

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2015-97471
(P2015-97471A)

(43) 公開日 平成27年5月21日(2015.5.21)

(51) Int.Cl.		F I				テーマコード (参考)
HO2P 21/00	(2006.01)	HO2P	5/408	C		5H501
HO2P 27/04	(2006.01)	HO2P	7/00	N		5H505
HO2P 29/00	(2006.01)					

審査請求 未請求 請求項の数 30 O L (全 37 頁)

(21) 出願番号	特願2014-261499 (P2014-261499)	(71) 出願人	000004204 日本精工株式会社 東京都品川区大崎1丁目6番3号
(22) 出願日	平成26年12月25日(2014.12.25)	(72) 発明者	森 堅吏 神奈川県藤沢市鵠沼神明一丁目5番50号 日本精工株式会社内
(62) 分割の表示	特願2013-557312 (P2013-557312) の分割	(72) 発明者	田上 耕太郎 神奈川県藤沢市鵠沼神明一丁目5番50号 日本精工株式会社内
原出願日	平成25年12月13日(2013.12.13)	(72) 発明者	菅原 広樹 群馬県前橋市鳥羽町78番地 日本精工株式会社内
(31) 優先権主張番号	特願2013-167859 (P2013-167859)	(72) 発明者	篠原 茂雄 群馬県前橋市鳥羽町78番地 日本精工株式会社内
(32) 優先日	平成25年8月12日(2013.8.12)		
(33) 優先権主張国	日本国(JP)		
(31) 優先権主張番号	特願2013-211071 (P2013-211071)		
(32) 優先日	平成25年10月8日(2013.10.8)		
(33) 優先権主張国	日本国(JP)		

最終頁に続く

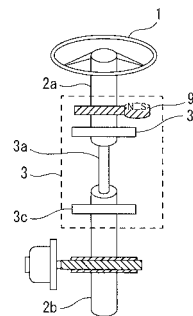
(54) 【発明の名称】 モータ制御装置、これを使用した電動パワーステアリング装置および車両

(57) 【要約】

【課題】モータ駆動回路や多相電動モータに異常が発生した場合でも電動モータの駆動制御を継続することが可能なモータ制御装置、これを使用した電動パワーステアリング装置および車両を提供する。

【解決手段】正常状態において作動してモータ電流を出力する複数のハードウェアと、各ハードウェアを制御する共通の制御装置と、各ハードウェアから出力されるモータ電流によって動作する1つの電動モータと、前記各ハードウェアの異常診断を行う異常診断部とを備え、前記制御装置は、前記異常診断部で異常と診断されたハードウェアが存在するときに、異常と診断ハードウェアの作動を停止させるとともに、正常なハードウェアによる前記電動モータの駆動を継続するようにしている。

【選択図】 図2



【特許請求の範囲】**【請求項 1】**

正常状態において作動してモータ電流を出力する複数のハードウェアと、
各ハードウェアを制御する共通の制御演算装置と、
各ハードウェアから出力されるモータ電流によって動作する 1 つの電動モータと、
前記各ハードウェアの異常診断を行う異常診断部とを備え、
前記制御演算装置は、前記異常診断部で異常と診断されたハードウェアが存在するときに、
異常と診断されたハードウェアの作動を停止させるとともに、正常なハードウェアによる
前記電動モータの駆動を継続するようにしたことを特徴とするモータ制御装置。

10

【請求項 2】

前記異常診断部は、前記複数のハードウェアの異常発生部位を特定可能な異常検出部を
備えていることを特徴とする請求項 1 に記載のモータ制御装置。

【請求項 3】

前記異常診断部は、前記複数のハードウェア間の出力値の差がバラツキであるか異常で
あるかを識別可能な異常検出部を備えていることを特徴とする請求項 1 に記載のモータ制
御装置。

【請求項 4】

前記異常診断部は、前記複数のハードウェアで検出される検出値の差又は前記複数のハ
ードウェアで検出される検出値と閾値との差からハードウェアの状態変化量を算出するハ
ードウェア状態変化量演算部を有し、
前記制御演算装置は、前記ハードウェアの状態変化量が所定値未満であるときにはバラツ
キの範囲内であると判定し、前記ハードウェアの状態変化量が所定値以上であるときに当
該ハードウェア状態変化量に応じて前記複数のハードウェアに対する制御パラメータを変
更するように構成されている
ことを特徴とする請求項 1 から 3 の何れか 1 項に記載のモータ制御装置。

20

【請求項 5】

多相電動モータを駆動制御するモータ制御装置であって、
前記多相電動モータの多相モータ巻線に多相モータ駆動電流を供給する複数のモータ駆動
回路と、
該複数のモータ駆動回路を駆動制御する制御演算装置と、
前記複数のモータ駆動回路と前記多相モータ巻線との間に個別に介挿された多相の複数の
モータ電流遮断部と、
前記複数のモータ駆動回路の異常を検出する異常検出部とを備え、
前記制御演算装置は、前記異常検出部で異常を検出していない状態では、前記複数のモー
タ駆動回路を制御して前記多相モータ巻線に複数の多相モータ駆動電流を供給し、前記異
常検出部で異常を検出したときに、異常を生じたモータ駆動回路に接続された前記モータ
電流遮断部を遮断動作させることを特徴とするモータ制御装置。

30

【請求項 6】

多相電動モータを駆動制御するモータ制御装置であって、
前記多相電動モータは、ステータに巻装された多相モータ巻線のそれぞれが複数のコイル
部を並列に接続した構成を有し、
前記多相電動モータの多相モータ巻線に多相モータ駆動電流を供給する複数のモータ駆動
回路と、
該複数のモータ駆動回路を駆動制御する制御演算装置と、
前記複数のモータ駆動回路と前記多相モータ巻線との間に個別に介挿された多相の複数の
モータ電流遮断部と、
前記複数のモータ駆動回路および前記多相電動モータのコイル部の少なくとも一方の異常
を検出する異常検出部とを備え、
前記制御演算装置は、前記異常検出部で異常を検出していない状態では、前記複数のモー

40

50

タ駆動回路を制御して前記多相モータ巻線に複数の多相モータ駆動電流を供給し、前記異常検出部で異常を検出したときに、異常態様に応じて前記複数の多相モータ駆動回路を駆動する駆動態様を変更することを特徴とするモータ制御装置。

【請求項 7】

前記モータ駆動回路は、前記多相電動モータに多相駆動電流を供給する当該多相電動モータの相数分のアームを有する上側アームおよび下側アームを備えた多相インバータ回路で構成され、前記異常検出部は、前記多相インバータ回路を構成する上側アームおよび下側アームのオープン故障およびショート故障の少なくとも一方を検出するように構成されていることを特徴とする請求項 5 又は 6 に記載のモータ制御装置。

【請求項 8】

前記制御演算装置は、前記異常検出部で、複数のモータ駆動回路の何れかで上側アームおよび下側アームのオープン故障およびショート故障の少なくとも一方を検出したときに、異常を検出したモータ駆動回路側のモータ電流遮断部で多相モータ電流を遮断し、正常なモータ駆動回路の多相モータ電流の制御態様を変化させるように構成されていることを特徴とする請求項 7 に記載のモータ制御装置。

【請求項 9】

前記異常検出部は、上側アームが接続される正極側電源ラインに介挿した上側電流検出用抵抗と、下側アームが接続される負極側電源ラインに介挿した下側電流検出用抵抗と、前記上側電流検出用抵抗および下側電流検出用抵抗の端子間電圧を個別に検出する複数の電流検出部とを備えていることを特徴とする請求項 5 又は 6 に記載のモータ制御装置。

【請求項 10】

前記下側電流検出用抵抗は、前記モータ駆動回路を構成する多相アームの接地側を互いに接続した接続部と接地との間に介挿され、前記下側電流検出用抵抗の端子間電圧を検出する電流検出部は、当該下側電流検出用抵抗の端子間電圧が入力されるオペアンプと、該オペアンプの出力電圧のサンプルホールドを行うサンプルホールド回路とを有し、前記電流検出部および前記制御演算装置の何れか一方に、前記サンプルホールド回路のサンプルホールド信号をデジタル信号に変換する A/D 変換部を備えたことを特徴とする請求項 9 に記載のモータ制御装置。

【請求項 11】

前記 A/D 変換部は、前記多相モータ駆動回路を構成するスイッチング素子を制御するパルス幅変調信号の一周期中の制御に必要な上側アームの一相オン状態および二相オン状態を検出する主サンプリング区間と、前記主サンプリング区間でオンとならないアームのスイッチング素子のオン区間を検出する補助サンプリング区間とが設定されていることを特徴とする請求項 10 に記載のモータ制御装置。

【請求項 12】

前記異常検出部は、前記多相電動モータの多相モータ巻線を構成するコイル部の断線異常を検出し、前記制御演算装置は、前記異常検出部でコイル部の断線異常を検出したときに、断線異常を生じた多相モータ巻線に対する電流制御ゲインを増加補正してトルク変動を抑制するように構成されていることを特徴とする請求項 6 から 11 の何れか 1 項に記載のモータ制御装置。

【請求項 13】

前記異常検出部は、前記多相電動モータの多相モータ巻線を構成するコイル部の断線異常を検出し、前記制御演算装置は、前記異常検出部でコイル部の断線異常を検出したときに、逆起電圧の低下を補償するように逆起電圧補償ゲインを低下させるように構成されていることを特徴とする請求項 6 から 11 の何れか 1 項に記載のモータ制御装置。

【請求項 14】

前記異常検出部は、前記多相電動モータの多相モータ巻線を構成するコイル部の断線異常を、モータ相電圧検出値、モータ相抵抗、モータ相電流検出値、モータ逆起電圧定数、およびモータ回転速度に基づいてモータ相抵抗値の変化量を検出し、検出したモータ相抵抗値の変化量が閾値以上となったときに、コイル部の異常として判断することを特徴とす

10

20

30

40

50

る請求項 12 又は 13 に記載のモータ制御装置。

【請求項 15】

前記多相電動モータのモータ回転角を検出するモータ角検出部を有し、前記制御演算装置は、前記多相電動モータを駆動する指令値を出力する指令値演算部と、該指令値演算部から出力される指令値と前記モータ角検出部で検出したモータ回転角とに基づいて多相電流指令値を算出する多相電流指令値演算部とを備えていることを特徴とする請求項 5 から 14 の何れか 1 項に記載のモータ制御装置。

【請求項 16】

前記電流検出部で検出した電流値が過電流閾値を超えている過電流状態であるか否かを個別に判定する複数の過電流判定部を有し、前記過電流判定部の判定結果が過電流状態となったときに該当するモータ駆動回路に接続されている前記モータ電流遮断部を遮断状態とすることを特徴とする請求項 9 から 15 の何れか 1 項に記載のモータ制御装置。

10

【請求項 17】

前記電流検出部で検出した電流値が過電流閾値を超えている過電流状態であるか否かを個別に判定する複数の過電流判定部と、前記複数のモータ駆動回路に個別に電力を供給する電力供給系統と接地との間に接続された複数の電流側路回路とを有し、前記電流側路回路は、スイッチ部を有し、該スイッチ部が前記過電流判定部の判定結果が過電流状態となったときにオン状態に制御されることを特徴とする請求項 5 から 13 の何れか 1 項に記載のモータ制御装置。

【請求項 18】

前記過電流判定部に過電流診断信号を供給して過電流判定部が正常であるか否かを診断する過電流判定部診断部を備えていることを特徴とする請求項 16 又は 17 に記載のモータ制御装置。

20

【請求項 19】

前記下側電流検出用抵抗の端子間電圧を検出する電流検出部は、前記オペアンプの出力電圧のピークホールドを行うピークホールド回路とを備え、該ピークホールド回路のピークホールド信号を前記過電流判定部に供給することを特徴とする請求項 16 から 18 の何れか 1 項に記載のモータ制御装置。

【請求項 20】

前記電流側路回路に過電流診断信号を供給して当該電流側路回路が正常であるか否かを診断する側路診断部を備えていることを特徴とする請求項 18 に記載のモータ制御装置。

30

【請求項 21】

前記複数のモータ駆動回路間に短絡電流を抑制する保護回路を介挿したことを特徴とする請求項 5 から 15 の何れか 1 項に記載のモータ制御装置。

【請求項 22】

前記モータ電流遮断部の動作状態を診断するモータ電流遮断診断部と、前記モータ駆動回路の動作状態で、前記モータ電流の電流値が所定値以上である高トルクモータ駆動状態であるか、前記モータ電流の電流値が前記所定値未満である低トルクモータ駆動状態であるかを判定する駆動状態判定部とを備え、

前記モータ電流遮断診断部は、前記駆動状態判定部の判定結果が前記高トルク駆動状態であるときに、前記モータ電流遮断部を一時的に遮断状態として当該モータ電流遮断部の動作状態を診断することを特徴とする請求項 5 又は 6 に記載のモータ制御装置。

40

【請求項 23】

前記異常検出部は、上側アームが接続される正極側電源ラインに介挿した上側電流検出用抵抗と、下側アームが接続される負極側電源ラインに介挿した下側電流検出用抵抗と、前記上側電流検出用抵抗および下側電流検出用抵抗の端子間電圧を個別に検出する複数の電流検出部とを備え、

前記モータ電流遮断診断部は、前記電流検出部で非通電状態を検出しているときに前記モータ遮断部が正常であると判断し、前記電流検出部で通電状態を検出しているときに前記モータ遮断部にショート故障が生じていると判断することを特徴とする請求項 22 に記載

50

のモータ制御装置。

【請求項 2 4】

前記複数のモータ駆動回路と電源との間に個別に介挿された電源遮断部と、前記モータ電流遮断部及び前記電源遮断部の動作状態を診断する電流遮断診断部と、前記モータ駆動回路の動作状態で、前記モータ電流の電流値が所定値以上である高トルクモータ駆動状態であるか、前記モータ電流の電流値が前記所定値未満である低トルクモータ駆動状態であるかを判定する駆動状態判定部とを備え、

前記電流遮断診断部は、該駆動状態判定部の判定結果が前記高トルク駆動状態であるときに、前記モータ電流遮断部を一時的に遮断状態として当該モータ電流遮断部の動作状態を診断する第 1 の診断部及び前記電源遮断部を一時的に遮断状態として当該電源遮断部の動作状態を診断する第 2 の診断部と、前記駆動状態判定部の判定結果が低トルク駆動状態であるときに、前記モータ遮断部及び前記電源遮断部を一時的に遮断状態として当該モータ遮断部及び当該電源遮断部の動作状態を診断する第 3 の診断部とを備えていることを特徴とする請求項 5 又は 6 に記載のモータ制御装置。

10

【請求項 2 5】

前記異常検出部は、上側アームが接続される正極側電源ラインに介挿した上側電流検出用抵抗と、下側アームが接続される負極側電源ラインに介挿した下側電流検出用抵抗と、前記上側電流検出用抵抗および下側電流検出用抵抗の端子間電圧を個別に検出する複数の電流検出部とを備え、

前記第 1 の診断部は、前記上側電流検出抵抗及び下側電流検出抵抗の端子間電圧を個別に検出する電流検出部で非通電状態を検出しているときに前記モータ遮断部が正常であると判断し、前記電流検出部で通電状態を検出しているときに前記モータ遮断部にショート故障が生じていると判断することを特徴とする請求項 2 4 に記載のモータ制御装置。

20

【請求項 2 6】

前記異常検出部は、上側アームが接続される正極側電源ラインに介挿した上側電流検出用抵抗と、下側アームが接続される負極側電源ラインに介挿した下側電流検出用抵抗と、前記上側電流検出用抵抗および下側電流検出用抵抗の端子間電圧を個別に検出する複数の電流検出部とを備え、

前記第 2 の診断部は、前記上側電流検出抵抗及び下側電流検出抵抗の端子間電圧を個別に検出する電流検出部で非通電状態を検出しているときに前記電源遮断部が正常であると判断し、前記電流検出部で通電状態を検出しているときに前記電源遮断部にショート故障が生じていると判断することを特徴とする請求項 2 4 に記載のモータ制御装置。

30

【請求項 2 7】

前記第 3 の診断部は、前記モータ駆動回路の前記電源遮断部側の入力電圧を検出する入力電圧検出部を有し、前記モータ遮断部及び前記電源遮断部の遮断状態で、前記入力電圧検出部で検出した入力電圧が低下したときに前記モータ遮断部及び前記電源遮断部が正常であると判断し、前記入力電圧検出部で検出した入力電圧が低下しないときに、前記モータ遮断部及び電源遮断部の何れか一方にショート故障が生じたものと判断することを特徴とする請求項 2 4 に記載のモータ制御装置。

【請求項 2 8】

ステアリング機構に操舵補助力を発生させる電動モータを含むモータ制御装置を前記請求項 1 から 2 7 の何れか 1 項に記載のモータ制御装置で構成したことを特徴とする電動パワーステアリング装置。

40

【請求項 2 9】

操舵系に介挿されたトーションバーの入出力側の回転角を検出して操舵トルクを検出する操舵トルク検出部と、前記多相電動モータのモータ回転角を検出するレゾルバを含むモータ回転角検出部と、該モータ回転角検出部の異常を検出するモータ角度異常検出部と、前記多相電動モータのモータ電流検出値およびモータ電圧検出値および前記操舵トルク検出部の前記トーションバーの出力側回転角に基づいて逆起電圧によるモータ回転角を推定するモータ回転角推定部と、前記回転角検出部異常検出部でモータ回転角検出部の異常を

50

検出したときに、当該モータ回転角検出部のモータ回転角検出値に代えて前記モータ回転角推定部のモータ回転角推定値を選択するモータ回転角選択部とを備えていることを特徴とする請求項 28 に記載の電動パワーステアリング装置。

【請求項 30】

前記請求項 1 から 27 の何れか 1 項に記載のモータ制御装置を備えたことを特徴とする車両。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、多相電動モータを駆動制御するモータ制御装置、これを使用した電動パワーステアリング装置および車両に関する。

