

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号
特許第7091815号
(P7091815)

(45)発行日 令和4年6月28日(2022.6.28)

(24)登録日 令和4年6月20日(2022.6.20)

(51)国際特許分類 F I
H 0 2 M 7/48 (2007.01) H 0 2 M 7/48 M

請求項の数 6 (全28頁)

(21)出願番号	特願2018-89494(P2018-89494)	(73)特許権者	000004260 株式会社デンソー
(22)出願日	平成30年5月7日(2018.5.7)		愛知県刈谷市昭和町1丁目1番地
(65)公開番号	特開2019-198139(P2019-198139 A)	(74)代理人	100121821 弁理士 山田 強
(43)公開日	令和1年11月14日(2019.11.14)	(74)代理人	100139480 弁理士 日野 京子
審査請求日	令和3年2月15日(2021.2.15)	(74)代理人	100125575 弁理士 松田 洋
		(74)代理人	100175134 弁理士 北 裕介
		(72)発明者	西端 幸一 愛知県刈谷市昭和町1丁目1番地 株式 会社デンソー内
		審査官	土井 悠生

最終頁に続く

(54)【発明の名称】 電力変換器の制御回路

(57)【特許請求の範囲】

【請求項1】

回転電機（10）の各相の巻線（11）に電氣的に接続された上下アームのスイッチ（SWH，SWL）を有する電力変換器（20）の制御回路（30）において、
 上下アームの前記スイッチには、ダイオード（DH，DL）が逆並列に接続され、
 前記電力変換器及び前記回転電機の少なくとも一方に異常が発生したことを判定する異常判定部と、
 前記巻線に逆起電圧が発生する場合における前記巻線の線間電圧が、上下アームの前記スイッチの直列接続体に並列接続される直流電源（21）の電圧よりも高くなっているか否かを判定する電圧判定部と、
 前記異常判定部により異常が発生したと判定された場合において、前記電圧判定部により前記巻線の線間電圧が前記直流電源の電圧よりも高くなっていると判定されているときには、上下アームのうちいずれか一方のアームにおける全ての相の前記スイッチをオンし、他方のアームにおける全ての相の前記スイッチをオフする全相短絡制御を行う異常時制御部と、を備え、

上下アームの前記スイッチの直列接続体に印加される電圧を検出対象とし、該電圧に応じた電圧信号（Vs）を出力する電圧センサ（23a）を備える制御システムに前記制御回路は適用され、

前記電圧判定部は、前記電圧センサから出力された電圧信号に基づいて算出した電圧（VDC）が、判定電圧（Vgmth）よりも高いと判定した場合、前記巻線の線間電圧が前

記直流電源の電圧よりも高くなっていると判定し、

前記判定電圧は、正常な前記直流電源の電圧が取り得る範囲の最小値以上の値に設定されている電力変換器の制御回路。

【請求項 2】

回転電機（10）の各相の巻線（11）に電氣的に接続された上下アームのスイッチ（SWH，SWL）を有する電力変換器（20）の制御回路（30）において、

上下アームの前記スイッチには、ダイオード（DH，DL）が逆並列に接続され、

前記電力変換器及び前記回転電機の少なくとも一方に異常が発生したことを判定する異常判定部と、

前記巻線に逆起電圧が発生する場合における前記巻線の線間電圧が、上下アームの前記スイッチの直列接続体に並列接続される直流電源（21）の電圧よりも高くなっているか否かを判定する電圧判定部と、

前記異常判定部により異常が発生したと判定された場合において、前記電圧判定部により前記巻線の線間電圧が前記直流電源の電圧よりも高くなっていると判定されているときには、上下アームのうちいずれか一方のアームにおける全ての相の前記スイッチをオンし、他方のアームにおける全ての相の前記スイッチをオフする全相短絡制御を行う異常時制御部と、を備え、

上下アームの前記スイッチの直列接続体に印加される電圧を検出対象とし、該電圧に応じた電圧信号（Vs）を出力する電圧センサ（23a）を備える制御システムに前記制御回路は適用され、

前記電圧判定部は、

前記巻線に逆起電圧が発生する場合における前記巻線の線間電圧の推定値又は検出値が判定電圧（VDC）よりも高いと判定した場合、前記巻線に発生する逆起電圧が前記直流電源の電圧よりも高くなっていると判定し、

前記電圧センサから出力された電圧信号に基づいて算出した電圧（VDC）を、前記判定電圧として用いる電力変換器の制御回路。

【請求項 3】

前記回転電機のロータの回転速度に基づいて、前記線間電圧の推定値を算出する線間電圧推定部を備え、

前記電圧判定部は、前記線間電圧推定部により算出された前記線間電圧の推定値が前記判定電圧よりも高いと判定した場合、前記巻線に逆起電圧が発生する場合における前記巻線の線間電圧が前記直流電源の電圧よりも高くなっていると判定し、

前記異常時制御部は、前記異常判定部により異常が発生したと判定された場合において、前記電圧判定部により前記巻線の線間電圧が前記直流電源の電圧よりも高くなっていると判定されているときには、前記全相短絡制御を行い、前記電圧判定部により前記巻線の線間電圧が前記直流電源の電圧よりも高くないと判定されているときには、上下アームのそれぞれにおける全ての相の前記スイッチをオフするシャットダウン制御を行う請求項 2 に記載の電力変換器の制御回路。

【請求項 4】

回転電機（10）の各相の巻線（11）に電氣的に接続された上下アームのスイッチ（SWH，SWL）を有する電力変換器（20）の制御回路（30）において、

上下アームの前記スイッチには、ダイオード（DH，DL）が逆並列に接続され、

前記電力変換器及び前記回転電機の少なくとも一方に異常が発生したことを判定する異常判定部と、

前記巻線に逆起電圧が発生する場合における前記巻線の線間電圧が、上下アームの前記スイッチの直列接続体に並列接続される直流電源（21）の電圧よりも高くなっているか否かを判定する電圧判定部と、

前記異常判定部により異常が発生したと判定された場合において、前記電圧判定部により前記巻線の線間電圧が前記直流電源の電圧よりも高くなっていると判定されているときには、上下アームのうちいずれか一方のアームにおける全ての相の前記スイッチをオンし、

10

20

30

40

50

他方のアームにおける全ての相の前記スイッチをオフする全相短絡制御を行う異常時制御部と、を備え、

前記電力変換器から前記直流電源側に流れる電流に応じた電流信号を出力する電流センサ（２３ｄ）を備える制御システムに前記制御回路は適用され、

前記電圧判定部は、上下アームのそれぞれにおける全ての相の前記スイッチがオフされている状況下において、前記電流センサから出力された電流信号に基づいて前記電力変換器から前記直流電源へと向かう方向に電流が流れていると判定した場合、前記巻線に逆起電圧が発生する場合における前記巻線の線間電圧が前記直流電源の電圧よりも高くなっていると判定する電力変換器の制御回路。

【請求項５】

回転電機（１０）の各相の巻線（１１）に電氣的に接続された上下アームのスイッチ（ＳＷＨ，ＳＷＬ）を有する電力変換器（２０）の制御回路（３０）において、

上下アームの前記スイッチには、ダイオード（ＤＨ，ＤＬ）が逆並列に接続され、
前記電力変換器及び前記回転電機の少なくとも一方に異常が発生したことを判定する異常判定部と、

前記巻線に逆起電圧が発生する場合における前記巻線の線間電圧が、上下アームの前記スイッチの直列接続体に並列接続される直流電源（２１）の電圧よりも高くなっているか否かを判定する電圧判定部と、

前記異常判定部により異常が発生したと判定された場合において、前記電圧判定部により前記巻線の線間電圧が前記直流電源の電圧よりも高くなっていると判定されているときには、上下アームのうちいずれか一方のアームにおける全ての相の前記スイッチをオンし、他方のアームにおける全ての相の前記スイッチをオフする全相短絡制御を行う異常時制御部と、を備え、

前記電圧判定部の判定に用いられるセンサ（２３ａ，２３ｃ，２３ｄ）と、前記センサの電源となる電源部（４０）と、を備える制御システムに前記制御回路は適用され、

前記異常時制御部は、前記センサの出力信号に関わる異常が生じていると判定した場合、前記電圧判定部により前記巻線の線間電圧が前記直流電源の電圧よりも高くなっていると判定されているときであっても、前記全相短絡制御を行わず、

前記センサには、上下アームの前記スイッチの直列接続体に印加される電圧を検出対象とし、該電圧が高いほど小さくなる電圧信号（Ｖｓ）を出力する電圧センサ（２３ａ）が含まれ、

前記異常時制御部は、前記電源部の出力電圧が所定電圧未満であると判定した場合、前記センサの出力信号に関わる異常が生じていると判定する電力変換器の制御回路。

【請求項６】

回転電機（１０）の各相の巻線（１１）に電氣的に接続された上下アームのスイッチ（ＳＷＨ，ＳＷＬ）を有する電力変換器（２０）の制御回路（３０）において、

上下アームの前記スイッチには、ダイオード（ＤＨ，ＤＬ）が逆並列に接続され、
前記電力変換器及び前記回転電機の少なくとも一方に異常が発生したことを判定する異常判定部と、

前記巻線に逆起電圧が発生する場合における前記巻線の線間電圧が、上下アームの前記スイッチの直列接続体に並列接続される直流電源（２１）の電圧よりも高くなっているか否かを判定する電圧判定部と、

前記異常判定部により異常が発生したと判定された場合において、前記電圧判定部により前記巻線の線間電圧が前記直流電源の電圧よりも高くなっていると判定されているときには、上下アームのうちいずれか一方のアームにおける全ての相の前記スイッチをオンし、他方のアームにおける全ての相の前記スイッチをオフする全相短絡制御を行う異常時制御部と、

前記スイッチをスイッチング制御するためのスイッチング指令を生成して出力する指令生成部（５０）と、

前記指令生成部に異常が生じているか否かを監視する監視部（１００）と、を備え、

10

20

30

40

50

前記監視部は、前記巻線に逆起電圧が発生する場合における前記巻線の線間電圧が前記直流電源の電圧よりも高くなっているか否かを判定する機能を有し、前記指令生成部に異常が生じて、かつ、前記巻線の線間電圧が前記直流電源の電圧よりも高くなっていると判定した場合、前記異常時制御部に対して前記全相短絡制御の実行を指示する電力変換器の制御回路。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、回転電機の各相の巻線に電氣的に接続された上下アームのスイッチを有する電力変換器の制御回路に関する。

【背景技術】

【0002】

この種の制御回路としては、電力変換器及び回転電機の少なくとも一方に異常が発生したことを判定した場合、上下アームのスイッチを強制的にオフに切り替えるものが知られている。例えば、特許文献1には、回転電機の巻線に流れる電流を検出する電流センサに異常が発生したと判定した場合、上下アームのスイッチを強制的にオフに切り替えるシャットダウン制御を行う制御回路が記載されている。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0003】

【文献】特開2016-13040号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

シャットダウン制御が行われる場合において、回転電機のロータの回転速度が高いことがある。このような状況下において、巻線に逆起電圧が発生する場合における巻線の線間電圧が、上下アームのスイッチの直列接続体に並列接続される直流電源の電圧よりも高くなることがある。この場合、スイッチがオフに切り替えられたとしても、スイッチに逆並列に接続されたダイオード、巻線及び直流電源を含む閉回路に巻線で発生した誘起電流が流れるいわゆる回生が実施されることとなる。その結果、電力変換器の直流電源側の直流電圧が大きく上昇し、直流電源、電力変換器（例えば、スイッチングデバイス、平滑コンデンサ）、及び直流電源に接続された電力変換器以外の機器のうち少なくとも1つの信頼性の低下や故障の懸念がある。

