

(12) 特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局

(43) 国際公開日
2015年2月19日(19.02.2015)



(10) 国際公開番号
WO 2015/022718 A1

- (51) 国際特許分類:
H02P 29/00 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2013/007354
- (22) 国際出願日: 2013年12月13日(13.12.2013)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (30) 優先権データ:
特願 2013-167859 2013年8月12日(12.08.2013) JP
特願 2013-211071 2013年10月8日(08.10.2013) JP
- (71) 出願人: 日本精工株式会社(NSK LTD.) [JP/JP]; 〒1418560 東京都品川区大崎一丁目6番3号 Tokyo (JP).
- (72) 発明者: 森 堅吏(MORI, Kenji); 〒2518501 神奈川県藤沢市鶴沼神明一丁目5番50号 日本精工株式会社内 Kanagawa (JP). 田上 耕太郎(TAGAMI, Kotaro); 〒2518501 神奈川県藤沢市鶴沼神明一丁目5番50号 日本精工株式会社内 Kanagawa (JP). 菅原 広樹(SUGAWARA, Hiroki); 〒3718527 群馬県前橋市鳥羽町78番地 日本精工株式会社内 Gunma (JP). 篠原 茂雄(SHINO-HARA, Shigeo); 〒3718527 群馬県前橋市鳥羽町78番地 日本精工株式会社内 Gunma (JP). 関根

孝明(SEKINE, Takaaki); 〒2518501 神奈川県藤沢市鶴沼神明一丁目5番50号 日本精工株式会社内 Kanagawa (JP). 仙波 剛(SENBA, Takeshi); 〒3718527 群馬県前橋市鳥羽町78番地 日本精工株式会社内 Gunma (JP). 遠藤 修司(ENDO, Shuji); 〒3718527 群馬県前橋市鳥羽町78番地 日本精工株式会社内 Gunma (JP).

(74) 代理人: 内藤 嘉昭(NAITOH, Yoshiaki); 〒1056032 東京都港区虎ノ門四丁目3番1号 城山トラストタワー32階 特許業務法人日栄国際特許事務所 Tokyo (JP).

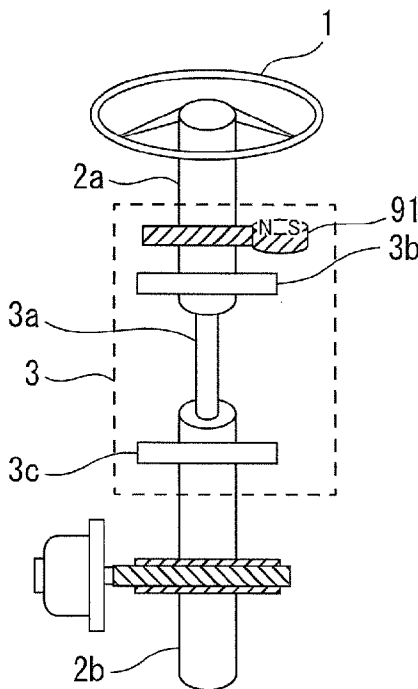
(81) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JP, KE, KG, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

(84) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW,

[続葉有]

(54) Title: MOTOR CONTROL DEVICE, ELECTRIC POWER STEERING DEVICE USING SAME, AND VEHICLE

(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) Abstract: Provided is a motor control device capable of, even when an abnormality occurs in a motor driving circuit or a multi-phase electric motor, continuing to control the driving of the electric motor, and also provided are an electric power steering device using the motor control device and a vehicle. The motor control device comprises: a plurality of hardware units operating in a normal state and outputting motor current; a shared control device for controlling each of the hardware units; a single electric motor operated by the motor current output from each of the hardware units; and an abnormality diagnosing unit for diagnosing the abnormality of each of the hardware units. When there is a hardware unit diagnosed as being abnormal by the abnormality diagnosing unit, the control device stops the operation of the hardware unit diagnosed as being abnormal and continues to use a normal hardware unit to drive the electric motor.

(57) 要約: 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。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。

WO 2015/022718 A1

MZ, NA, RW, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラ
シア (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), ヨーロッ
パ (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI,
FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK,
MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR),

OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM,
ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類:

— 国際調査報告 (条約第 21 条(3))

明 細 書

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

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。

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）。

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

[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。

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。

[図22]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23]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24]図23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25]図23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26]図23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27]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28]絶対操舵角の算出手順を示す説明図である。

[図29]絶対操舵角算出回路を示すブロック図である。

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2aと出力軸2bとを有する。入力軸2a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2bの一端に連結されている。

そして、出力軸2b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8aとこのピニオン8aに噛合するラック8b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8aに伝達された回転運動をラック8bで車幅方向の直進運動に変換している。

[0009] ステアリングシャフト2の出力軸2bには、操舵補助力を出力軸2b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2b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。

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2a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2aおよび出力軸2b間に介挿したトーションバー3a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 1 2 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 1 2 S と、このステータ 1 2 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 1 2 R とを有する表面磁石型 (S P M) モータの構成を有する。

そして、ステータ 1 2 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 2 0 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] さらに、3相電動モータ 1 2 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 1 3 a を備えている。この回転位置センサ 1 3 a からの検出値がモータ回転角検出回路 1 3 に供給されてこのモータ回転角検出回路 1 3 でモータ回転角 θ_m を検出する。

モータ制御装置 2 0 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 2 1 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 1 3 から出力されるモータ回転角 θ_m が入力される。

また、モータ制御装置 2 0 には、直流電圧源としてのバッテリー 2 2 から直流電流が入力されている。

モータ制御装置 2 0 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 2 0 は、モータ電流指令値を演算する制御演算装置 3 1 と、この制御演算装置 3 1 から出力される 3 相のモータ電圧指令値 V

1*およびV2*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La~Lc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 θ_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La~Lcの各相のコイルL1~L3に通電するモータ電流Iad~Icd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 ω_e および角加速度 α 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Tsおよび車速Vs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Ts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Ln0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 ω_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 α 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 ω_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 ω_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 $e_d(\theta)$ および q 軸EMF成分 $e_q(\theta)$ 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 $e_d(\theta)$ および q 軸EMF成分 $e_q(\theta)$ 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 ω_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 ΔI_a 、 ΔI_b および ΔI_c を算出し、これら電流偏差 ΔI_a 、 ΔI_b および ΔI_c について例えば P I 制御演算又は P I D 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 で異常を検出していない正常状態で互いに同一の値として出力される。

[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) $Q_1 \sim Q_6$ 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 $L_1 \sim L_3$ 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。

[0019] 異常検出部 31a では、以下のようにして異常検出を行う。

すなわち、図 10 に示すように、時点 t_1 でモータ駆動回路 32A 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 10 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 32A の上側電流検出値 I_{A1d} が減少し、これを補うようにモータ駆動回路 32B の上側電流検出値 I_{B1d} 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_{A1d} および I_{B1d} 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 32A 又は 32B 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 32A 又は 32B に対して論理値 “1” の異常検出信号 S_{Aa} 又は S_{Ab} を出力する。

なお、上側アームにオープン故障を生じた場合には、図 10 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。

[0020] また、図 11 に示すように、時点 t_2 で、モータ駆動回路 32A 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 32A の上側電流検出値 I_{A1d} が急激に増加し、モータ駆動回路 32B の上側電流検出値 I_{B1d} の増加量は僅かであることから、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判断することができる。

この場合には、モータ電流も図 11 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 32A のモータ電流遮断部 33A を遮断することにより、モータ駆動回路 32B からのみモータ駆動電流が 3 相電動モータ 12 の各相モータ巻線 $L_a \sim L_c$ 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 12 の駆動を継続することができる。

このとき、後述するように、インバータ回路 42A および 42B の電界効果トランジスタ (FET) のゲートにパルス幅変調 (PWM) 信号が入力されることから、インバータ回路 42A および 42B から出力されるモータ駆動電流 $I_a \sim I_c$ 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 $I_a \sim I_c$ 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。

[0021] このため、上側電流検出値 I_{A1d} および I_{B1d} を正確に検出するためには、上側電流検出値 I_{A1d} および I_{B1d} 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_{A1d} および I_{B1d} 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 12 の各相モータ巻線 $L_a \sim L_c$ におけるコイル部 $L_1 \sim L_3$ 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 $L_1 \sim L_3$ 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 $L_1 \sim L_3$ の一本当たりの抵抗値 R_c 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。この作用を断線異常検出に利用する。

[0022] この断線異常の検出の一例は、各相モータ電圧検出回路 40A および 40B 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

。

$$V_m = R * i + K_e * \omega \quad \dots\dots\dots (1)$$

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、 ω 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 ΔR とすると、上記（1）式は下記（2）で表される。

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

したがって、モータ相抵抗値変化量 ΔR は、

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

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 ω （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 ΔR を算出することができる。そして、算出した変化量 ΔR 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 ΔR が所定閾値以上のときに相モータ巻線L_a～L_c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L_a、L_bおよびL_cのうちの1つの相モータ巻線L_j（j = a, b, c）のコイル部L₁～L₃の1つL_k（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。

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、

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

で表される。ここで、Tはモータトルク、 ω はモータ角周波数、E_a、E_bおよびE_cはA、B、C相の逆起電圧、I_a、I_bおよびI_c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L_k

に断線異常が発生した場合には、逆起電圧 E_j が正常時の $2/3$ に変化する。このため、相モータ巻線 L_j のモータ電流 I_j を生じさせる電流指令値 I_j^* に対するゲイン K_j を正常時の “1” から “ $3/2$ ” に増加させることにより、 $E_j * I_j$ 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。

[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 V_1^* および V_2^* 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 V_1^* および V_2^* が入力されると、これら電圧指令値 V_1^* および V_2^* と三角波のキャリア信号 S_c 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 S_{Aa} 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 S_{Aa} 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 S_{Ab} 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”（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QA3を有する。電界効果トランジスタQA1のソース

がモータ電圧検出回路40Aを介して第1のインバータ回路42AのスイッチングアームSWAaのトランジスタQ1およびQ2の接続点に接続され、ドレインが3相モータ巻線L1のA相モータ巻線Laに接続されている。

また、電界効果トランジスタQA2のソースがモータ電圧検出回路40Aを介して第1のインバータ回路42AのスイッチングアームSWAbのトランジスタQ3およびQ4の接続点に接続され、ドレインが3相モータ巻線Lbに接続されている。

さらに、電界効果トランジスタQA3のソースがモータ電圧検出回路40Aを介して第1のインバータ回路42AのスイッチングアームSWAcのトランジスタQ5およびQ6の接続点に接続され、ドレインが3相モータ巻線Lcに接続されている。

[0031] また、モータ電流遮断回路33Bは、3つの電流遮断用の電界効果トランジスタQB1、QB2およびQB3を有する。ここで、電界効果トランジスタQB1のソースがモータ電圧検出回路40Bを介して第2のインバータ回路42BのスイッチングアームSWBaのトランジスタQ1およびQ2の接続点に接続され、ドレインが3相モータ巻線Laに接続されている。また、電界効果トランジスタQB2のソースがモータ電圧検出回路40Bを介して第2のインバータ回路42BのスイッチングアームSWBbのトランジスタQ3およびQ4の接続点に接続され、ドレインが3相モータ巻線Lbに接続されている。さらに、電界効果トランジスタQB3のソースがモータ電圧検出回路40Bを介して第2のインバータ回路42BのスイッチングアームSWBcのトランジスタQ5およびQ6の接続点に接続され、ドレインが3相モータ巻線Lcに接続されている。

[0032] そして、モータ電流遮断部33Aおよび33Bの電界効果トランジスタQA1～QA3およびQB1～QB3は寄生ダイオードDのアノードをインバータ回路42Aおよび42B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44Aおよび44Bのそれぞれは、1つの電界効果トランジスタ(FET)QCおよびQD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QCおよびQDのドレインがノイズフィルタ43を介してバッテリー22に接続され、ソースがインバータ回路42Aおよび42Bに接続されている。なお、これら電源遮断部44Aおよび44B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44A、44A'および44B、44B'を直列に接続するようにしてもよい。

[0033] 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20の制御演算装置31が非作動状態となっている。このため、制御演算装置31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12は作動を停止しており、操舵補助機構10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31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32Aおよび32Bのインバータ回路42Aおよび42Bにおける各電界効果トランジスタQ1~Q6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31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Ln0を参照して操舵補助電流指令値を算出する。

[0034] 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13から入力されるモータ電気角 θ_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dq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 39A および 39B 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 ΔI_a 、 ΔI_b および ΔI_c を算出し、算出した電流偏差 ΔI_a 、 ΔI_b および ΔI_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 32A および 32B のゲート駆動回路 41A および 41B に出力する。また、制御演算装置 31 は、インバータ回路 42A および 42B 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 41A および 41B に出力する。

このため、ゲート駆動回路 41A および 41B では、モータ電流遮断部 33A および 33B 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 33A および 33B 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 42A および 42B 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 41A および 41B から電源遮断部 44A および 44B 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 44A および 44B 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 42A および 42B に供給される。

さらに、ゲート駆動回路 41A および 41B 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 42A および 42B 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41Aおよび41Bに供給される。このため、ゲート駆動回路41Aおよび41B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42Aおよび42Bに出力される。

したがって、インバータ回路42Aおよび42B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33Aおよび33Bの各相に対応する電界効果トランジスタQA1～QA3およびQB1～QB3を通過して3相電動モータ12の3相モータ巻線 L_a ～ 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2b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り時に比較して低下して電動モータ12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42Aおよび42Bが正常で、3相電動モータ12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12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32Aおよび32B

の第1および第2のインバータ回路42Aおよび42Bの一方例えばインバータ回路42Bの例えば下アーム側の電界効果トランジスタQ2、Q4およびQ6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33Aに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31a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40A、40B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。

[0040] このように、モータ駆動回路32Bのインバータ回路42B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42B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32Bのゲート駆動回路41Bから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、さらに電源遮断部44Bに対してローレベルのゲート信号を出力する。

このため、モータ電流遮断回路33Bでは、各相の電界効果トランジスタQB1～QB3がオフ状態となり、3相電動モータ12の3相モータ巻線L_a～L_cに対する通電が遮断される。

これと同時に、電源遮断部44B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22および第2のインバータ回路42B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32Aは正常に動作しており、このモータ駆動回路32Aへの電圧指令値V1*は変化することがないので、このモータ駆動回路32Aによる3相電動モータ12の各相モータ巻線L_a～L_cへの電流制御が継続される。