10

【背景技術】

【0002】

車両に搭載する電動パワーステアリング装置の電動モータや、電動ブレーキ装置の電動モータ、電気自動車やハイブリッド車の走行用電動モータ等を駆動制御するモータ制御装置は、モータ制御系に異常が発生した場合でも電動モータの駆動を継続できることが望まれている。

上記要望に応えるために、多相電動モータの多相モータ巻線を例えば二重化し、二重化した多相モータ巻線に対して個別のインバータ部から電流を供給し、一方のインバータ部のスイッチング手段に導通不可となるオフ故障すなわちオープン故障が生じた場合に、故障が生じた故障スイッチング手段を特定し、故障スイッチング手段を除くスイッチング手段を制御するとともに、故障スイッチング手段を含む故障インバータ部以外の正常インバータ部を制御する故障時制御手段を有する多相回転機の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が提案されている（例えば、特許文献 1 参照）。

20

【先行技術文献】

【特許文献】

【0003】

【特許文献 1】特許第 4998836 号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

30

【0004】

ところで、前述した特許文献 1 に記載された従来例にあつては、二重化したインバータ部の一方に、スイッチング手段のオフ故障が発生した場合に、オフ故障した故障スイッチング手段を除くスイッチング手段を制御するとともに、故障スイッチング手段を含む故障インバータ部を制御することによるトルクの低下分を正常なインバータ部における q 軸電流指令値を補正することにより、トルクの低下を抑制しながら多相回転機の駆動制御を継続するようにしている。

このため、上記従来例では、インバータ部のスイッチング手段にオフ故障が生じた場合には、十分なトルクを発生することができるが、インバータ部のスイッチング手段にてショート故障が生じた場合には、対処できないという未解決の課題がある。

40

そこで、本発明は、上記従来例の未解決の課題に着目してなされたものであり、モータ駆動回路にオープン故障やショート故障が生じた場合やでも電動モータの駆動制御を継続することが可能なモータ制御装置、これを使用した電動パワーステアリング装置および車両を提供することを目的としている。

【課題を解決するための手段】

【0005】

上記目的を解決するために、本発明に係るモータ制御装置の一態様は、正常状態において作動してモータ電流を出力する複数のハードウェアと、各ハードウェアを制御する共通の制御装置と、各ハードウェアから出力されるモータ電流によって動作する 1 つの電動モータと、前記各ハードウェアの異常診断を行う異常診断部とを備え、前記制御装置は、前

50

記異常診断部で異常と診断されたハードウェアが存在するときに、異常と診断されたハードウェアの作動を停止させるとともに、正常なハードウェアによる前記電動モータの駆動を継続するようにしている。

また、本発明に係る電動パワーステアリング装置の一態様は、上記モータ制御装置をステアリング機構に操舵補助力を発生させる電動モータを含むモータ制御装置に適用している。

さらに、本発明に係る車両の一態様は、上述したモータ制御装置を備えている。

【発明の効果】

【0006】

本発明によれば、電動モータにモータ電流を供給するモータ電流供給システムを多重化し、多重化したモータ電流供給システムの何れかに異常が発生した場合や電動モータの一部のコイル部に断線異常が発生した場合に、異常態様に応じた駆動態様に変更する。このため、例えばモータ駆動回路等で構成されるハードウェアにオープン故障やショート故障が発生した場合や電動モータの一部の駆動コイル部で断線異常が発生した場合でも多相電動モータの駆動を継続することができる。

また、上記効果を有するモータ制御装置を含んで電動パワーステアリング装置を構成するので、多重系統の多相モータ駆動電流の一方に異常が発生した場合や多相電動モータの一部のコイル部で異常が発生した場合でも多相モータ駆動電流を電動モータに供給することができ電動パワーステアリング装置の操舵補助機能の継続が可能となる。

さらに、上記効果を有するモータ制御装置を含んで車両を構成するので、多相電動モータの少なくとも多重系統のモータ駆動回路の一つに異常が発生した場合や多相電動モータのコイル部の一部に異常が発生した場合でも多相モータ駆動電流を電動モータに供給して電動モータでのトルク発生を継続することができ、電動モータの信頼性を向上させる車両を提供することができる。

【図面の簡単な説明】

【0007】

【図1】本発明に係る電動パワーステアリング装置の第1の実施形態を示すシステム構成図である。

【図2】トルクセンサを示す概略構成図である。

【図3】第1の実施形態における3相電動モータの構成を示す断面図である。

【図4】図3の3相電動モータの巻線構造を示す模式図である。

【図5】第1の実施形態におけるモータ制御装置の具体的構成を示す回路図である。

【図6】図5の制御演算装置の具体的構成を示すブロック図である。

【図7】正常時および異常時の操舵トルクと操舵補助電流指令値との関係を示す特性線図である。

【図8】図5の電流検出回路の具体的構成を示すブロック図である。

【図9】図2のインバータ回路における異常検出回路を示す概略構成図である。

【図10】オープン故障時の各部の電流波形を示す波形図である。

【図11】ショート故障時の各部の電流波形を示す波形図である。

【図12】逆起電圧補償回路を示すブロック線図である。

【図13】過電流時遮断回路を示すブロック図である。

【図14】図13の過電流時遮断回路の具体的構成を示すブロック図である。

【図15】過電流時の電流側路回路を示すブロック図である。

【図16】電流側路回路の具体的構成を示すブロック図である。

【図17】過電流抑制部を備えたモータ駆動回路の一例を示すブロック図である。

【図18】過電流抑制部の他の配置例を示すブロック図である。

【図19】インバータ回路の各電界効果トランジスタゲートに供給するパルス幅変調信号の一例を示す波形図である。

【図20】保舵時のモータ微動回路を示すブロック図である。

【図21】入力電圧検出回路を備えたモータ駆動回路の一例を示すブロック図である。

10

20

30

40

50

【図 2 2】制御演算装置の異常診断部の他の例を示す概略構成図である。

【図 2 3】制御演算装置の異常診断部で実行する電流遮断診断処理手順の一例を示すフローチャートである。

【図 2 4】図 2 3 のモータ電流遮断部電流診断処理の具体的処理を示すフローチャートである。

【図 2 5】図 2 3 の電源遮断部電流診断処理の具体的処理を示すフローチャートである。

【図 2 6】図 2 3 の電流遮断部電圧診断処理の具体的処理を示すフローチャートである。

【図 2 7】モータ回転角検出回路の他の例を示すブロック図である。

【図 2 8】絶対操舵角の算出手順を示す説明図である。

【図 2 9】絶対操舵角算出回路を示すブロック図である。

10

【発明を実施するための形態】

【0008】

以下、本発明の実施の形態について図面を伴って説明する。

図 1 は、本発明のモータ制御装置を、車両に搭載した電動パワーステアリング装置に適用した場合の第 1 の実施形態を示す全体構成図である。

図中、符号 1 は、ステアリングホイールであり、このステアリングホイール 1 に運転者から作用される操舵力がステアリングシャフト 2 に伝達される。このステアリングシャフト 2 は、入力軸 2 a と出力軸 2 b とを有する。入力軸 2 a の一端はステアリングホイール 1 に連結され、他端は操舵トルクセンサ 3 を介して出力軸 2 b の一端に連結されている。

そして、出力軸 2 b に伝達された操舵力は、ユニバーサルジョイント 4 を介してロアシャフト 5 に伝達され、さらに、ユニバーサルジョイント 6 を介してピニオンシャフト 7 に伝達される。このピニオンシャフト 7 に伝達された操舵力はステアリングギヤ 8 を介してタイロッド 9 に伝達され、図示しない転舵輪を転舵させる。ここで、ステアリングギヤ 8 は、ピニオンシャフト 7 に連結されたピニオン 8 a とこのピニオン 8 a に噛合するラック 8 b とを有するラックアンドピニオン形式に構成され、ピニオン 8 a に伝達された回転運動をラック 8 b で車幅方向の直進運動に変換している。

20

【0009】

ステアリングシャフト 2 の出力軸 2 b には、操舵補助力を出力軸 2 b に伝達する操舵補助機構 10 が連結されている。この操舵補助機構 10 は、出力軸 2 b に連結した例えばウォームギヤ機構で構成される減速ギヤ 11 と、この減速ギヤ 11 に連結された操舵補助力を発生する例えば 3 相ブラシレスモータで構成される電動モータとしての 3 相電動モータ 12 とを備えている。

30

操舵トルクセンサ 3 は、ステアリングホイール 1 に付与されて入力軸 2 a に伝達された操舵トルクを検出するもので、例えば、図 2 に示すように、操舵トルクを入力軸 2 a および出力軸 2 b 間に介挿したトーションバー 3 a の捩れ角変位に変換し、この捩れ角変位を入力軸 2 a 側に配置した入力側回転角センサ 3 b と出力軸 2 b 側に配置した出力側回転角センサ 3 c との角度差に変換して検出するように構成されている。

【0010】

また、3 相電動モータ 12 は、図 3 に示すように、内周面に内方に突出形成されてスロット S L を形成する磁極となる例えば 9 本のティース T e を有するステータ 12 S と、このステータ 12 S の内周側にティース T e と対向して回転自在に配置された例えば 6 極の表面磁石型のロータ 12 R とを有する表面磁石型 (S P M) モータの構成を有する。

40

そして、ステータ 12 S のスロット S L に、3 相を構成する A 相、B 相および C 相の多相モータ巻線 L a、L b および L c が巻装されている。これら多相モータ巻線 L a、L b および L c のそれぞれは、図 4 に示すように、例えば 3 つのコイル部 L 1、L 2 および L 3 が並列に接続された構成を有し、これらコイル部 L 1 ~ L 3 がスロット S L に 3 層に巻装されている。各相モータ巻線 L a、L b および L c は、一端が互いに接続されてスター結線とされ、各相コイル L a、L b および L c の他端がモータ制御装置 20 に接続されて個別にモータ駆動電流 I a、I b および I c が供給されている。

【0011】

50

さらに、3相電動モータ12は、図5に示すように、モータの回転位置を検出するレゾルバなどの回転位置センサ13aを備えている。この回転位置センサ13aからの検出値がモータ回転角検出回路13に供給されてこのモータ回転角検出回路13でモータ回転角 m を検出する。

モータ制御装置20には、操舵トルクセンサ3で検出された操舵トルク T および車速センサ21で検出された車速 V_s が入力されるとともに、モータ回転角検出回路13から出力されるモータ回転角 m が入力される。

また、モータ制御装置20には、直流電圧源としてのバッテリー22から直流電流が入力されている。

モータ制御装置20の具体的構成は、図5に示すように構成されている。

すなわち、モータ制御装置20は、モータ電流指令値を演算する制御演算装置31と、この制御演算装置31から出力される3相のモータ電圧指令値 V_1^* および V_2^* が個別に入力されるハードウェアを構成する第1および第2のモータ駆動回路32Aおよび32Bと、これら第1および第2のモータ駆動回路32Aおよび32Bの出力側と3相電動モータ12の第1および第2の多相モータ巻線 $L_a \sim L_c$ との間に介挿された第1および第2のモータ電流遮断部33Aおよび33Bとを備えている。

【0012】

制御演算装置31には、図5には図示を省略しているが、図1に示す操舵トルクセンサ3で検出した操舵トルク T および車速センサ21で検出した車速 V が入力されているとともに、図5に示すように、モータ回転角検出回路13から出力されるモータ回転角 m と

が入力され、さらに後述する電流検出回路39Aおよび39Bから出力される3相電動モータ12の多相モータ巻線 $L_a \sim L_c$ の各相のコイル $L_1 \sim L_3$ に通電するモータ電流 $I_a d \sim I_c d$ が入力されている。

この制御演算装置31は、図6に示すように、操舵補助電流指令値 I^* を算出する操舵補助電流指令値演算部34と、この操舵補助電流指令値演算部34で算出した操舵補助電流指令値 I^* に対して入力される角速度 e および角加速度 \dot{e} に基づいて補償を行う補償制御演算部35と、この補償制御演算部35で補償された補償後トルク指令値 I^* に基づいて $d-q$ 軸電流指令値を算出し、これを3相電流指令値に変換する $d-q$ 軸電流指令値演算部37とを有する。

【0013】

操舵補助電流指令値演算部34は、操舵トルク T_s および車速 V_s をもとに図7に示す操舵補助電流指令値算出マップを参照して電流指令値となる操舵補助電流指令値 I^* を算出する。この操舵補助電流指令値算出マップは、同図に示すように、横軸に操舵トルク T_s をとり、縦軸に操舵補助電流指令値 I^* をとる放物線状の曲線で表される特性線図で構成されている。

そして、モータ駆動回路32Aおよび32Bの正常時には操舵トルク T および車速 V をもとに予め設定された図7で実線図示の正常時電流指令値算出曲線 L_{no} を参照して操舵補助電流指令値 I^* を算出する。また、操舵補助電流指令値演算部34は、3相電動モータ12のコイルの断線異常時に操舵トルク T および車速 V をもとに予め設定された図7で点線図示の異常時電流指令値算出曲線 L_{ab} を参照して操舵補助電流指令値 I^* を算出する。

【0014】

ここで、異常時電流指令値算出曲線 L_{ab} は、正常時電流指令値算出曲線 L_{no} で算出される操舵補助電流指令値 I^* に対してゲインを上げたものとなっている。

補償制御演算部35は、例えばモータ角速度 e に基づいてヨーレートの収斂性を補償する収斂性補償値、モータ角加速度 \dot{e} に基づいて電動モータ12の慣性により発生するトルク相当分を補償して慣性感又は制御応答性の悪化を防止するトルク補償値およびセルフアライニングトルク(SAT)を推定して補償するセルフアライニングトルク補償値を算出し、これらを足し合わせて指令値補償値 I_{com} を算出する。

そして、補償制御演算部35は算出した指令値補償値 I_{com} を操舵補助電流指令値演

10

20

30

40

50

算部 34 から出力される操舵補助電流指令値 I^* に加算器 36 で加算することにより、補償後電流指令値 I^* を算出し、この補償後電流指令値 I^* を d - q 軸電流指令値演算部 37 に出力する。

【0015】

また、d - q 軸電流指令値演算部 37 は、d 軸目標電流算出部 37a、誘起電圧モデル算出部 37b、q 軸目標電流算出部 37c 及び 2 相 / 3 相変換部 37d を備えている。

d 軸目標電流算出部 37a は、補償後操舵補助電流指令値 I^* とモータ角速度 e とに基づいて d 軸目標電流 I_d^* を算出する。

誘起電圧モデル算出部 37b は、モータ回転角 θ およびモータ角速度 e に基づいて d - q 軸誘起電圧モデル EMF (Electro Magnetic Force) の d 軸 EMF 成分 e_d () および q 軸 EMF 成分 e_q () を算出する。

q 軸目標電流算出部 37c は、誘起電圧モデル算出部 37b から出力される d 軸 EMF 成分 e_d () および q 軸 EMF 成分 e_q () と d 軸目標電流算出部 37a から出力される d 軸目標電流 I_d^* と補償後操舵補助電流指令値 I^* とモータ角速度 e とに基づいて q 軸目標電流 I_q^* を算出する。

2 相 / 3 相変換部 37d は、d 軸目標電流算出部 37a から出力される d 軸目標電流 I_d^* と q 軸目標電流算出部 37c から出力される q 軸目標電流 I_q^* とを 3 相電流指令値 I_a^* 、 I_b^* および I_c^* に変換する。

【0016】

また、制御演算装置 31 では、算出した A 相電流指令値 I_a^* 、B 相電流指令値 I_b^* および C 相電流指令値 I_c^* と電流検出回路 39A および 39B で検出した電流検出値 I_{ad} 、 I_{bd} および I_{cd} とに基づいてモータ駆動回路 32A および 32B に対する電圧指令値 V_1^* および V_2^* を算出する電圧指令値演算部 38 を備えている。この電圧指令値演算部 38 は、A 相電流指令値 I_a^* 、B 相電流指令値 I_b^* および C 相電流指令値 I_c^* から電流検出値 I_{ad} 、 I_{bd} および I_{cd} を減算して電流偏差 I_a 、 I_b および I_c を算出し、これら電流偏差 I_a 、 I_b および I_c について例えば PI 制御演算又は PID 制御演算を行って第 1 および第 2 のモータ駆動回路 32A および 32B に対する 3 相の電圧指令値 V_1^* および V_2^* を算出し、算出した 3 相の電圧指令値 V_1^* および V_2^* を第 1 および第 2 のモータ駆動回路 32A および 32B に出力する。ここで、3 相の電圧指令値 V_1^* および V_2^* は、後述する異常検出部 31a で異常を検出して

【0017】

また、制御演算装置 31 には、図 5 及び図 8 に示すように、モータ駆動回路 32A および 32B と第 1 および第 2 のモータ電流遮断部 33A および 33B との間に設けられたモータ電圧検出回路 40A および 40B で検出した各モータ相電圧 V_{1ma} 、 V_{1mb} 、 V_{1mc} および V_{2ma} 、 V_{2mb} 、 V_{2mc} が入力されている。

さらに、制御演算装置 31 には、図 5 に示すように、第 1 および第 2 のモータ駆動回路 32A および 32B のインバータ回路 42A および 42B に供給される直流電流を検出する電流検出回路 39A1 および 39B1 から出力される上側電流検出値 I_{A1d} および I_{B1d} と、インバータ回路 42A および 42B から接地に流れる直流電流を検出する電流検出回路 39A2 および 39B2 から出力される下側電流検出値 I_{A2d} および I_{B2d} とが入力されている。

【0018】

そして、制御演算装置 31 は、各モータ相電圧 V_{m1a} 、 V_{m1b} 、 V_{m1c} および V_{m2a} 、 V_{m2b} 、 V_{m2c} と、上側電流検出値 I_{A1d} 、 I_{B1d} 、下側電流検出値 I_{A2d} 、 I_{B2d} とが A / D 変換部 31c に入力されて、後述する第 1 および第 2 のインバータ回路 42A および 42B を構成するスイッチング素子としての電界効果トランジスタ (FET) Q1 ~ Q6 の上側アームのオープン故障および下側アームのショート故障、3 相電動モータ 12 の各相モータ巻線 L_a 、 L_b および L_c のコイル部 L_1 ~ L_3 の断線異常等を検出する異常検出部 31a を有する異常診断部 31b を備えている。