【0005】

本発明は、電力変換器及び回転電機の少なくとも一方に異常が発生したと判定された場合において回生が実施されることを抑制できる電力変換器の制御回路を提供することを主たる目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0006】

本発明は、回転電機の各相の巻線に電氣的に接続された上下アームのスイッチを有する電力変換器の制御回路において、上下アームの前記スイッチには、ダイオードが逆並列に接続され、前記電力変換器及び前記回転電機の少なくとも一方に異常が発生したことを判定する異常判定部と、前記巻線に逆起電圧が発生する場合における前記巻線の線間電圧が、上下アームの前記スイッチの直列接続体に並列接続される直流電源の電圧よりも高くなっているか否かを判定する電圧判定部と、前記異常判定部により異常が発生したと判定された場合において、前記電圧判定部により前記巻線の線間電圧が前記直流電源の電圧よりも高くなっていると判定されているときには、上下アームのうちいずれか一方のアームにおける全ての相の前記スイッチをオンし、他方のアームにおける全ての相の前記スイッチをオフする全相短絡制御を行う異常時制御部と、を備える。

【0007】

本発明では、電圧判定部により、巻線に逆起電圧が発生する場合における巻線の線間電圧が直流電源の電圧よりも高くなっているか否かが判定される。そして、異常判定部により異常が発生したと判定された場合において、電圧判定部により巻線の線間電圧が直流電源の電圧よりも高くなっていると判定されているときには、異常時制御部により上記全相短絡制御が行われる。これにより、ダイオード、巻線及び直流電源を含む閉回路が形成されなくなり、オンされたスイッチ及び巻線を含む閉回路が形成されることとなる。その結果、この閉回路に巻線で発生した誘起電流を流すことができ、回生が実施されることを抑制することができる。したがって、電力変換器の直流電源側の直流電圧が大きく上昇することを抑制することができる。

【図面の簡単な説明】

10

【0008】

【図1】第1実施形態に係る回転電機の制御システムの全体構成図。

【図2】制御回路の構成を示す図。

【図3】複合IC及び第1絶縁伝達部等の構成を示す図。

【図4】安全状態判定部が実行する処理の手順を示すフローチャート。

【図5】状態判定部が実行する処理の手順を示すフローチャート。

【図6】電圧センサの特性を示す図。

【図7】電圧センサの電圧信号等の推移を示すタイムチャート。

【図8】第2実施形態に係る制御回路の構成を示す図。

20

【図9】複合IC及び第1絶縁伝達部等の構成を示す図。

【図10】第3実施形態に係る制御回路の構成を示す図。

【図11】安全状態判定部が実行する処理の手順を示すフローチャート。

【図12】ロータの回転速度及びd、q軸電流等の関係を示す図。

【図13】第4実施形態に係る回転電機の制御システムの全体構成図。

【図14】制御回路の構成を示す図。

【図15】安全状態判定部が実行する処理の手順を示すフローチャート。

【図16】第5実施形態に係る制御回路の構成を示す図。

【図17】監視マイコンが実行する処理の手順を示すフローチャート。

【図18】第6実施形態に係る制御回路の構成を示す図。

【図19】安全状態判定部が実行する処理の手順を示すフローチャート。

30

【図20】低圧電源回路の出力電圧及び電圧センサの電圧信号等の推移を示すタイムチャート。

【図21】その他の実施形態に係る制御回路の構成を示す図。

【図22】その他の実施形態に係る制御回路の構成を示す図。

【図23】その他の実施形態に係る制御回路の構成を示す図。

【発明を実施するための形態】

【0009】

<第1実施形態>

以下、本発明に係る制御回路を具体化した第1実施形態について、図面を参照しつつ説明する。本実施形態に係る制御回路は、電力変換器としての3相インバータに適用される。本実施形態において、制御回路及びインバータを備える制御システムは、電気自動車やハイブリッド車等の車両に搭載される。

40

【0010】

図1に示すように、制御システムは、回転電機10、インバータ20及び制御回路30を備えている。回転電機10は、例えば、車載主機であり、そのロータが図示しない駆動輪と動力伝達可能とされている。本実施形態では、回転電機10として、同期機が用いられており、より具体的には、永久磁石埋込型のものが用いられている。

【0011】

回転電機10の各相巻線11には、インバータ20を介して、直流電源としての蓄電池21が接続されている。蓄電池21の出力電圧は、例えば百V以上である。なお、インバー

50

タ 20 の入力側には、インバータ 20 の入力電圧を平滑化する平滑コンデンサ 22 が設けられている。

【0012】

インバータ 20 は、上アームスイッチ SWH と下アームスイッチ SWL との直列接続体を 3 相分備えている。各相において、上、下アームスイッチ SWH, SWL の接続点には、巻線 11 の第 1 端が接続されている。各相巻線 11 の第 2 端は、中性点で接続されている。各相巻線 11 は、電気角で互いに 120° ずれている。ちなみに、本実施形態では、各スイッチ SWH, SWL として、電圧制御形の半導体スイッチング素子が用いられており、より具体的には、IGBT が用いられている。上、下アームスイッチ SWH, SWL には、フリーホイールダイオードである上、下アームダイオード DH, DL が逆並列に接続されている。

10

【0013】

各上アームスイッチ SWH の高電位側端子であるコレクタには、蓄電池 21 の正極端子が接続されている。各下アームスイッチ SWL の低電位側端子であるエミッタには、蓄電池 21 の負極端子が接続されている。

【0014】

図 1 及び図 2 に示すように、制御システムは、電圧センサ 23a、相電流センサ 23b 及び角度センサ 23c を備えている。電圧センサ 23a は、平滑コンデンサ 22 の端子電圧に応じた電圧信号 Vs を出力する。本実施形態において、電圧センサ 23a は、制御回路 30 に内蔵されている。相電流センサ 23b は、回転電機 10 に流れる各相電流のうち、少なくとも 2 相分の電流に応じた電流信号を出力する。角度センサ 23c は、回転電機 10 の電気角に応じた角度信号を出力する。角度センサ 23c としては、例えば、レゾルバ、エンコーダ又は磁気抵抗効果素子を有する MR センサが用いられる。なお、本実施形態では、相電流センサ 23b 及び角度センサ 23c は、制御回路 30 の外部に備えられている。

20

【0015】

制御回路 30 は、回転電機 10 の制御量をその目標値に制御すべく、インバータ 20 の各スイッチ SWH, SWL に対するスイッチング指令を生成する図 2 に示すマイコン 50 を備えている。制御量は、例えばトルクである。マイコン 50 は、指令生成部に相当し、各センサ 23a ~ 23c の出力信号に基づいて、スイッチング指令を生成する。なお、マイコン 50 は、各相において、上アームスイッチ SWH と下アームスイッチ SWL とが交互にオンされるようなスイッチング指令を生成する。

30

【0016】

マイコン 50 は、電圧センサ 23a から出力された電圧信号 Vs に基づいて、平滑コンデンサ 22 の端子電圧を電源電圧 VDC として検出する。マイコン 50 は、相電流センサ 23b から出力された電流信号に基づいて、各相電流のうち少なくとも 2 相分の電流を検出する。マイコン 50 は、角度センサ 23c から出力された角度信号に基づいて、回転電機 10 の電気角 θ_e を検出する。マイコン 50 は、検出した電気角 θ_e に基づいて、回転電機 10 の電気角速度 ω_e を算出する。

【0017】

図 2 を用いて、制御回路 30 の構成について説明する。

40

【0018】

制御回路 30 は、マイコン 50 に加え、電源部に相当する低圧電源回路 40 と、複合 IC 60 とを備えている。複合 IC 60 は、電源制御部 61、電源監視部 62 及び電源生成部 63 を備えている。電源制御部 61 は、低圧電源回路 40 を制御する。電源監視部 62 は、所定の条件が成立していると判定した場合、マイコン 50 に対してその動作を停止させるリセット信号を出力する。リセット信号がマイコン 50 に入力されると、マイコン 50 の動作が停止され、スイッチング指令の生成及び出力等が停止される。電源生成部 63 は、低圧直流電源 24 から入力された電圧を複合 IC 60 内で使用する電圧レベルに変換して出力する。

50

【0019】

低圧電源回路40は、低圧直流電源24の出力電圧を降圧する機能を有している。低圧直流電源24の出力電圧VBは、蓄電池21の出力電圧よりも低い。なお、制御回路30が提供する機能の少なくとも一部は、例えば、実体的なメモリ装置に記録されたソフトウェア及びそれを実行するコンピュータ、ハードウェア、又はそれらの組み合わせによって提供することができる。

【0020】

低圧電源回路40は、低圧直流電源24の出力電圧を降圧することにより、第1出力電圧V1r、第2出力電圧V2r及び第3出力電圧V3rを生成する。第1出力電圧V1rは、低圧直流電源24の出力電圧よりも低く設定されている。また、第2出力電圧V2r（例えば5V）は、第1出力電圧V1rよりも低く設定され、第3出力電圧V3r（例えば1.2V）は、第2出力電圧V2rよりも低く設定されている。

10

【0021】

第1出力電圧V1r、第2出力電圧V2r及び第3出力電圧V3rそれぞれの分圧値は、電源監視部62に入力される。電源監視部62は、分圧値に基づいて、第1出力電圧V1r、第2出力電圧V2r及び第3出力電圧V3rを検出する。

【0022】

電圧センサ23a、相電流センサ23b及び角度センサ23cには、低圧電源回路40の第2出力電圧V2rが供給される。これにより、各センサ23a～23cは、検出対象に応じた信号を出力できるようになっている。

20

【0023】

マイコン50は、CPUと、それ以外の周辺回路とを備えている。周辺回路には、例えば、外部と信号をやり取りするための入出力部と、AD変換部とが含まれている。マイコン50のCPUには、低圧電源回路40の第3出力電圧V3rが供給される。マイコン50の周辺回路には、低圧電源回路40の第2出力電圧V2rが供給される。

【0024】

制御回路30は、第1絶縁伝達部80、駆動回路部90、絶縁電源91、異常検知部92及び第2絶縁伝達部93を備えている。本実施形態において、第1絶縁伝達部80及び第2絶縁伝達部93は、フォトカプラにて構成されている。絶縁電源91は、低圧直流電源24を電力供給源として、駆動回路部90を構成する駆動回路に電力を供給する。駆動回路は、インバータ20の各スイッチSWH、SWLに対応して備えられ、絶縁電源91から給電されて駆動する。本実施形態では、各スイッチSWH、SWLに対応した駆動回路が合わせて6つ設けられている。

30

【0025】

複合IC60は、スイッチ制御部70、状態判定部64及び過電圧検知部65を備えている。スイッチ制御部70は、マイコン50から出力されたスイッチング指令を第1絶縁伝達部80を介して駆動回路部90に伝達させる。

【0026】

過電圧検知部65は、電圧センサ23aから出力された電圧信号Vsに基づいて電源電圧VDCを検出する。過電圧検知部65は、検出した電源電圧VDCが電源閾値よりも大きいと判定した場合、過電圧異常が発生している旨の情報をスイッチ制御部70に通知する。なお、過電圧検知部65は、電圧信号Vsに基づいて自ら電源電圧VDCを検出することなく、マイコン50が検出した電源電圧VDCを受信してもよい。