このため、3相電動モータ12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11を介して出力軸2b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 S w 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。このため、上側電流検出値 I A 1 d と上側電流検出値 I B 1 d とに差が生じることになり、上側電流検出値の減少側にオープン故障が生じていると判断することができる。

[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 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。この上側電流検出値 I A 1 d の急激な増加および上側電流検出値 I B 1 d 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 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確実に判断することができる。

このため、モータ駆動回路 3 2 A のモータ電流遮断部 3 3 A の各相スイッチ Q A 1 ~ Q A 3 がオフ状態に制御されるとともに、電源遮断部 4 4 A がオフ状態に制御されて、モータ駆動回路 3 2 A の駆動が停止され、上記と同様に正常なモータ駆動回路 3 2 B による単独の 3 相電動モータ 1 2 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 31 a は、モータ駆動回路 32 A および 32 B の出力側に設けたモータ電圧検出回路 40 A および 40 B 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 と、電流検出回路 39 A および 39 B 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 ΔR 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 ΔR が所定閾値 ΔR_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 ΔR が所定閾値 ΔR_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_n 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_n 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 32 A および 32 B のゲート駆動回路 41 A および 41 B 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 Δi 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） θ_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 θ_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EMFcを算出し、この逆起電圧補償値EMFc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 S_{Ac} 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 θ_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 S_{Ac} 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] 一方、3相電動モータ12では該当するモータ巻線 L_k のコイル部 $L_1 \sim L_3$ 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 EMF_c 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 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32

A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 I_{A3d} および I_{B3d} 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 L_g 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 I_{A3d} 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 S_{d1} 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 S_{d1} が入力されていないときには、電流検出値 I_{A3d} を選択し、診断信号 S_{d1} が入力されているときには診断信号 S_{d1} 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 S_{d1} および S_{d2} を交互に出力する。あるいは、モ-

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S d 1 およびS d 2 を出力する。

[0055] 最大値選択回路7 2から出力される選択信号S sは、過電流状態であるか否かを判定する過電流判定回路7 4に供給され、この過電流判定回路7 4で入力される選択信号S sが過電流閾値V o c t以上であるときにローレベルとなり、選択信号S sが過電流閾値V o c t未満であるときにハイレベルとなる過電流判定信号S o cが出力され、この過電流検出信号S o cがアンド回路7 1の他方の入力側に供給される。ここで、過電流閾値V o c tは、過電流閾値I o c tに電流検出用抵抗（シャント抵抗）5 2 Aおよび5 2 Bの抵抗値R sを乗算した値（ $V o c t = I o c t \times R s$ ）に設定され、例えば過電流閾値I o c tとして1 5 0 A、電流検出用抵抗5 2 Aおよび5 2 Bの抵抗R sとして1 mΩが設定されている。

[0056] このように過電流時遮断回路7 0 Aおよび7 0 Bを構成することにより、制御演算装置3 1から診断信号S d 1が出力されていない状態では、最大値選択回路7 2で電流検出回路3 9 A 2のピークホールド回路3 9 pで検出された電流検出値I A 3 dが選択されて選択信号S sとして過電流判定回路7 4に供給される。

このため、モータ駆動回路3 2 Aの下アームの電界効果トランジスタQ 2、Q 4、Q 6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3 9 A 2のピークホールド回路3 9 pで検出される電流検出値I A 3 dが過電流閾値V o c t以上となることがなく、過電流判定回路7 4からはハイレベルの過電流判定信号S o cがアンド回路7 1に出力されている。

[0057] 一方、制御演算装置3 1では、電源投入状態となったときに、異常検出部3 1 aでモータ駆動回路3 2 A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S gをアンド回路7 1に出力しており、モータ駆動回路3 2 Aの異常を検出したときにはローレベルのゲート信号S gを出力する。

したがって、モータ駆動回路3 2 Aが正常状態であるときには、制御演算装置3 1からハイレベルのゲート信号S gが出力されるとともに、電流検出

回路 39 A 2 のピークホールド回路 39 p で検出される電流検出値 I_{A3d} が過電流閾値 V_{oct} 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 S_{oc} 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 33 A の電界効果トランジスタ $Q_{A1} \sim Q_{A3}$ がオン状態に制御され、モータ駆動回路 32 A から出力されるモータ電流 $I_a \sim I_c$ が 3 相電動モータ 12 の相モータ巻線 $L_a \sim L_c$ 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 32 A の正常状態からモータ駆動回路 32 A の下側アームとなる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 Q_1 、 Q_3 および Q_5 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 39 A 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 I_{A3d} が過電流閾値 V_{oct} 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 S_{oc} 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 33 A の電流遮断用の電界効果トランジスタ $Q_{A1} \sim Q_{A3}$ および電源遮断部 44 A の電界効果トランジスタ Q_C がオフ状態に制御され、モータ駆動回路 32 A から 3 相電動モータ 12 に出力されるモータ電流 $I_a \sim I_c$ が遮断される。

[0059] さらに、これにより、ピークホールド回路 39 p で保持されている間、遮断状態が続き、電流検出回路 39 A 1 での電流検出値 I_{A1d} および電流検出回路 39 A 2 での電流検出値 I_{A2d} が零となるため、異常検出部 31 a でモータ駆動回路 32 A の異常として検出できる。

このように、モータ駆動回路 32 A 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 70 A および 70 B 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 33

A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 I_{oct} 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。

この診断信号Sdが制御演算装置31から出力されると、最大値選択回路72で診断信号Sdが選択されて過電流判定回路74に供給される。この過電流判定回路74では、入力される診断信号Sdが過電流閾値 I_{oct} より大きいので、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の出力がローレベルとなり、モータ電流遮断部33A又は33Bが遮断状態に制御されるとともに、電源遮断部44A又は44Bが遮断状態に制御される。このため、モータ電圧検出回路40A又は40Bのモータ相電圧 $V_{1ma} \sim V_{1mc}$ 又は $V_{2ma} \sim V_{2mc}$ あるいは電流検出回路39A1および39A2又は39B1および39B2の電流検出値 I_{A1d} および I_{A2d} 又は I_{B1d} および I_{B2d} 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70Aおよび70Bが正常に動作するか否かを診断することができる。

[0061] このとき、制御演算装置31から診断信号Sdがモータ駆動回路32Aおよび32Bに対して所定時間毎に交互に供給されるので、診断信号Sdが供給されていないモータ駆動回路32A又は32B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Sd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32Aおよび32B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32Aおよび32Bの各電界効果トランジスタQ1～Q6を保護するには、図15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80Aおよび80Bを設けるようにしてもよい。

[0062] この電流側路回路80Aおよび80Bのそれぞれは、図16に示すように、モータ駆動回路32Aおよび32Bのバッテリー22からの電力が供給される電源ラインLpと接地との間に電界効果トランジスタ81および保護抵抗82の直列回路が介挿されている。ここで、保護抵抗82の抵抗値は、電界効果トランジスタ81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81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81のゲートに、上述した図14と同様の構成を有する過電流判定回路74の過電流判定信号Socが入力されている。ここで、過電流判定回路74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Socを電界効果トランジスタ81のベースに供給して、この電界効果トランジスタ81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Socを電界効果トランジスタ81のベースに供給して、この電界効果トランジスタ81をオフ状態とする。

[0063] したがって、電流側路回路80Aおよび80Bでは、過電流判定回路74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Socを出力して、電界効果トランジスタ81をオフ状態とするので、バッテリー22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32Aおよび32Bに供給される。

一方、過電流判定回路74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Soc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22から供給される電流が電流側路回路80Aおよび80Bを通じて、電流保護抵抗83を介して接地に流れることになり、モータ駆動回路32A又は32B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81およびモータ駆動回路32A又は32Bの

電界効果トランジスタQ1～Q6の損傷を確実に防止することができる。

[0064] さらに、上記図13および図15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17に示すように、モータ駆動回路32Aおよび32Bにおけるモータ電流遮断部33Aおよび33Bの3相電動モータ12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85Aおよび85Bを配置するようにしてもよい。ここで、過電流抑制部85Aおよび85Bは、図17に示すように、モータ駆動回路32Aおよび32Bの双方に配置するようにしてもよく、図18に示すように、モータ電流遮断部33Aおよび33B間に1組の過電流抑制部85Cを配置するようにしてもよい。

[0065] このように、過電流抑制部85Aおよび85Bを設けることにより、一方のモータ駆動回路32A又は32B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32A（又は32B）からショート異常が発生したモータ駆動回路32B（又は32A）にモータ電流 $I_a \sim I_c$ が回り込んで3相電動モータ12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32Aおよび32Bに個別に過電流抑制部85Aおよび85Bを設ける場合には、モータ駆動回路32A及び32Bの回路定数を一致させることができ、モータ駆動回路32A及び32B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。

[0066] また、上記実施形態においては、電流検出回路39Aおよび39Bの電流検出部を各スイッチングアームSWA_a～SWA_c及びSWB_a～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52Aおよび52Bで構成し、各シャント抵抗52Aおよび52Bの両端電圧をオペアンプ39aに供給し、このオペアンプ39aの出力信号をノイズフィルタ39bを介してサンプルホールド回路39c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31c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31c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 ~ 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 SW A a 及び SW B a が最大デューティ相で、スイッチングアーム SW A b および SW B b が中間デューティ相であり、スイッチングアーム SW A c および SW B c が最小デューティ相であるものとする。

[0067] 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 SW A a および SW B a では、パルス幅変調信号の 1 周期（例えば $50 \mu\text{s}$ ）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 SW A b および SW B 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 SW A c および SW B 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。

[0068] 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 ~ 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。

[0069] 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|cとに基づいて電流偏差 ΔI_a 、 ΔI_b および ΔI_c を算出し、これらに対してPI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。

[0070] また、モータ駆動回路32Aおよび32Bを構成する各電界効果トランジスタQ1～Q6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 I_{A1d} および I_{B1d} さらに I_{A2d} および I_{B2d} 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] 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] 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 t_3 ～ t_4 間のサンプリング区間SP4と時点 t_5 ～ t_6 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|A1dおよび|B1d又は|A2dおよび|B2d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。

[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してもよい。

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。

[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。

そして、制御演算装置31の異常診断部31b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101a、第2の診断部101b及び第3の診断部101cを備えている。

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

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

第3の診断部101cは、モータ遮断部33A又は33Bと電源遮断部44A、44A'又は44B、44B'を一時的に遮断状態としてモータ遮断部33A又は33Bと電源遮断部44A、44A'又は44B、44B'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31b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Ia～Ic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 S 2 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 S 3 に移行して、モータ駆動回路 3 2 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 $I A 1 d$ 及び下側電流検出値 $I A 2 d$ 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 S 4 に移行する。

このステップ S 4 では、モータ駆動回路 3 2 A における電源遮断部 4 4 A, 4 4 A' の動作状態を上側電流検出値 $I A 1 d$ 及び下側電流検出値 $I A 2 d$ 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 S 5 に移行する。

このステップ S 5 では、モータ駆動回路 3 2 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 $I B 1 d$ 及び下側電流検出値 $I B 2 d$ 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 S 6 に移行する。

このステップ S 6 では、モータ駆動回路 3 2 B における電源遮断部 4 4 B, 4 4 B' の動作状態を上側電流検出値 $I B 1 d$ 及び下側電流検出値 $I B 2 d$ 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 S 2 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 S 7 に移行して、モータ駆動回路 3 2 A におけるモータ電流遮断部 3 3 A および電源遮断部 4 4 A, 4 4 A' の動作状態を入力電圧検出回路 1 0 0 A で検出する入力電圧 $V R 1$ 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 S 8 に移行する。

このステップ S 8 では、モータ駆動回路 3 2 B におけるモータ電流遮断部 3 3 B および電源遮断部 4 4 B, 4 4 B' の動作状態を入力電圧検出回路 1

00Bで検出する入力電圧VR2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I A1dと下側電流検出値I A2d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I A1dおよびI A2d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 3 2 B を使用して、正常時と遜色のない操舵補助特性を發揮することができる。

この図 2 5 の処理において、ステップ S 2 2 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 I A 1 d と下側電流検出値 I A 2 d 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 2 5 の処理が第 2 の診断部 1 0 1 b に対応している。

[0084] また、図 2 3 のステップ S 5 のモータ電流遮断部電流診断処理及び S 6 の電源遮断部電流診断処理は上述した図 2 4 および図 2 5 の処理において、モータ駆動回路 3 2 A に対する動作をモータ駆動回路 3 2 B 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 2 3 におけるステップ S 7 の電流遮断部電圧診断処理は、図 2 6 に示すように、先ず、ステップ S 3 1 で、モータ駆動回路 3 2 A のモータ電流遮断部 3 3 A の各電界効果トランジスタ Q A 1 ~ Q A 3 をオフ状態とするとともに、電源遮断部 4 4 A および 4 4 A ' 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 S 3 2 に移行する。

[0085] このステップ S 3 2 では、入力電圧検出回路 1 0 0 A で検出した入力電圧 V R 1 を読み込み、この入力電圧 V R 1 が低下しているか否かを判定する。

このステップ S 3 2 の判定結果が、入力電圧 V R 1 が低下しているときには、ステップ S 3 3 に移行して、モータ電流遮断部 3 3 A の各電界効果トランジスタ Q A 1 ~ Q A 3 が正常であるとともに、電源遮断部 4 4 A および 4 4 A ' 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 S 3 4 に移行する。

このステップ S 3 4 では、モータ駆動回路 3 2 A のモータ電流遮断部 3 3 A の各電界効果トランジスタ Q A 1 ~ Q A 3 と電源遮断部 4 4 A および 4 4 A ' 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 2 3 のステップ S 8 に移行する。

[0086] 一方、ステップ S 3 2 の判定結果が、入力電圧 V R 1 が低下しない場合には、ステップ S 3 5 に移行して、モータ電流遮断部 3 3 A 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。