【 0 0 1 9 】

異常検出部 3 1 a では、以下のようにして異常検出を行う。

すなわち、図 1 0 に示すように、時点 t 1 でモータ駆動回路 3 2 A の例えば A 相の上アームのオープン故障を生じたときには、図 1 0 に示すように、オープン故障を生じたアームのモータ駆動電流 I a が正となったときに、モータ駆動回路 3 2 A の上側電流検出値 I A 1 d が減少し、これを補うようにモータ駆動回路 3 2 B の上側電流検出値 I B 1 d が増加することになる。

そして、検出した上側電流検出値 I A 1 d および I B 1 d を比較することにより、オープン故障となっているモータ駆動回路 3 2 A 又は 3 2 B を特定することができ、オープン故障が生じているモータ駆動回路 3 2 A 又は 3 2 B に対して論理値 “ 1 ” の異常検出信号 S A a 又は S A b を出力する。

10

なお、上側アームにオープン故障を生じた場合には、図 1 0 に示すように、モータ駆動電流の 3 相波形に特段の変化はなく、操舵補助制御を継続することができる。

【 0 0 2 0 】

また、図 1 1 に示すように、時点 t 2 で、モータ駆動回路 3 2 A の上段アームの例えば A 相の上側アームにショート故障が発生した場合には、モータ駆動回路 3 2 A の上側電流検出値 I A 1 d が急激に増加し、モータ駆動回路 3 2 B の上側電流検出値 I B 1 d の増加量は僅かであることから、上側電流検出値 I A 1 d の瞬間値が所定閾値以上となったときに上側アームのショート故障であると判断することができる。

この場合には、モータ電流も図 1 1 に示すように大幅に乱れることになるが、時点 t 3 でモータ駆動回路 3 2 A のモータ電流遮断部 3 3 A を遮断することにより、モータ駆動回路 3 2 B からのみモータ駆動電流が 3 相電動モータ 1 2 の各相モータ巻線 L a ~ L c に供給されるので、モータ駆動電流が安定した正弦波状に復帰する。このため、3 相電動モータ 1 2 の駆動を継続することができる。

20

このとき、後述するように、インバータ回路 4 2 A および 4 2 B の電界効果トランジスタ (F E T) のゲートにパルス幅変調 (P W M) 信号が入力されることから、インバータ回路 4 2 A および 4 2 B から出力されるモータ駆動電流 I a ~ I c はデューティ比が制御される矩形波信号となる。このため、単純にモータ駆動電流 I a ~ I c の瞬時値を検出したときに矩形波信号がオフとなっているときに検出すると正規のモータ電流値を表さないことになる。

30

【 0 0 2 1 】

このため、上側電流検出値 I A 1 d および I B 1 d を正確に検出するためには、上側電流検出値 I A 1 d および I B 1 d を、ピーク値をパルス幅変調信号の 1 周期程度の時間以上保持するピークホールド回路に供給して、ピーク値を保持することにより、上側電流検出値 I A 1 d および I B 1 d のピーク (最大) 値を素早く正確に検出することができる。

一方、3 相電動モータ 1 2 の各相モータ巻線 L a ~ L c におけるコイル部 L 1 ~ L 3 の何れか 1 つに断線異常が発生した場合のコイル部断線検出は、コイル部 L 1 ~ L 3 の断線によって抵抗値が変化することから、モータ相抵抗値の変化を監視することにより、コイル部断線を検出することができる。

すなわち、例えば図 4 における A 相モータ巻線 L a のコイル部 L 3 に断線が発生した場合には、コイル部 L 1 ~ L 3 の一本当たりの抵抗値 R e とすると、モータ相抵抗 R は、(1 / 3) * R c から (1 / 2) * R c に増加する。

40

この作用を断線異常検出に利用する。

【 0 0 2 2 】

この断線異常の検出の一例は、各相モータ電圧検出回路 4 0 A および 4 0 B で検出した値にて算出できるモータ相電圧 V m は、下記のように表される。

$$V m = R * i + K e * \dots \dots \dots (1)$$

ここで、R はモータ相抵抗 (定数) 、 i はモータ相電流 (検出値) 、 K e はモータ逆起電圧定数、 はモータ回転速度 (検出値 / 演算値) である。

上記 (1) 式において、モータ相抵抗変化量を R とすると、上記 (1) 式は下記 (2)

50

で表される。

$$V_m = (R + R) * i + K_e * \dots \dots \dots (2)$$

したがって、モータ相抵抗値変化量 R は、

$$R = (V_m - K_e *) / i - R \dots \dots \dots (3)$$

で表すことができる。この(3)式にモータ用電圧(検出値)とモータ回転速度(検出値/演算値)を代入するところにより、モータ用抵抗値Rの変化量Rを算出することができる。そして、算出した変化量Rが所定閾値未満であるときにはバラツキの範囲内であると判断し、変化量Rが所定閾値以上のときに相モータ巻線La~Lcのコイル部L1~L3の断線異常であると判断することができる。

【0023】

また、異常検出部31aで、3相電動モータ12の各相モータ巻線La, LbおよびLcのうちの1つの相モータ巻線Lj(j=a, b, c)のコイル部L1~L3の1つLk(k=1, 2, 3)に断線異常を検出したときには、1つのコイル部Lkの断線異常によって、相モータ巻線Ljの逆起電力Ejが正常時の2/3に変化する。このため、断線異常を検出した相モータ巻線Ljに供給しているモータ電流指令値Ij*に対するゲインKjを通常時の“1”から“3/2”に増加させる。

すなわち、3相電動モータ12の入出力のエネルギー関係式は、

$$T * = E_a * I_a + E_b * I_b + E_c * I_c \dots \dots \dots (4)$$

で表される。ここで、Tはモータトルク、はモータ角周波数、Ea, EbおよびEcはA, B, C相の逆起電圧、Ia, IbおよびIcはA, B, C相のモータ電流である。

【0024】

例えば、コイル部L1~L3の並列結線で、ある相の1つのコイル部Lkに断線異常が発生した場合には、逆起電圧Ejが正常時の2/3に変化する。このため、相モータ巻線Ljのモータ電流Ijを生じさせる電流指令値Ij*に対するゲインKjを正常時の“1”から“3/2”に増加させることにより、Ej*Ijが正常な相モータ巻線の場合と等しい値となり、トルク変動を抑制してトルク一定制御を行うことができる。

【0025】

第1および第2のモータ駆動回路32Aおよび32Bのそれぞれは、制御演算装置31から出力される3相の電圧指令値V1*およびV2*が入力されてゲート信号を形成するゲート駆動回路41Aおよび41Bと、これらゲート駆動回路41Aおよび41Bから出力されるゲート信号が入力される第1および第2のインバータ回路42Aおよび42Bとを備えている。

ゲート駆動回路41Aおよび41Bのそれぞれは、制御演算装置31から電圧指令値V1*およびV2*が入力されると、これら電圧指令値V1*およびV2*と三角波のキャリア信号Scとをもとにパルス幅変調(PWM)した6つのゲート信号を形成し、これらゲート信号をインバータ回路42Aおよび42Bに出力する。

なお、6つのPWMゲート信号を制御演算装置31で共通生成してインバータ回路42Aおよび42Bに入力する構成としてもよい。

【0026】

また、ゲート駆動回路41Aは、制御演算装置31から入力される異常検出信号SAaが論理値“0”(正常)であるときには、モータ電流遮断部33Aに対してハイレベルの3つのゲート信号を出力するとともに、電源遮断部44Aに対してハイレベルのゲート信号を出力する。また、ゲート駆動回路41Aは、異常検出信号SAaが論理値“1”(異常)であるときにはモータ電流遮断部33Aに対してローレベルの3つのゲート信号を同時に出力し、モータ電流を遮断するとともに、電源遮断部44Aに対してローレベルのゲート信号を出力し、バッテリー電力を遮断する。

同様に、ゲート駆動回路41Bは、制御演算装置31から入力される異常検出信号SAbが論理値“0”(正常)であるときには、モータ電流遮断回路33Bに対してハイレベルの3つのゲート信号を出力するとともに、電源遮断部44Bに対してハイレベルゲート信号を出力する。また、ゲート駆動回路41Bは、異常検出信号SAbが論理値“1”(

10

20

30

40

50

異常)であるときにはモータ電流遮断回路33Bに対してローレベルの3つのゲート信号を同時に出力し、モータ電流を遮断するとともに、電源遮断部44Bに対してローレベルのゲート信号を出力し、バッテリー電力を遮断する。

【0027】

第1および第2のインバータ回路42Aおよび42Bのそれぞれは、ノイズフィルタ43と、電源遮断部44Aおよび44Bと、電流検出回路39A1および39B1とを介してバッテリー22のバッテリー電流が入力され、入力側に平滑用の電解コンデンサCAおよびCBが接続されている。

これら第1および第2のインバータ回路42Aおよび42Bは、6個のスイッチング素子としての電界効果トランジスタ(FET)Q1~Q6を有し、2つの電界効果トランジスタを直列に接続した3つのスイッチングアームSWAa、SWAb、SWAcおよびSWBa、SWBb、SWBcを並列に接続した構成を有する。

これら第1および第2のインバータ回路42Aおよび42Bは、各電界効果トランジスタQ1~Q6のゲートにゲート駆動回路41Aおよび41Bから出力されるゲート信号が入力されることにより、各スイッチングアームSWAa、SWAb、SWAcおよびSWBa、SWBb、SWBcの電界効果トランジスタ間の接続点からA相電流Ia、B相電流Ib、C相電流Icがモータ電流遮断部33Aおよび33Bを介して3相電動モータ12の3相モータ巻線La、LbおよびLcに通電される。

【0028】

また、インバータ回路42Aおよび42Bの各スイッチングアームSWAa、SWAb、SWAcおよびSWBa、SWBb、SWBcは、下アームとなる電界効果トランジスタQ2、Q4およびQ6のソースが互いに接続されて電流検出回路39A2および39B2を介して接地され、これら電流検出回路39Aおよび39Bでモータ電流I1a~I1cおよびI2a~I2cが検出される。

電流検出回路39A1、39A2および39B1、39B2のそれぞれは、図8に示すように構成されている。すなわち、電流検出回路39A1および39B1は、図9に示すように、各スイッチングアームSWAa~SWAcおよびSWBa~SWBcの電源側と電源遮断部44Aおよび44Bとの間に介挿された電流検出用のシャント抵抗51Aおよび51Bを有する。電流検出回路39A1および39B1のそれぞれは、図8(a)に示すように、シャント抵抗51Aおよび51Bの両端電圧が抵抗R2およびR3を介して入力されるオペアンプ39aと、このオペアンプ39aの出力信号が供給される主にノイズフィルタで構成されるサンプルホールド回路39sとで構成されている。

【0029】

そして、サンプルホールド回路39sから出力される電流検出信号IA1dおよびIB1dが制御演算装置31のA/D変換部31cに供給される。

また、電流検出回路39A2および39B2は、図9に示すように、各スイッチングアームSWAa~SWAcおよびSWBa~SWBcの接地側と接地との間に介挿された電流検出用のシャント抵抗52Aおよび52Bを有する。これら電流検出回路39A2および39B2のそれぞれは、図8(b)に示すように、シャント抵抗52Aおよび52Bの両端電圧が抵抗R2およびR3を介して入力されるオペアンプ39aと、このオペアンプ39aの出力信号が供給されるノイズフィルタを含むピークホールド回路39pと、オペアンプ39aの出力信号が供給される主にノイズフィルタで構成されるサンプルホールド回路39sとで構成されている。

そして、サンプルホールド回路39sから出力される電流検出信号IA2dおよびIB2dが制御演算装置31のA/D変換部31cに供給される。

また、ピークホールド回路39pから出力される電流検出値のピークホールド信号IA3dおよびIB3dがA/D変換部31cと後述する過電流時遮断回路70Aおよび70Bと電流側路回路80Aおよび80Bとに供給される。

【0030】

モータ電流遮断部33Aは、3つの電流遮断用の電界効果トランジスタQA1、QA2

および Q A 3 を有する。電界効果トランジスタ Q A 1 のソースがモータ電圧検出回路 4 0 A を介して第 1 のインバータ回路 4 2 A のスイッチングアーム S W A a のトランジスタ Q 1 および Q 2 の接続点に接続され、ドレインが 3 相モータ巻線 L 1 の A 相モータ巻線 L a に接続されている。

また、電界効果トランジスタ Q A 2 のソースがモータ電圧検出回路 4 0 A を介して第 1 のインバータ回路 4 2 A のスイッチングアーム S W A b のトランジスタ Q 3 および Q 4 の接続点に接続され、ドレインが 3 相モータ巻線 L b に接続されている。

さらに、電界効果トランジスタ Q A 3 のソースがモータ電圧検出回路 4 0 A を介して第 1 のインバータ回路 4 2 A のスイッチングアーム S W A c のトランジスタ Q 5 および Q 6 の接続点に接続され、ドレインが 3 相モータ巻線 L c に接続されている。

10

【 0 0 3 1 】

また、モータ電流遮断回路 3 3 B は、3 つの電流遮断用の電界効果トランジスタ Q B 1 、 Q B 2 および Q B 3 を有する。ここで、電界効果トランジスタ Q B 1 のソースがモータ電圧検出回路 4 0 B を介して第 2 のインバータ回路 4 2 B のスイッチングアーム S W B a のトランジスタ Q 1 および Q 2 の接続点に接続され、ドレインが 3 相モータ巻線 L a に接続されている。また、電界効果トランジスタ Q B 2 のソースがモータ電圧検出回路 4 0 B を介して第 2 のインバータ回路 4 2 B のスイッチングアーム S W B b のトランジスタ Q 3 および Q 4 の接続点に接続され、ドレインが 3 相モータ巻線 L b に接続されている。さらに、電界効果トランジスタ Q B 3 のソースがモータ電圧検出回路 4 0 B を介して第 2 のインバータ回路 4 2 B のスイッチングアーム S W B c のトランジスタ Q 5 および Q 6 の接続点に接続され、ドレインが 3 相モータ巻線 L c に接続されている。

20

【 0 0 3 2 】

そして、モータ電流遮断部 3 3 A および 3 3 B の電界効果トランジスタ Q A 1 ~ Q A 3 および Q B 1 ~ Q B 3 は寄生ダイオード D のアノードをインバータ回路 4 2 A および 4 2 B 側として各々が同一向きに接続されている。

また、電源遮断部 4 4 A および 4 4 B のそれぞれは、1 つの電界効果トランジスタ (F E T) Q C および Q D と寄生ダイオードとの並列回路で構成され、電界効果トランジスタ Q C および Q D のドレインがノイズフィルタ 4 3 を介してバッテリー 2 2 に接続され、ソースがインバータ回路 4 2 A および 4 2 B に接続されている。なお、これら電源遮断部 4 4 A および 4 4 B は上記構成に限らず、図 9 に示すように、寄生ダイオードが逆向きとなるように 2 つの電源遮断部 4 4 A , 4 4 A および 4 4 B , 4 4 B を直列に接続するようにしてもよい。

30

【 0 0 3 3 】

次に、上記実施形態の動作を説明する。

図示しないイグニッションスイッチがオフ状態であって車両が停止していると共に、操舵補助制御処理も停止している作動停止状態であるときには、モータ制御装置 2 0 の制御演算装置 3 1 が非作動状態となっている。このため、制御演算装置 3 1 で実行される操舵補助制御処理および異常監視処理は停止されている。したがって、電動モータ 1 2 は作動を停止しており、操舵補助機構 1 0 への操舵補助力の出力を停止している。

この作動停止状態からイグニッションスイッチをオン状態とすると、制御演算装置 3 1 が作動状態となり、操舵補助制御処理および異常監視処理を開始する。このとき、各モータ駆動回路 3 2 A および 3 2 B のインバータ回路 4 2 A および 4 2 B における各電界効果トランジスタ Q 1 ~ Q 6 にオープン故障およびショート故障が発生していない正常状態であるものとする。このときには、ステアリングホイール 1 を操舵していない非操舵状態では、制御演算装置 3 1 で実行する操舵補助制御処理で操舵トルク T が “ 0 ” であり、車速 V も “ 0 ” であるので、図 7 の電流指令値算出マップにおける実線図示の正常時電流指令値算出曲線 L n o を参照して操舵補助電流指令値を算出する。

40

【 0 0 3 4 】

そして、算出された操舵補助電流指令値 I^* とモータ回転角検出回路 1 3 から入力されるモータ電気角 e とに基づいて d 軸電流指令値 I_d^* および q 軸電流指令値 I_q^* を算

50

出し、算出した d 軸電流指令値 I_d^* および q 軸電流指令値 I_q^* を d q 二相 - 三相変換処理を行って A 相電流指令値 I_a^* 、B 相電流指令値 I_b^* および C 相電流指令値 I_c^* を算出する。

さらに、各相電流指令値 I_a^* 、 I_b^* および I_c^* と、電流検出回路 39 A および 39 B で検出した各相電流検出値 I_{A1d} および I_{B1d} からその加算を含む演算にて算出される各相電流検出値 I_{Ad} 、 I_{Bd} および I_{Bc} との電流偏差 I_a 、 I_b および I_c を算出し、算出した電流偏差 I_a 、 I_b および I_c を P I 制御処理又は P I D 制御処理を行って目標電圧指令値 V_a^* 、 V_b^* および V_c^* を算出する。

【0035】

そして、算出した目標電圧指令値 V_a^* 、 V_b^* および V_c^* を電圧指令値 V_1^* および V_2^* として第 1 および第 2 のモータ駆動回路 32 A および 32 B のゲート駆動回路 41 A および 41 B に出力する。また、制御演算装置 31 は、インバータ回路 42 A および 42 B が正常であるので、論理値“0”の異常検出信号 S_{Aa} および S_{Ab} をゲート駆動回路 41 A および 41 B に出力する。