40

【0027】

図3に、スイッチ制御部70と、第1絶縁伝達部80のうちフォトダイオード側の構成とを示す。スイッチ制御部70は、3相分の上アームスイッチSWHに対応する上アーム制御部71H及びハイスイッチ72Hと、3相分の下アームスイッチSWLに対応する下アーム制御部71L及びロースイッチ72Lとを備えている。本実施形態において、ハイスイッチ72H及びロースイッチ72Lは、NチャネルMOSFETである。第1絶縁伝達部80は、3相分の上アームスイッチSWHに対応する上アームフォトダイオード82H

50

及び上アーム抵抗体 8 1 H と、3 相分の下アームスイッチ S W L に対応する下アームフォトダイオード 8 2 L 及び下アーム抵抗体 8 1 L とを備えている。

【 0 0 2 8 】

各上アーム抵抗体 8 1 H の第 1 端には、低圧電源回路 4 0 の第 1 出力電圧 V 1 r が印加される。上アーム抵抗体 8 1 H の第 2 端には、上アームフォトダイオード 8 2 H 及び複合 I C 6 0 の端子 T r を介して、ハイスイッチ 7 2 H のドレインが接続されている。ハイスイッチ 7 2 H のソースには、グランドが接続されている。

【 0 0 2 9 】

各下アーム抵抗体 8 1 L の第 1 端には、低圧電源回路 4 0 の第 1 出力電圧 V 1 r が印加される。下アーム抵抗体 8 1 L の第 2 端には、下アームフォトダイオード 8 2 L 及び複合 I C 6 0 の端子 T r を介して、ロースイッチ 7 2 L のドレインが接続されている。ロースイッチ 7 2 L のソースには、グランドが接続されている。

【 0 0 3 0 】

上アーム制御部 7 1 H には、自身に対応する上アームスイッチ S W H のスイッチング指令がマイコン 5 0 から入力される。本実施形態において、上アーム制御部 7 1 H は、ハイスイッチ 7 2 H をオンすることにより、スイッチング指令としてのオン指令を、第 1 絶縁伝達部 8 0 の上アームフォトダイオード 8 2 H 及び図示しない上アームフォトリスタを介して駆動回路部 9 0 の対応する駆動回路に伝達する。また、上アーム制御部 7 1 H は、ハイスイッチ 7 2 H をオフすることにより、スイッチング指令としてのオフ指令を、第 1 絶縁伝達部 8 0 の上アームフォトダイオード 8 2 H 及び図示しない上アームフォトリスタを介して駆動回路部 9 0 の対応する駆動回路に伝達する。駆動回路は、伝達されたスイッチング指令がオン指令であると判定した場合、上アームスイッチ S W H をオンする。一方、駆動回路は、伝達されたスイッチング指令がオフ指令であると判定した場合、上アームスイッチ S W H をオフする。

【 0 0 3 1 】

上アーム制御部 7 1 H には、状態判定部 6 4 から出力される強制スイッチ指令が入力される。上アーム制御部 7 1 H は、強制スイッチ指令が入力されていないと判定した場合、マイコン 5 0 からのスイッチング指令に従ってハイスイッチ 7 2 H をオン又はオフにする。上アーム制御部 7 1 H は、強制スイッチ指令がシャットダウン指令又は A S C (Active Short Circuit) 指令であると判定した場合、マイコン 5 0 からのスイッチング指令が入力されているか否かにかかわらず、ハイスイッチ 7 2 H をオフに維持する。これにより、第 1 絶縁伝達部 8 0 を介して駆動回路部 9 0 には、オフ指令が伝達される。その結果、上アームスイッチ S W H がオフされる。

【 0 0 3 2 】

下アーム制御部 7 1 L には、自身に対応する下アームスイッチ S W L のスイッチング指令がマイコン 5 0 から入力される。本実施形態において、下アーム制御部 7 1 L は、ロースイッチ 7 2 L をオンすることにより、スイッチング指令としてのオン指令を、第 1 絶縁伝達部 8 0 の下アームフォトダイオード 8 2 L 及び図示しない下アームフォトリスタを介して駆動回路部 9 0 の対応する駆動回路に伝達する。また、下アーム制御部 7 1 L は、ロースイッチ 7 2 L をオフすることにより、スイッチング指令としてのオフ指令を、第 1 絶縁伝達部 8 0 の下アームフォトダイオード 8 2 L 及び図示しない下アームフォトリスタを介して駆動回路部 9 0 の対応する駆動回路に伝達する。駆動回路は、伝達されたスイッチング指令がオン指令であると判定した場合、下アームスイッチ S W L をオンする。一方、駆動回路は、伝達されたスイッチング指令がオフ指令であると判定した場合、下アームスイッチ S W L をオフする。

【 0 0 3 3 】

下アーム制御部 7 1 L には、状態判定部 6 4 から出力される強制スイッチ指令が入力される。下アーム制御部 7 1 L は、強制スイッチ指令が入力されていないと判定した場合、マイコン 5 0 からのスイッチング指令に従ってロースイッチ 7 2 L をオン又はオフにする。下アーム制御部 7 1 L は、強制スイッチ指令がシャットダウン指令であると判定した場合

10

20

30

40

50

、スイッチング指令が入力されているか否かにかかわらず、ロースイッチ 72 L をオフに維持する。これにより、第 1 絶縁伝達部 80 を介して駆動回路部 90 には、オフ指令が伝達される。その結果、下アームスイッチ SW L がオフされる。下アーム制御部 71 L は、強制スイッチ指令が A S C 指令であると判定した場合、スイッチング指令が入力されているか否かにかかわらず、ロースイッチ 72 L をオンに維持する。これにより、第 1 絶縁伝達部 80 を介して駆動回路部 90 には、オン指令が伝達される。その結果、下アームスイッチ SW L がオンされる。

【0034】

ちなみに、オン指令を表す論理値とオフ指令を表す論理値とは、図 3 に示した構成で伝達される論理値と逆の論理値であってもよい。

【0035】

先の図 2 の説明に戻り、異常検知部 92 は、上、下アームスイッチ SW H , SW L 及び駆動回路部 90 の少なくとも 1 つに異常（以下、スイッチ側異常）が生じたと判定した場合、第 2 絶縁伝達部 93 を介して状態判定部 64 に異常信号を伝達する。なお、上、下アームスイッチ SW H , SW L の異常には、電流が過電流閾値を超える過電流異常、温度が温度閾値を超える過熱異常、及びスイッチのエミッタ及びコレクタ間電圧 V_{ce} が所定範囲からはずれず異常の少なくとも一方が含まれる。また、駆動回路部 90 の異常には、絶縁電源 91 から駆動回路部 90 へと電力が出力されない異常、絶縁電源 91 から駆動回路部 90 への出力電圧が規定電圧を低圧閾値を下回る異常、絶縁電源 91 から駆動回路部 90 への出力電圧が過電圧閾値を超える異常、及び絶縁電源 91 から駆動回路部 90 への出力電圧の変動量が規定値を超える異常のうち、少なくとも 1 つが含まれる。

【0036】

マイコン 50 は、各センサ 23 a ~ 23 c 及びマイコン 50 の少なくとも 1 つに異常が生じたと判定した場合、スイッチング指令の生成及び出力を停止するとともに、状態判定部 64 に対してスイッチ停止指令を出力する。センサの異常には、センサから信号が出力されない異常、センサの出力信号が第 1 所定量を下回る異常、センサの出力信号が第 1 所定量よりも大きい第 2 所定量を超える異常、及びセンサの出力特性異常のうち、少なくとも 1 つが含まれる。なお、マイコン 50 に異常が生じたか否かは、例えば、マイコン 50 自身又はマイコン 50 の外部に備えられる診断部による診断結果に基づいて判定されればよい。

【0037】

複合 IC 60 は、安全状態判定部 66 を備えている。安全状態判定部 66 は、電圧センサ 23 a の電圧信号 V_s に基づいて電源電圧 V_{DC} を検出し、検出した電源電圧 V_{DC} に基づいて安全状態を判定する。

【0038】

図 4 に、安全状態判定部 66 により実行される処理の手順を示す。この処理は、例えば所定の制御周期毎に繰り返し実行される。

【0039】

ステップ S 10 では、電圧信号 V_s に基づいて電源電圧 V_{DC} を検出し、検出した電源電圧 V_{DC} が判定電圧 V_{gmth} を超えているか否かを判定する。この処理は、回生が実施されるか否かを判定するための処理である。ステップ S 10 の処理が、電源電圧検出部及び電圧判定部に相当する。本実施形態において、判定電圧 V_{gmth} は、正常な蓄電池 21 の端子電圧が取り得る範囲の最小値、又はこの最小値よりも大きくてかつこの範囲の最大値未満の値に設定されている。

【0040】

ステップ S 10 において否定判定した場合には、逆起電圧が発生した場合における巻線 11 の線間電圧が蓄電池 21 の端子電圧以下となって回生が実施されないと判定し、ステップ S 11 に進む。ステップ S 11 では、後述する図 5 のステップ S 20 において異常が発生していると判定される場合において、状態判定部 64 から出力される強制スイッチ指令をシャットダウン指令にすることが安全状態であると判定する。

10

20

30

40

50

【0041】

一方、ステップS10において肯定判定した場合には、逆起電圧が発生した場合における巻線11の線間電圧が蓄電池21の端子電圧よりも高くなって回生が実施されると判定し、ステップS12に進む。ステップS12では、ステップS20において異常が発生していると判定される場合において、状態判定部64から出力される強制スイッチ指令をASC指令にすることが安全状態であると判定する。ステップS11, S12における安全状態判定部66による判定結果は、状態判定部64に入力される。

【0042】

続いて、図5を用いて、状態判定部64により実行される処理について説明する。この処理は、例えば、所定の制御周期毎に繰り返し実行される。

10

【0043】

ステップS20では、異常検知部92からのスイッチ側異常の通知、マイコン50からのスイッチ停止指令の入力、及び過電圧検知部65からの過電圧異常の通知のうち、少なくとも1つの事象が生じたか否かを判定する。なお、スイッチ側異常が生じたか否かは、第2絶縁伝達部93を介して異常信号が入力されたか否かで判定されればよい。また、ステップS20の処理が異常判定部に相当する。

【0044】

ステップS20において否定判定した場合には、ステップS21に進み、強制スイッチ指令をスイッチ制御部70に対して出力しない。これにより、マイコン50から出力されたスイッチング指令に基づく上、下アームスイッチSWH, SWLのスイッチング制御の継続が許可される。

20

【0045】

ステップS20において肯定判定した場合には、ステップS22に進み、強制スイッチ指令をASC指令にすることが安全状態であるとの判定結果が安全状態判定部66から入力されているとの条件と、マイコン50からASC無効化指令が入力されていないとの条件とが成立しているか否かを判定する。ASC無効化指令については、後に詳述する。

【0046】

ステップS22において否定判定、すなわち、シャットダウン指令にすることが安全状態であるとの判定結果が入力されているとの条件、及びASC無効化指令が入力されているとの条件のうち、少なくとも一方の条件が成立していると判定した場合には、ステップS23に進む。ステップS23では、強制スイッチ指令としてのシャットダウン指令を上、下アーム制御部71H, 71Lに対して出力する。これにより、3相全ての上、下アームスイッチSWH, SWLをオフするシャットダウン制御が実施される。

