

(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
2018年5月24日(24.05.2018)



(10) 国際公開番号
WO 2018/092435 A1

(51) 国際特許分類:
H02M 7/48 (2007.01)

(21) 国際出願番号: PCT/JP2017/035532

(22) 国際出願日: 2017年9月29日(29.09.2017)

(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 2016-226209 2016年11月21日(21.11.2016) JP

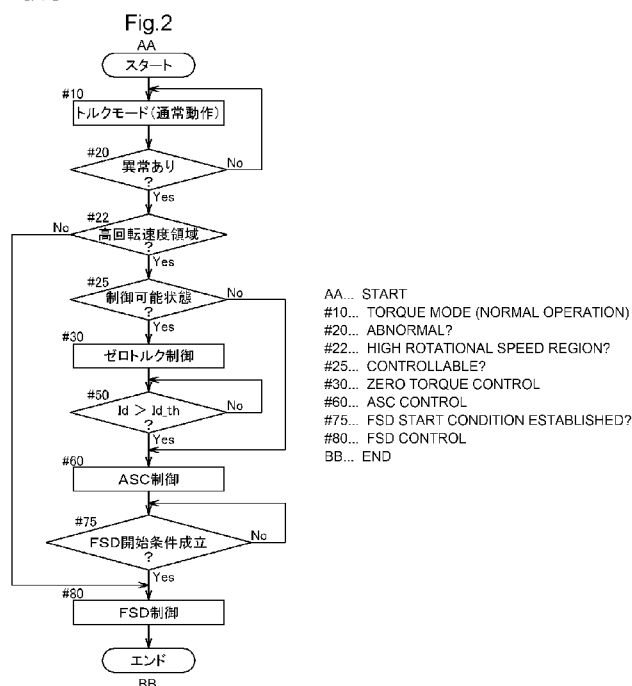
(71) 出願人: アイシン・エイ・ダブリュ株式会社
(AISIN AW CO., LTD.) [JP/JP]; 〒4441192 愛知県安城市藤井町高根 10番地 Aichi (JP).

(72) 発明者: サハスブラタ (SAHA Subrata); 〒4441192 愛知県安城市藤井町高根 10番地 アイシン・エイ・ダブリュ株式会社内 Aichi (JP). 島田有礼(SHIMADA Arinori); 〒4441192 愛知県安城市藤井町高根 10番地 アイシン・エイ・ダブリュ株式会社内 Aichi (JP). 杉山裕樹(SUGIYAMA Yuki); 〒4441192 愛知県安城市藤井町高根 10番地 アイシン・エイ・ダブリュ株式会社内 Aichi (JP). 小久保昌也(KOKUBO Masaya); 〒4441192 愛知県安城市藤井町高根 10番地 アイシン・エイ・ダブリュ株式会社内 Aichi (JP).

(54) Title: INVERTER CONTROL DEVICE

(54) 発明の名称: インバータ制御装置

[図2]



(57) Abstract: When an abnormality occurs during rotation of a rotating electric machine (80) (#20), an inverter control device (20) determines whether it is possible to control armature current or not (#25). When it is determined that it is possible to control the armature current (Yes in #25), the inverter control device (20) sets a torque command (T^*) so that the torque of the rotating electric machine becomes a predetermined torque or less and decreases drive current (I_q), and controls field current (I_d) so that, while maintaining a torque based on the torque command (T^*), the operating point



(74) 代理人: 特許業務法人 R & C (R&C IP LAW FIRM); 〒5300005 大阪府大阪市北区中之島三丁目3番3号 Osaka (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, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, 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, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, 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:

一 国際調査報告(条約第21条(3))

approaches the operating point after executing an active short circuit control (#30). After that, the inverter control device (20) starts the active short circuit control (#60).