このため、ゲート駆動回路 41 A および 41 B では、モータ電流遮断部 33 A および 33 B に対してハイレベルの 3 つのゲート信号を出力する。したがって、モータ電流遮断部 33 A および 33 B の電界効果トランジスタ $Q_{A1} \sim Q_{A3}$ および $Q_{B1} \sim Q_{B3}$ がオン状態となって、インバータ回路 42 A および 42 B と 3 相電動モータ 12 の 3 相モータ巻線 L_1 および L_2 との間が導通状態となって、3 相電動モータ 12 に対する通電制御が可能な状態となる。

【0036】

これと同時に、ゲート駆動回路 41 A および 41 B から電源遮断部 44 A および 44 B に対してハイレベルのゲート信号を出力する。このため、電源遮断部 44 A および 44 B の電界効果トランジスタ Q_C および Q_D がオン状態となってバッテリー 22 からの直流電流がノイズフィルタ 43 を介してインバータ回路 42 A および 42 B に供給される。

さらに、ゲート駆動回路 41 A および 41 B では、制御演算装置 31 から入力される電圧指令値 V_1^* および V_2^* に基づいてパルス幅変調を行ってゲート信号を形成し、形成したゲート信号をインバータ回路 42 A および 42 B の各電界効果トランジスタ $Q_1 \sim Q_6$ のゲートに供給する。

したがって、車両が停止状態で、ステアリングホイール 1 を操舵していない状態では、操舵トルク T_s が“0”であるので、操舵補助電流指令値も“0”となって電動モータ 12 は停止状態を維持する。

【0037】

しかしながら、車両の停止状態または車両の走行開始状態でステアリングホイール 1 を操舵して所謂据え切りを行うと、操舵トルク T_s が大きくなることにより、図 7 を参照して、大きな操舵補助電流指令値 I^* が算出され、これに応じた大きな電圧指令値 V_1^* および V_2^* がゲート駆動回路 41 A および 41 B に供給される。このため、ゲート駆動回路 41 A および 41 B から大きな電圧指令値 V_1^* および V_2^* に応じたデューティ比のゲート信号がインバータ回路 42 A および 42 B に出力される。

したがって、インバータ回路 42 A および 42 B から操舵補助電流指令値 I^* に応じた 120 度の位相差を有する A 相電流 I_{1a} 、B 相電流 I_{1b} 、C 相電流 I_{1c} および I_{2a} 、 I_{2b} および I_{3c} が出力され、これらがモータ電流遮断部 33 A および 33 B の各相に対応する電界効果トランジスタ $Q_{A1} \sim Q_{A3}$ および $Q_{B1} \sim Q_{B3}$ を通って 3 相電動モータ 12 の 3 相モータ巻線 $L_a \sim L_c$ に供給される。

【0038】

これにより、電動モータ 12 が回転駆動されて、操舵トルク T_s に応じた目標操舵補助電流値 I^* に対応する大きな操舵補助力を発生し、この操舵補助力が減速ギヤ 11 を介して出力軸 2 b に伝達される。このため、ステアリングホイール 1 を軽い操舵力で操舵することができる。

その後、車速 V_s が増加すると、これに応じて算出される操舵補助電流指令値が据え切

10

20

30

40

50

り時に比較して低下して電動モータ 1 2 で操舵トルク T_s および車速 V_s に応じて適度に減少させた操舵補助力を発生する。

このように、インバータ回路 4 2 A および 4 2 B が正常で、3 相電動モータ 1 2 に供給されるモータ電流 I_a 、 I_b および I_c が正常である場合には、操舵トルク T_s および車速 V_s に最適なモータ電流が 3 相電動モータ 1 2 に供給される。

【0039】

この正常状態から、第 1 および第 2 のモータ駆動回路 3 2 A および 3 2 B の第 1 および第 2 のインバータ回路 4 2 A および 4 2 B の一方例えばインバータ回路 4 2 B の例えば下アーム側の電界効果トランジスタ Q_2 、 Q_4 および Q_6 の何れか 1 つ又は複数にショート故障が発生すると、ショート故障を生じたスイッチングアーム SWB_j ($j = a, b, c$) からモータ電流遮断部 3 3 A へ出力されるモータ電流 I_j が流れなくなることから、異常検出部 3 1 a で各相電流指令値 I_j^* と比較したときに、ショート故障の発生による異常を検出することができる。また、図 9 のモータ電圧検出回路 4 0 A、4 0 B での電圧検出値が所定の電圧とならず異常を検出することができる。

10

【0040】

このように、モータ駆動回路 3 2 B のインバータ回路 4 2 B にショート故障が発生すると、異常検出信号 SA_a は論理値 “0” に維持されるが、異常検出信号 SA_b が論理値 “1” となる。このため、インバータ回路 4 2 B の 6 個のゲート駆動を全てオフすると共に、モータ駆動回路 3 2 B のゲート駆動回路 4 1 B からモータ電流遮断回路 3 3 B に対してローレベルの 3 つのゲート信号を同時に出力し、さらに電源遮断部 4 4 B に対してローレベルのゲート信号を出力する。

20

このため、モータ電流遮断回路 3 3 B では、各相の電界効果トランジスタ $QB_1 \sim QB_3$ がオフ状態となり、3 相電動モータ 1 2 の 3 相モータ巻線 $La \sim Lc$ に対する通電が遮断される。

これと同時に、電源遮断部 4 4 B でも、電界効果トランジスタ QD がオフ状態に制御され、バッテリー 2 2 および第 2 のインバータ回路 4 2 B との間の通電路が遮断される。

【0041】

しかしながら、モータ駆動回路 3 2 A は正常に動作しており、このモータ駆動回路 3 2 A への電圧指令値 V_1^* は変化することがないので、このモータ駆動回路 3 2 A による 3 相電動モータ 1 2 の各相モータ巻線 $La \sim Lc$ への電流制御が継続される。

30

このため、3 相電動モータ 1 2 で正常時と同様の操舵補助トルクを発生して、これが減速ギヤ 1 1 を介して出力軸 2 b に伝達されることにより、正常時と遜色のない操舵補助特性を発揮することができる。このとき、モータ駆動回路 3 2 B の異常が検出された段階で、警報回路 5 0 に警報信号 Sw_a が出力されることにより、運転者にモータ駆動回路 3 2 B の異常を報知して、最寄りの修理点検ステーションへの立ち寄りを促すことができる。

【0042】

また、第 1 および第 2 のモータ駆動回路 3 2 A および 3 2 B の第 1 および第 2 のインバータ回路 4 2 A および 4 2 B の一方例えばインバータ回路 4 2 A の例えば上アーム側の電界効果トランジスタ Q_1 、 Q_3 および Q_5 の何れか 1 つにオープン故障が発生すると、図 1 0 に基づいて前述したように、オープン故障を生じたアームのモータ駆動電流 I_a が正

40

【0043】

逆に、モータ駆動回路 3 2 A の上段アームの例えば A 相の上側アームにショート故障が発生した場合には、図 1 1 で前述したように、モータ駆動回路 3 2 A の上側電流検出値 IA_1d が急激に増加し、モータ駆動回路 3 2 B の上側電流検出値 IB_1d の増加量は僅かである。この上側電流検出値 IA_1d の急激な増加および上側電流検出値 IB_1d の僅かな増加がピークホールド回路で少なくともパルス幅変調 (PWM) 信号の 1 周期分程度の

50

時間以上ピークホールドされる。したがって、上側電流検出値 I_{A1d} の瞬間値が所定閾値以上となったときに上側アームのショート故障であると確実に判断することができる。

このため、モータ駆動回路 32A のモータ電流遮断部 33A の各相スイッチ $Q_{A1} \sim Q_{A3}$ がオフ状態に制御されるとともに、電源遮断部 44A がオフ状態に制御されて、モータ駆動回路 32A の駆動が停止され、上記と同様に正常なモータ駆動回路 32B による単独の 3 相電動モータ 12 の制御が継続されて、正常時と遜色ない操舵補助制御を継続することができる。このとき、運転者には警報を発して修理点検ステーションへの立ち寄りを促すことができる。

【0044】

さらに、制御演算装置 31 の異常検出部 31a は、モータ駆動回路 32A および 32B の出力側に設けたモータ電圧検出回路 40A および 40B で検出した各モータ相電圧 $V_{m1a} \sim V_{m1c}$ および $V_{m2a} \sim V_{m2c}$ と、モータ回転角検出回路 13 で検出したモータ回転角 θ_m を微分演算して算出するか又は別途モータ回転速度検出回路を設けて検出したモータ回転速度 ω_m と、電流検出回路 39A および 39B で検出した各モータ相電流 $i_{1a} \sim i_{1c}$ および $i_{2a} \sim i_{2c}$ を相別に加算したモータ相電流 $i_a \sim i_c$ に基づいて前記(3)式の演算を行って各相のモータ相抵抗値変化量 R を算出する。

そして、算出した各相のモータ相抵抗値変化量 R が所定閾値 R_n 未満であるときには、バラツキの範囲内であるものと判断するが、モータ相抵抗値変化量 R が所定閾値 R_n 以上であるときには 3 相電動モータ 12 のモータ巻線 $L_a \sim L_c$ を構成するコイル部 $L_1 \sim L_3$ の何れかの断線異常を正確に検出することができる。

【0045】

このように、モータ巻線 $L_a \sim L_c$ のコイル部 $L_1 \sim L_3$ の何れかに断線異常が発生したことを検出したときには、操舵補助電流指令値演算部 34 で参照する操舵補助電流指令値算出マップの特性曲線が正常時の特性曲線 L_{no} から異常発生時の特性曲線 L_{ab} に変更される。

このため、操舵トルクセンサ 3 で検出した操舵トルク T の値に対する操舵補助電流指令値 I^* の値が正常時の特性曲線 L_{no} の倍程度となり、この操舵補助電流指令値 I^* が補償制御演算部 35 での補償値 I_{com} によって補償された補償後操舵補助電流指令値 I^*

が $d-q$ 軸電流指令値演算部 37 に供給されて $d-q$ 軸電流指令値に変換された後 2 相 / 3 相変換されて目標電流指令値 I_{a^*} 、 I_{b^*} および I_{c^*} が算出される。

【0046】

これら目標電流指令値 I_{a^*} 、 I_{b^*} および I_{c^*} が電圧指令値演算部 38 でモータ駆動回路 32A および 32B のゲート駆動回路 41A および 41B に対する電圧指令値 V_{1^*} および V_{2^*} として出力される。

このため、モータ駆動回路 32A および 32B で、相モータ巻線 L_j のコイル部 L_k の断線によるトルク減少分を補うモータ駆動電流 I_a 、 I_b および I_c が 3 相電動モータ 12 の各相モータ巻線 L_a 、 L_b および L_c に供給されるとともに、高くなった操舵トルクの変動抑制効果により、操舵違和感を抑えることができる。

また、モータ巻線 $L_a \sim L_c$ のコイル部 $L_1 \sim L_3$ の何れかに断線異常が発生したことを検出したときには、1つのコイル部 L_k の断線異常によって、相モータ巻線 L_j の逆起電力 E_j が正常時の $2/3$ に変化する。このため、断線異常を検出した相モータ巻線 L_j に供給しているモータ電流指令値 I_{j^*} に対するゲイン K_j を通常時の "1" から "3/2" に増加させる。

【0047】

これによって、前述した 3 相電動モータ 12 の入出力のエネルギー関係式を表す(4)式における $E_{j^*} I_{j^*}$ が正常な相モータ巻線の場合と等しい値となり、トルク変動を抑制してトルク一定制御を行うことができる。この場合も警報回路 50 で警報を発して運転者に 3 相電動モータ 12 のコイル部断線異常を報知する。

このように、上記実施形態によると、正常状態において 2 系統以上の機能するハードウェアをモータ駆動回路 32A および 32B で構成し、2 系統以上のハードウェアのうち 1

10

20

30

40

50

系統（あるいは系統総数以下の系統）の故障が起こった状態においても、制御演算装置の変更なく、或いは制御演算装置のパラメータ変更のみの範囲で機能継続することができ、ロバスト設計を実現することができる。

【0048】

また、多相電動モータにモータ電流を供給するモータ電流供給系統となるモータ駆動回路を多重化するとともに、多相電動モータの各モータ巻線を複数のコイル部を並列に接続した構成とすることにより、多重化したモータ電流供給系統となるモータ駆動回路の何れかに異常が発生した場合や多相電動モータの一部のコイル部に断線異常が発生した場合に、異常態様に応じた駆動態様に変更する。このため、モータ電流供給系統となるモータ駆動回路にオープン故障やショート故障が発生した場合や多相駆動モータの一部の駆動コイル部で断線異常が発生した場合でも多相電動モータの駆動を継続することができる。

なお、上記実施形態においては、3相電動モータ12の相モータ巻線 L_j を構成する各コイル部 L_k に断線異常が発生したときに、逆起電圧 E_j の変化に応じて相モータ電流 i_j を変化させる場合について説明した。しかしながら、本発明は上記構成に限定されるものではなく、図12に示すように、モータ逆起電圧（ EMF ）の減少に応じて逆起電圧補償値を算出するゲインを低減するようにしてもよい。

【0049】

すなわち、3相電動モータ12の1相分のモータ制御系が、図12に示すように、電流指令値 i^* と相モータ電流 i との偏差を演算する減算器61と、この減算器61から出力される電流偏差 i が供給される電流フィードバック制御器62とを備えている。そして、電流フィードバック制御器62から出力されるモータ電圧を加算器63に供給し、この加算器63の出力を3相電動モータ12に供給することにより、モータ電流 i が出力され、これが前記減算器61に供給される。

一方、モータ回転速度 ω とモータ位相角（電気角） e とが逆起電圧（ EMF ）補償器64に供給され、この逆起電圧（ EMF ）補償器64で、モータ回転速度 ω とモータ位相角 e とに基づいて逆起電圧 EMF を算出し、算出した逆起電圧補償値 EMF に補償ゲイン K_c を乗算して逆起電圧補償値 EMF_c を算出し、この逆起電圧補償値 EMF_c をモータ逆起電圧 EMF が供給された減算器65に供給し、この減算器65の減算出力が加算器63に供給される。ここで、減算器65によるモータ逆起電圧（ EMF ）の減算は、実際上は、モータ内で生じる物理現象であり、実際に減算器65が存在するものではない。

【0050】

逆起電圧補償器64は、前述した異常検出部31aで該当相のコイル部 $L_1 \sim L_3$ の何れかの断線異常を検出する異常検出信号 SAC が異常無しを表す例えば論理値“0”であるときにゲイン K_c を“1”に設定し、異常検出信号 SAC が異常有りを表す論理値“1”であるときにはゲイン K_c を“2/3”に設定する。

この構成によると、該当するモータ巻線 L_k のコイル部 $L_1 \sim L_3$ が正常である場合には、異常検出部31aから逆起電圧補償器64に入力される異常検出信号 SAC が論理値“0”であるので、ゲイン K_c が“1”に設定される。このため、逆起電圧補償器64でモータ回転速度 ω およびモータ位相角 e とで算出される逆起電圧 EMF がそのまま逆起電圧補償値 EMF_c として減算器65に出力される。

【0051】

したがって、3相電動モータ12のモータ巻線 L_k で発生する逆起電力 EMF が逆起電圧補償値 EMF_c で相殺されて、3相電動モータ12のモータ電流 i が電流指令値 i^* に応じた値となるように制御される。

この状態から、該当するモータ巻線 L_k のコイル部 $L_1 \sim L_3$ に断線異常が発生し、これが異常検出部31aで検出されると、この異常検出部31aから論理値“1”の異常検出信号 SAC が逆起電圧補償器64に供給される。このため、逆起電圧補償器64でゲイン K_c が“2/3”に設定されることにより、起電圧補償値 EMF_c が正常時の起電圧補償値 EMF_c の2/3となる。

【0052】

10

20

30

40

50

一方、3相電動モータ12では該当するモータ巻線Lkのコイル部L1~L3の1つが断線異常となっているので、発生する逆起電力EMFは正常時の2/3となっており、この逆起電力EMFが減算器65において起電圧補償値EMFcで相殺される。したがって、トルク変動を抑制してトルク一定制御を継続することができる。この場合も警報回路50で警報を発して運転者に3相電動モータ12のコイル部断線異常を報知する。

さらには、3相電動モータ12の相モータ巻線Ljを構成する各コイル部Lkに断線異常が発生したときに、逆起電圧Ejの変化に応じて相モータ電流ijを変化させるとともに、モータ逆起電圧(EMF)の減少に応じて逆起電圧補償値を算出するゲインを低減させるようにしてもよく、この場合にはより良い効果を得ることができる。

【0053】

また、上記実施形態においては、異常検出部31aでモータ駆動回路32Aおよび32Bの下アームのショート異常を検出し、ショート異常が発生したモータ駆動回路32A又は32Bのモータ電流遮断部33A又は33Bでモータ電流を遮断する場合について説明した。しかしながら、ショート異常を検出した後にモータ電流遮断部33A又は33Bの遮断制御を制御演算装置31のソフトウェア処理によって行うので、ショート異常を検出してからモータ電流遮断部33A又は33Bを遮断動作させるまでに時間が掛かることになり、モータ電流遮断部33A又は33Bの遮断動作を短時間で行うには限度がある。

そこで、本発明では、過電流状態をハードウェアで検出して前述した実施形態におけるモータ電流遮断部33Aおよび33Bと電源遮断部44Aおよび44Bをハードウェア的に遮断動作させるようにしている。

【0054】

すなわち、図13に示すように、電流検出回路39Aおよび39Bのピークホールド回路39pで検出した電流検出値IA3dおよびIB3dがハードウェアで構成される過電流時遮断回路70Aおよび70Bに供給され、これら過電流時遮断回路70Aおよび70Bでモータ電流遮断部33Aおよび33Bと電源遮断部44Aおよび44Bを遮断動作させる。