30

【0047】

ステップS22において肯定判定した場合には、ステップS24に進み、強制スイッチ指令としてのASC指令を上、下アーム制御部71H, 71Lに対して出力する。これにより、3相分の上アームスイッチSWHをオフし、3相分の下アームスイッチSWLをオンする全相短絡制御（以下、ASC制御）が実施される。ステップS22～S24の処理が異常時制御部に相当する。

【0048】

続いて、ASC無効化指令について説明する。

40

【0049】

本実施形態では、図6に示すように、蓄電池21の実際の端子電圧が高いほど小さくなる電圧信号Vsが電圧センサ23aから出力される。ここで、低圧電源回路40の起動時や低圧電源回路40の故障時等において、低圧電源回路40の第2出力電圧V2rが低くなり得る。第2出力電圧V2rが低くなると、蓄電池21の実際の端子電圧が低いにもかかわらず、電圧センサ23aの電圧信号Vsが小さくなり得る。この場合、検出される電源電圧VDCが高くなるため、蓄電池21の実際の端子電圧が低いにもかかわらず、蓄電池21の端子電圧が高いと誤判定されてしまう。その結果、シャットダウン制御を実行すべき状況であるにもかかわらず、ASC制御が誤って実行されるおそれがある。

50

【0050】

そこで、マイコン50は、低圧電源回路40の第2出力電圧 V_{2r} が所定電圧未満であると判定した場合、ASC無効化指令を状態判定部64に対して出力し、第2出力電圧 V_{2r} が所定電圧以上であると判定した場合、ASC無効化指令を状態判定部64に対して出力しない。状態判定部64は、図5のステップS22において、ASC無効化指令が入力されていることをもって、第2出力電圧 V_{2r} が所定電圧未満であると判定し、ステップS23の処理を行う。これにより、巻線11の線間電圧が蓄電池21の端子電圧よりも高くなっていると判定されている場合であっても、ASC制御が行われない。その結果、ASC制御が誤って実行される事態の発生を抑制できる。

【0051】

なお、マイコン50は、第2出力電圧 V_{2r} が所定電圧未満であると判定した場合、ASC無効化指令として、連続するパルス信号を状態判定部64に対して出力してもよい。状態判定部64は、パルス信号が入力されていると判定した場合にASC無効化指令が入力されていると判定し、パルス信号が入力されていないと判定した場合にASC無効化指令が入力されていないと判定する。これにより、信号固着に起因してASC無効化指令が誤って状態判定部64に伝達されることを抑制できる。ちなみに、マイコン50は、パルス信号に代えて、ASC無効化指令として論理H又はLのデジタル信号を出力してもよい。

【0052】

図7に、安全状態判定部66及び状態判定部64による処理の一例を示す。図7(a)は、電源電圧 V_{DC} の推移を示し、図7(b)は、マイコン50からのASC無効化指令の有無の推移を示し、図7(c)は、安全状態の推移を示す。

【0053】

時刻 t_1 において、安全状態判定部66により、電源電圧 V_{DC} が判定電圧 V_{gmth} を超えたと判定され、強制スイッチ指令をASC指令にすることが安全状態であると判定される。その後、時刻 t_2 において、電源電圧 V_{DC} が判定電圧 V_{gmth} 以下になったと判定され、安全状態判定部66により、強制スイッチ指令をシャットダウン指令にすることが安全状態であると判定される。

【0054】

その後、時刻 t_3 において、マイコン50からのASC無効化指令が状態判定部64に入力される。このため、時刻 t_4 において、電源電圧 V_{DC} が判定電圧 V_{gmth} を超えたと判定されるものの、強制スイッチ指令をシャットダウン指令にすることが安全状態であるとされる。その後、時刻 t_5 において、マイコン50からASC無効化指令の出力が停止される。

【0055】

以上説明したように、本実施形態では、スイッチ側異常、スイッチ停止指令の入力、及び過電圧異常のうち、少なくとも1つの事象が発生したと判定された場合において、巻線11に逆起電圧が発生した場合における巻線11の線間電圧が蓄電池21の端子電圧よりも高くなっていると判定されたときには、シャットダウン制御に代えてASC制御が行われる。これにより、上、下アームダイオードDH、DL、巻線11及び蓄電池21を含む閉回路が形成されなくなり、オンされた下アームスイッチSWL及び巻線11を含む閉回路が形成されることとなる。その結果、この閉回路に巻線11で発生した誘起電流を流すことができ、回生が実施されることを抑制することができる。したがって、平滑コンデンサ22の端子電圧が大きく上昇することを抑制したり、回転電機10の発生トルクの急増を抑制したりすることができる。

【0056】

また、本実施形態では、状態判定部64、安全状態判定部66及びスイッチ制御部70が同一の複合IC60として構成されている。このため、図5のステップS20において肯定判定されてから、ASC制御又はシャットダウン制御が実行されるまでの時間を短縮することができる。

【0057】

＜第1実施形態の変形例＞

図4に示した安全状態判定部66の処理を変更してもよい。詳しくは、ステップS11の判定とステップS12の判定との切り替えにヒステリシスを設けてもよい。安全状態判定部66は、電圧センサ23aの電圧信号Vsが第1判定電圧ASCHを下回ったと判定した場合、状態判定部64から出力される強制スイッチ指令をASC指令にすることが安全状態であると判定する。一方、安全状態判定部66は、電圧信号Vsが第2判定電圧ASCL(>ASCH)を超えたと判定した場合、状態判定部64から出力される強制スイッチ指令をシャットダウン指令にすることが安全状態であると判定する。この構成によれば、チャタリングを防止することができる。

【0058】

＜第2実施形態＞

以下、第2実施形態について、第1実施形態との相違点を中心に図面を参照しつつ説明する。本実施形態では、図8及び図9に示すように、マイコン50のスイッチング指令を伝達するための構成を変更する。なお、図8及び図9において、先の図2及び図3に示した構成と同一の構成又は対応する構成については、便宜上、同一の符号を付している。

【0059】

図9に示すように、スイッチ制御部70は、アーム制御部73、上アームSD部74、下アームSD部75及び下アームASC部76を備えている。アーム制御部73、上アームSD部74、下アームSD部75及び下アームASC部76は、低圧電源回路40の第2出力電圧V2rが供給されることにより駆動される。第1絶縁伝達部80は、第1ロースイッチ72Laと、第1ロースイッチ72Laに並列接続された第2ロースイッチ72Lbとを備えている。本実施形態において、各ロースイッチ72La, 72Lbは、NチャネルMOSFETである。また、第1絶縁伝達部80は、第1切替スイッチ83H、上アーム駆動部84H、第2切替スイッチ83L及び下アーム駆動部84Lを備えている。

【0060】

アーム制御部73は、状態判定部64から強制スイッチ指令が入力されていないと判定した場合、上アームSD部74及び下アームSD部75に対してオン指令を出力し、下アームASC部76に対してオフ指令を出力する。上アームSD部74は、入力されたオン指令を端子Trを介して上アーム駆動部84Hに出力する。下アームSD部75は、入力されたオン指令を端子Trを介して下アーム駆動部84Lに出力する。下アームASC部76は、入力されたオフ指令を端子Trを介して第2ロースイッチ72Lbのゲートに出力する。第1ロースイッチ72Laのゲートには、マイコン50のスイッチング指令が入力される。

【0061】

上アーム駆動部84Hは、オン指令が入力されていると判定した場合、第1切替スイッチ83Hをオンする。これにより、上アームフォトダイオード82Hに通電され、マイコン50のスイッチング指令が第1絶縁伝達部80を介して駆動回路部90に伝達される。

【0062】

下アーム駆動部84Lは、下アームSD部75からオン指令が入力されていると判定した場合、第2切替スイッチ83Lをオンする。これにより、下アームフォトダイオード82Lに通電され、マイコン50のスイッチング指令が第1絶縁伝達部80を介して駆動回路部90に伝達される。

【0063】

一方、アーム制御部73は、状態判定部64からの強制スイッチ指令がシャットダウン指令であると判定した場合、上アームSD部74、下アームSD部75及び下アームASC部76に対してオフ指令を出力する。上アーム駆動部84Hは、オフ指令が入力されていると判定した場合、第1切替スイッチ83Hをオフする。これにより、上アームフォトダイオード82Hへの通電が停止され、上アームスイッチSWHがオフされる。下アーム駆動部84Lは、オフ指令が入力されていると判定した場合、第2切替スイッチ83Lをオフする。これにより、下アームフォトダイオード82Lへの通電が停止され、下アームス

10

20

30

40

50

イッチ S W L がオフされる。その結果、シャットダウン制御が行われる。

【 0 0 6 4 】

一方、アーム制御部 7 3 は、状態判定部 6 4 からの強制スイッチ指令が A S C 指令であると判定した場合、上アーム S D 部 7 4 に対してオフ指令を出力し、下アーム S D 部 7 5 及び下アーム A S C 部 7 6 に対してオン指令を出力する。その結果、第 2 ロースイッチ 7 2 L b がオンされ、A S C 制御が行われる。

【 0 0 6 5 】

図 9 に示す構成によれば、複合 I C 6 0 と第 1 絶縁伝達部 8 0 との間の信号数を 3 つに減らすことができ、複合 I C 6 0 の端子 T r を 3 つに減らすことができる。

【 0 0 6 6 】

< 第 3 実施形態 >

以下、第 3 実施形態について、第 1 実施形態との相違点を中心に図面を参照しつつ説明する。本実施形態では、図 1 0 に示すように、複合 I C 6 0 は、線間電圧推定部 6 7 を備えている。図 1 0 において、先の図 2 に示した構成と同一の構成又は対応する構成については、便宜上、同一の符号を付している。

【 0 0 6 7 】

線間電圧推定部 6 7 には、角度センサ 2 3 c から出力された角度信号が入力される。線間電圧推定部 6 7 は、角度信号に基づいてロータの回転速度 N m を算出し、算出した回転速度 N m に基づいて、「 $V_c = K \times N m$ 」を用いて巻線 1 1 に逆起電圧が発生する場合における線間電圧 V c を推定する。K は、定数であり、ロータの磁極の磁束量 ϕ から定まる値である。推定された線間電圧 V c は、安全状態判定部 6 6 に入力される。安全状態判定部 6 6 は、線間電圧 V c 及び電源電圧 V D C に基づいて、安全状態を判定する。

【 0 0 6 8 】

なお、線間電圧推定部 6 7 は、ロータの回転速度 N m に代えて、電気角速度 ω_e に基づいて線間電圧 V c を推定してもよい。

【 0 0 6 9 】

図 1 1 に、安全状態判定部 6 6 により実行される処理の手順を示す。この処理は、例えば所定の制御周期毎に繰り返し実行される。なお、図 1 1 において、先の図 4 に示した処理と同一の処理については、便宜上、同一の符号を付している。

【 0 0 7 0 】

ステップ S 1 3 では、推定した線間電圧 V c が、検出した電源電圧 V D C を超えているか否かを判定する。この処理は、回生が実施されるか否かを判定するための処理である。

【 0 0 7 1 】

ステップ S 1 3 において否定判定した場合には、回生が実施されないと判定し、ステップ S 1 1 に進む。一方、ステップ S 1 3 において肯定判定した場合には、回生が実施されると判定し、ステップ S 1 2 に進む。