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32

B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1つ又は2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 θ_{m1} および θ_{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 θ_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SAr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 I_m と、モータ電圧検出値 V_m 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 θ_{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 I_m およびモータ電圧検出値 V_m 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 θ_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 θ_{os} に基づいてモータ回転角 θ_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 θ_{me1} および θ_{me2} 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EMFが入力され、逆起電圧EMF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 θ_{me1} を選択し、逆起電圧EMF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 θ_{me2} を選択してモータ回転角 θ_{m2} 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SAr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 θ_{m1} を選択してモータ回転角 θ_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SAr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 θ_{m2} を選択してモータ回転角 θ_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 θ_{m1} をモータ回転角 θ_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 θ_{me1} 又は θ_{me2} をモータ回転角 θ_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La~Lcで発生する逆起電圧EMF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EMF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 θ_{me1} を選択し、逆起電圧EMF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EMFに基づいて推定するモータ回転角推定値 θ_{me1} 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 θ_{os} に基づいて推定したモータ回転角推定値 θ_{me2} 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 θ_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 θ_{os} とに基づいて絶対操舵角 θ_{ab} 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296deg周期の鋸歯状波でなる操舵角検出信号 θ_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40deg周期の鋸歯状波でなる出力軸角度検出信号 θ_{os} を出力させる。これら操舵角検出信号 θ_s と、出力軸角度検出信号 θ_{os} とが一致する操舵角は1480degとなる。そして、出力軸角度検出信号 θ_{os} が操舵角検出信号 $\theta_s = 1480deg$ 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 θ_{ab} 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 θ_{is} および出力軸角度検出信号 θ_{os} 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 θ_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 θ_{init} を算出する。さらに、トルクセンサ3Aおよび3Bから出力される出力軸角度検出信号 θ_{os} を平均化回路93で平均値を算出し、この平均値の変化量を積算回路94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92で算出した初期操舵角 θ_{init} に加算することにより、絶対値操舵角 θ_{ab} 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、ステアバイワイヤシステム、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。

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、3a…トーションバー、3b…入力側回転角センサ、3c…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、La…A相モータ巻線、Lb…B相モータ巻線、Lc…C相モータ巻線、L1～L3…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、32A…第1のモータ駆動回路、32B…第2のモータ駆動回路、33A…第1のモータ電流遮断回路、33B…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、39A1, 39A2, 39B1, 39B2…電流検出回路、40A, 40B…電圧検出回路、41A, 41B…ゲート駆動回路、42A, 42B…インバータ回路、44A, 44B…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、64…逆起電圧補償器、65…減算器、70A, 70B…過電流時遮断回路、71…アンド回路、72…最大値選択回路、73…増幅器、74…過電流判定回路、75…指令値補正部、80A, 80B…電流側路回路、81…電界効果トランジスタ、82…保護抵抗、85A, 85B…過電流抑制部、86…メインモータ回転角検出回路、87…サブモータ回転角検出回路、88…角度選択部、91…操舵角センサ、92…バーニア演算部、93…平均化回路、94…積算回路

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。
- [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。

[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。

[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。

[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。

[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。

[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。

[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 に記載のモータ制御装置。

[請求項24] 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。

[請求項25]

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24に記載のモータ制御装置。

[請求項26]

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24に記載のモータ制御装置。

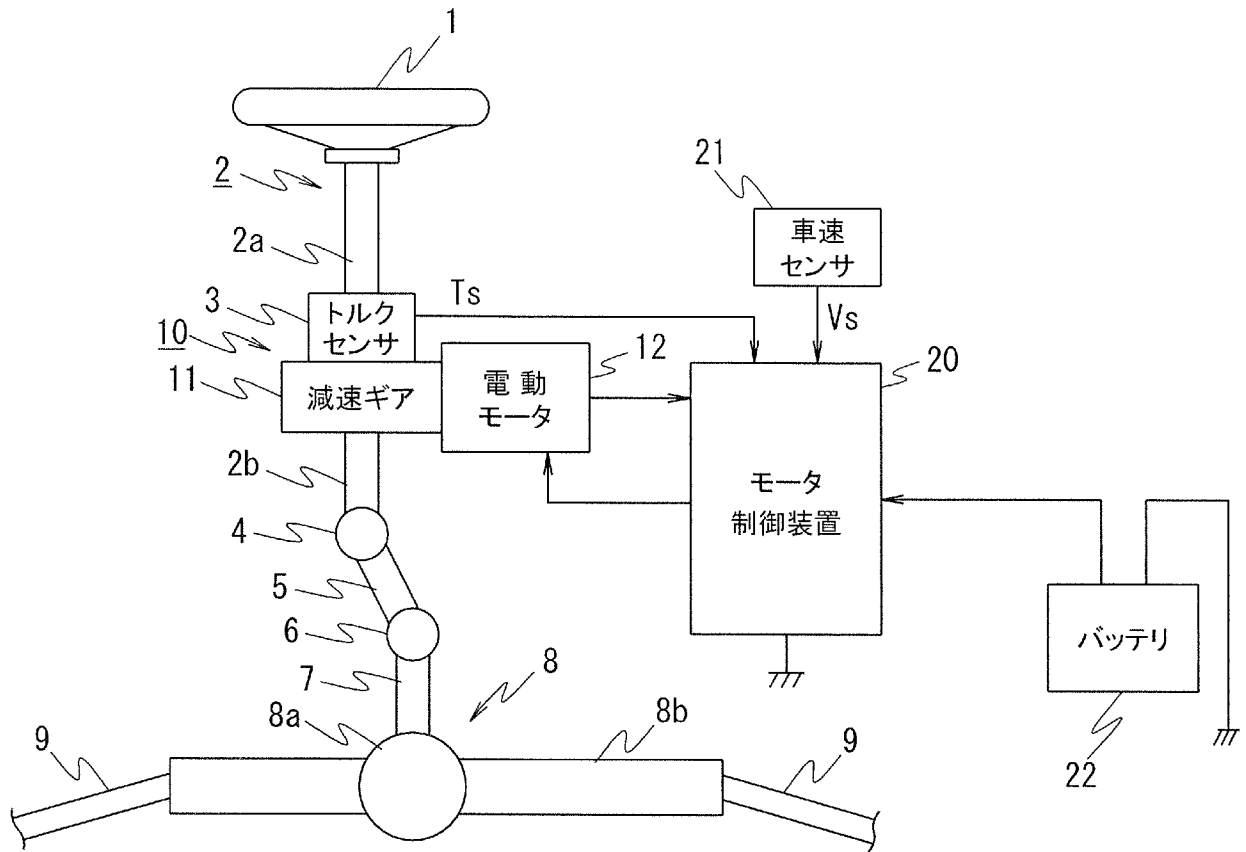
[請求項27] 前記第3の診断部は、前記モータ駆動回路の前記電源遮断部側の入力電圧を検出する入力電圧検出部を有し、前記モータ遮断部及び前記電源遮断部の遮断状態で、前記入力電圧検出部で検出した入力電圧が低下したときに前記モータ遮断部及び前記電源遮断部が正常であると判断し、前記入力電圧検出部で検出した入力電圧が低下しないときに、前記モータ遮断部及び電源遮断部の何れか一方にショート故障が生じたものと判断することを特徴とする請求項24に記載のモータ制御装置。

[請求項28] 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27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。

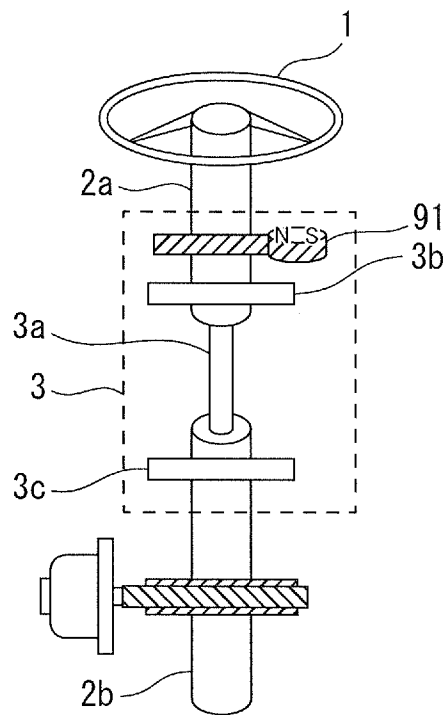
[請求項29] 操舵系に介挿されたトーションバーの入出力側の回転角を検出して操舵トルクを検出する操舵トルク検出部と、前記多相電動モータのモータ回転角を検出するレゾルバを含むモータ回転角検出部と、該モータ回転角検出部の異常を検出するモータ角度異常検出部と、前記多相電動モータのモータ電流検出値およびモータ電圧検出値および前記操舵トルク検出部の前記トーションバーの出力側回転角に基づいて逆起電圧によるモータ回転角を推定するモータ回転角推定部と、前記回転角検出部異常検出部でモータ回転角検出部の異常を検出したときに、当該モータ回転角検出部のモータ回転角検出値に代えて前記モータ回転角推定部のモータ回転角推定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。

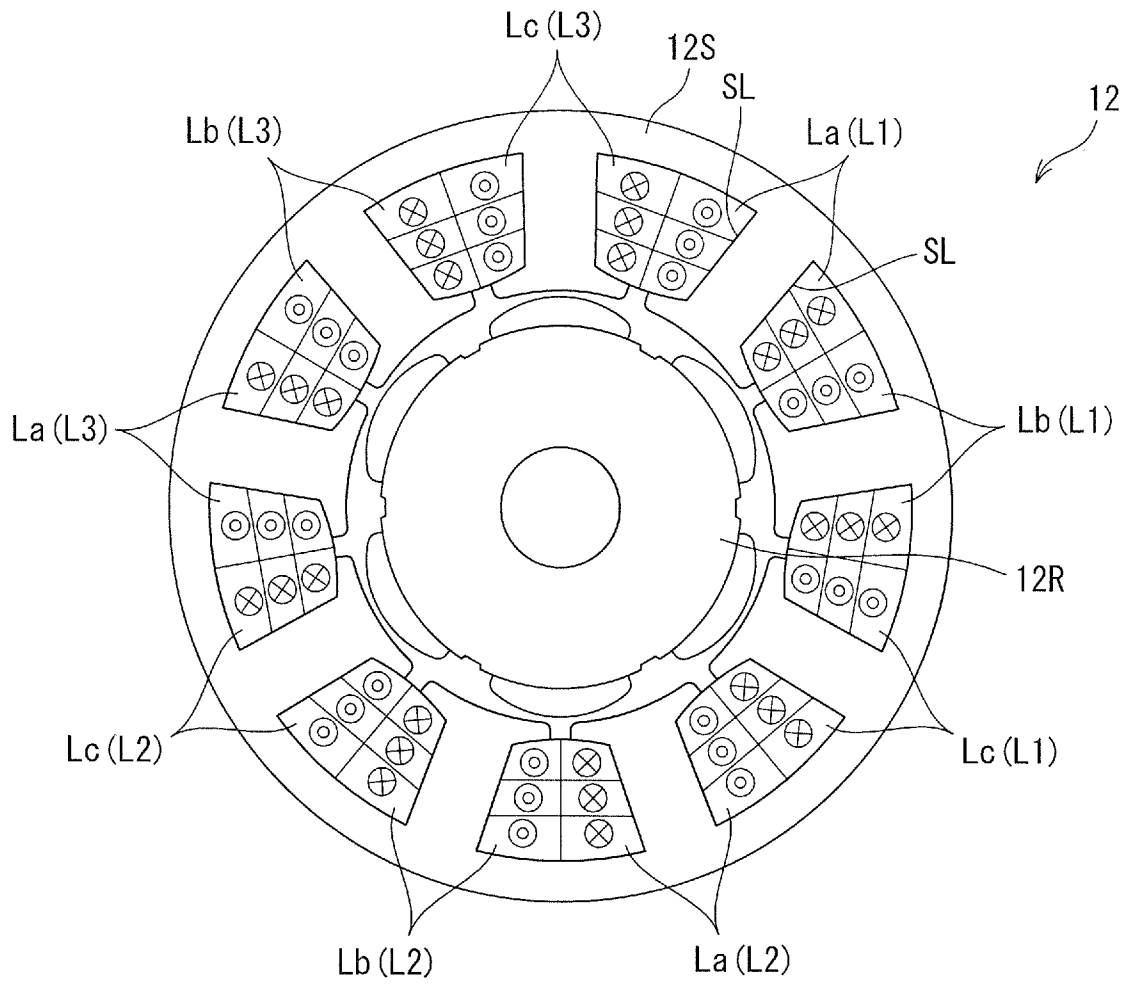
[図1]



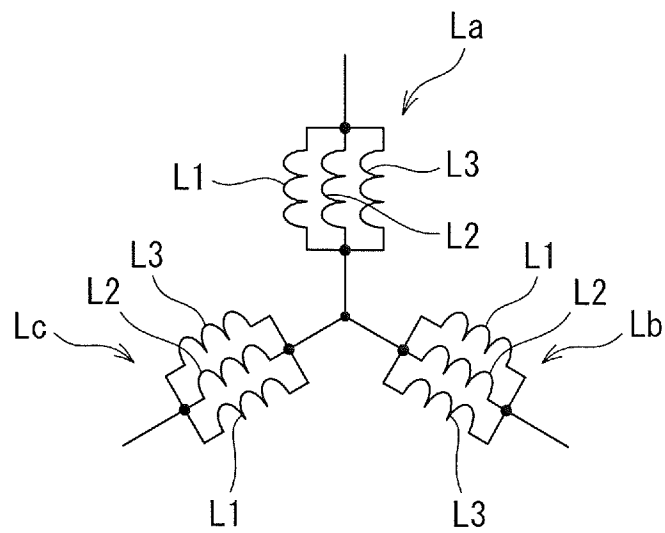
[図2]