(57) 要約: インバータ制御装置(20)は、回転電機(80)の回転中に異常が生じた場合(#20)に電機子電流の制御が可能であるか否かを判定する(#25)。インバータ制御装置(20)は、制御可能と判定した場合(#25 Yes)に、回転電機のトルクが所定トルク以下となるようにトルク指令(T*)を設定して駆動電流(I_q)を減少させると共に、当該トルク指令(T*)に基づくトルクを維持した状態で、アクティブショートサーキット制御の実行後の動作点に近づくように前記界磁電流(I_d)を制御する(#30)。インバータ制御装置(20)は、その後、アクティブショートサーキット制御を開始する(#60)。

明 細 書

発明の名称： インバータ制御装置

技術分野

[0001] 本発明は、直流電源と交流の回転電機に接続されて直流と複数相の交流との間で電力を変換するインバータを制御するインバータ制御装置に関する。

背景技術

[0002] 国際公開第2016/076429号（特許文献1）には、直流電源（11）に接続されると共に交流の回転電機（80）に接続されたインバータ（10）を制御する制御装置（20）が開示されている（背景技術の説明において括弧内に示す符号は、特許文献1のもの。）。この制御装置（20）は、回転電機（80）が高速回転しているときに異常が生じた場合に、アクティブショートサーキット制御を実行する。アクティブショートサーキット制御とは、複数相のアームの上段側及び下段側の何れか一方側のスイッチング素子（3）の全てをオン状態に制御し、他方側のスイッチング素子（3）の全てをオフ状態に制御する制御形態である。

[0003] 特許文献1では、回転電機（80）が高速回転しているときに異常が生じた場合、常にアクティブショートサーキット制御を実行している。このため、回転電機（80）により発電された電流の全てがインバータ（10）と回転電機（80）のコイルとを循環することにより、過電流が生じる虞があった。

先行技術文献

特許文献

[0004] 特許文献1：国際公開第2016/076429号

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0005] 上記背景に鑑みて、回転電機が回転している状態で回転電機又はインバータに異常が生じた場合に過電流を抑制できるインバータ制御装置の実現が望

まれる。

課題を解決するための手段

[0006] 1つの態様として、上記に鑑みたインバータ制御装置は、

直流電源に接続されると共に交流の回転電機に接続されて直流と複数相の交流との間で電力を変換するインバータであって、交流1相分のアームが上段側スイッチング素子と下段側スイッチング素子との直列回路により構成された当該インバータを制御対象とし、

前記回転電機の回転に同期して回転する2軸の直交座標系において、当該直交座標系の各軸に沿った界磁電流と駆動電流との合成ベクトルである電機子電流を制御して前記インバータを構成するスイッチング素子をスイッチング制御するインバータ制御装置であって、

複数相の前記アームの前記上段側スイッチング素子及び前記下段側スイッチング素子の何れか一方の前記スイッチング素子の全てをオン状態に制御し、他方の前記スイッチング素子の全てをオフ状態に制御するアクティブショートサーキット制御を実行するものであり、

前記回転電機が回転している状態で前記回転電機又は前記インバータに異常が生じた場合に、

当該インバータ制御装置による前記電機子電流の制御が可能であるか否かを判定し、

前記電機子電流を制御可能と判定した場合に、前記回転電機のトルクの絶対値が所定トルク以下となるようにトルク指令を設定して前記駆動電流を減少させると共に、当該トルク指令に基づくトルクを維持した状態で、前記アクティブショートサーキット制御の実行後の動作点に近づくように前記界磁電流を制御するトルク減少制御を実行した後に、前記アクティブショートサーキット制御を開始する。

[0007] この構成によれば、回転電機が回転している状態で回転電機又はインバータに異常が生じた場合には、インバータ制御装置による電機子電流の制御が可能であるか否かが判定され、当該制御が可能と判定される場合に、回転電

機のトルクが所定トルク以下となるように駆動電流が減少される。この制御の実行により駆動電流が減少した後は、回転電機から直流電源に回生される電流が小さくなる。その後、所定のタイミングで、アクティブショートサーキット制御が開始される。制御方式が切り換わる際には、インバータ及び回転電機に流れる電流に過渡的な振動が生じることがあるが、予めアクティブショートサーキット制御の実行後の動作点に近づくように界磁電流を制御しておくことにより、そのような振動の振幅を低減することができる。その結果、制御方式が切り換わる際の過電流の発生を抑制することができる。このように、本構成によれば、回転電機が回転している状態で回転電機又はインバータに異常が生じた場合に過電流を抑制することができ、モータの減磁を防ぎ、インバータ素子への負荷を低減できる。