【 0 0 7 2 】

このように本実施形態では、推定された線間電圧 V c と比較される値として、検出された電源電圧 V D C が用いられる。これにより、巻線 1 1 に逆起電圧が発生した場合における線間電圧が蓄電池 2 1 の端子電圧よりも高くなっていることを的確に判定することができる。したがって、巻線 1 1 に電流が流れることを抑制し、回転電機 1 0 の温度の上昇を抑制できる。

【 0 0 7 3 】

本実施形態では、ロータの回転速度 N m から推定された線間電圧 V c が電源電圧 V D C よりも高いと判定された場合、巻線 1 1 に逆起電圧が発生する場合における線間電圧が蓄電池 2 1 の端子電圧よりも高くなっていると判定される。そして、線間電圧が蓄電池 2 1 の端子電圧よりも高くなっていると判定されている場合には、状態判定部 6 4 から出力される強制スイッチ指令を A S C 指令にすることが安全状態であると判定され、線間電圧が蓄電池 2 1 の端子電圧以下であると判定されている場合には、強制スイッチ指令をシャットダウン指令にすることが安全状態であると判定される。ここで、線間電圧 V c の推定に回

10

20

30

40

50

転速度Nmが用いられるのは、異常発生時に回転電機10の発生トルク（制動トルク）が大きくなるのを防止するためである。

【0074】

ASC制御が行われる場合、巻線11及びインバータ20内で電流が還流し、蓄電池21側に電流が流れる回生が実施されない。この場合であっても、巻線11には電流が流れるため、回転電機10のトルクが発生する。発生トルクは、q軸電流I_qの絶対値が大きいほど大きくなり、q軸電流I_qは、下式（eq1）に示すように、電気角速度ω_e（ロータの回転速度）が低いほど、その絶対値が大きくなる。これは、回転速度が低くなると、相対的に抵抗成分が大きくなるためである。下式（eq1）には、d軸電流I_dも合わせて示す。下式（eq1）は、周知の電圧方程式において、d、q軸電圧V_d、V_qを0とすることにより導くことができる。V_d、V_q=0とするのは、3相分の下アームスイッチSW_Lがオフされているためである。

【0075】

【数1】

$$I_d = -\frac{\omega_e^2 L_q \phi}{R^2 + \omega_e^2 L_d L_q}, \quad I_q = -\frac{R}{\omega_e L_q} I_d \quad \dots \quad (eq1)$$

図12に、ASC制御が行われている場合の各パラメータを示す。図12（a）は、回転速度Nm及びd、q軸電流I_d、I_qの関係を示し、図12（b）は、回転速度Nm及び相電流の振幅の関係を示す。図12（c）は、d軸電流I_d及びq軸電流I_qの関係を示し、図12（d）は、回転速度Nm及び回転電機10の発生トルクの関係を示す。図12（a）に示すように、回転速度Nmが低くなるほど、q軸電流I_qの絶対値が小さくなるものも、回転速度Nmが所定回転速度を下回ると、q軸電流I_qの絶対値が減少から増加に転じる。これにより、図12（d）に示すように、回転速度Nmが所定回転速度を下回る低回転領域において、発生トルクが減少から増加に転じる。このことは、低回転領域において、回転電機10の制動トルクが増大することを示している。制動トルクが増大すると、車両が急減速する懸念がある。このため、低回転領域では、ASC制御ではなく、シャットダウン制御が行われることが望ましい。

【0076】

ここで、先の図4のステップS10に示したように、回転速度Nmを用いずに電源電圧V_{DC}と判定電圧V_{gmth}との比較に基づいて回生が実施されるか否かを判定する構成では、低回転領域において回生が実施されると誤判定され得る。例えば、平滑コンデンサ22の端子電圧が高い状態において、その後ロータの回転速度Nmが低回転領域まで低下する場合を考える。この際、回転速度Nmは低下したものの、平滑コンデンサ22に蓄積された電荷量の変化が小さいと、低回転領域であるにもかかわらず、電源電圧V_{DC}が判定電圧V_{gmth}を超えていると安全状態判定部66により判定される。その結果、低回転領域において、強制スイッチ指令をASC指令とすることが安全状態と判定される。このような状況下、先の図5のステップS22において肯定判定されると、低回転領域においてASC制御が行われる。その結果、回転電機10の制動トルクが増大し、車両が急減速する懸念がある。

【0077】

これに対し、本実施形態では、回転速度Nmに基づいて線間電圧V_cが推定される。回転速度Nmが高いほど、線間電圧の振幅が高くなる傾向にある。このため、推定された線間電圧V_cが電源電圧V_{DC}を超えると判定される場合の回転速度Nmは、上記所定回転速度以上となっており、回転速度Nmが低回転領域を脱している。これは、本実施形態では、低回転領域において推定される線間電圧V_cが、蓄電池21が正常な場合において電源電圧V_{DC}が取り得る範囲の最小値以下とされているためである。したがって、本実施形態によれば、低回転領域においてASC制御が行われることを防止でき、車両の急減速を防止することができる。なお、この場合、シャットダウン制御が行われるが、線間電圧が

10

20

30

40

50

蓄電池 21 の端子電圧以下であるときは回生が実施されないので不都合は生じない。

【0078】

＜第3実施形態の変形例＞

・図11のステップS13において、検出された電源電圧VDCに代えて、図4のステップS10の判定電圧Vgmthが用いられてもよい。この場合であっても、低回転領域においてASC制御が実行されることを抑制する効果を得ることはできる。

【0079】

・ロータの温度を検出する温度センサの検出値又はロータの温度を推定する温度推定部の推定値と、回転速度Nmとに基づいて、逆起電圧Vcが推定されてもよい。

【0080】

・角度センサ23cから出力された角度信号を角度情報に変換する角度情報変換装置が必要な場合、その装置がマイコン50又は複合IC60に内蔵されたり、その装置として専用のICが配置されたりしてもよい。

【0081】

・角度センサ23cに代えて、ロータの回転速度（すなわち機械角速度）を検出する回転速度センサが用いられてもよい。

【0082】

・巻線11の線間電圧を検出するセンサを制御システムに備える。そして、ステップS13において、推定された線間電圧Vcに代えて、このセンサの検出値が用いられてもよい。

【0083】

＜第4実施形態＞

以下、第4実施形態について、第1実施形態との相違点を中心に図面を参照しつつ説明する。本実施形態では、図13に示すように、制御システムは、インバータ20から蓄電池21側に流れる電流に応じた電流信号を出力する入力電流センサ23dを備えている。図13において、先の図1に示した構成と同一の構成又は対応する構成については、便宜上、同一の符号を付している。

【0084】

図14に、制御回路30の構成を示す。図14において、先の図2に示した構成と同一の構成又は対応する構成については、便宜上、同一の符号を付している。

【0085】

入力電流センサ23dには、低圧電源回路40の第2出力電圧V2rが供給される。入力電流センサ23dの電流信号は、マイコン50に輸入される。マイコン50は、入力電流センサ23dから出力された電流信号に基づいて、インバータ20から蓄電池21側に流れる電流を検出する。

【0086】

安全状態判定部66には、電圧センサ23aの電圧信号Vsに代えて、入力電流センサ23dの電流信号が輸入される。また、安全状態判定部66には、各スイッチSWH、SWLのスイッチング状態の情報が状態判定部64から入力される。安全状態判定部66は、入力電流センサ23dの電流信号に基づいて、安全状態を判定する。

【0087】

図15に、安全状態判定部66により実行される処理の手順を示す。この処理は、例えば所定の制御周期毎に繰り返し実行される。なお、図15において、先の図4に示した処理と同一の処理については、便宜上、同一の符号を付している。

【0088】

ステップS14では、ASC制御が行われているか否かを判定する。

【0089】

ステップS14において否定判定した場合には、シャットダウン制御が行われていると判定し、ステップS15に進む。ステップS15では、シャットダウン制御が行われている状況下において、入力電流センサ23dの電流信号に基づいて、インバータ20から蓄電池21へと向かう方向に電流が流れているか否かを判定する。シャットダウン制御が行わ

10

20

30

40

50

れている場合において、実際の逆起電圧が蓄電池 2 1 の端子電圧を超えると、インバータ 2 0 から蓄電池 2 1 へと向かう方向に回生電流が流れる。

【0090】

ステップ S 1 5 において否定判定した場合には、回生が実施されていないと判定し、ステップ S 1 1 に進む。一方、ステップ S 1 5 において肯定判定した場合には、回生が実施されていると判定し、ステップ S 1 2 に進む。

【0091】

以上説明した本実施形態によれば、回生が実施される状況を的確に把握できる。このため、異常発生時に A S C 制御が実施される機会を減らすことができる。これにより、低回転領域において回転電機 1 0 の制動トルクが増大することを抑制できる。

【0092】

<第 5 実施形態>

以下、第 5 実施形態について、第 2 実施形態との相違点を中心に図面を参照しつつ説明する。本実施形態では、図 1 6 に示すように、制御回路 3 0 は、監視部に相当する監視マイコン 1 0 0 を備えている。図 1 6 において、先の図 8 に示した構成と同一の構成又は対応する構成については、便宜上、同一の符号を付している。本実施形態では、マイコン 5 0 を制御マイコン 5 0 と称することとする。また、制御マイコン 5 0 から出力されるスイッチ停止指令を第 1 スイッチ停止指令と称することとする。

【0093】

監視マイコン 1 0 0 は、制御マイコン 5 0 に異常が生じているか否かを監視する機能を有している。なお、この監視手法は、例えば、ウォッチドックタイマを用いる方法等、周知の方法が用いられればよい。

【0094】

監視マイコン 1 0 0 には、低圧電源回路 4 0 の第 2 出力電圧 V 2 r が供給されている。また、監視マイコン 1 0 0 には、角度センサ 2 3 c の角度信号及び電圧センサ 2 3 a の電圧信号 V s が入力される。

【0095】

図 1 7 に、監視マイコン 1 0 0 により実行される処理の手順を示す。この処理は、例えば所定の制御周期毎に繰り返し実行される。

【0096】

ステップ S 3 0 では、制御マイコン 5 0 に異常が生じているか否かを判定する。

【0097】

ステップ S 3 0 において異常が生じていると判定した場合には、ステップ S 3 1 に進み、A S C 制御の実行が必要な状況であるか否かを判定する。具体的には例えば、電圧センサ 2 3 a の電圧信号に基づく図 4 のステップ S 1 0 の手法、又は電圧信号及び角度センサ 2 3 c の角度信号に基づく図 1 1 のステップ S 1 3 の手法を用いて、巻線 1 1 に逆起電圧が発生する場合における巻線 1 1 の線間電圧が蓄電池 2 1 の端子電圧よりも高くなっているか否かを判定する。

【0098】

なお、制御システムに入力電流センサ 2 3 d が備えられる場合、図 1 5 のステップ S 1 5 の手法を用いてもよい。また、上述したいくつかの手法のうち、少なくとも 2 つの手法を組み合わせた手法を用いてもよい。

【0099】

ステップ S 3 1 において A S C 制御の実行が必要な状況でないと判定した場合には、ステップ S 3 3 に進み、状態判定部 6 4 に対して第 2 スイッチ停止指令を出力する。第 2 スイッチ停止指令は、第 1 スイッチ停止指令と同じ目的で出力される信号である。

【0100】

ステップ S 3 1 において A S C 制御の実行が必要な状況であると判定した場合には、ステップ S 3 2 に進み、安全状態判定部 6 6 に対して A S C 指令を出力する。安全状態判定部 6 6 は、入力された A S C 指令を状態判定部 6 4 に対して出力する。ここで、A S C 指令