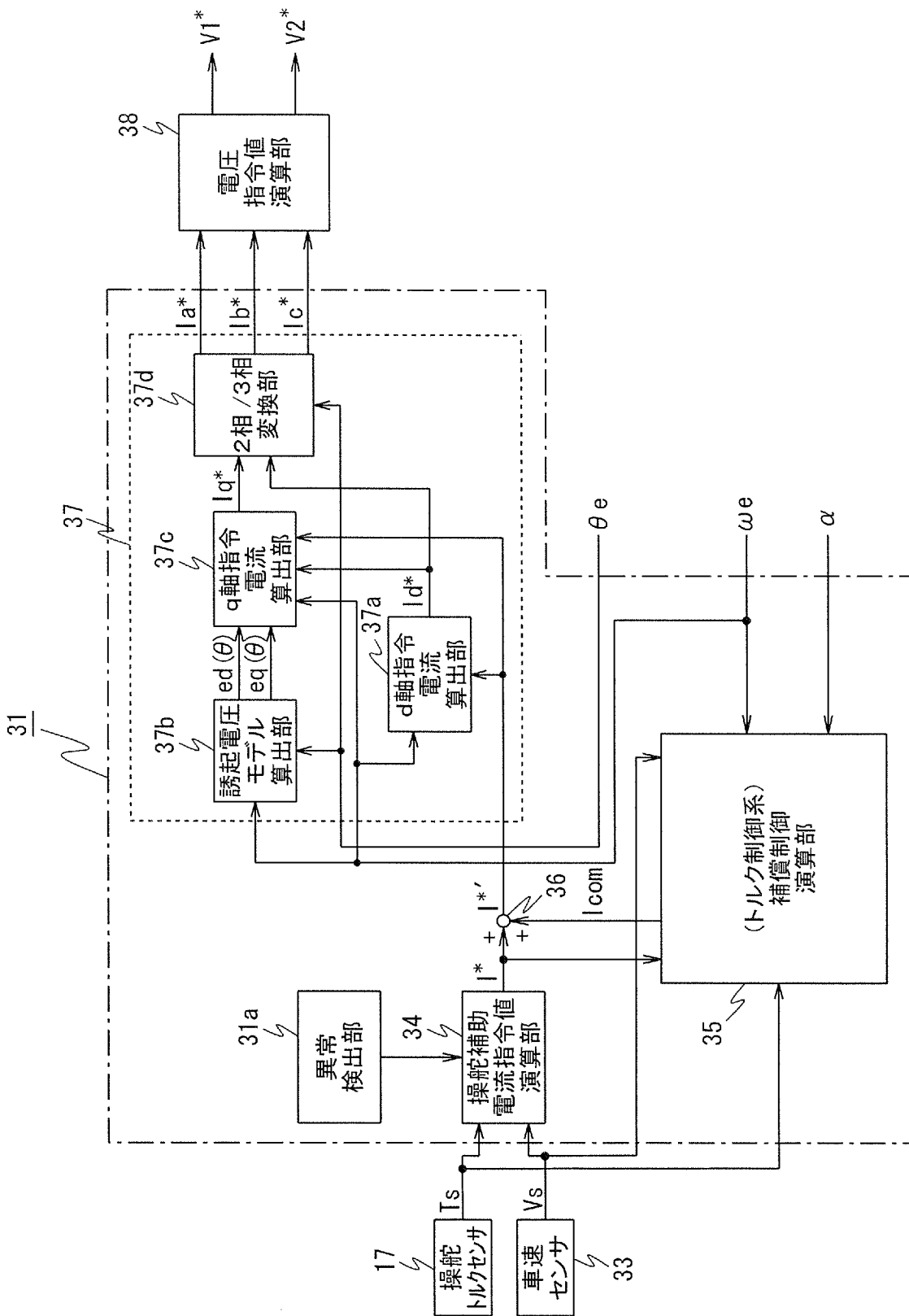
[図3]



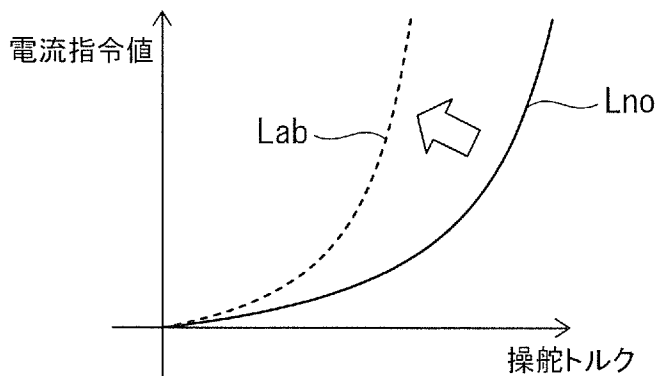
[図4]



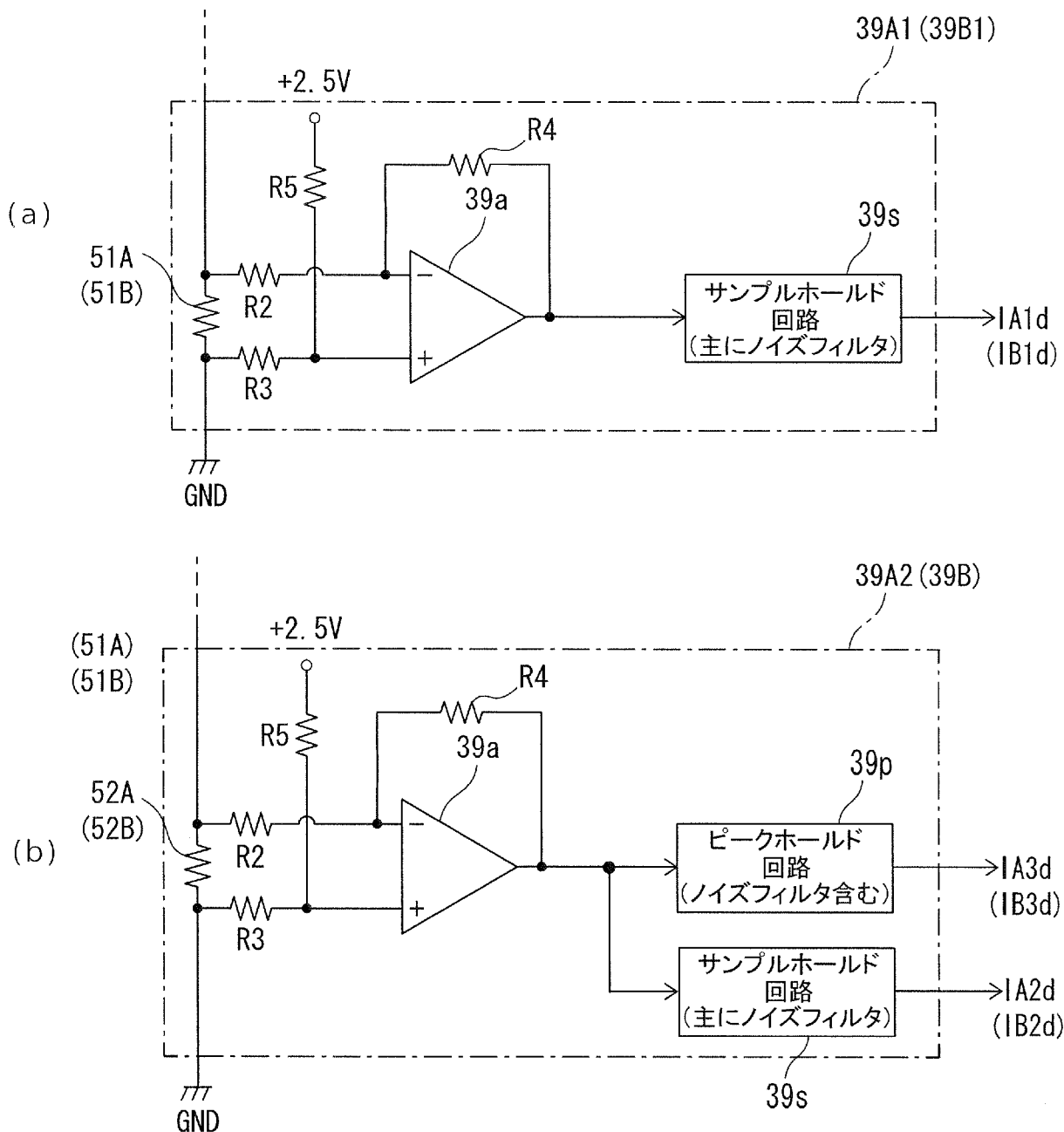
[図6]



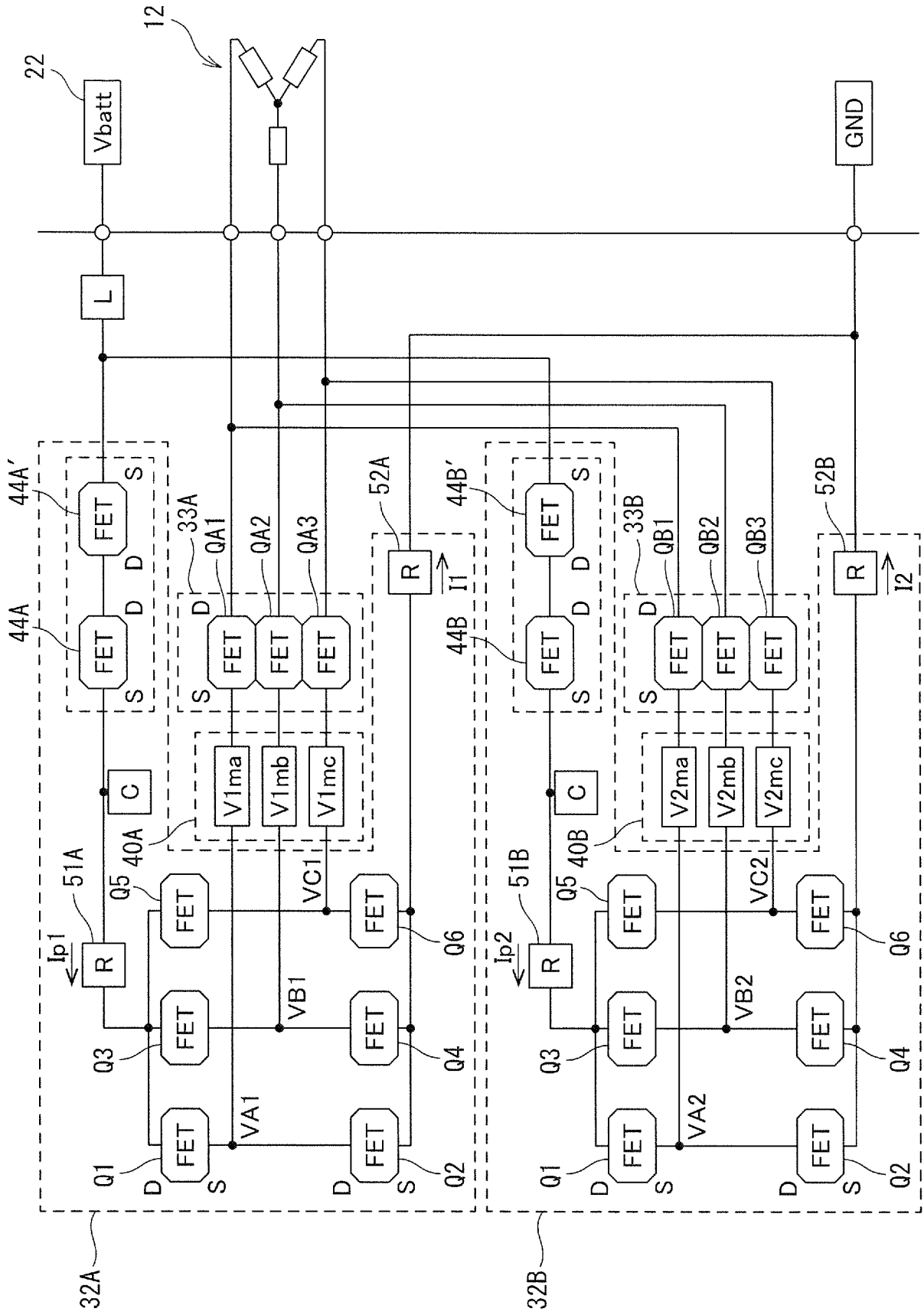
[図7]



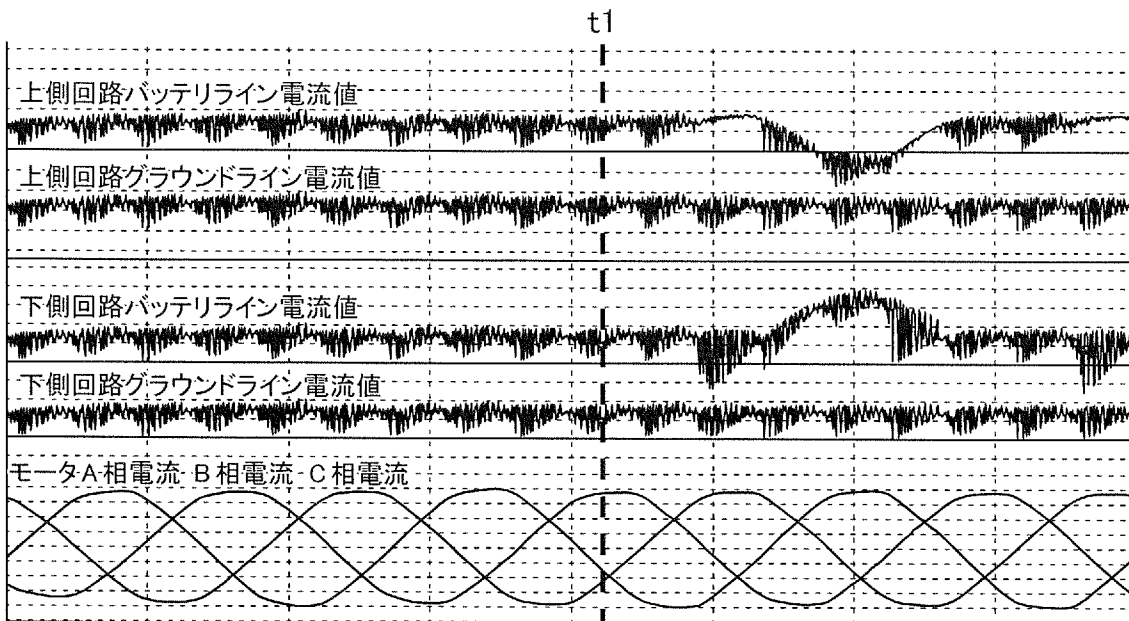
[図8]