[0008] インバータ制御装置のさらなる特徴と利点は、図面を参照して説明する実施形態についての以下の記載から明確となる。

図面の簡単な説明

- [0009] [図1]回転電機駆動装置のシステム構成を模式的に示すブロック図
- [図2]制御モードの遷移例を示すフローチャート
- [図3]制御モードの遷移例を電流の電流ベクトル空間上で模式的に示す説明図
- [図4]制御モードの遷移例を示す波形図
- [図5]制御モードの遷移例を電流の電流ベクトル空間上で模式的に示す説明図
- [図6]制御モードの他の遷移例を電流の電流ベクトル空間上で模式的に示す説明図
- [図7]制御モードの他の遷移例を電流の電流ベクトル空間上で模式的に示す説明図
- [図8]アクティブショートサーキット制御における通流経路の一例を示す図
- [図9]制御モードの他の遷移例を示すフローチャート
- [図10]パーシャルシャットダウン制御における通流経路の一例を示す図

発明を実施するための形態

[0010] 以下、インバータ制御装置の実施形態を図面に基づいて説明する。インバ

ータ制御装置 20 は、図 1 に示すように、インバータ 10 を介して回転電機 80 を駆動制御する。本実施形態では、インバータ 10 と後述する直流リンクコンデンサ 4（平滑コンデンサ）とを備えて、回転電機駆動装置 1 が構成されている。インバータ制御装置 20 は、回転電機駆動装置 1 を介して回転電機 80 を駆動制御することもできる。駆動対象の回転電機 80 は、例えばハイブリッド自動車や電気自動車等の車両の駆動力源となる回転電機である。車両の駆動力源としての回転電機 80 は、複数相の交流（ここでは 3 相交流）により動作する回転電機である。回転電機 80 は、電動機としても発電機としても機能することができる。

[0011] 車両には、回転電機 80 を駆動するための電力源として直流電源が搭載されている。直流電源は、ニッケル水素電池やリチウムイオン電池等の二次電池（バッテリー）や、電気二重層キャパシタ等である。本実施形態では、回転電機 80 に電力を供給するための大電圧大容量の直流電源として、例えば電源電圧が 200～400 [V] の高圧バッテリー 11 が備えられている。回転電機 80 は、交流駆動式であるから、高圧バッテリー 11 と回転電機 80 との間には、直流と交流（ここでは 3 相交流）との間で電力を変換するインバータ 10 が備えられている。インバータ 10 の直流側の正極電源ライン P と負極電源ライン N との間の電圧は、以下“直流リンク電圧 V_{dc} ”と称する。高圧バッテリー 11 は、インバータ 10 を介して回転電機 80 に電力を供給可能であると共に、回転電機 80 が発電して得られた電力を蓄電可能である。

[0012] インバータ 10 と高圧バッテリー 11 との間には、インバータ 10 の直流側の正負両極間電圧（直流リンク電圧 V_{dc} ）を平滑化する平滑コンデンサ（直流リンクコンデンサ 4）が備えられている。直流リンクコンデンサ 4 は、回転電機 80 の消費電力の変動に応じて変動する直流電圧（直流リンク電圧 V_{dc} ）を安定化させる。直流リンクコンデンサ 4 と高圧バッテリー 11 との間には、直流リンクコンデンサ 4 から回転電機 80 までの回路と、高圧バッテリー 11 との電氣的な接続を切り離すことが可能なコンタクタ 9 が備えられている。本実施形態において、このコンタクタ 9 は、車両の最も上位の制御

装置の1つである車両ECU (Electronic Control Unit) 90からの指令に基づいて開閉するメカニカルリレーであり、例えばシステムメインリレー (SMR : System Main Relay) と称される。コンタクタ9は、車両のイグニッションスイッチ (IGスイッチ) やメインスイッチがオン状態 (有効状態) の際にSMRの接点が閉じて導通状態 (接続状態) となり、IGキーがオフ状態 (非有効状態) の際にSMRの接点が開いて非導通状態 (開放状態) となる。インバータ10は、高圧バッテリー11と回転電機80との間にコンタクタ9を介して介在され、コンタクタ9が接続状態において高圧バッテリー11とインバータ10 (及び回転電機80) とが電氣的に接続され、コンタクタ9が開放状態において高圧バッテリー11とインバータ10 (及び回転電機80) との電氣的接続が遮断される。