ここで、過電流時遮断回路70Aおよび70Bのそれぞれは、図14に示すように構成されている。すなわち、例えばモータ駆動回路32Aについて説明すると、前述したゲート駆動回路41Aとモータ電流遮断部33Aとの間のゲート信号供給ラインLgに、アンド回路71が介挿されている。また、電流検出回路39A2のピークホールド回路39pから出力される電流検出値IA3dが最大値選択回路72の一方の入力側に供給され、この最大値選択回路72の他方の入力側に制御演算装置31から出力される診断信号Sd1が増幅器73を介して入力されている。この最大値選択回路72では、診断信号Sd1が入力されていないときには、電流検出値IA3dを選択し、診断信号Sd1が入力されているときには診断信号Sd1を選択する。ここで、制御演算装置31では、所定時間例えば1分毎に例えばタイマ割込処理によって診断信号Sd1およびS2dを交互に出力する。あるいは、モータによる操舵補助がされていない状態を検出して診断信号Sd1およびSd2を出力する。

【0055】

最大値選択回路72から出力される選択信号Ssは、過電流状態であるか否かを判定する過電流判定回路74に供給され、この過電流判定回路74で入力される選択信号Ssが過電流閾値Voc以上であるときにローレベルとなり、選択信号Ssが過電流閾値Voc未満であるときにハイレベルとなる過電流判定信号Socが出力され、この過電流検出信号Socがアンド回路71の他方の入力側に供給される。ここで、過電流閾値Vocは、過電流閾値Iocに電流検出用抵抗(シャント抵抗)52Aおよび52Bの抵抗値Rsを乗算した値($Voc = Ioc \times Rs$)に設定され、例えば過電流閾値Iocとして150A、電流検出用抵抗52Aおよび52Bの抵抗Rsとして1mΩが設定されている。

【0056】

このように過電流時遮断回路70Aおよび70Bを構成することにより、制御演算装置

10

20

30

40

50

31から診断信号Sd1が出力されていない状態では、最大値選択回路72で電流検出回路39A2のピークホールド回路39pで検出された電流検出値IA3dが選択されて選択信号Ssとして過電流判定回路74に供給される。

このため、モータ駆動回路32Aの下アームの電界効果トランジスタQ2、Q4、Q6にショート異常が発生していない状態では、電流検出回路39A2のピークホールド回路39pで検出される電流検出値IA3dが過電流閾値Voc以上となることがなく、過電流判定回路74からはハイレベルの過電流判定信号Socがアンド回路71に出力されている。

【0057】

一方、制御演算装置31では、電源投入状態となったときに、異常検出部31aでモータ駆動回路32Aの異常を検出していないときには、ハイレベルのゲート信号Sgをアンド回路71に出力しており、モータ駆動回路32Aの異常を検出したときにはローレベルのゲート信号Sgを出力する。したがって、モータ駆動回路32Aが正常状態であるときには、制御演算装置31からハイレベルのゲート信号Sgが出力されるとともに、電流検出回路39A2のピークホールド回路39pで検出される電流検出値IA3dが過電流閾値Voc以上となることはなく、過電流判定回路74からハイレベルの過電流判定信号Socがアンド回路71に出力される。

このため、アンド回路71の出力信号はハイレベルとなってモータ電流遮断部33Aの電界効果トランジスタQA1～QA3がオン状態に制御され、モータ駆動回路32Aから出力されるモータ電流Ia～Icが3相電動モータ12の相モータ巻線La～Lcに供給される。3相電動モータ12で操舵トルクに応じた操舵補助力を発生する。

【0058】

このモータ駆動回路32Aの正常状態からモータ駆動回路32Aの下側アームとなる電界効果トランジスタQ2、Q4およびQ6の何れか1つにショート故障が発生したときには、ショート故障が発生した相アームの上アームとなる電界効果トランジスタQ1、Q3およびQ5がオン状態となったときに、短絡電流が流れる。この短絡電流が電流検出回路39Aで検出され、最大値選択回路72を介して過電流判定回路74に供給される。このとき、過電流判定回路74に入力される電流検出値IA3dが過電流閾値Voc以上となるので、過電流判定回路74からローレベルの過電流判定信号Socがアンド回路71に出力される。このため、アンド回路71の出力はローレベルとなり、モータ電流遮断部33Aの電流遮断用の電界効果トランジスタQA1～QA3および電源遮断部44Aの電界効果トランジスタQCがオフ状態に制御され、モータ駆動回路32Aから3相電動モータ12に出力されるモータ電流Ia～Icが遮断される。

【0059】

さらに、これにより、ピークホールド回路39pで保持されている間、遮断状態が続き、電流検出回路39A1での電流検出値IA1dおよび電流検出回路39A2での電流検出値IA2dが零となるため、異常検出部31aでモータ駆動回路32Aの異常として検出できる。

このように、モータ駆動回路32Aが過電流状態となると、ハードウェアで構成される過電流時遮断回路70Aおよび70Bで過電流状態を即座に検出することができ、過電流状態を検出したときには、モータ電流遮断部33A又は33Bを即座に遮断動作させるとともに、電源遮断部44A又は44Bも即座に遮断動作させることができ、過電流状態となったことにより、モータ駆動回路32A又は32Bの電界効果トランジスタQ1～Q6が過電流によって損傷することを確実に防止できる。

【0060】

一方、過電流時遮断回路70Aおよび70Bが正常に動作しているか否かを診断するは、電源投入後に制御演算装置31の異常診断部31bから所定時間毎あるいはモータによる操舵補助がされていない状態が検出されたタイミングにより増幅器73を介して過電流閾値Iocより大きな値となる診断信号Sd1およびSd2からなる診断信号Sdがモータ駆動回路32Aおよび32Bに交互に出力される。

10

20

30

40

50

この診断信号 S d が制御演算装置 3 1 から出力されると、最大値選択回路 7 2 で診断信号 S d が選択されて過電流判定回路 7 4 に供給される。この過電流判定回路 7 4 では、入力される診断信号 S d が過電流閾値 I o c t より大きいので、ローレベルの過電流判定信号 S o c がアンド回路 7 1 に出力される。このため、アンド回路 7 1 の出力がローレベルとなり、モータ電流遮断部 3 3 A 又は 3 3 B が遮断状態に制御されるとともに、電源遮断部 4 4 A 又は 4 4 B が遮断状態に制御される。このため、モータ電圧検出回路 4 0 A 又は 4 0 B のモータ相電圧 V 1 m a ~ V 1 m c 又は V 2 m a ~ V 2 m c あるいは電流検出回路 3 9 A 1 および 3 9 A 2 又は 3 9 B 1 および 3 9 B 2 の電流検出値 I A 1 d および I A 2 d 又は I B 1 d および I B 2 d が零となっているかを確認することにより、過電流時遮断回路 7 0 A および 7 0 B が正常に動作するか否かを診断することができる。

10

【 0 0 6 1 】

このとき、制御演算装置 3 1 から診断信号 S d がモータ駆動回路 3 2 A および 3 2 B に対して所定時間毎に交互に供給されるので、診断信号 S d が供給されていないモータ駆動回路 3 2 A 又は 3 2 B では、正常な操舵補助制御を継続することができ、診断中に運転者に違和感を与えることを防止できる。あるいは、モータによる操舵補助がされていない状態で診断信号 S d を供給することによっても、運転者に違和感を与えることを防止できる。この他、モータ駆動回路 3 2 A および 3 2 B の下アームのショート異常による過電流状態からモータ駆動回路 3 2 A および 3 2 B の各電界効果トランジスタ Q 1 ~ Q 6 を保護するには、図 1 5 に示すように、電源供給ラインおよび接地間に電流側路回路 8 0 A および 8 0 B を設けるようにしてもよい。

20

【 0 0 6 2 】

この電流側路回路 8 0 A および 8 0 B のそれぞれは、図 1 6 に示すように、モータ駆動回路 3 2 A および 3 2 B のバッテリー 2 2 からの電力が供給される電源ライン L p と接地との間に電界効果トランジスタ 8 1 および保護抵抗 8 2 の直列回路が介挿されている。ここで、保護抵抗 8 2 の抵抗値は、電界効果トランジスタ 8 1 がオン状態となって過電流が流れるときに、電界効果トランジスタ 8 1 が損傷しない程度の電流となるように設定されている。

そして、電界効果トランジスタ 8 1 のゲートに、上述した図 1 4 と同様の構成を有する過電流判定回路 7 4 の過電流判定信号 S o c が入力されている。ここで、過電流判定回路 7 4 は、過電流状態と判定した場合にハイレベルの過電流判定信号 S o c を電界効果トランジスタ 8 1 のベースに供給して、この電界効果トランジスタ 8 1 をオン状態とし、過電流状態ではないと判定した場合にローレベルの過電流判定信号 S o c を電界効果トランジスタ 8 1 のベースに供給して、この電界効果トランジスタ 8 1 をオフ状態とする。

30

【 0 0 6 3 】

したがって、電流側路回路 8 0 A および 8 0 B では、過電流判定回路 7 4 で過電流状態ではないと判定されたときには、ローレベルの過電流判定信号 S o c を出力して、電界効果トランジスタ 8 1 をオフ状態とするので、バッテリー 2 2 から供給されるバッテリー電流が側路されて低減されることなくモータ駆動回路 3 2 A および 3 2 B に供給される。

一方、過電流判定回路 7 4 で過電流状態と判定されたときには、ハイレベルの過電流判定信号 S o c を出力して、電界効果トランジスタをオン状態に出力するので、バッテリー 2 2 から供給される電流が電流側路回路 8 0 A および 8 0 B を通じて、電流保護抵抗 8 3 を介して接地に流れることになり、モータ駆動回路 3 2 A 又は 3 2 B に供給される電流量が低下されて、過電流による電界効果トランジスタ 8 1 およびモータ駆動回路 3 2 A 又は 3 2 B の電界効果トランジスタ Q 1 ~ Q 6 の損傷を確実に防止することができる。

40

【 0 0 6 4 】

さらに、上記図 1 3 および図 1 5 の構成では、スイッチ部を利用して過電流状態を抑制するようにしているが、図 1 7 に示すように、モータ駆動回路 3 2 A および 3 2 B におけるモータ電流遮断部 3 3 A および 3 3 B の 3 相電動モータ 1 2 側に保護抵抗又は保護コイルで構成される過電流抑制部 8 5 A および 8 5 B を配置するようにしてもよい。ここで、過電流抑制部 8 5 A および 8 5 B は、図 1 7 に示すように、モータ駆動回路 3 2 A および

50

3 2 B の双方に配置するようによき、図 1 8 に示すように、モータ電流遮断部 3 3 A および 3 3 B 間に 1 組の過電流抑制部 8 5 C を配置するようによき。

【 0 0 6 5 】

このように、過電流抑制部 8 5 A および 8 5 B を設けることにより、一方のモータ駆動回路 3 2 A 又は 3 2 B でショート異常が発生したときに、正常なモータ駆動回路 3 2 A (又は 3 2 B) からショート異常が発生したモータ駆動回路 3 2 B (又は 3 2 A) にモータ電流 $I_a \sim I_c$ が回り込んで 3 相電動モータ 1 2 へ供給するモータ電流に影響を与えることを確実に防止することができる。ここで、モータ駆動回路 3 2 A および 3 2 B に個別に過電流抑制部 8 5 A および 8 5 B を設ける場合には、モータ駆動回路 3 2 A 及び 3 2 B の回路定数を一致させることができ、モータ駆動回路 3 2 A 及び 3 2 B の設計時に回路定数のアンバランスを考慮する必要がなく、回路設計を容易に行うことができる。

10

【 0 0 6 6 】

また、上記実施形態においては、電流検出回路 3 9 A および 3 9 B の電流検出部を各スイッチングアーム $SWA_a \sim SWA_c$ 及び $SWB_a \sim SWB_c$ の接地側の接続部と接地との間に介挿した 1 つのシャント抵抗 5 2 A および 5 2 B で構成し、各シャント抵抗 5 2 A および 5 2 B の両端電圧をオペアンプ 3 9 a に供給し、このオペアンプ 3 9 a の出力信号をノイズフィルタ 3 9 b を介してサンプルホールド回路 3 9 c でサンプルホールドし、このサンプルホールド信号を A / D 変換部 3 1 c でデジタル信号に変換するようにしている。このとき、A / D 変換部 3 1 c でのサンプリング区間とモータ駆動回路 3 2 A および 3 2 B を構成する各電界効果トランジスタ $Q_1 \sim Q_6$ のパルス幅変調信号との関係の一例を図 1 9 に示す。この図 1 9 では、例えばスイッチングアーム SWA_a 及び SWB_a が最大デューティ相で、スイッチングアーム SWA_b および SWB_b が中間デューティ相であり、スイッチングアーム SWA_c および SWB_c が最小デューティ相であるものとする。

20

【 0 0 6 7 】

この場合には、最大デューティ相となるスイッチングアーム SWA_a および SWB_a では、パルス幅変調信号の 1 周期 (例えば $50 \mu s e c$) の開始時点 t_0 で上アームとなる電界効果トランジスタ Q_1 がオフ状態からオン状態に反転し、その後時点 t_2 で中間デューティ相となるスイッチングアーム SWA_b および SWB_b の上アームとなる電界効果トランジスタ Q_3 がオフ状態からオン状態に反転し、その後時点 t_3 で最小デューティ相となるスイッチングアーム SWA_c および SWB_c の上アームとなる電界効果トランジスタ Q_5 がオフ状態からオン状態に反転する。

30

【 0 0 6 8 】

その後、時点 t_4 で電界効果トランジスタ Q_5 がオン状態からオフ状態に反転し、時点 t_4 および t_5 間で電界効果トランジスタ Q_3 がオン状態からオフ状態に反転し、時点 t_5 で電界効果トランジスタ Q_1 がオン状態からオフ状態に反転する。

このそして、モータ駆動回路 3 2 A 及び 3 2 B の各電界効果トランジスタ $Q_1 \sim Q_6$ のゲート信号を形成するためには、一相の上アーム側の電界効果トランジスタ例えば Q_1 のみがオン状態となる時点 $t_0 \sim t_1$ 間のサンプリング区間 SP_1 と、二相の上アーム側の電界効果トランジスタのみがオン状態となる時点 t_2 および t_3 間のサンプリング区間 SP_3 でサンプルホールド回路 3 9 s から出力される電流検出値 I_{A2d} および I_{B2d} をサンプリングしてデジタル信号に変換する。

40

【 0 0 6 9 】

そして、制御演算装置 3 1 で、モータ電流の総和が零すなわち $I_a + I_b + I_c = 0$ となることを利用して各相モータ電流 I_a 、 I_b および I_c を検出することができる。このため、図 6 で前述した電圧指令値演算部 3 8 でモータ電流指令値 I_a^* 、 I_b^* および I_c^* と検出した各相モータ電流 I_a 、 I_b および I_c とに基づいて電流偏差 I_a 、 I_b および I_c を算出し、これらに対して P I 制御処理を施して電圧指令値 V_1^* および V_2^* を算出することができる。

【 0 0 7 0 】

また、モータ駆動回路 3 2 A および 3 2 B を構成する各電界効果トランジスタ $Q_1 \sim Q$

50

6の全てについてのオープン故障を制御演算装置31内に設けられたA/D変換部31cでA/D変換したデジタル電流検出信号から検出する場合に、ステアリングホイール1が操舵されて3相電動モータ12が回転駆動されているときには、パルス幅変調信号の1周期の間の最大デューティ相、中間デューティ相及び最小デューティ相となるスイッチングアームSWAa~SWAcおよびSWBa~SWBcが順次変化するので、A/D変換部31cから出力されるサンプリング区間SP1及びSP3でサンプリングしたサンプルホールド出力に基づくデジタル電流検出値IA1dおよびIB1dさらにIA2dおよびIB2dを比較することにより、各電界効果トランジスタQ1~Q6のオープン故障を検出することができる。

【0071】

10

しかしながら、ステアリングホイール1が保舵状態にあるときには、3相電動モータ12で操舵補助トルクを発生しているが、3相電動モータ12自体は回転しないので、パルス幅変調信号の1周期の間の最大デューティ相、中間デューティ相及び最小デューティ相が例えば図19の状態に固定されてしまう。したがって、図19の状態では、最大デューティ相となるスイッチングアームSWAa及びSWBaの下アームとなる電界効果トランジスタQ2の何れかにオープン故障が発生した場合や、最小デューティ相となるスイッチングアームSWAcおよびSWBcの上アームとなる電界効果トランジスタQ5の何れかにオープン故障が発生した場合には、A/D変換回路のサンプリング区間SP1及びSP3内にオン状態となることがないので、オープン故障を検出できないことになる。

【0072】

20

このため、本実施形態では、A/D変換部31cでのサンプリング区間SP1およびSP3に、時点t3~t4間のサンプリング区間SP4と時点t5~t6間のサンプリング区間SP6とを加えることにより、最大デューティ相の下アームとなる電界効果トランジスタのオン状態、最小デューティ相の上アームとなる電界効果トランジスタのオン状態でのデジタル電流検出値を得ることが可能となる。

したがって、電流検出回路39A1および39B1又は39A2および39B2で検出した電流検出値IA1dおよびIB1d又はIA2dおよびIB2dのデジタル電流検出値を比較することにより、最大デューティ相の下アームとなる電界効果トランジスタ及び最小デューティ相の上アームとなる電界効果トランジスタのオープンの故障を確実に検出することができる。このA/D変換回路39dでのサンプリング区間SP4およびSP6の追加は、ステアリングホイール1が保舵状態となっている状態すなわち回転位置センサ13aからの回転位置検出値の変化がないとき又は変化が僅かであるときに行えばよい。

30

【0073】

上記の理由から、A/D変換回路39dのサンプリング区間を増加させる場合に代えて、回転位置センサ13aからの回転位置検出値の変化がないときに又は変化が僅かである場合に、運転者に違和感を抱かせない程度に3相電動モータ12を時計方向及び反時計方向に微動させるように例えば図20に示す指令値補正部75で微動補正值を加算器36に出力するようにして、保舵による3相電動モータ12の回転停止状態が生じないようにするようによい。

また、上記実施形態においては、異常診断部31bの異常検出部31aでモータ駆動回路32Aおよび32Bのスイッチング素子Q1~Q6のオープン故障およびショート故障を検出する場合について説明したが、これに限定されるものではない。異常診断部31bでモータ駆動回路32Aおよび32Bのモータ電流遮断部33Aおよび33Bと電源遮断部44A, 44A および44B, 44B の動作異常を検出することもできる。