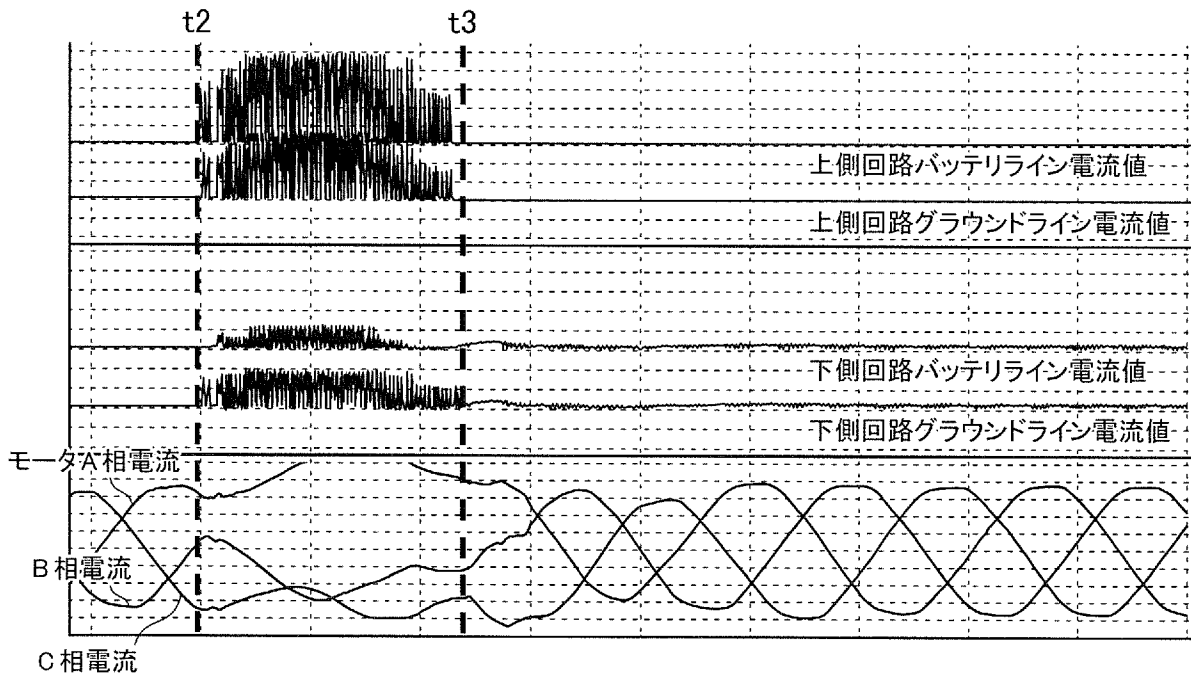
[9]



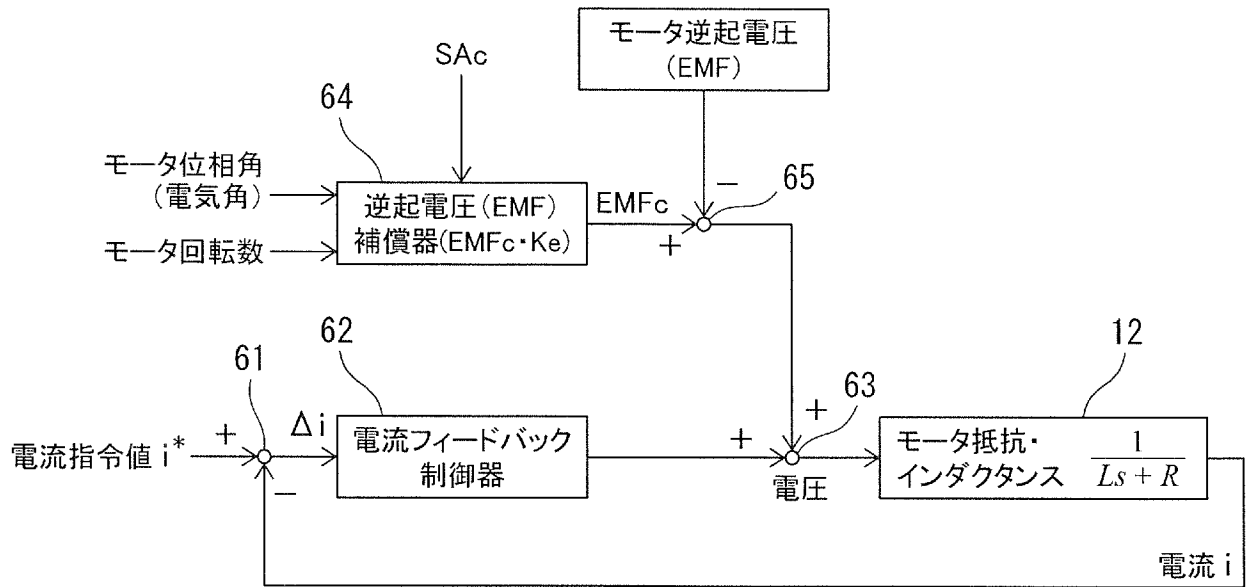
[図10]



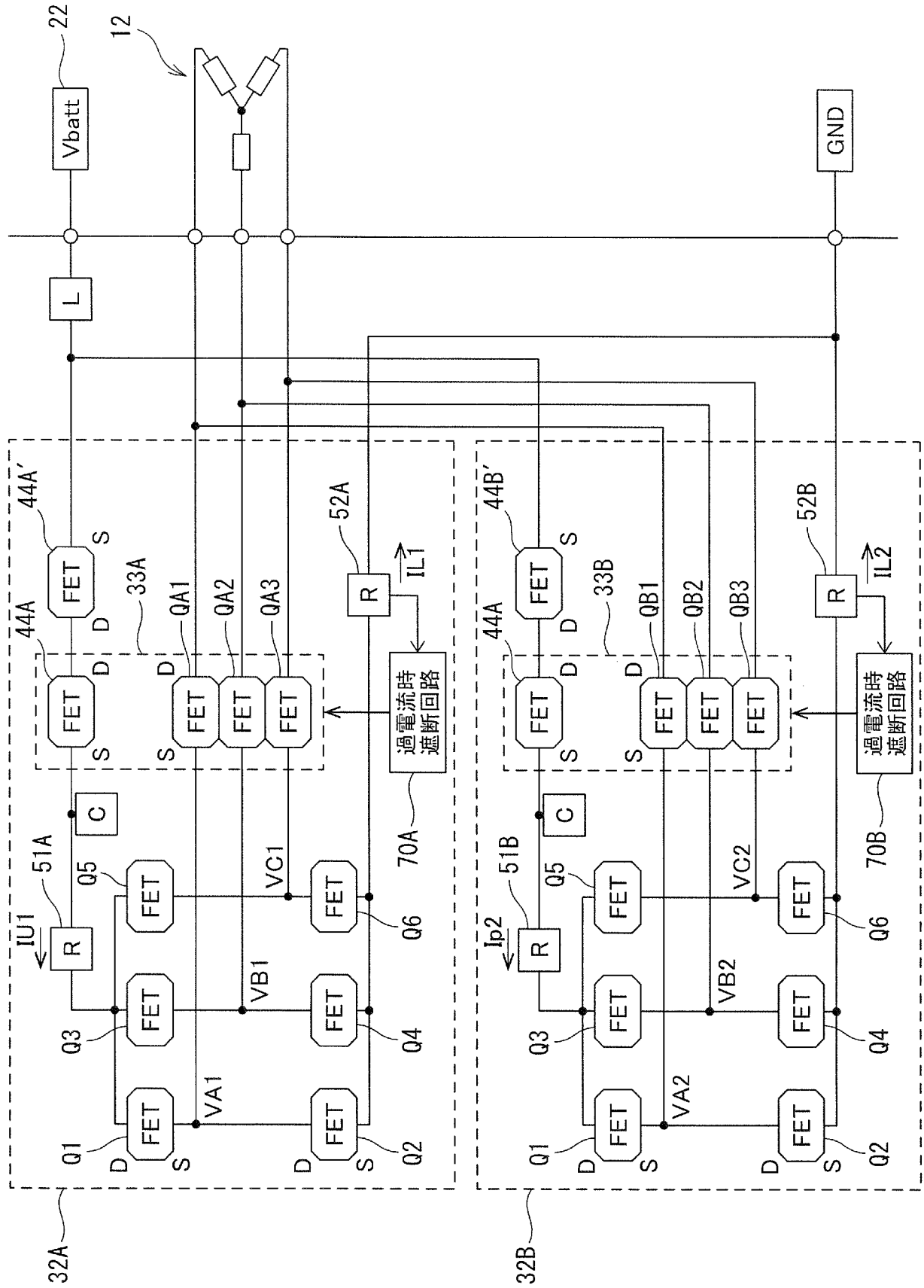
[図11]



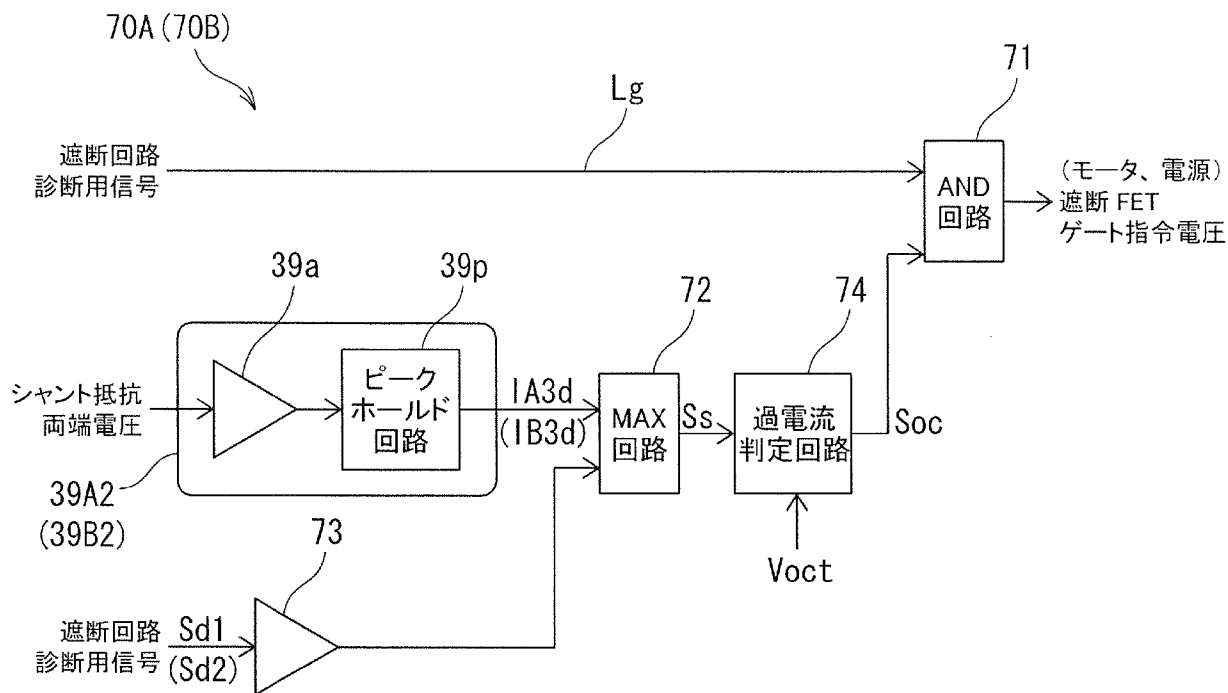
[図12]



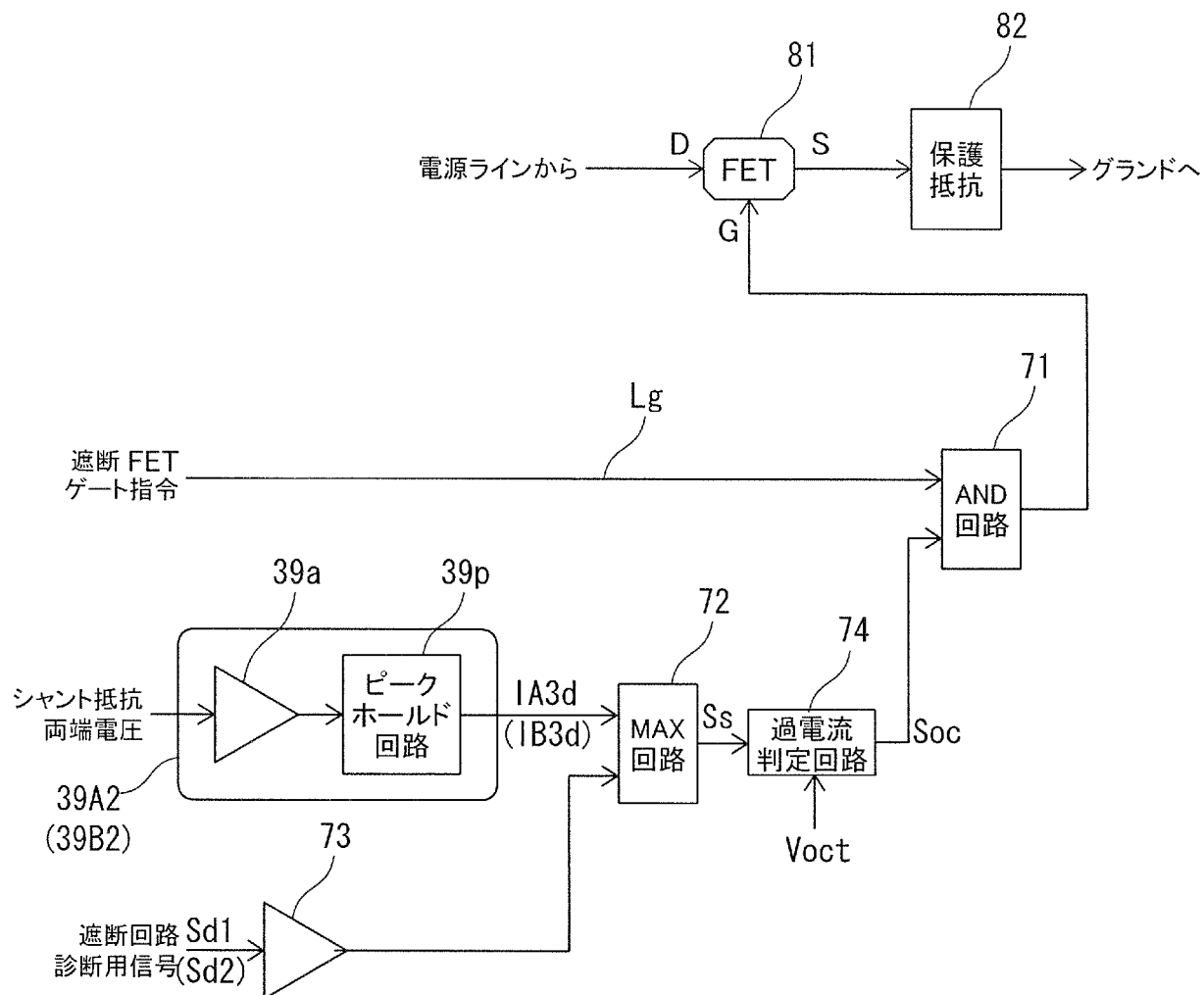
[圖 13]