[0013] インバータ10は、複数のスイッチング素子3を有して構成される。スイッチング素子3には、IGBT (Insulated Gate Bipolar Transistor) やパワーMOSFET (Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor) やSiC-MOSFET (Silicon Carbide - Metal Oxide Semiconductor FET) やSiC-SIT (SiC - Static Induction Transistor) 、GaN-MOSFET (Gallium Nitride - MOSFET) 等の高周波での動作が可能なパワー半導体素子を適用すると好適である。図1に示すように、本実施形態では、スイッチング素子3としてIGBTが用いられる。

[0014] インバータ10は、良く知られているように複数相 (ここでは3相) のそれぞれに対応する数のアーム3Aを有するブリッジ回路により構成される。つまり、図1に示すように、インバータ10の直流正極側 (直流電源の正極側の正極電源ラインP) と直流負極側 (直流電源の負極側の負極電源ラインN) との間に2つのスイッチング素子3が直列に接続されて1つのアーム3Aが構成される。3相交流の場合には、この直列回路 (1つのアーム3A) が3回線 (3相) 並列接続される。つまり、回転電機80のU相、V相、W相に対応するステータコイル8のそれぞれに一組の直列回路 (アーム3A) が対応したブリッジ回路が構成される。

[0015] 各相のスイッチング素子3による直列回路（アーム3A）の中間点、つまり、正極電源ラインPの側のスイッチング素子3（上段側スイッチング素子3H（31, 33, 35）：図8等参照）と負極電源ラインN側のスイッチング素子3（下段側スイッチング素子3L（32, 34, 36）：図8等参照）との接続点は、回転電機80のステータコイル8（8u, 8v, 8w：図8等参照）にそれぞれ接続される。尚、各スイッチング素子3には、負極“N”から正極“P”へ向かう方向（下段側から上段側へ向かう方向）を順方向として、並列にフリーホイールダイオード5が備えられている。

[0016] 図1に示すように、インバータ10は、インバータ制御装置20により制御される。インバータ制御装置20は、マイクロコンピュータ等の論理回路を中核部材として構築されている。例えば、インバータ制御装置20は、車両ECU90等の他の制御装置等から提供される回転電機80の目標トルク T_M に基づいて、ベクトル制御法を用いた電流フィードバック制御を行って、インバータ10を介して回転電機80を制御する。回転電機80の各相のステータコイル8を流れる実電流は電流センサ12により検出され、インバータ制御装置20はその検出結果を取得する。また、回転電機80のロータの各時点での磁極位置は、例えばレゾルバ等の回転センサ13により検出され、インバータ制御装置20はその検出結果を取得する。インバータ制御装置20は、電流センサ12及び回転センサ13の検出結果を用いて、電流フィードバック制御を実行する。インバータ制御装置20は、電流フィードバック制御のために種々の機能部を有して構成されており、各機能部は、マイクロコンピュータ等のハードウェアとソフトウェア（プログラム）との協働により実現される。

[0017] 車両には、高圧バッテリー11の他に、高圧バッテリー11とは絶縁され、高圧バッテリー11よりも低電圧の電源である低圧バッテリー（不図示）も搭載されている。低圧バッテリーの電源電圧は、例えば12～24[V]である。低圧バッテリーは、インバータ制御装置20や車両ECU90に、例えば電圧を調整するレギュレータ回路等を介して電力を供給する。車両ECU90やイ