40

【0074】

この場合には、モータ駆動回路32Aに、図21に示すように、シャント抵抗51Aと電界効果トランジスタQ1、Q3およびQ5間に入力電圧VR1を検出する入力電圧検出回路100Aを介挿する。同様に、モータ駆動回路32Bに、図21に示すように、シャント抵抗51Bと電界効果トランジスタQ1、Q3およびQ5間に入力電圧VR2を検出する入力電圧検出回路100Bを介挿する。

50

そして、制御演算装置 31 の異常診断部 31 b は、図 22 に示すように、電流遮断診断部 101 と、駆動状態判定部 102 とを備えている。そして、電流遮断診断部 101 は、
【0075】

第 1 の診断部 101 a、第 2 の診断部 101 b 及び第 3 の診断部 101 c を備えている。

第 1 の診断部 101 a は、モータ電流遮断診断部を兼ねており、モータ電流遮断部 33 A 又は 33 B を一時的に遮断状態としてモータ電流遮断部 33 A 又は B の動作状態を診断する。

第 2 の診断部 101 b は、電源遮断部 44 A, 44 A 又は 44 B, 44 B を一時的に遮断状態として電源遮断部の 44 A, 44 A 又は 44 B, 44 B の動作状態を診断する。

第 3 の診断部 101 c は、モータ遮断部 33 A 又は 33 B と電源遮断部 44 A, 44 A 又は 44 B, 44 B を一時的に遮断状態としてモータ遮断部 33 A 又は 33 B と電源遮断部 44 A, 44 A 又は 44 B, 44 B の動作状態を診断する。

【0076】

そして、制御演算装置 31 の異常診断部 31 b は、図 23 で示すように、3相電動モータの駆動制御中に、図 23 に示す電流遮断診断処理を所定時間（例えば 1 秒）毎のタイマ割込処理として実行する。

この電流遮断診断処理は、先ず、ステップ S1 で、前回の診断時点から所定時間（例えば 1 分）が経過したか否かを判定し、所定時間が経過していないときにはそのまま電流遮断診断処理を終了し、所定時間が経過したときにはステップ S2 に移行する。

このステップ S2 では、3相電動モータ 12 にモータ電流 $I_a \sim I_c$ が流れて高トルク状態であるかモータ電流が“0”に近い状態の低トルク状態であるかを判定する。この判定は、電流指令値 I^* の絶対値が所定値以上、相電流指令値 $I_a^* \sim I_c^*$ の最大値の絶対値が所定値以上および電流検出値 $I_a d \sim I_c d$ が所定値以上であるときに、高トルク状態と判定し、そうでないときに低トルク状態と判定する。

【0077】

このステップ S2 の判定結果が、モータ電流 $I_a \sim I_c$ が流れて高トルク状態であるときには、ステップ S3 に移行して、モータ駆動回路 32 A におけるモータ電流遮断部の動作状態を上側電流検出値 I_{A1d} 及び下側電流検出値 I_{A2d} に基づいて診断するモータ電流遮断部電流診断処理を実行してからステップ S4 に移行する。

このステップ S4 では、モータ駆動回路 32 A における電源遮断部 44 A, 44 A の動作状態を上側電流検出値 I_{A1d} 及び下側電流検出値 I_{A2d} に基づいて診断する電源遮断部電流診断処理を実行してからステップ S5 に移行する。

このステップ S5 では、モータ駆動回路 32 B におけるモータ電流遮断部の動作状態上側電流検出値 I_{B1d} 及び下側電流検出値 I_{B2d} に基づいて診断するモータ電流遮断部電流診断処理を実行してからステップ S6 に移行する。

このステップ S6 では、モータ駆動回路 32 B における電源遮断部 44 B, 44 B の動作状態を上側電流検出値 I_{B1d} 及び下側電流検出値 I_{B2d} に基づいて診断する電源遮断部電流診断処理を実行してからタイマ割込処理を終了して所定のメインプログラムに復帰する。

【0078】

また、前記ステップ S2 の判定結果が、モータ電流が流れていないか少ない低トルク状態であるときには、ステップ S7 に移行して、モータ駆動回路 32 A におけるモータ電流遮断部 33 A および電源遮断部 44 A, 44 A の動作状態を入力電圧検出回路 100 A で検出する入力電圧 V_{R1} に基づいて診断する電流遮断部電圧診断処理を実行してからステップ S8 に移行する。

このステップ S8 では、モータ駆動回路 32 B におけるモータ電流遮断部 33 B および電源遮断部 44 B, 44 B の動作状態を入力電圧検出回路 100 B で検出する入力電圧 V_{R2} に基づいて診断する電流遮断部電圧診断処理を実行してからタイマ割込処理を終了

10

20

30

40

50

して所定のメインプログラムに復帰する。

【0079】

ここで、図23におけるステップS3のモータ電流遮断部電流診断処理は、図24に示すように、先ず、ステップS11で、モータ駆動回路32Aのモータ電流遮断部33Aの各電界効果トランジスタをQA1～QA3をオフ状態に制御してからステップS12に移行する。

このステップS12では、電流検出回路39A1および39A2の上側電流検出値IA1dおよびIA2dを読み込んで電流が流れている通電状態であるか非通電状態であるかを判定する。

このステップS12の判定結果が、非通電状態であるときには、ステップS13に移行して、モータ電流遮断部33Aの電界効果トランジスタQA1～QA3が正常であるものと判断してからステップS14に移行して、モータ電流遮断部33Aの各電界効果トランジスタQA1～QA3をオン状態に復帰させてから図22のステップS4に移行する。

【0080】

一方、ステップS12の判定結果が、通電状態であるときには、ステップS15に移行して、モータ電流遮断部33Aの電界効果トランジスタQA1～QA3の何れか1つ又は複数にショート故障が生じているものと判断してからステップS16に移行する。

このステップS16では、論理値“1”の異常検出信号SAaをゲート駆動回路41Aに出力する異常時処理を実行し、インバータ回路42Aの電界効果トランジスタQ1～Q6をオフ状態とし、且つモータ電流遮断部33Aの各電界効果トランジスタQA1～QA3をオフ状態とするとともに、電源遮断部44Aおよび44Aを構成する電界効果トランジスタをオフ状態としてから図23のステップS4に移行する。

したがって、前述した実施形態におけるモータ駆動回路32Aに異常が検出された場合と同様の正常なモータ駆動回路32Bを使用して、正常時と遜色のない操舵補助特性を発揮することができる。

【0081】

この図24の処理において、ステップS12の判定は、上記に限定されるものではなく、上側電流検出値IA1dと下側電流検出値IA2dとが不一致であるか否かを判定するようにしてもよい。

なお、この図24の処理が第1の診断部101aに対応している。

また、図22におけるステップS4の電源遮断部電流診断処理は、図25に示すように、先ず、ステップS21で、モータ駆動回路32Aの電源遮断部44Aおよび44Aをオフ状態に制御してからステップS22に移行する。

このステップS22では、電流検出回路39A1および39A2の上側電流検出値IA1dおよびIA2dを読み込んで電流が流れている通電状態であるか非通電状態であるかを判定する。

【0082】

このステップS22の判定結果が、非通電状態であるときには、ステップS23に移行して、電源遮断部44Aおよび44Aを構成する電界効果トランジスタが正常であるものと判断してからステップS24に移行して、電源遮断部44Aおよび44Aを構成する各電界効果トランジスタをオン状態に復帰させてから図22のステップS5に移行する。

一方、ステップS22の判定結果が、通電状態であるときには、ステップS25に移行して、電源遮断部44Aおよび44Aの電界効果トランジスタの何れか1つ又は双方にショート故障が生じているものと判断してからステップS26に移行する。

【0083】

このステップS26では、論理値“1”の異常検出信号SAaをゲート駆動回路41Aに出力して、ゲート駆動回路41Aに出力する異常時処理を実行し、インバータ回路42Aの電界効果トランジスタQ1～Q6をオフ状態とし、且つモータ電流遮断部33Aの各電界効果トランジスタQA1～QA3をオフ状態とするとともに、電源遮断部44Aおよ

10

20

30

40

50

び44Aを構成する電界効果トランジスタをオフ状態としてから図23のステップS5に移行する。

したがって、前述した実施形態におけるモータ駆動回路32Aに異常が検出された場合と同様の正常なモータ駆動回路32Bを使用して、正常時と遜色のない操舵補助特性を発揮することができる。

この図25の処理において、ステップS22の判定は、上記に限定されるものではなく、上側電流検出値IA1dと下側電流検出値IA2dとが不一致であるか否かを判定するようにしてもよい。

なお、この図25の処理が第2の診断部101bに対応している。

【0084】

10

また、図23のステップS5のモータ電流遮断部電流診断処理及びS6の電源遮断部電流診断処理は上述した図24および図25の処理において、モータ駆動回路32Aに対する動作をモータ駆動回路32Bに対する動作に置換すれば良いので、図示及び詳細説明は省略する。

さらに、図23におけるステップS7の電流遮断部電圧診断処理は、図26に示すように、まず、ステップS31で、モータ駆動回路32Aのモータ電流遮断部33Aの各電界効果トランジスタQA1～QA3をオフ状態とするとともに、電源遮断部44Aおよび44Aを構成する電界効果トランジスタをオフ状態としてからステップS32に移行する。

【0085】

20

このステップS32では、入力電圧検出回路100Aで検出した入力電圧VR1を読み込み、この入力電圧VR1が低下しているか否かを判定する。

このステップS32の判定結果が、入力電圧VR1が低下しているときには、ステップS33に移行して、モータ電流遮断部33Aの各電界効果トランジスタQA1～QA3が正常であるとともに、電源遮断部44Aおよび44Aを構成する電界効果トランジスタが正常であると判断してステップS34に移行する。

このステップS34では、モータ駆動回路32Aのモータ電流遮断部33Aの各電界効果トランジスタQA1～QA3と電源遮断部44Aおよび44Aを構成する電界効果トランジスタとをともにオン状態に復帰させてから図23のステップS8に移行する。

【0086】

30

一方、ステップS32の判定結果が、入力電圧VR1が低下しない場合には、ステップS35に移行して、モータ電流遮断部33Aの電界効果トランジスタQA1～QA3の何れか1つ又は複数にショート故障が発生したか又は電源遮断部44Aにショート故障が発生したものと判断してステップS36に移行する。

このステップS36では、前述した図24のステップS16と同様に、論理値“1”の異常検出信号SAaをゲート駆動回路41Aに出力して、ゲート駆動回路41Aに出力する異常時処理を実行し、インバータ回路42Aの電界効果トランジスタQ1～Q6をオフ状態とし、且つモータ電流遮断部33Aの各電界効果トランジスタQA1～QA3をオフ状態とするとともに、電源遮断部44Aおよび44Aを構成する電界効果トランジスタをオフ状態としてから図23のステップS8に移行する。

40

したがって、前述した実施形態におけるモータ駆動回路32Aに異常が検出された場合と同様の正常なモータ駆動回路32Bを使用して、正常時と遜色のない操舵補助特性を発揮することができる。

【0087】

この図26の処理において、ステップS32の判定処理は、入力電圧VR1の低下を判定する場合に限らず、入力電圧VR1がモータ駆動回路32Bの入力電圧VR2より低いか又はバッテリー22の電源電圧より低いかを判定するようにしてもよい。

この図26の処理が第3の診断部101cに対応している。

また、図23のステップS8の電流遮断部電圧診断処理及は上述した図26の処理において、モータ駆動回路32Aに対する動作をモータ駆動回路32Bに対する動作に置換す

50

れば良いので、図示及び詳細説明は省略する。

【0088】

このように、モータ電流遮断部33Aおよび33Bと電源遮断部44A, 44A及び44B, 44Bとの何れかにショート故障が発生した場合には、異常診断部31bで実行する電流遮断異常診断処理で、該当するモータ駆動回路32A又は32Bのモータ電流遮断部33A又は33Bと電源遮断部44A, 44A又は44B, 44Bとを遮断することができる。したがって、図21~図26の構成によると、前述した実施形態におけるモータ駆動回路32Aに異常が検出された場合と同様の正常なモータ駆動回路32Bを使用して、正常時と遜色のない操舵補助特性を発揮することができる。

このとき、モータ駆動回路32Aの異常が検出された段階で、警報回路50に警報信号Sw aが出力されることにより、運転者にモータ駆動回路32Aの異常を報知して、最寄りの修理点検ステーションへの立ち寄りを促すことができる。

【0089】

なお、図21~図26の異常診断処理では、モータ電流遮断部電流診断処理、電源遮断部電流診断処理、電流遮断部電圧診断処理を行う場合について説明したが、これに限定されるものではなく、各モータ駆動回路32Aおよび32Bのそれぞれに対して、モータ電流遮断部電流診断処理、電源遮断部電流診断処理、電流遮断部電圧診断処理のうちの一つ又は二つを実行するようにしてもよい。

また、上記実施形態においては、電流検出回路39Aおよび39Bを各インバータ回路毎に2つのシャント抵抗51A, 52Aおよび51B, 52Bを使用してモータ電流の検出を行う場合について説明したが、これに限定されるものではない。すなわち、本発明では、モータ駆動回路32Aおよび32Bの各相スイッチングアームSWA a~SWA c及びSWB a~SWB cの接地側に個別にシャント抵抗を介挿して、各相のモータ電流を検出したり、3つのシャント抵抗のうち一つを省略して省略した相のモータ電流を演算で算出したりするようにしてもよい。

【0090】

また、上記実施形態においては、制御演算装置31がA/D変換部31cを内蔵している場合について説明したが、これに限定されるものではなく、電流検出回路39A1, 39A2および39B1, 39B2の出力側にA/D変換部を設けるようにしてもよい。

また、上記実施形態においては、モータ回転角検出回路13がレゾルバを使用した構成である場合について説明したが、このモータ回転角検出回路13についても、図27に示すように、バックアップ制御を行っている。

すなわち、モータ回転角検出回路13の具体的構成は、図27に示すように、メインモータ回転角検出回路86と、サブモータ回転角検出回路87と、これらメインモータ回転角検出回路86およびサブモータ回転角検出回路87から出力されるモータ回転角m1およびm2を選択する回転角選択部88とを備えている。

【0091】

メインモータ回転角検出回路86は、3相電動モータ12の回転角を検出するレゾルバ86Aと、このレゾルバ86Aから出力される3相電動モータ12の回転角に応じたsin信号およびcos信号に基づいてモータ回転角mを演算する角度演算部86Bと、レゾルバ86Aおよび角度演算部86Bの異常を検出し、異常検出信号SA rを出力する異常検出部86Cとを備えている。

また、サブモータ回転角検出回路87は、モータ電流検出値Imと、モータ電圧検出値Vmと、前述した図2における出力側回転角センサ3cから出力される出力軸角度検出信号osが入力されている。

このサブモータ回転角検出回路87は、モータ電流検出値Imおよびモータ電圧検出値Vmに基づいて逆起電圧EMFを算出し、算出した逆起電圧EMFに基づいてモータ回転角mを推定する第1のモータ回転角推定部87Aと、出力軸角度検出信号osに基づいてモータ回転角mを推定する第2のモータ回転角推定部87Bと、第1のモータ回転角推定部87Aおよび第2のモータ回転角推定部87Bのモータ回転角推定値me1お

10

20

30

40

50

よび $m e 2$ を選択する選択部 87C とを備えている。

【0092】

ここで、選択部 87C は、第 1 のモータ回転角推定部 87A で算出した逆起電圧 $E M F$ が入力され、逆起電圧 $E M F$ が所定閾値以上であるときには第 1 のモータ回転角推定部 87A で推定したモータ回転角推定値 $m e 1$ を選択し、逆起電圧 $E M F$ が所定閾値未満であるときには第 2 のモータ回転角推定部 87B で推定したモータ回転角推定値 $m e 2$ を選択してモータ回転角 $m 2$ として出力する。

また、回転角選択部 88 は、メインモータ回転角検出回路 86 の異常検出部 86C から出力される異常検出信号 $S A r$ が異常なしを表す論理値 “0” であるときに、メインモータ回転角検出回路 86 から出力されるモータ回転角 $m 1$ を選択してモータ回転角 m として前述した制御演算装置 31 に出力し、異常検出信号 $S A r$ が異常ありを表す論理値 “1” であるときに、サブモータ回転角検出回路 87 から出力されるモータ回転角 $m 2$ を選択してモータ回転角 m として制御演算装置 31 に出力する。

【0093】

このように、モータ回転角検出回路 13 をメインモータ回転角検出回路 86 とサブモータ回転角検出回路 87 と、回転角選択部 88 とで構成することにより、メインモータ回転角検出回路 86 が正常であるときには、このメインモータ回転角検出回路 86 から出力される高精度のモータ回転角 $m 1$ をモータ回転角 m として制御演算装置 31 に出力する。そして、メインモータ回転角検出回路 86 に異常が発生した場合には、サブモータ回転角検出回路 87 で推定したモータ回転角推定値 $m e 1$ 又は $m e 2$ をモータ回転角 m として制御演算装置 31 に出力する。

【0094】

さらに、サブモータ回転角検出回路 87 では、3 相電動モータ 12 のモータ巻線 $L a \sim L c$ で発生する逆起電圧 $E M F$ が所定閾値以上となるモータ回転速度が高い状態では、逆起電圧 $E M F$ に基づいてモータ回転角を推定する第 1 のモータ回転角推定部 87A で推定したモータ回転角推定値 $m e 1$ を選択し、逆起電圧 $E M F$ が所定閾値未満となるモータ回転速度が低い領域では、逆起電圧 $E M F$ に基づいて推定するモータ回転角推定値 $m e 1$ の推定精度が低下するので、第 2 のモータ回転角推定部 87B で出力軸角度検出信号 $o s$ に基づいて推定したモータ回転角推定値 $m e 2$ を選択する。

【0095】

これにより、メインモータ回転角検出回路 86 に異常が生じたときに、サブモータ回転角検出回路 87 で最低限必要な精度を確保しながらモータ回転角を求めることができる。

