートを変動させることなく、オープン異常、ショート異常、及び、第1電流検出部26に関する正常判定を実施することが可能になる。ヨーレート時定数より短い周期で変化し、かつ、インバータ部21，22から見た巻線群11，12側の回路の時定数より長い周期で変化する電力パターンとすることで、インバータ部21，22から巻線群11

50

、12側に電流を流すことができる。また、ヨーレイト時定数より短い周期で変化し、かつ、実効値が0となるようにd軸電流の指令値 $I_{d1*}$ 、 $I_{d2*}$ が変化する電力パターンを供給することで、モータ10におけるヨーレイトの変動を抑えることができる。

【0113】

また、例えば、制御部41は、所定パターンの電力として、巻線群11、12において、出力トルクが打ち消しあう電力パターンをインバータ部21、22から供給する。当該電力パターンを供給することで、モータ10の出力トルクを変動させることなく、オープン異常、ショート異常、及び、第1電流検出部26に関する正常判定を実施することが可能になる。

【0114】

また、制御部41は、所定の電力パターンとして、モータ10が実際に回転するような電力パターンを供給することで、第1角度センサ28に関する正常判定を行うことが可能になる。

【0115】

(他の実施形態)

・上記実施形態の制御部41は、ショート異常、オープン異常、第1電流検出部26の異常、第1角度センサ28の異常、及び、トルクセンサ94の異常を判定する。これを変更し、制御部41が、ショート異常、オープン異常、第1電流検出部26の異常、第1角度センサ28の異常、及び、トルクセンサ94の異常のうち少なくともいずれか一つを判定する構成としてもよい。

【0116】

・上記実施形態のモータ10は、2つの巻線群11、12を備える構成としたが、これを変更し、1つ、又は3つ以上の巻線群を備える構成としてもよい。

【0117】

・上記実施形態のモータ10として、永久磁石型ブラシレスモータを用いたがこれを変更してもよい。例えば、界磁巻線型ブラシレスモータを用いてもよい。

【0118】

・自律運転制御装置60による自律運転制御は省略してもよい。

【0119】

・回転電機システムは、ステアリングシステム以外に適用されるものであってもよい。即ち、車両の動力源として動作する回転電機を含む回転電機システムに本実施形態の構成を適用してもよい。

【符号の説明】

【0120】

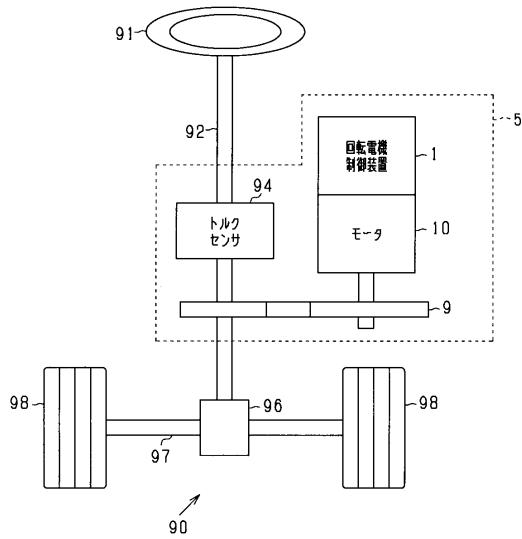
5...電動パワーステアリング装置、10...モータ、21...第1インバータ部(電源システム)、22...第2インバータ部(電源システム)、26...第1電流検出部、28...第1角度センサ、41...制御部、94...トルクセンサ。