10

20

30

40

50

は、信号固着の問題に対処すべく、連続するパルス信号であってもよい。

【0101】

以上説明した本実施形態によれば、制御マイコン50に異常が発生した場合、監視マイコン100から安全状態判定部66及び状態判定部64を介してASC制御の実行を指示することができる。

【0102】

<第5実施形態の変形例>

・監視マイコン100に代えて、制御マイコン50の監視機能等を有するICが備えられていてもよい。

【0103】

・複合IC60に安全状態判定部66が備えられなくてもよい。この場合、監視マイコン100は、図17のステップS31において肯定判定した場合、状態判定部64に対してASC指令を出力すればよい。

【0104】

・監視マイコン100は、制御マイコンの異常に関係なくステップS31の処理を行ってもよい。すなわち、ステップS30の処理が削除されてもよい。

【0105】

<第6実施形態>

以下、第6実施形態について、第2実施形態との相違点を中心に図面を参照しつつ説明する。本実施形態では、図18に示すように、安全状態判定部66に電源監視部62の監視結果が入力される。図18において、先の図8に示した構成と同一の構成又は対応する構成については、便宜上、同一の符号を付している。

【0106】

低圧電源回路40は、低圧直流電源24の出力電圧を降圧することにより、さらに第4出力電圧V4rを生成する。本実施形態において、第4出力電圧V4rは、第2出力電圧V2rと同じ値である。第4出力電圧V4rの分圧値は、電源監視部62に入力される。電源監視部62は、分圧値に基づいて、第4出力電圧V4rを検出する。

【0107】

本実施形態において、電圧センサ23a、相電流センサ23b及び角度センサ23cには、低圧電源回路40の第2出力電圧V2rではなく、第4出力電圧V4rが供給される。また、マイコン50には、低圧電源回路40の第2出力電圧V2r及び第4出力電圧V4rが供給される。

【0108】

電源監視部62は、電源制御部61及び低圧電源回路40を監視する機能を有している。電源監視部62は、電源制御部61及び低圧電源回路40のうち少なくとも一方に異常が生じたと判定した場合、異常が生じた旨を安全状態判定部66に対して出力する。電源監視部62は、検出した各出力電圧V1r～V4rに基づいて、低圧電源回路40の異常を監視する。

【0109】

本実施形態において、安全状態判定部66は、センサの出力信号に関わる異常が発生していないと判定されていることを条件として、安全状態を判定する。本実施形態において、センサの出力信号に関わる異常とは、センサの出力信号に基づいて算出される物理量と、センサの検出対象とする実際の物理量とのずれ量が所定以上となり、物理量の検出精度が低下する異常のことである。例えば電圧センサ23aの電圧信号Vsを例に説明すると、電圧信号Vsに基づいて算出された電源電圧VDCと、平滑コンデンサ22の実際の端子電圧とのずれ量が所定以上となり、電源電圧VDCの検出精度が低下する異常のことである。本実施形態において、センサの出力信号に関わる異常には、低圧電源回路40、各センサ23a、23b、23c、各センサ23a、23b、23cとマイコン50をつなぐインターフェース、及びマイコン50の異常に加えて、低圧電源回路40と各センサ23a、23b、23cとを接続する経路、各センサ23a、23b、23cとインターフ

10

20

30

40

50

エースとを接続する経路、及びインターフェースとマイコン50とを接続する経路上の異常も含まれる。また、本実施形態において、センサの出力信号に関わる異常には、低圧電源回路40が起動時及び停止時であることが含まれる。これは、低圧電源回路40の起動時及び停止時においては、低圧電源回路40の出力電圧が不安定となり、センサの出力信号に基づく物理量の検出精度が低下する懸念があるためである。

【0110】

ここで、センサの出力信号に関わる異常のうち、低圧電源回路40の異常の判定手法について説明すると、電源監視部62は、第4出力電圧 V_{4r} が第1閾値 V_{tLS} を下回ったと判定した場合、低圧電源回路40の低電圧異常が発生したと判定する。電源監視部62は、その後、第4出力電圧 V_{4r} が第2閾値 V_{tLH} ($> V_{tLS}$)を超えたと判定した場合、低圧電源回路40の低電圧異常が発生していないと判定する(図20(a)参照)。

10

【0111】

図19に、安全状態判定部66により実行される処理の手順を示す。この処理は、例えば所定の制御周期毎に繰り返し実行される。なお、図19において、先の図4に示した処理と同一の処理については、便宜上、同一の符号を付している。

【0112】

ステップS10において肯定判定した場合には、ステップS16に進み、センサの出力信号に関わる異常が発生しているか否かを判定する。ステップS16において異常が発生していないと判定した場合には、ステップS12に進む。一方、ステップS16において異常が発生していると判定した場合には、ステップS11に進む。この場合、回生が実施されると判定しているものの、状態判定部64から出力される強制スイッチ指令をシャットダウン指令とすることが安全状態であると判定する。

20

【0113】

なお、センサの出力信号に関わる異常が発生した場合、インバータ20の動作を継続できないときには、各スイッチSWH, SWLを停止(オフ)させてもよい。

【0114】

図20を用いて、低圧電源回路40の低電圧異常が発生した場合の処理について説明する。図20(a)は、第4出力電圧 V_{4r} の推移を示し、図20(b)～図20(d)は、先の図7(a)～図7(c)に対応している。また、図20の時刻 t_1 ～ t_5 は、先の図7の時刻 t_1 ～ t_5 に対応している。図20に示す例では、時刻 t_b において、第4出力電圧 V_{4r} が第1閾値 V_{tLS} を下回ったと判定され、低圧電源回路40の低電圧異常が発生したと判定される。このため、時刻 t_b 以降において、強制スイッチ指令をシャットダウン指令とすることが安全状態とされ、ASC制御が実行されない。

30

【0115】

また、時刻 t_a において第4出力電圧 V_{4r} が第2閾値 V_{tLH} を超えたと判定され、低圧電源回路40の低電圧異常が発生していないと判定される。したがって、時刻 t_a ～ t_b の期間においては、図19のステップS10での判定結果及びASC無効化指令の有無に応じて、安全状態が、シャットダウン指令とされることであるのか、又はASC指令とされることであるのか決定される。なお、時刻 t_a よりも前の期間においては、強制スイッチ指令をシャットダウン指令とすることが安全状態とされる。

40

【0116】

以上説明した本実施形態によれば、センサの出力信号に関わる異常が発生していると判定された場合、巻線11の線間電圧が蓄電池21の端子電圧よりも高くなっていると判定されているときであっても、状態判定部64から出力される強制スイッチ指令をシャットダウン指令とすることが安全状態と判定される。このため、先の図5のステップS20において肯定判定された場合であっても、ASC制御が実行されない。これにより、ASC制御を行うべきでない状況においてASC制御が誤って行われる事態の発生を抑制できる。

【0117】

また本実施形態では、低圧電源回路40から各センサ23a～23cに給電する系統と、低圧電源回路40からマイコン50に給電する系統とを分けている。この構成によれば、

50

第4出力電圧 V_{4r} が異常な値になったとしても、例えばマイコン50の動作を継続させることができる。

【0118】

＜第6実施形態の変形例＞

低圧電源回路40から各センサ23a～23cに給電する系統と、低圧電源回路40からマイコン50に給電する系統とが、先の図2に示した構成のように、共通の1系統であってもよい。すなわち、図2に示す構成において、電源監視部62の監視結果が安全状態判定部66に入力され、センサの出力信号に関わる異常が発生している場合にASC制御が実行されなくなる本実施形態の構成を適用できる。また、図8に示す構成においても、電源監視部62の監視結果が安全状態判定部66に入力され、センサの出力信号に関わる異常が発生している場合にASC制御が実行されなくなる本実施形態の構成を適用できる。

10

【0119】

＜その他の実施形態＞

なお、上記各実施形態は、以下のように変更して実施してもよい。

【0120】

・図10に示した構成に、電源監視部62の監視結果が安全状態判定部66に入力され、低圧電源回路40の出力電圧が2系統とされる図18に示した構成を適用してもよい。この構成を図21に示す。図21において、先の図10、図18に示した構成と同一の構成又は対応する構成については、便宜上、同一の符号を付している。

【0121】

・図14に示した構成に、電源監視部62の監視結果が安全状態判定部66に入力され、低圧電源回路40の出力電圧が2系統とされる図18に示した構成を適用してもよい。この構成を図22に示す。図22において、先の図14、図18に示した構成と同一の構成又は対応する構成については、便宜上、同一の符号を付している。

20

【0122】

・図16に示した構成に、電源監視部62の監視結果が安全状態判定部66に入力され、低圧電源回路40の出力電圧が2系統とされる図18に示した構成を適用してもよい。この構成を図23に示す。図23において、先の図16、図18に示した構成と同一の構成又は対応する構成については、便宜上、同一の符号を付している。

【0123】

・ASC制御としては、全相の下アームスイッチSWLに代えて全相の上アームスイッチSWHをオンし、全相の下アームスイッチSWLをオフする制御であってもよい。

30

【0124】

・上、下アームのうち、一方のアームの少なくとも1つのスイッチがオン固着する異常が発生した場合、ASC制御を、上、下アームのうち、オン固着が発生したアームの全相のスイッチをオンする制御とすればよい。

【0125】

また、上、下アームのうち、一方のアームの少なくとも1つのスイッチがオフ固着する異常が発生した場合、ASC制御を、上、下アームのうち、オフ固着が発生したアームとは別のアームの全相のスイッチをオンする制御とすればよい。

40

【0126】

・電圧センサ23aは、蓄電池21の端子電圧が高いほど大きくなる電圧信号 V_s を出力する特性を有していてもよい。

【0127】

・ASC制御を無効化する構成が備えられなくてもよい。この場合、例えば、図5のステップS22の処理において、ASC無効化指令が入力されているとの条件を削除すればよい。

【0128】

・インバータのスイッチとしては、IGBTに限らず、例えば、ボディダイオードを内蔵するNチャネルMOSFETであってもよい。

50

【0129】

・インバータの各相各アームのスイッチとしては、互いに並列接続された2つ以上のスイッチであってもよい。この場合、互いに並列接続されたスイッチの組み合わせとしては、例えば、S i Cのスイッチング素子及びS iのスイッチング素子の組み合わせ、又はI G B T及びM O S F E Tの組み合わせであってもよい。

【0130】

・指令生成部としては、マイコンに限らず、例えば、制御I C、又はモータ制御等の専用の機能を有するI Cであってもよい。

【0131】

・電源制御部61、電源監視部62、状態判定部64及びスイッチ制御部70等が実装されるI Cとしては、複合I Cに限らない。

【0132】

・電圧センサ23aは、制御回路30の外部に備えられていてもよい。また、相電流センサ23b、角度センサ23c及び入力電流センサ23dが制御回路30に内蔵されていてもよい。

【0133】

・第1絶縁伝達部80及び第2絶縁伝達部93としては、光絶縁素子としてのフォトカプラに限らず、例えば、磁気絶縁素子としての磁気カプラであってもよい。この場合において、A S C制御を実行しようとするとき、例えば、複合I C60は、磁気カプラに対して、マイコン50により生成されたスイッチング指令の出力の停止指令を出力する。また、複合I C60は、駆動回路部90に対して、上、下アームスイッチS W H，S W Lのうちの一方のオフ指令と他方のオン指令とを出力する。