また、上記実施形態では、操舵トルクセンサ 3 が図 2 に示すように入力側回転角センサ 3b と出力側回転角センサ 3c とを備えているので、図 2 に示すように入力軸 2a 側に操舵角センサ 91 を設けることにより、この操舵角センサ 91 の操舵角検出信号 s と、出力側回転角センサ 3c で検出される出力軸角度検出信号 $o s$ とに基づいて絶対操舵角 $a b$ を検出することができる。

【0096】

すなわち、操舵角センサ 91 で、図 28 (a) に示すように、ステアリングホイール 1 の 296 deg 周期の鋸歯状波でなる操舵角検出信号 s を出力させ、出力側回転角センサ 3c で検出される出力軸 2b の 40 deg 周期の鋸歯状波でなる出力軸角度検出信号 $o s$ を出力させる。これら操舵角検出信号 s と、出力軸角度検出信号 $o s$ とが一致する操舵角は 1480 deg となる。そして、出力軸角度検出信号 $o s$ が操舵角検出信号 $s = 1480 \text{ deg}$ 内のどの位置 (1 個目 ~ 37 個目) にあるのかをバーニア演算することにより、図 28 (b) に示すように、絶対操舵角 $a b$ を求めることができる。

【0097】

このためには、図 29 に示すように、2 系統のトルクセンサ 3A および 3B を配置し、両トルクセンサ 3A および 3B から出力される入力軸回転角検出信号 $i s$ および出力軸角度検出信号 $o s$ をバーニア演算部 92 に供給するとともに、操舵角センサ 91 で検出した操舵角検出信号 s をバーニア演算部 92 に供給し、このバーニア演算部 92 でイグ

10

20

30

40

50

ニッションスイッチがオン状態となった直後に 1 回バーニア演算を行って初期操舵角 $i_{n i t}$ を算出する。さらに、トルクセンサ 3 A および 3 B から出力される出力軸角度検出信号 $o s$ を平均化回路 9 3 で平均値を算出し、この平均値の変化量を積算回路 9 4 で積算して積算値を算出し、算出した積算値をバーニア演算部 9 2 で算出した初期操舵角 $i_{n i t}$ に加算することにより、絶対値操舵角 $a b$ を算出する。

【0098】

また、上記実施形態においては、電動モータが 3 相電動モータである場合について説明したが、これに限定されるものではなく、4 相以上の多相電動モータにも本発明を適用することができる。

また、上記各実施形態においては、本発明によるモータ制御装置を電動パワーステアリング装置に適用した場合について説明したが、これに限定されるものではなく、電動ブレーキ装置、ステアパイワイヤシステム、車両走行用のモータ駆動装置等の電動モータを使用する任意のシステムに本発明を適用することができる。

10

【符号の説明】

【0099】

- 1 ステアリングホイール
- 2 ステアリングシャフト
- 3 操舵トルクセンサ
- 3 a トーションバー
- 3 b 入力側回転角センサ
- 3 c 出力側回転角センサ
- 8 ステアリングギヤ
- 10 操舵補助機構
- 12 3 相電動モータ
- L a A 相モータ巻線
- L b B 相モータ巻線
- L c C 相モータ巻線
- L 1、L 2、L 3 コイル部
- 20 モータ制御装置
- 21 車速センサ
- 22 バッテリー
- 31 制御演算装置
- 32 A 第 1 のモータ駆動回路
- 32 B ... 第 2 のモータ駆動回路
- 33 A 第 1 のモータ電流遮断回路
- 33 B 第 2 のモータ電流遮断回路
- 34 操舵補助電流指令値演算部
- 35 補償制御演算部
- 36 加算器
- 37 d - q 軸電流指令値演算部
- 38 電圧指令値演算部
- 39 A 1、39 A 2、39 B 1、39 B 2 電流検出回路
- 40 A、40 B 電圧検出回路
- 41 A、41 B ゲート駆動回路
- 42 A、42 B インバータ回路
- 44 A、44 B 電源遮断部
- 50 警報回路
- 61 加算器
- 62 電流フィードバック制御器
- 63 加算器

20

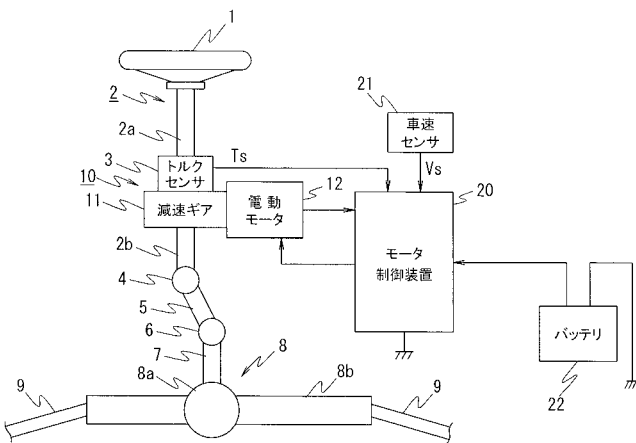
30

40

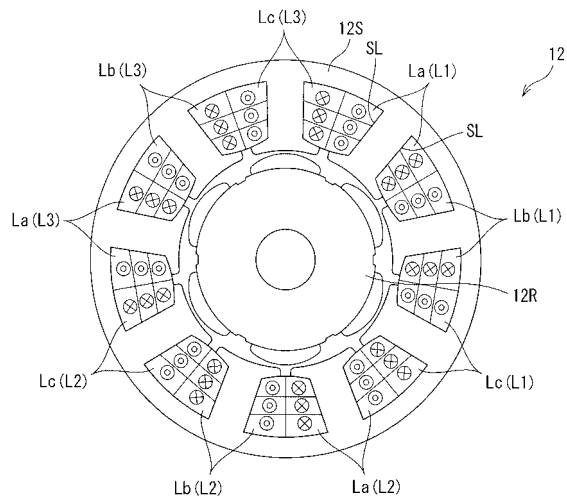
50

- 6 4 逆起電圧補償器
- 6 5 減算器
- 7 0 A、7 0 B 過電流時遮断回路
- 7 1 アンド回路
- 7 2 最大値選択回路
- 7 3 増幅器
- 7 4 過電流判定回路
- 7 5 指令値補正部
- 8 0 A、8 0 B 電流側路回路
- 8 1 電界効果トランジスタ
- 8 2 保護抵抗
- 8 5 A、8 5 B 過電流抑制部
- 8 6 メインモータ回転角検出回路
- 8 7 サブモータ回転角検出回路
- 8 8 角度選択部
- 9 1 操舵角センサ
- 9 2 パーニア演算部
- 9 3 平均化回路
- 9 4 積算回路