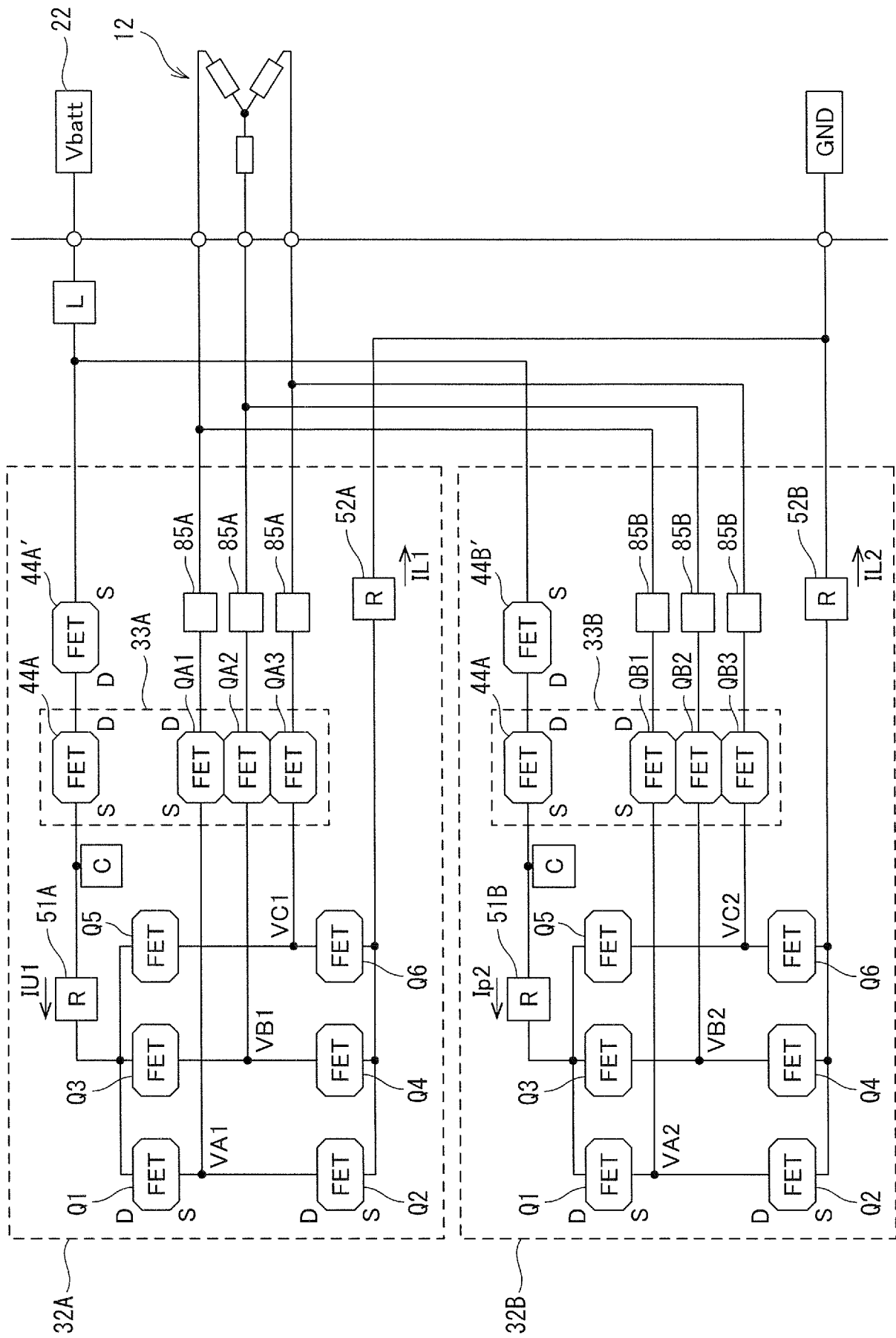
[図14]



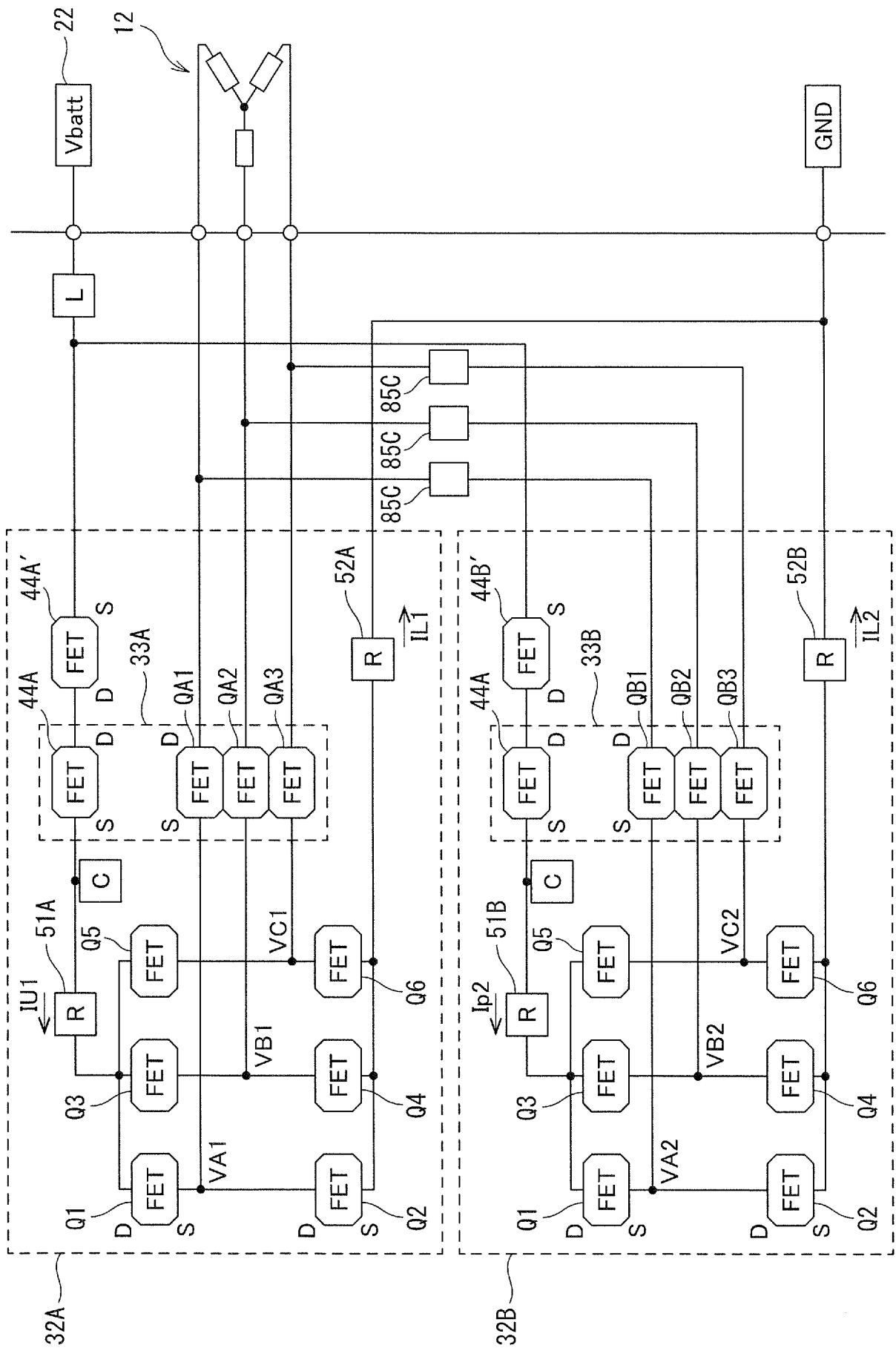
[図16]



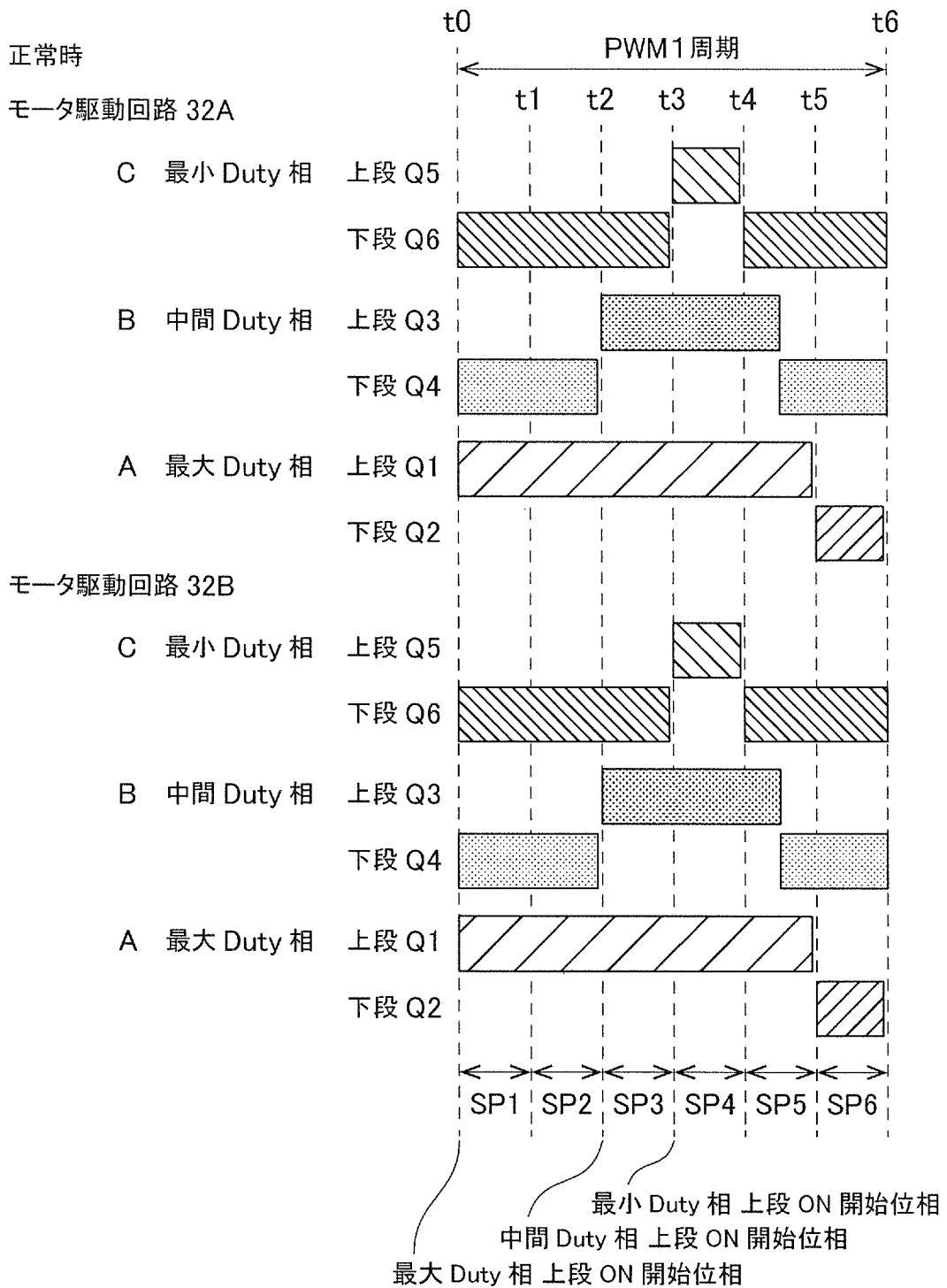
[17]



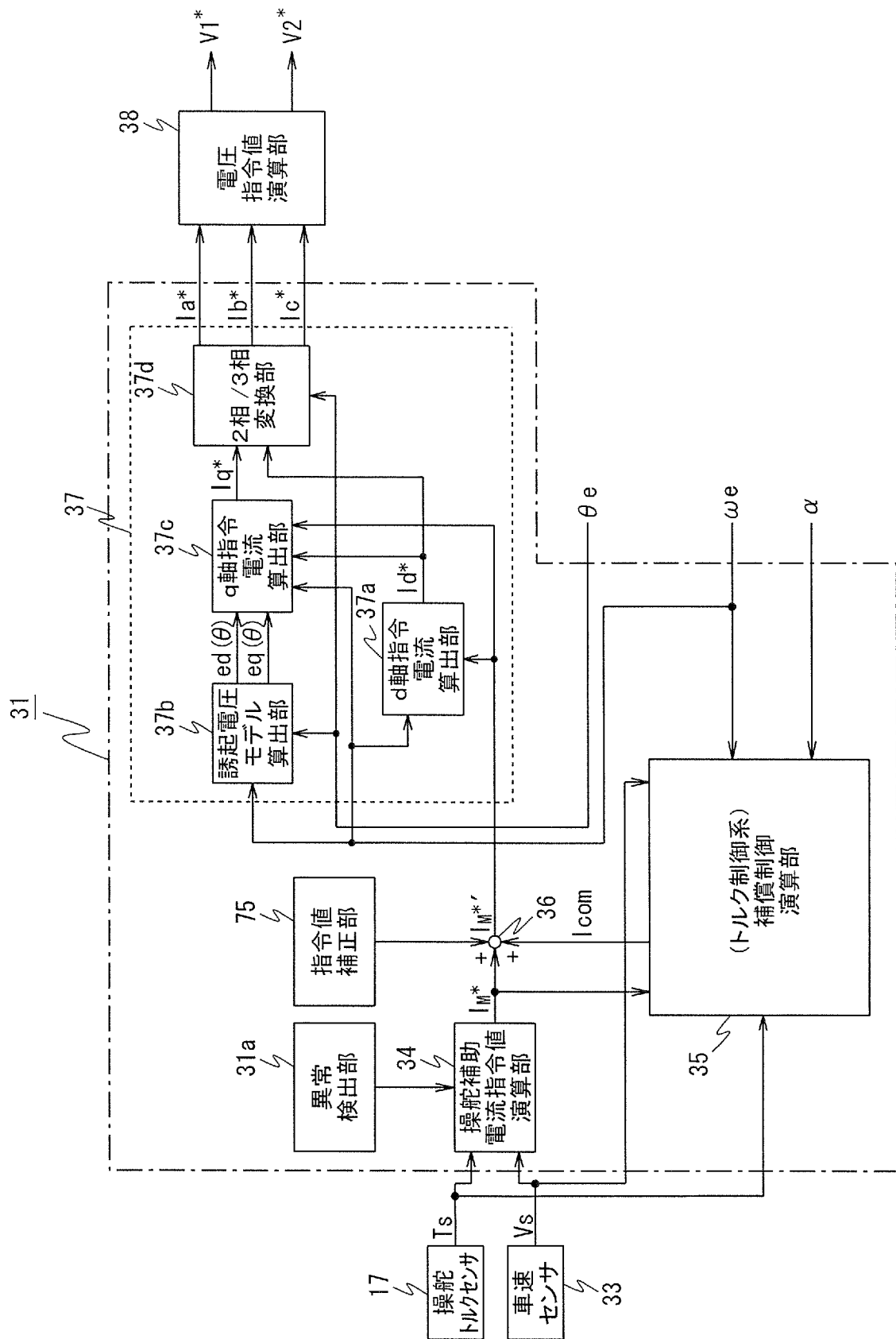
[18]