【0134】

・回転電機の制御量としては、トルクに限らず、例えば、回転電機のロータの回転速度であってもよい。

【0135】

・回転電機としては、永久磁石同期機に限らず、例えば巻線界磁型同期機であってもよい。また、回転電機としては、同期機に限らず、例えば誘導機であってもよい。さらに、回転電機としては、車載主機として用いられるものに限らず、電動パワーステアリング装置や空調用電動コンプレッサを構成する電動機等、他の用途に用いられるものであってもよい。

【0136】

・回転電機としては、3相のものに限らず、例えば、6相又は9相のものであってもよい。例えば、6相の回転電機が用いられる場合、インバータは、例えば12個のスイッチを備えていればよい。

【0137】

・先の図1に示す構成において、蓄電池21とインバータ20との間に昇圧コンバータが備えられていてもよい。

【0138】

・低圧電源回路40を構成する電源回路としては、降圧回路に限らず、例えば、昇圧回路又は昇降圧回路であってもよい。

【0139】

・制御システムに備えられる回転電機及びインバータは、1組に限らず、2組又は3組等の複数組であってもよい。例えば、回転電機及びインバータが2組備えられる場合、各インバータは、合わせて12個のスイッチを備えていればよい。

【符号の説明】

【0140】

20…インバータ、30…制御回路、S W H，S W L…上，下アームスイッチ。

10

20

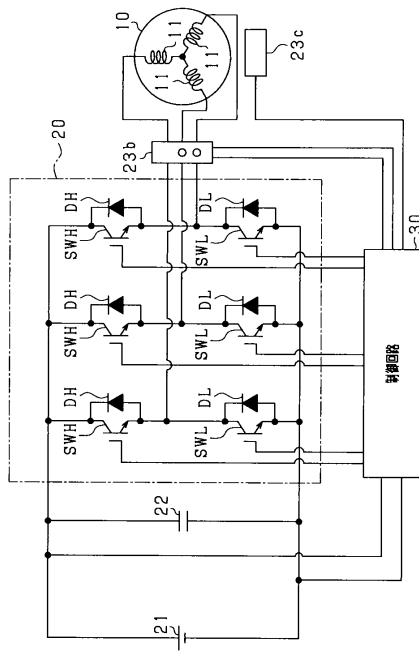
30

40

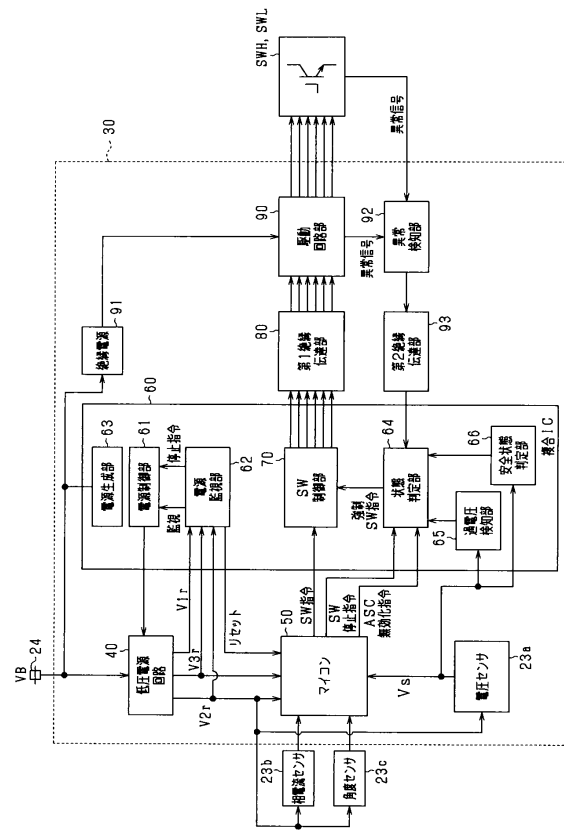
50

【凶面】

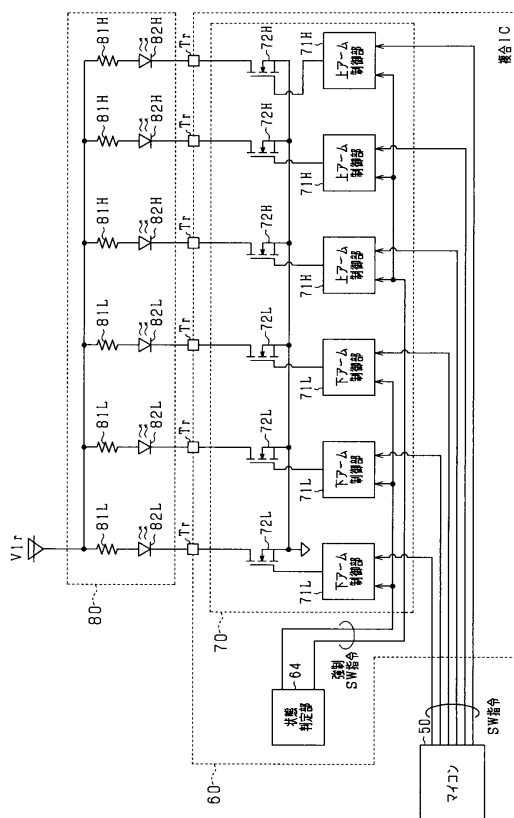
【図 1】



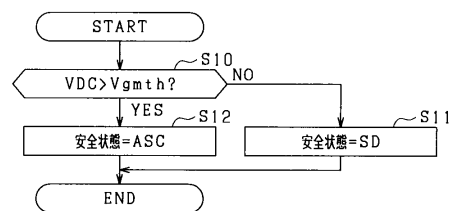
【圖 2】



【圖 3】



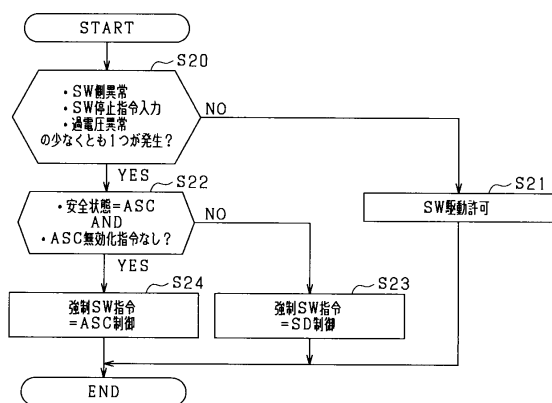
【図 4】



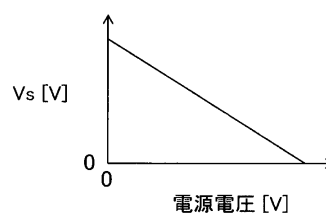
10

20

【図 5】



【圖 6】