10

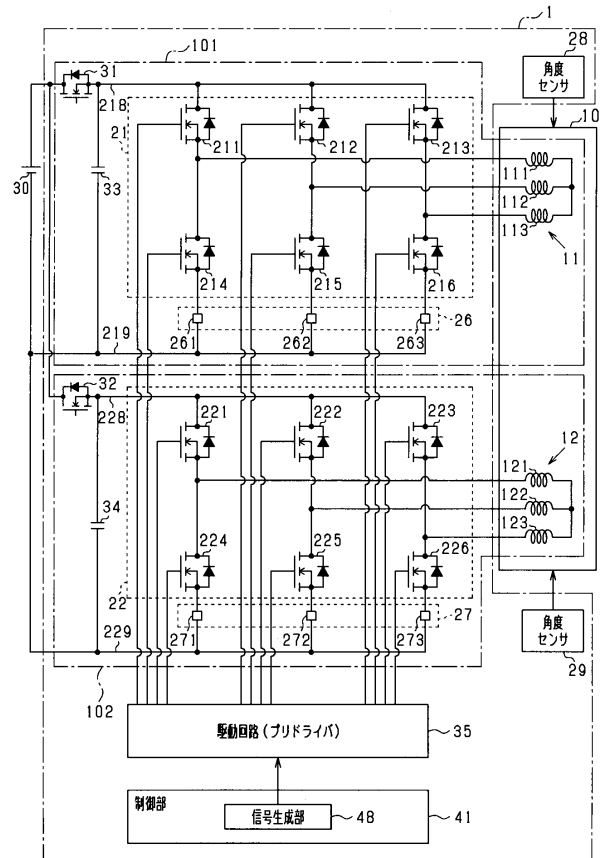
20

30

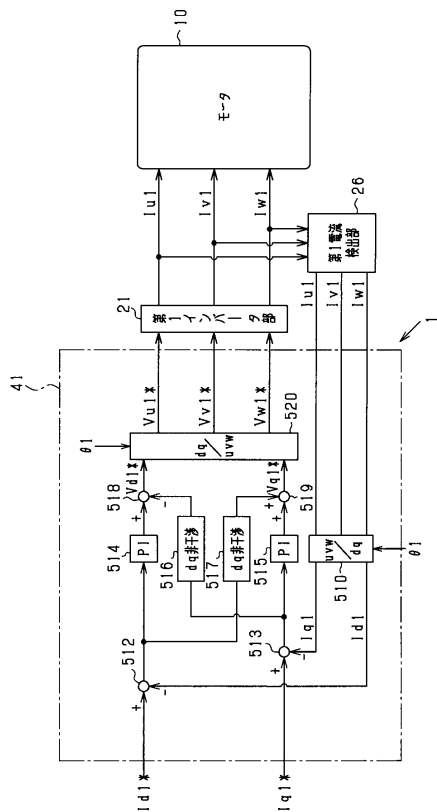
【図1】



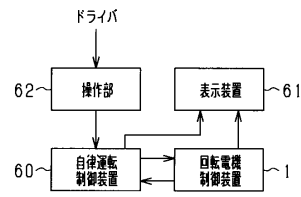
【図2】



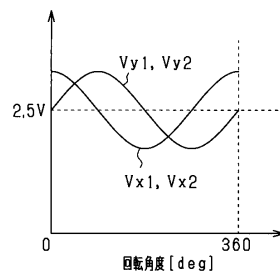
【図3】



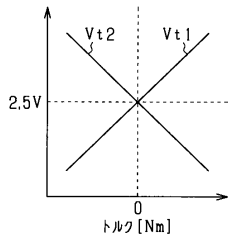
【図4】



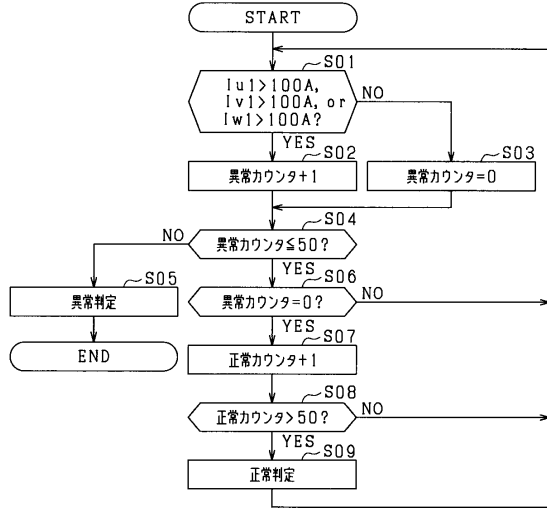
【図5】



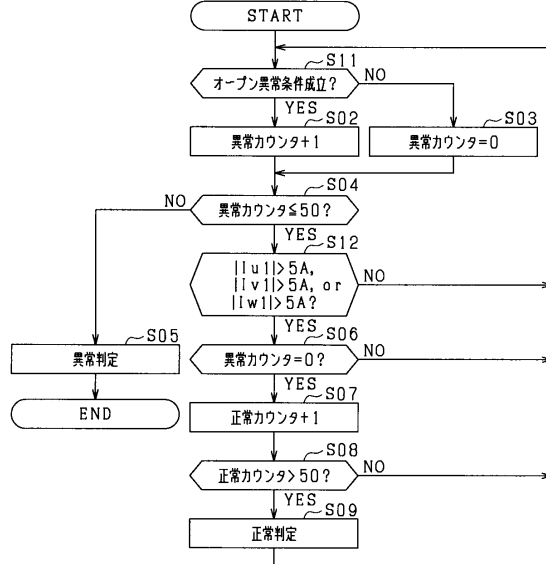
【図6】



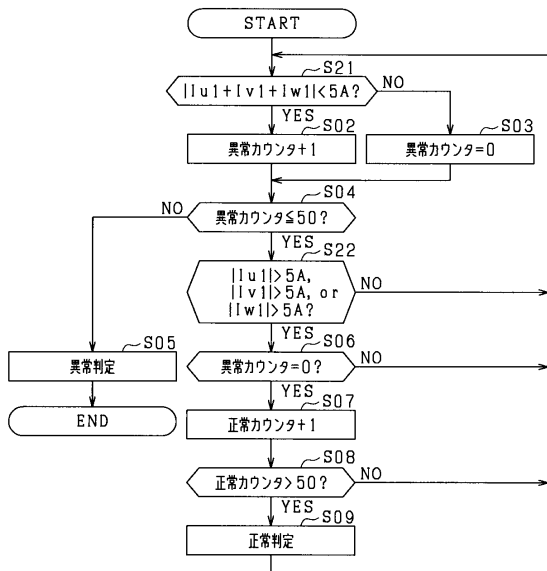
【図7】



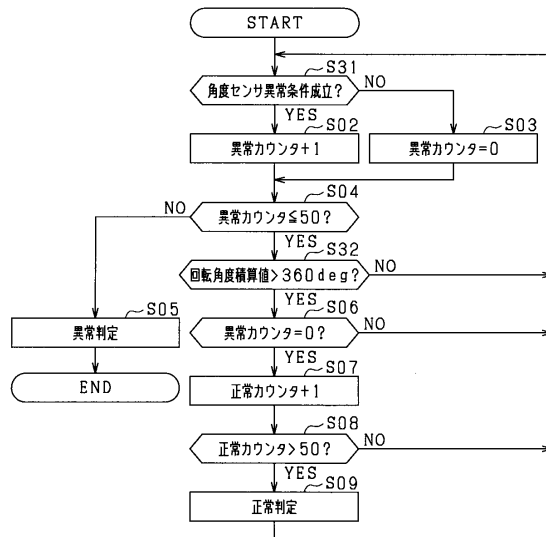
【図8】



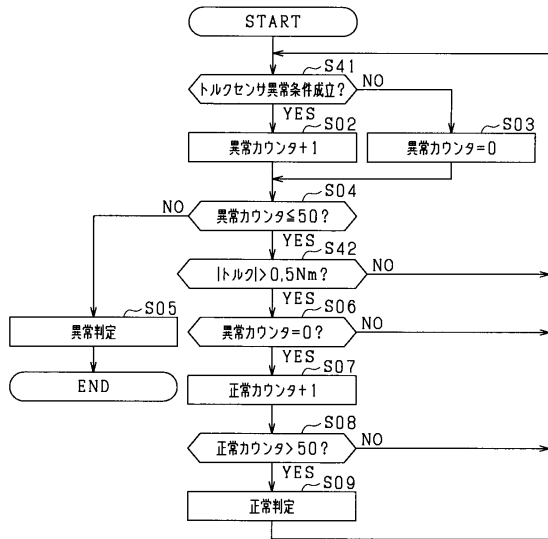
【図9】



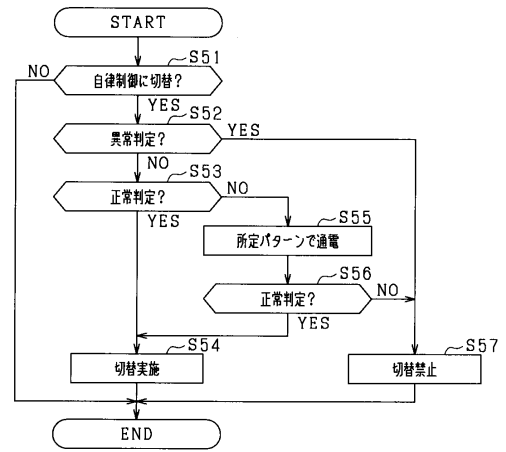
【図10】



【図11】



【図12】



## フロントページの続き

- (72)発明者 小林 大輔  
愛知県刈谷市昭和町1丁目1番地 株式会社デンソー内
- (72)発明者 滝 雅也  
愛知県刈谷市昭和町1丁目1番地 株式会社デンソー内
- (72)発明者 金田 洋平  
愛知県刈谷市昭和町1丁目1番地 株式会社デンソー内
- (72)発明者 遠藤 豪  
愛知県刈谷市昭和町1丁目1番地 株式会社デンソー内
- (72)発明者 鈴木 治雄  
愛知県刈谷市昭和町1丁目1番地 株式会社デンソー内
- (72)発明者 溝下 文貴  
愛知県刈谷市昭和町1丁目1番地 株式会社デンソー内
- (72)発明者 緒方 嶺  
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 大島 等志

- (56)参考文献 特開2008-304367(JP,A)  
特開2015-202019(JP,A)  
特開2013-107450(JP,A)  
特開2014-011908(JP,A)  
特開2013-172543(JP,A)

## (58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H02P 29/00-31/00  
H02P 27/06  
H02P 6/00  
B62D 6/00  
B62D 5/00  
G01M 17/00