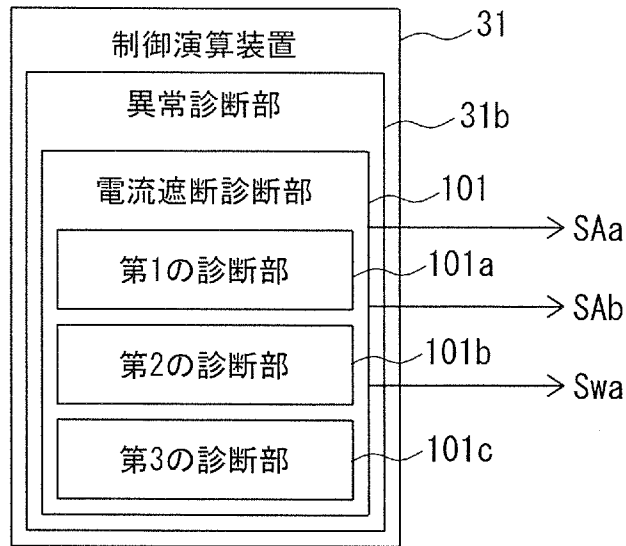
[図19]



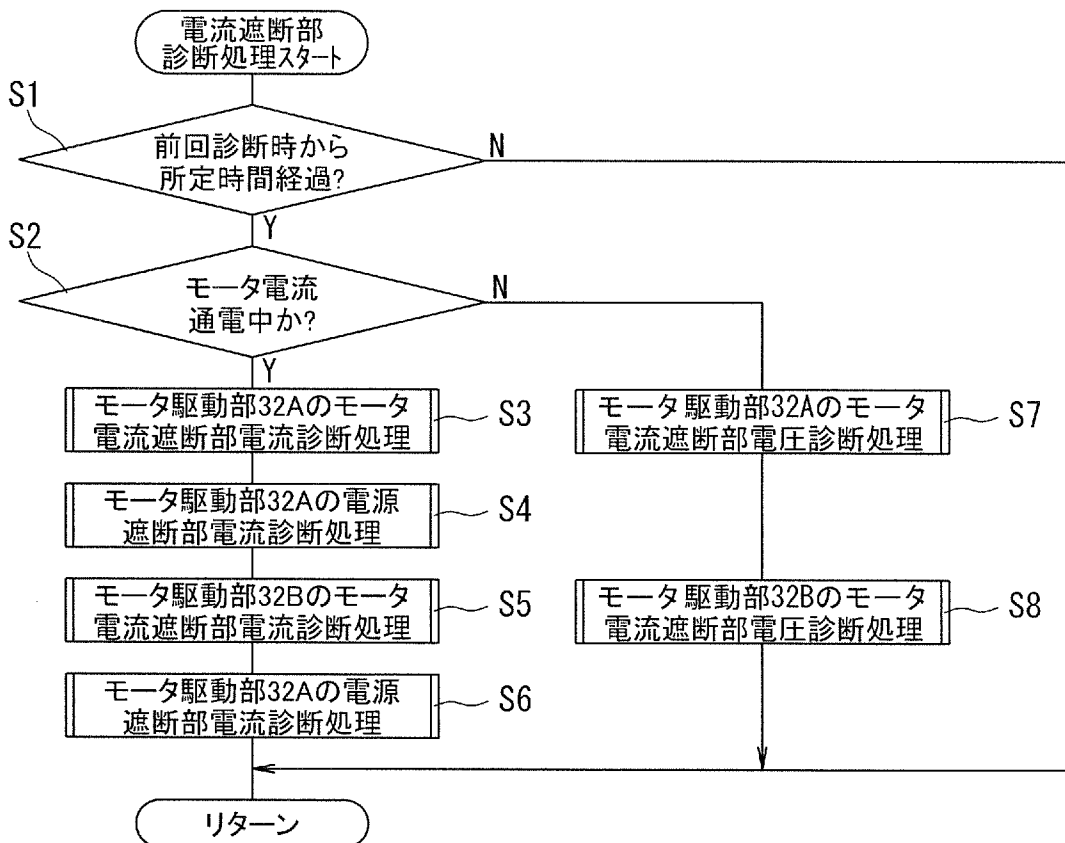
[図20]



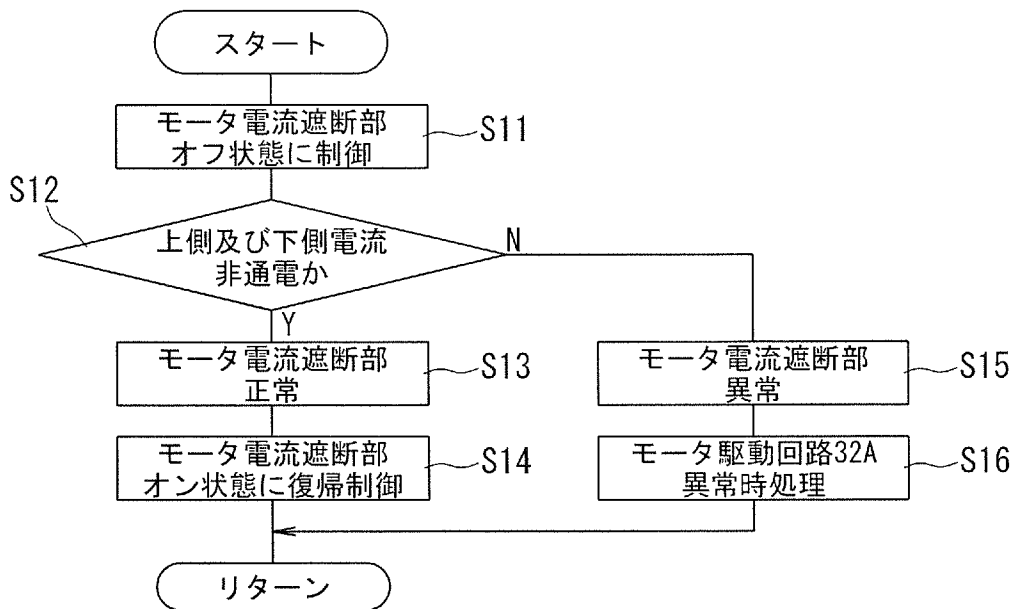
[図22]



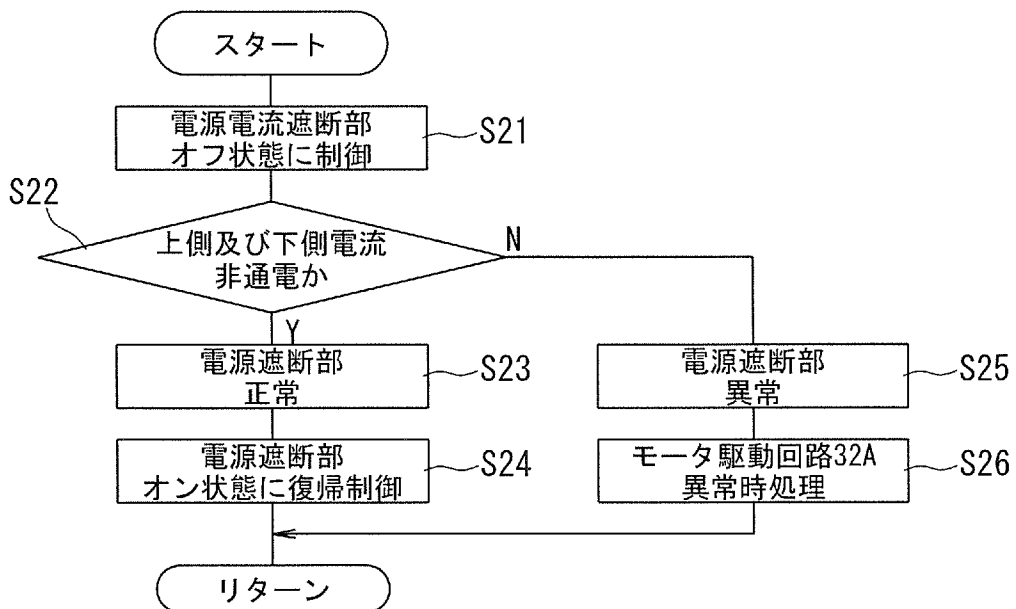
[図23]



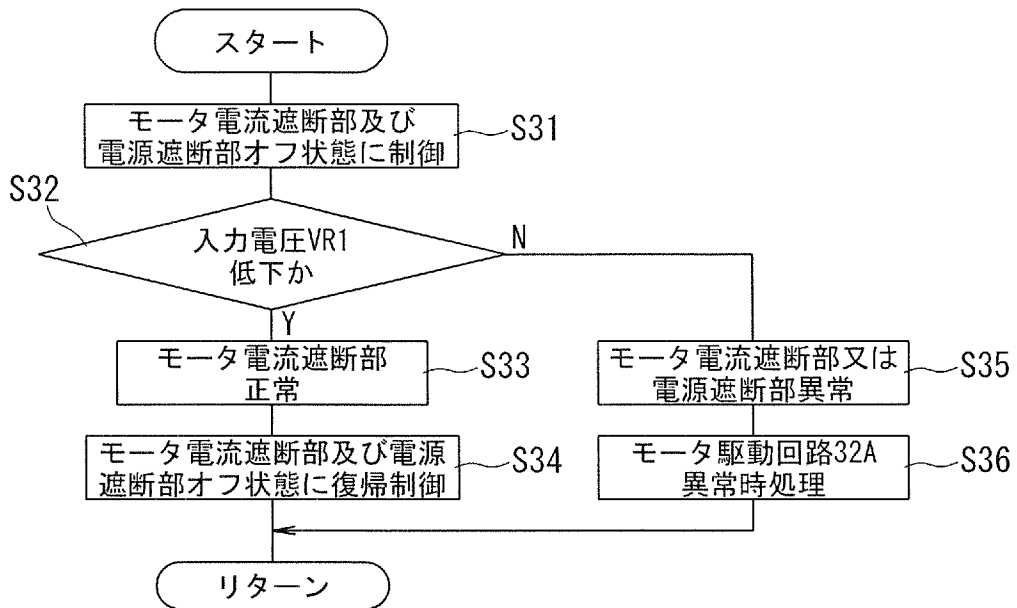
[図24]



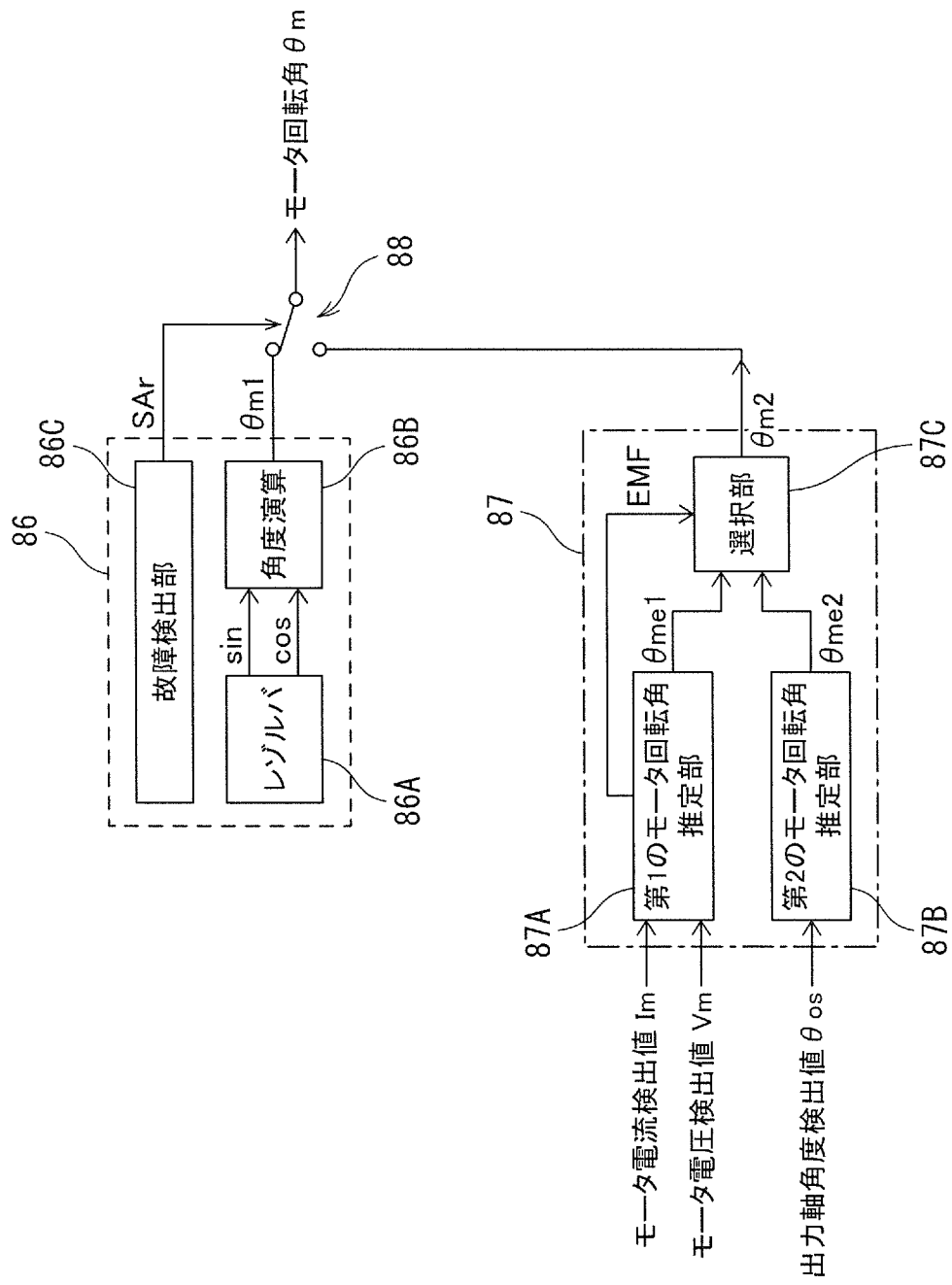
[図25]