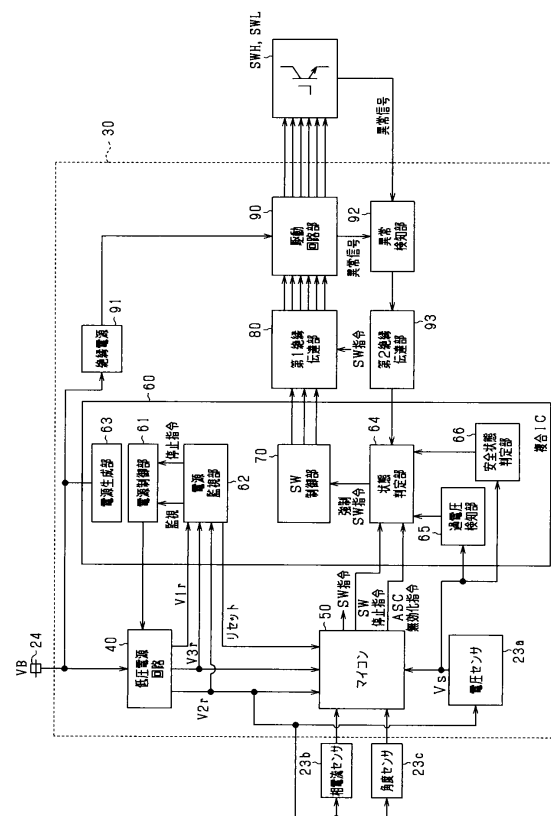


30

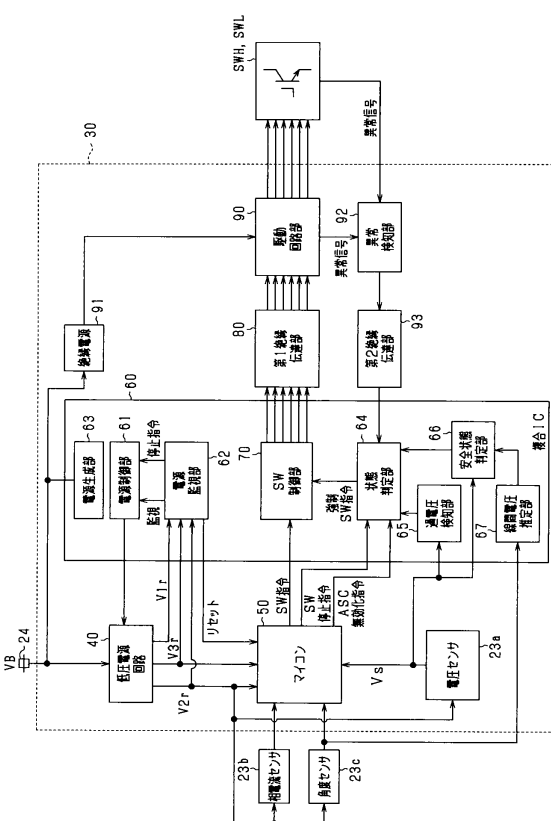
40

50

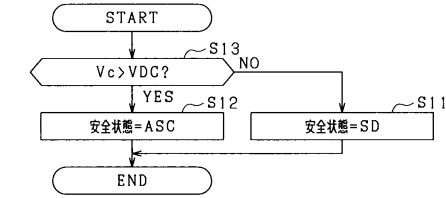
【圖 8】



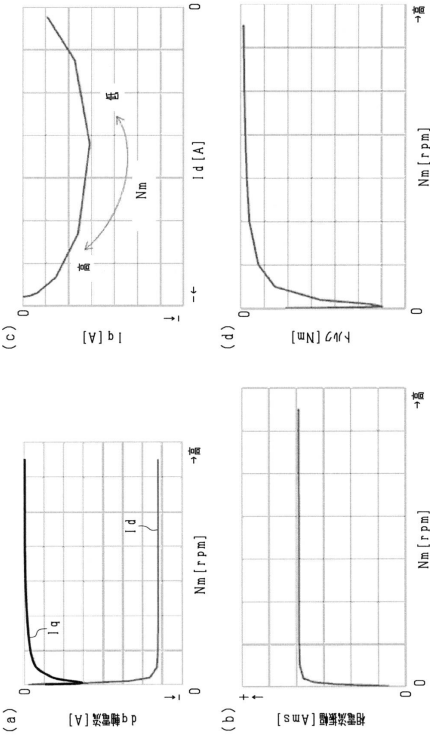
【図 10】



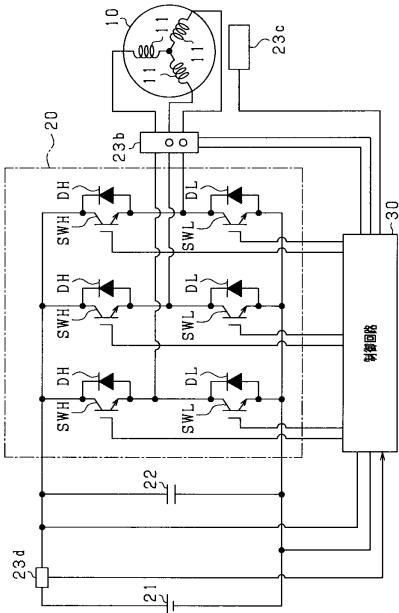
【図 1 1】



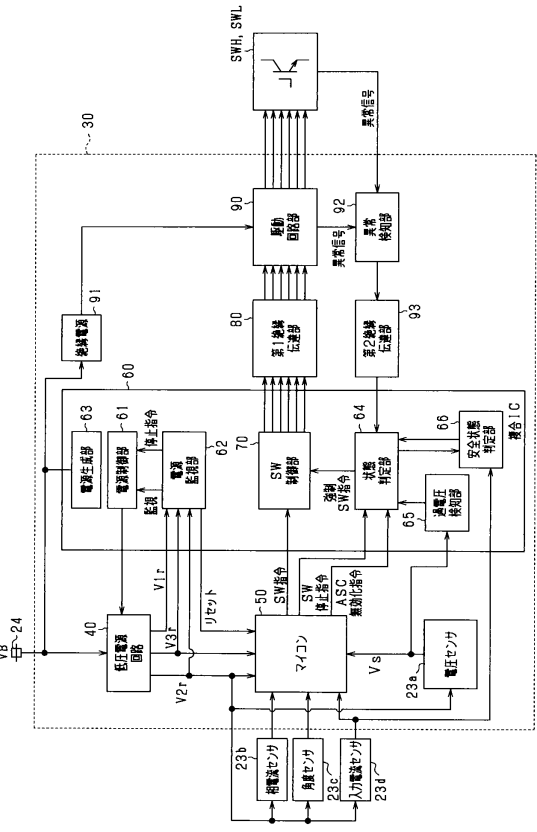
【図 1 2】



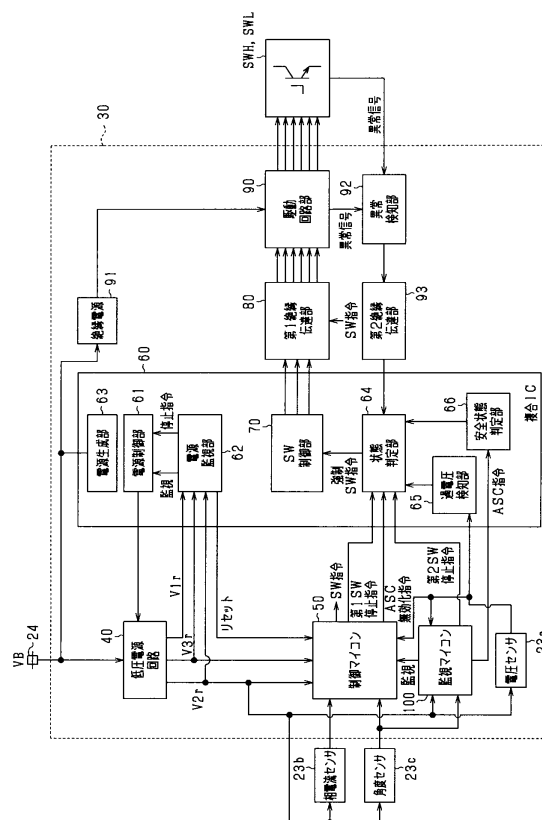
【図 1 3】



【図 1 4】

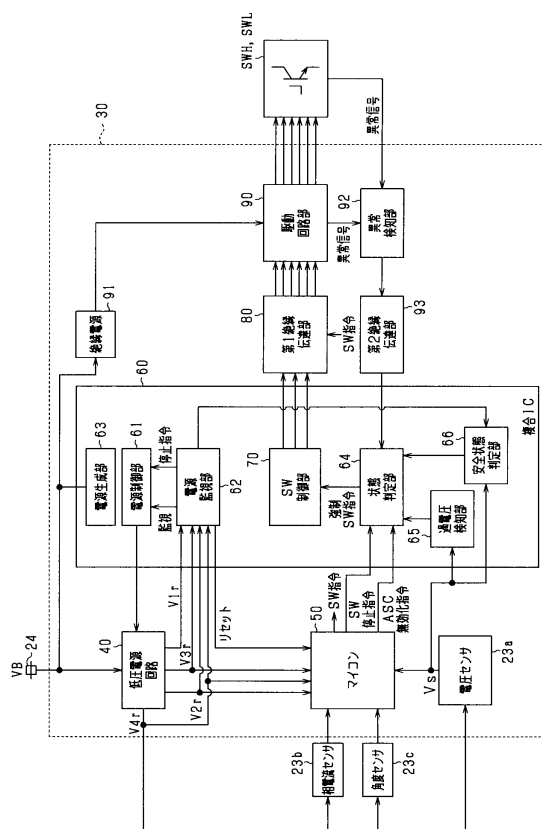


【図 16】



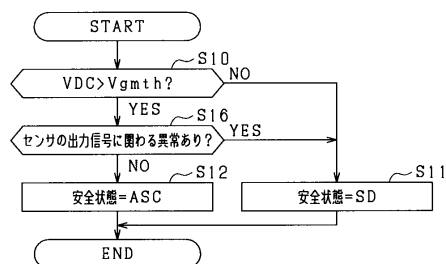
20

【図 18】

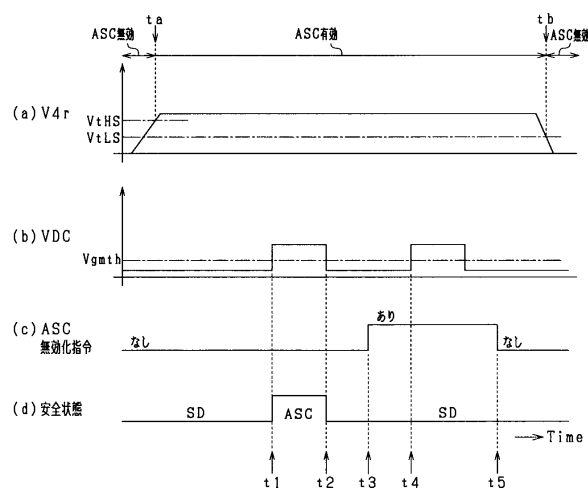


50

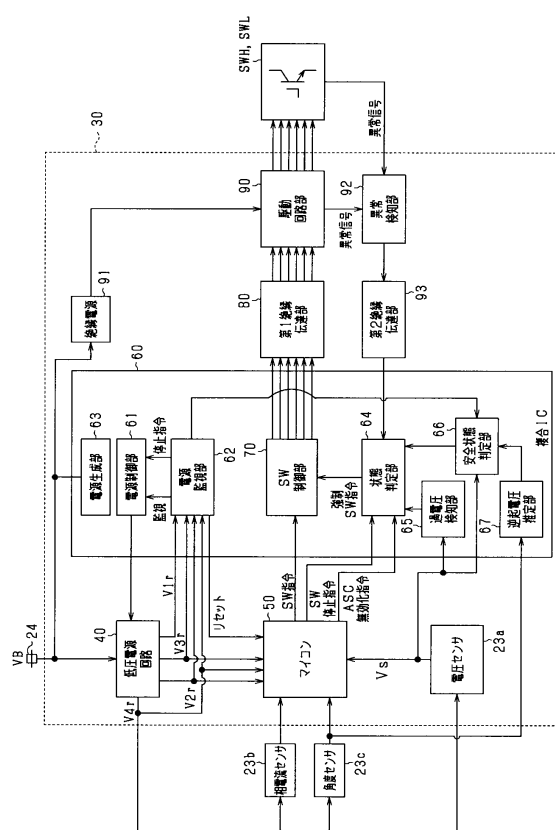
【図 19】



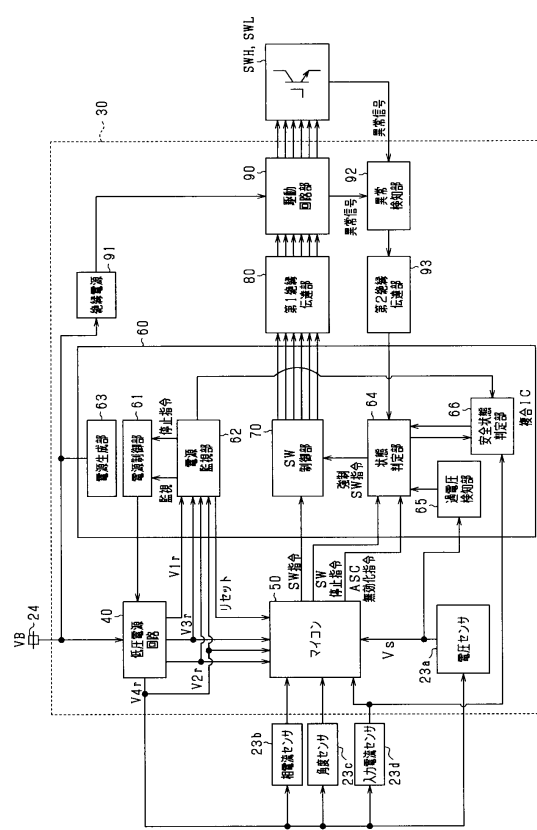
【図 20】



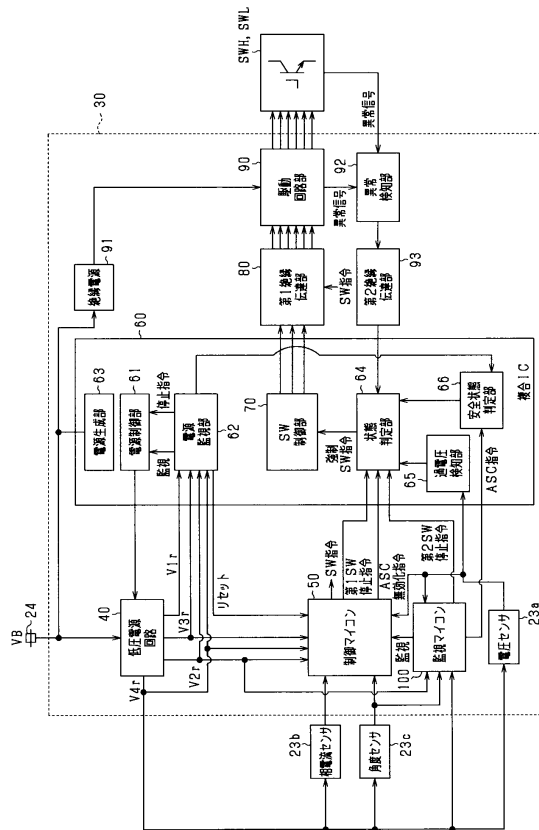
【図 2 1】



【圖 22】



【図 23】



10

20

30

40

50

フロントページの続き

- (56)参考文献 国際公開第2016/104318 (WO, A1)
 特開2012-244651 (JP, A)
 米国特許出願公開第2017/0302215 (US, A1)
 特開2009-303338 (JP, A)
 特開2012-055047 (JP, A)
 米国特許出願公開第2018/0178833 (US, A1)
- (58)調査した分野 (Int.Cl., DB名)
 H02M 7/42-7/98
 H02P 21/00-25/03
 H02P 25/04
 H02P 25/10-27/18