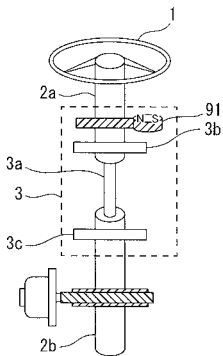
【 図 1 】



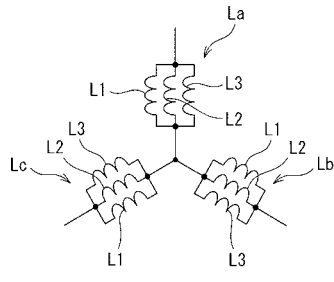
【 図 3 】



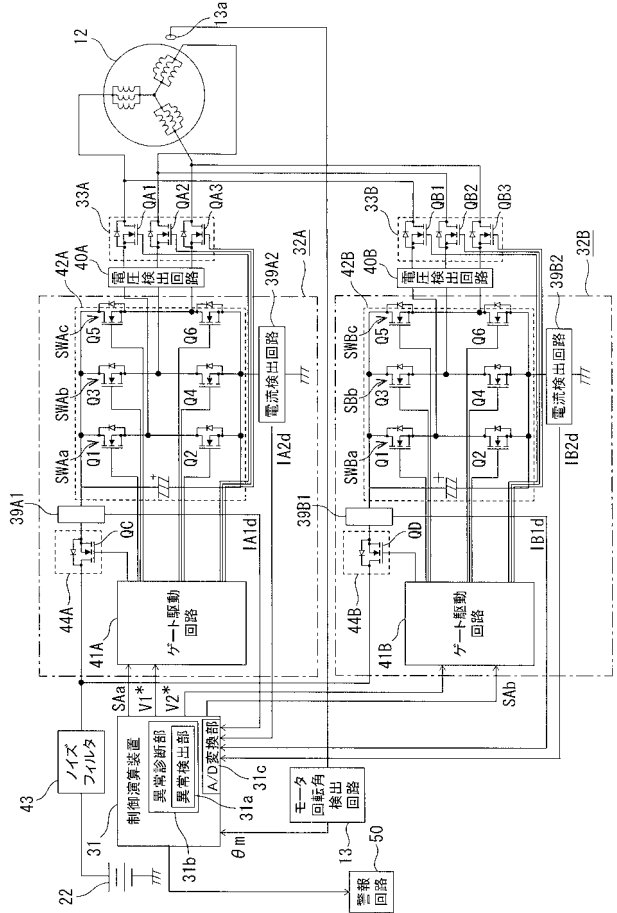
【 図 2 】



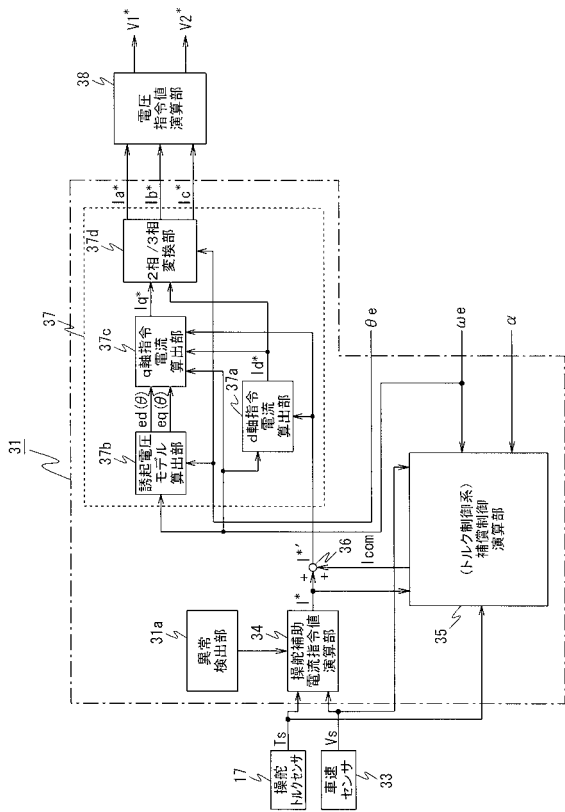
【 図 4 】



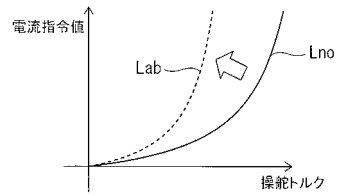
【 図 5 】



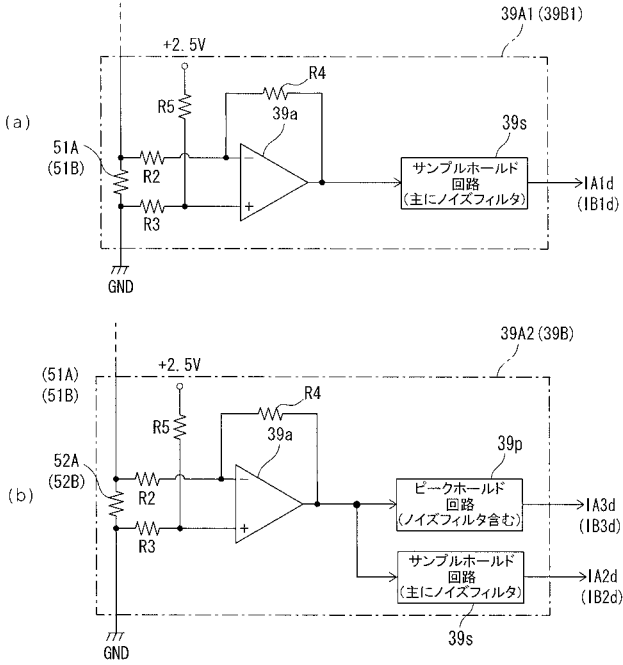
【 図 6 】



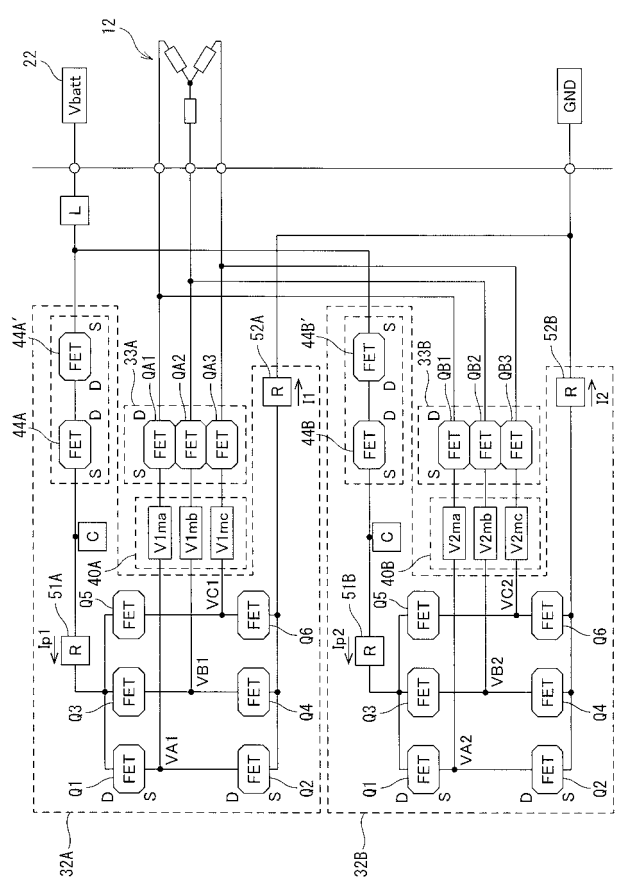
【 図 7 】



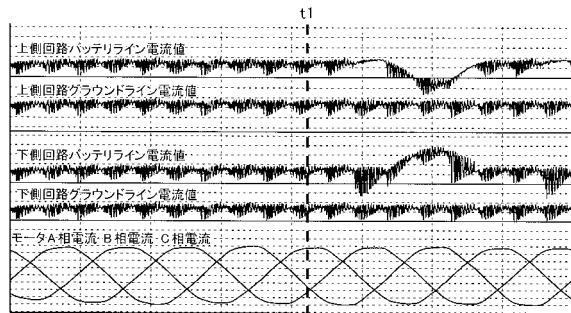
【 図 8 】



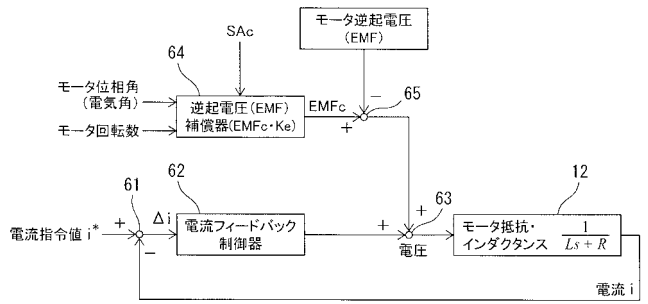
【 図 9 】



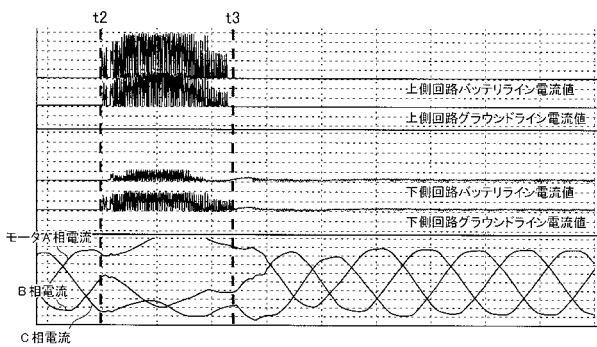
【 図 10 】



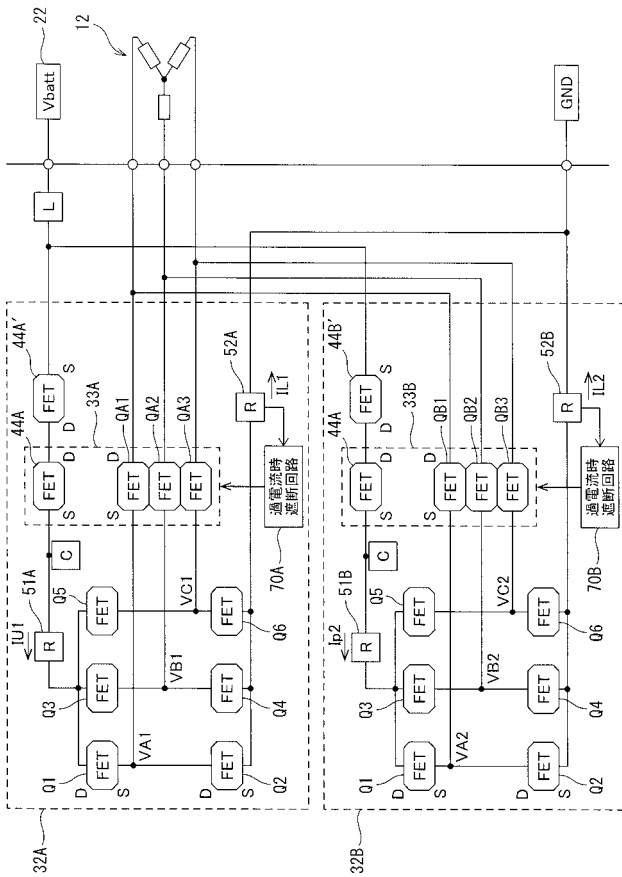
【 図 12 】



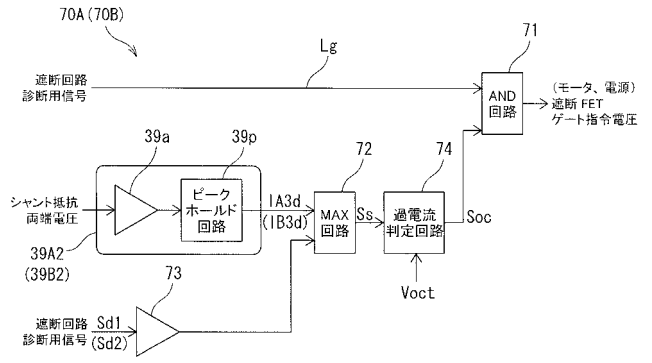
【 図 11 】



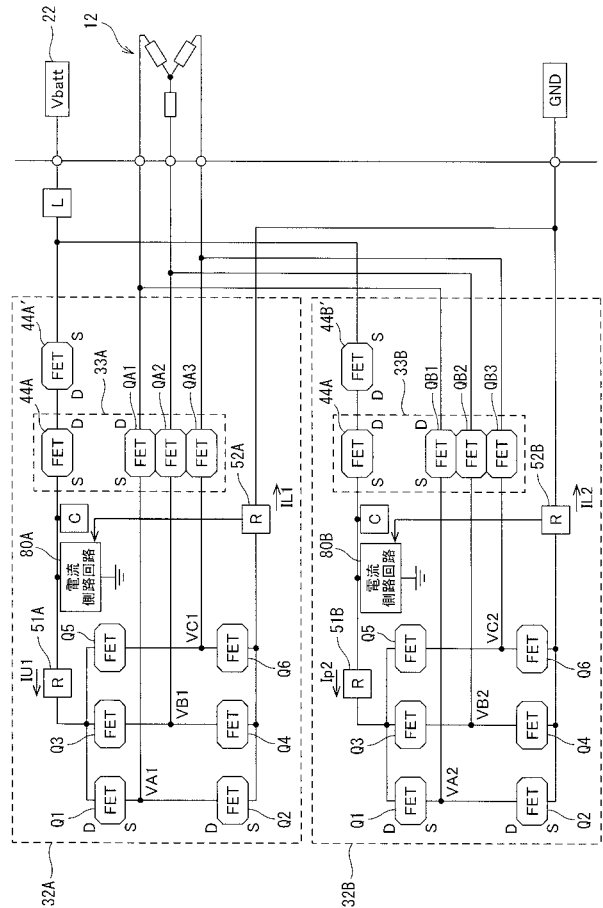
【図 1 3】



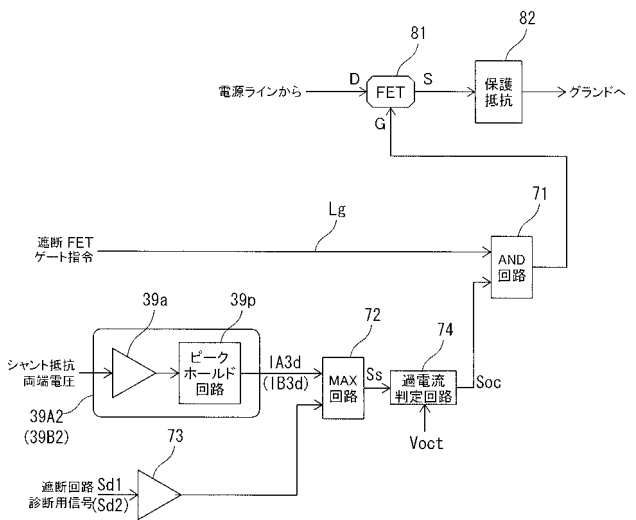
【図 1 4】



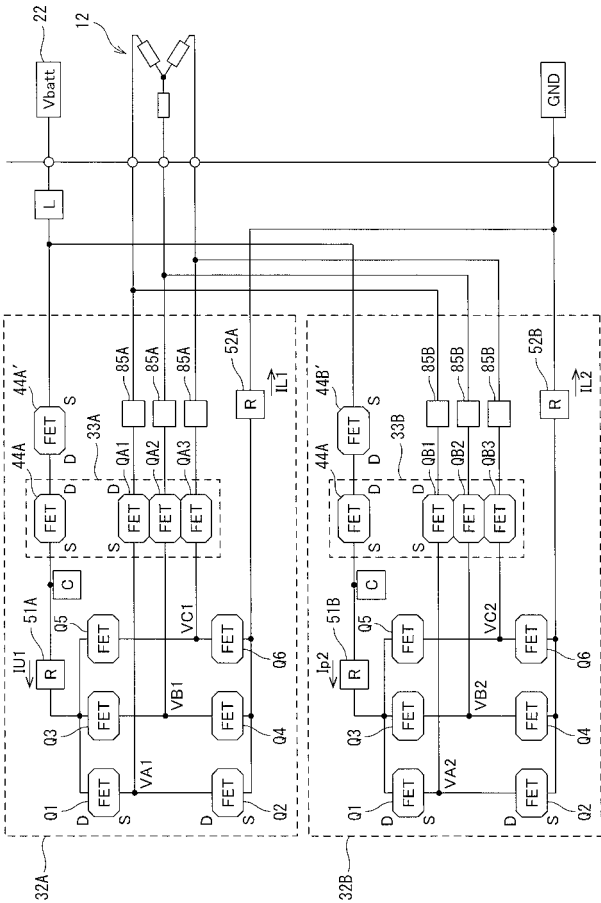
【図 1 5】



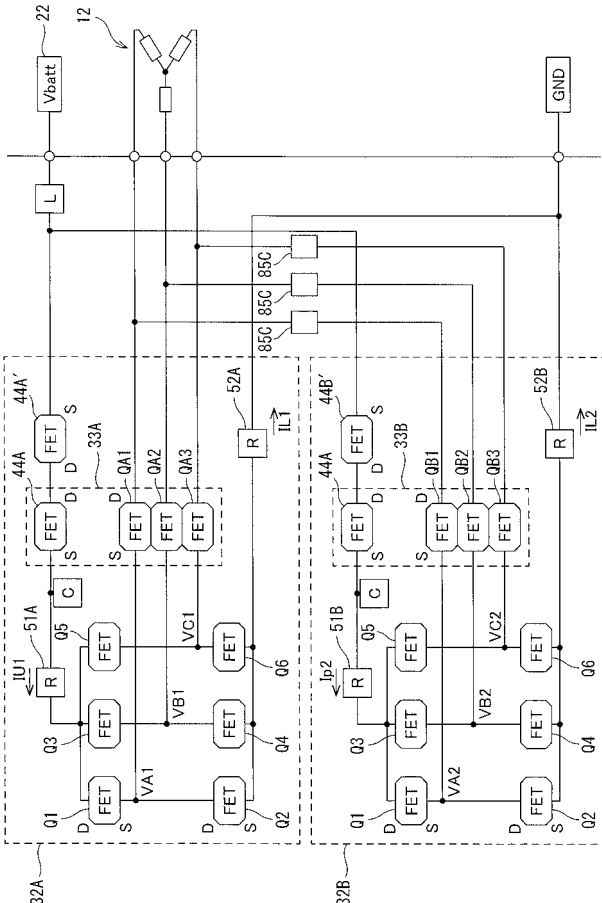
【図 1 6】



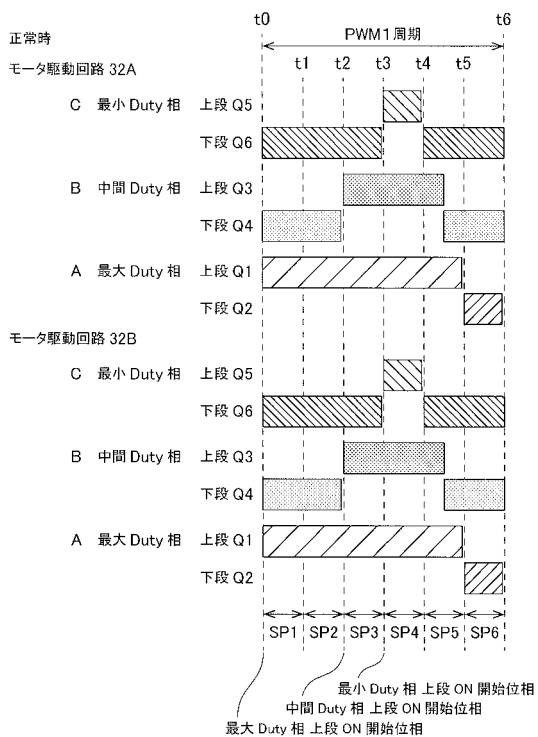
【図 17】



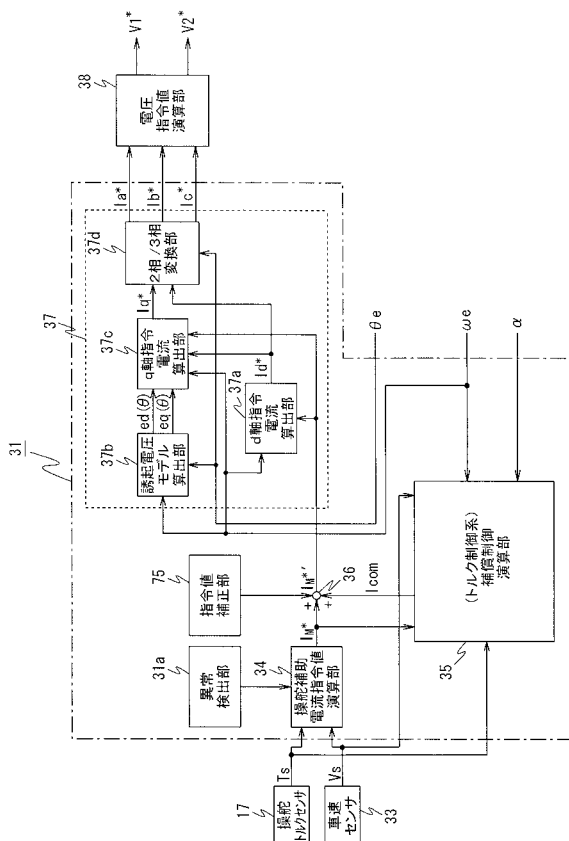
【図 18】



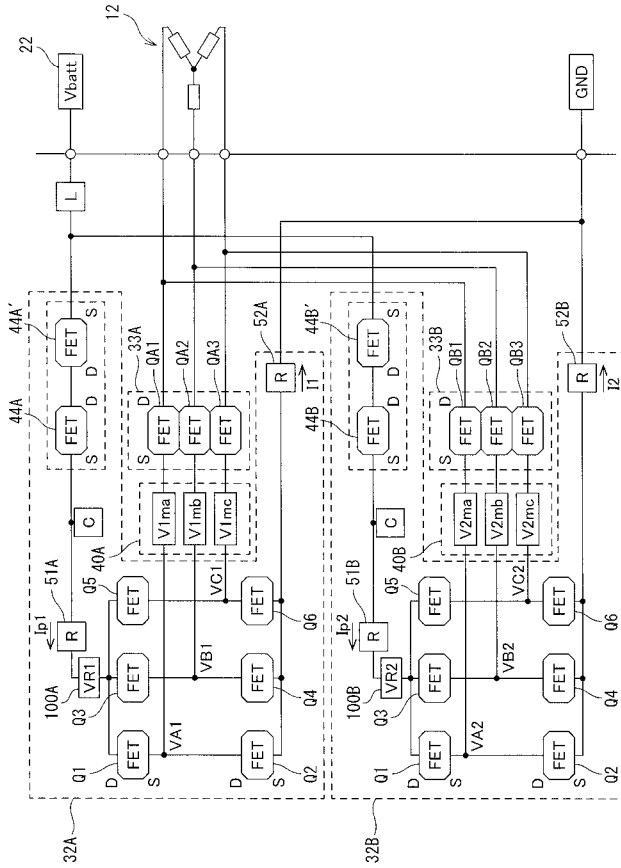
【図 19】



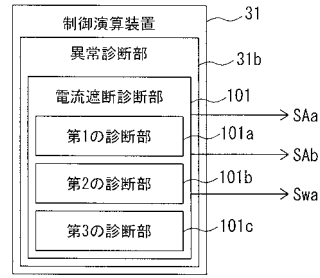
【図 20】



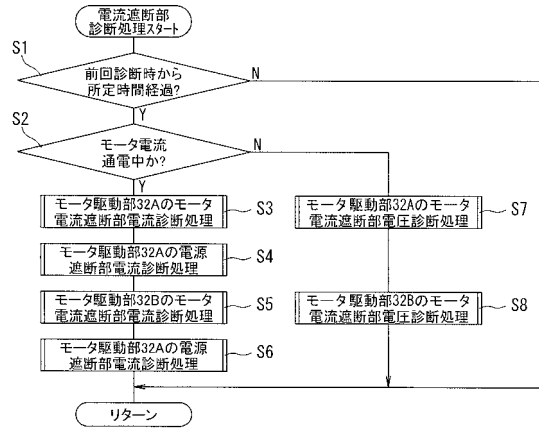
【図 2 1】



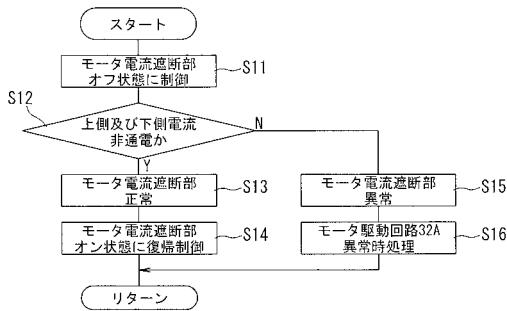
【図 2 2】



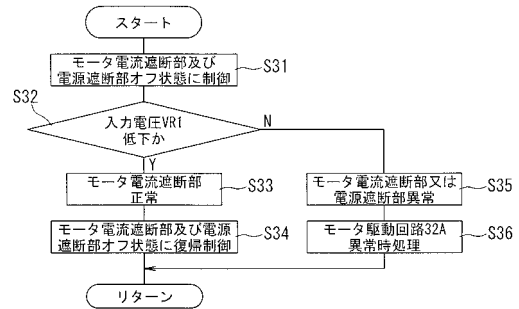
【図 2 3】



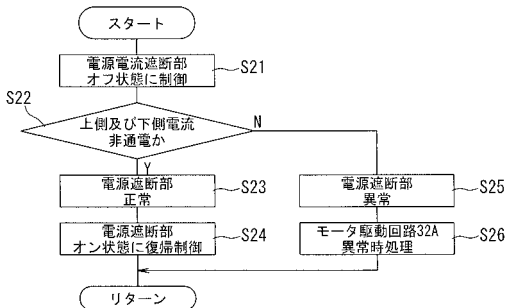
【図 2 4】



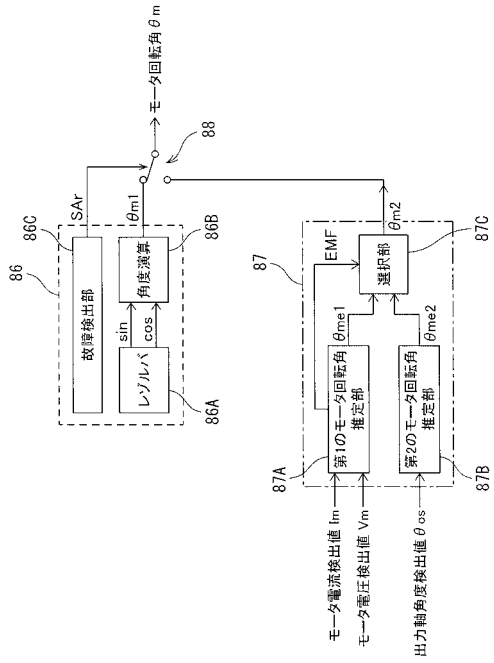
【図 2 6】



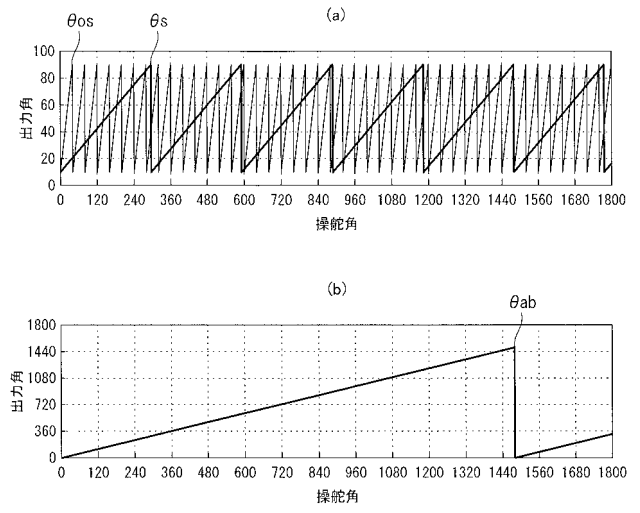
【図 2 5】



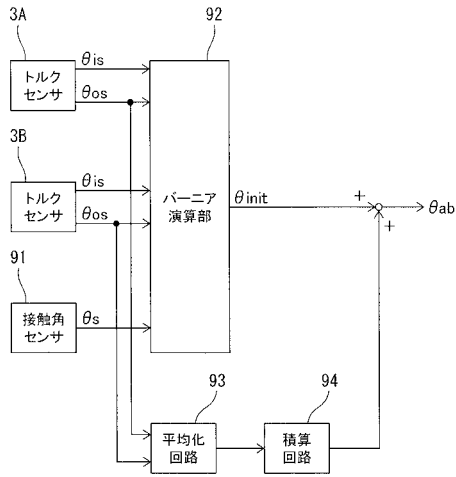
【 図 2 7 】



【 図 2 8 】



【 図 2 9 】



フロントページの続き

(72)発明者 関根 孝明

神奈川県藤沢市鵜沼神明一丁目5番50号 日本精工株式会社内

(72)発明者 仙波 剛

群馬県前橋市鳥羽町78番地 日本精工株式会社内

(72)発明者 遠藤 修司

群馬県前橋市鳥羽町78番地 日本精工株式会社内

Fターム(参考) 5H501 AA20 CC01 DD04 EE08 HB07 LL51 MM11

5H505 AA16 CC01 DD03 DD06 EE41 HB01 LL54 MM01 MM13