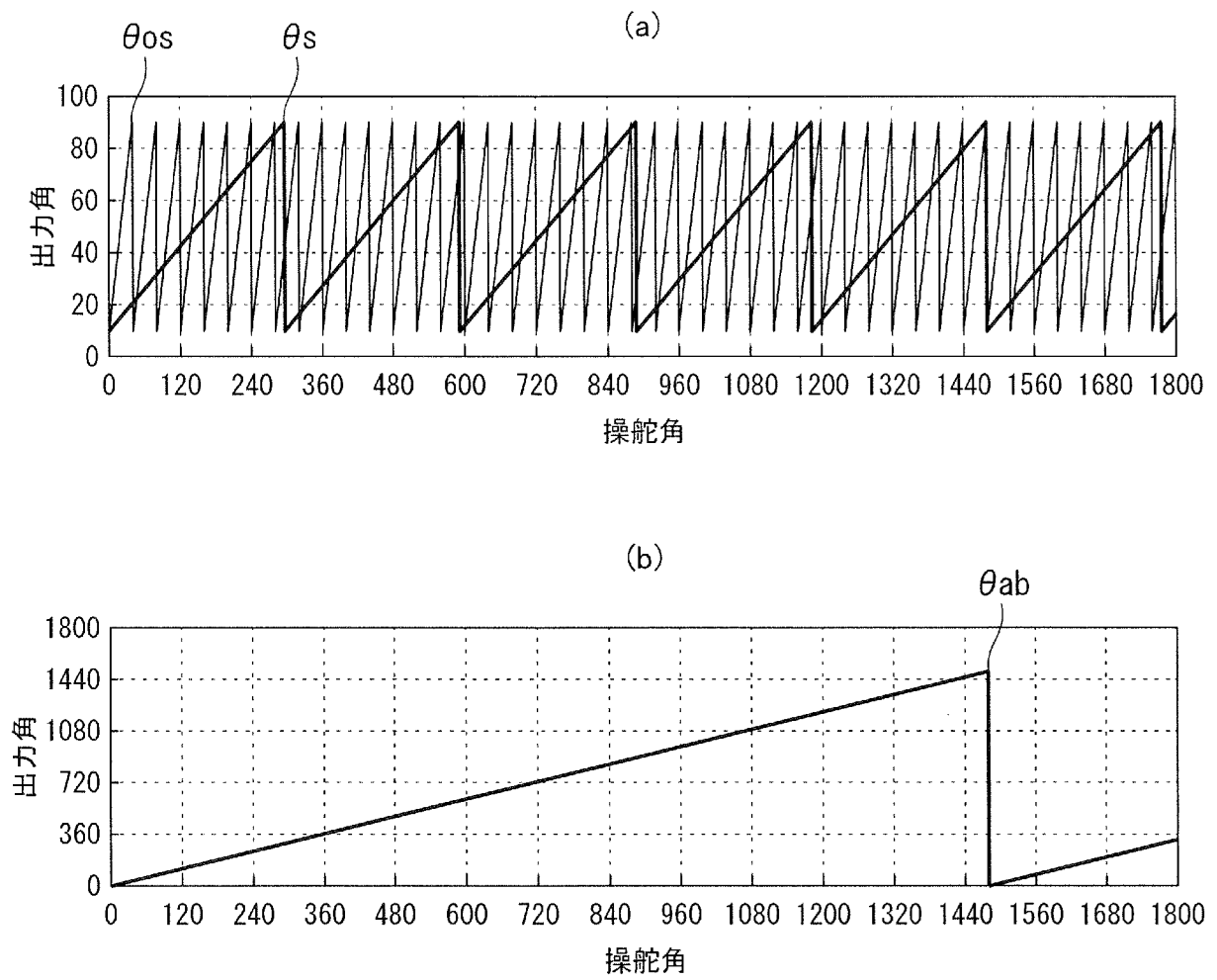
[図26]



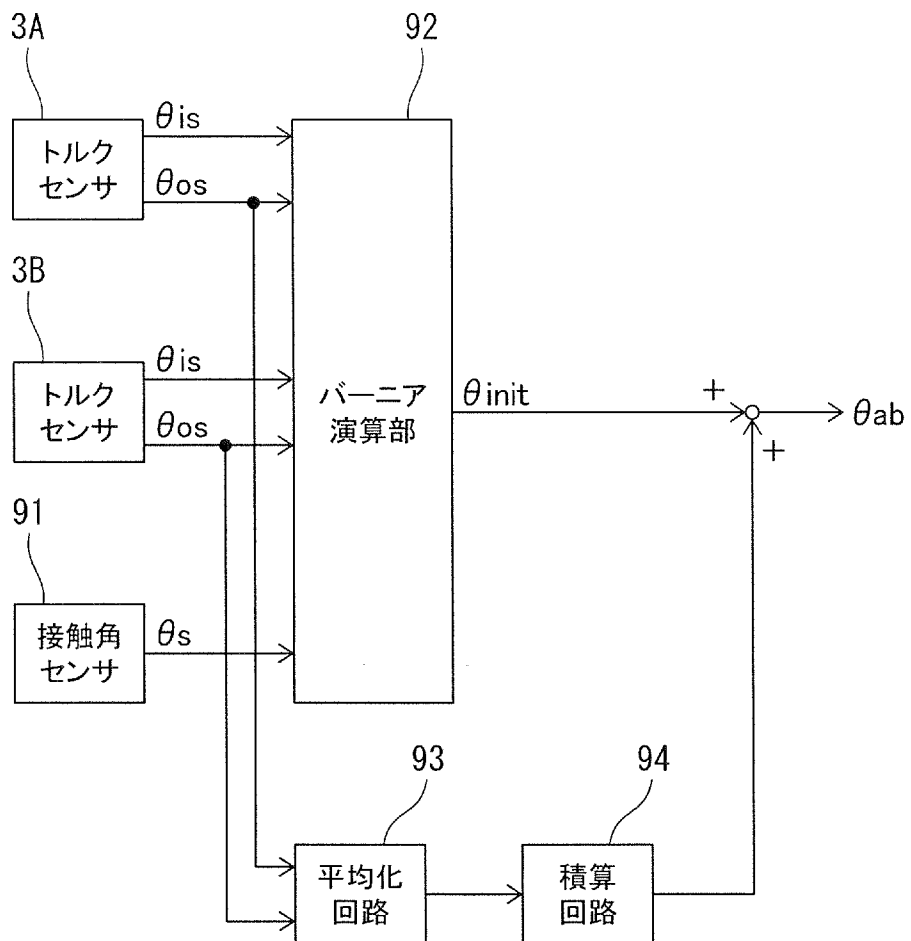
[図27]



[図28]



[図29]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/JP2013/007354

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
H02P29/00(2006.01) i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)
H02P29/00

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

| | | | |
|---------------------------|-----------|----------------------------|-----------|
| Jitsuyo Shinan Koho | 1922-1996 | Jitsuyo Shinan Toroku Koho | 1996-2014 |
| Kokai Jitsuyo Shinan Koho | 1971-2014 | Toroku Jitsuyo Shinan Koho | 1994-2014 |

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

| Category* | Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages | Relevant to claim No. |
|-------------|--|------------------------------------|
| X Y A | JP 2008-236993 A (Toshiba Mitsubishi-Electric Industrial Systems Corp.), 02 October 2008 (02.10.2008), paragraphs [0008] to [0026]; fig. 1 (Family: none) | 1-3, 5 6, 28, 30 4, 7-27, 29 |
| Y A | WO 2005/091488 A1 (Mitsubishi Electric Corp.), 29 September 2005 (29.09.2005), paragraphs [0020], [0022] to [0028] & US 2007/0176577 A1 & EP 1737116 A1 | 6, 28, 30 1-5, 7-27, 29 |
| Y A | JP 2008-295122 A (NSK Ltd.), 04 December 2008 (04.12.2008), paragraphs [0024] to [0070] (Family: none) | 28, 30 1-27, 29 |

Further documents are listed in the continuation of Box C. See patent family annex.

| | |
|---|--|
| * Special categories of cited documents: | "T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention |
| "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance | "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone |
| "E" earlier application or patent but published on or after the international filing date | "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art |
| "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified) | "&" document member of the same patent family |
| "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means | |
| "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed | |

| | |
|--|---|
| Date of the actual completion of the international search 10 March, 2014 (10.03.14) | Date of mailing of the international search report 18 March, 2014 (18.03.14) |
|--|---|

| | |
|--|--------------------|
| Name and mailing address of the ISA/ Japanese Patent Office | Authorized officer |
| Facsimile No. | Telephone No. |

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2013/007354

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

| Category* | Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages | Relevant to claim No. |
|-----------|--|-----------------------|
| A | JP 2002-255054 A (Toyoda Machine Works, Ltd.), 11 September 2002 (11.09.2002), paragraphs [0005], [0018] to [0020], [0028] (Family: none) | 1-30 |
| A | JP 2-52234 A (Kawasaki Steel Corp.), 21 February 1990 (21.02.1990), page 3, lower right column, line 13 to page 6, upper left column, line 16 (Family: none) | 1-30 |
| A | JP 2008-18911 A (NSK Ltd.), 31 January 2008 (31.01.2008), entire text; all drawings & US 2008/0078608 A1 & EP 1878638 A2 | 1-30 |
| A | JP 2006-67731 A (Mitsubishi Electric Corp.), 09 March 2006 (09.03.2006), entire text; all drawings & US 2006/0043917 A1 & DE 102005005020 A & FR 2874572 A | 1-30 |
| A | JP 2011-188653 A (Mitsubishi Electric Corp.), 22 September 2011 (22.09.2011), entire text; all drawings (Family: none) | 1-30 |
| A | JP 2009-171769 A (Toyota Motor Corp.), 30 July 2009 (30.07.2009), entire text; all drawings (Family: none) | 1-30 |

| | | |
|---|---|------------------------------------|
| A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC)) Int.Cl. H02P29/00(2006.01)i | | |
| B. 調査を行った分野 調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC)) Int.Cl. H02P29/00 | | |
| 最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの 日本国実用新案公報 1922-1996年 日本国公開実用新案公報 1971-2014年 日本国実用新案登録公報 1996-2014年 日本国登録実用新案公報 1994-2014年 | | |
| 国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語) | | |
| C. 関連すると認められる文献 | | |
| 引用文献の カテゴリー* | 引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示 | 関連する 請求項の番号 |
| X Y A | JP 2008-236993 A (東芝三菱電機産業システム株式会社) 2008.10.02, 段落【0008】 - 【0026】, 図1 (ファミリーなし) | 1-3, 5 6, 28, 30 4, 7-27, 29 |
| Y A | WO 2005/091488 A1 (三菱電機株式会社) 2005.09.29, 段落【0020】, 【0022】 - 【0028】 & US 2007/0176577 A1 & EP 1737116 A1 | 6, 28, 30 1-5, 7-27, 29 |
| <input checked="" type="checkbox"/> C欄の続きにも文献が列挙されている。 <input type="checkbox"/> パテントファミリーに関する別紙を参照。 | | |
| * 引用文献のカテゴリー 「A」 特に関連のある文献ではなく、一般的な技術水準を示すもの 「E」 国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの 「L」 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す) 「O」 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献 「P」 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願日の後に公表された文献 「T」 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの 「X」 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの 「Y」 特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの 「&」 同一パテントファミリー文献 | | |
| 国際調査を完了した日 10.03.2014 | 国際調査報告の発送日 18.03.2014 | |
| 国際調査機関の名称及びあて先 日本国特許庁 (ISA/J P) 郵便番号100-8915 東京都千代田区霞が関三丁目4番3号 | 特許庁審査官 (権限のある職員) 池田 貴俊 電話番号 03-3581-1101 内線 3358 | 3V 9256 |

| C (続き) . 関連すると認められる文献 | | |
|-----------------------|---|--------------------|
| 引用文献の カテゴリー* | 引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示 | 関連する 請求項の番号 |
| Y A | JP 2008-295122 A (日本精工株式会社) 2008. 12. 04, 段落【0024】 - 【0070】 (ファミリーなし) | 28, 30 1-27, 29 |
| A | JP 2002-255054 A (豊田工機株式会社) 2002. 09. 11, 段落【0005】 , 【0018】 - 【0020】 , 【0028】 (ファミリーなし) | 1-30 |
| A | JP 2-52234 A (川崎製鉄株式会社) 1990. 02. 21, 第3頁右下欄第13行目-同第6頁左上欄第16行目 (ファミリーなし) | 1-30 |
| A | JP 2008-18911 A (日本精工株式会社) 2008. 01. 31, 全文, 全図 & US 2008/0078608 A1 & EP 1878638 A2 | 1-30 |
| A | JP 2006-67731 A (三菱電機株式会社) 2006. 03. 09, 全文, 全図 & US 2006/0043917 A1 & DE 102005005020 A & FR 2874572 A | 1-30 |
| A | JP 2011-188653 A (三菱電機株式会社) 2011. 09. 22, 全文, 全図 (ファミリーなし) | 1-30 |
| A | JP 2009-171769 A (トヨタ自動車株式会社) 2009. 07. 30, 全文, 全図 (ファミリーなし) | 1-30 |