ンバータ制御装置 20 等の電源電圧は、例えば 5 [V] や 3.3 [V] である。

[0018] ところで、インバータ 10 を構成する各スイッチング素子 3 の制御端子（IGBT の場合はゲート端子）は、ドライバ回路 30 を介してインバータ制御装置 20 に接続されており、それぞれ個別にスイッチング制御される。回転電機 80 を駆動するための高圧系回路と、マイクロコンピュータ等を中核とするインバータ制御装置 20 等の低圧系回路とは、動作電圧（回路の電源電圧）が大きく異なる。このため、各スイッチング素子 3 に対する駆動信号（スイッチング制御信号）の駆動能力（例えば電圧振幅や出力電流等、後段の回路を動作させる能力）をそれぞれ高めて中継するドライバ回路 30（制御信号駆動回路）が備えられている。低圧系回路のインバータ制御装置 20 により生成されたスイッチング制御信号は、ドライバ回路 30 を介して高圧回路系の駆動信号としてインバータ 10 に供給される。ドライバ回路 30 は、例えばフォトカプラやトランス等の絶縁素子やドライバ IC を利用して構成される。

[0019] インバータ制御装置 20 は、インバータ 10 を構成するスイッチング素子 3 のスイッチングパターンの形態（電圧波形制御の形態）として、少なくともパルス幅変調（PWM : Pulse Width Modulation）制御と矩形波制御（1 パルス制御）との 2 つの制御形態を有している。また、インバータ制御装置 20 は、ステータの界磁制御の形態として、モータ電流に対して最大トルクを出力する最大トルク制御や、モータ電流に対して最大効率でモータを駆動する最大効率制御等の通常界磁制御、及び、トルクに寄与しない界磁電流（d 軸電流 I_d ）を流して界磁磁束を弱める弱め界磁制御や、逆に界磁磁束を強める強め界磁制御等の界磁調整制御を有している。

[0020] 上述したように、本実施形態では、回転電機 80 の回転に同期して回転する 2 軸の直交ベクトル空間（直交座標系）における電流ベクトル制御法を用いた電流フィードバック制御を実行して回転電機 80 を制御する。電流ベクトル制御法では、例えば、永久磁石による界磁磁束の方向に沿った d 軸（界

磁電流軸、界磁軸）と、このd軸に対して電氣的に $\pi/2$ 進んだq軸（駆動電流軸、駆動軸）との2軸の直交ベクトル空間（d-q軸ベクトル空間）において電流フィードバック制御を行う。インバータ制御装置20は、制御対象となる回転電機80の目標トルク T_M に基づいてトルク指令 T^* を決定し、d軸電流指令 I_d^* 及びq軸電流指令 I_q^* を決定する。

[0021] そして、インバータ制御装置20は、これらの電流指令（ I_d^* 、 I_q^* ）と回転電機80のU相、V相、W相の各相のコイルを流れる実電流（ I_u 、 I_v 、 I_w ）との偏差を求めて比例積分制御演算（PI制御演算）や比例積分微分制御演算（PID制御演算）を行い、最終的に3相の電圧指令を決定する。この電圧指令に基づいて、スイッチング制御信号が生成される。回転電機80の実際の3相空間と2軸の直交ベクトル空間との間の相互の座標変換は、回転センサ13により検出された磁極位置 θ に基づいて行われる。また、回転電機80の回転速度 ω （角速度）や回転数 NR [rpm]は、回転センサ13の検出結果より導出される。

[0022] ところで、上述したように、本実施形態では、インバータ10のスイッチング形態には、PWM制御モードと矩形波制御モードとがある。PWM制御は、U相、V相、W相の各相のインバータ10の出力電圧波形であるPWM波形が、上段側スイッチング素子3Hがオン状態となるハイレベル期間と、下段側スイッチング素子3Lがオン状態となるローレベル期間とにより構成されるパルスの集合で構成されると共に、その基本波成分が一定期間で正弦波状となるように、各パルスのデューティが設定される制御である。公知の正弦波PWM（SPWM：Sinusoidal PWM）や、空間ベクトルPWM（SVPWM：Space Vector PWM）、過変調PWM制御等が含まれる。本実施形態においては、PWM制御では、直交ベクトル空間の各軸に沿った界磁電流（d軸電流 I_d ）と駆動電流（q軸電流 I_q ）との合成ベクトルである電機子電流を制御してインバータ10を駆動制御する。つまり、インバータ制御装置20は、d-q軸ベクトル空間における電機子電流の電流位相角（q軸電流ベクトルと電機子電流ベクトルとの為す角）を制御してインバータ10を駆動制

御する。従って、PWM制御は、電流位相制御とも称される。

[0023] これに対して、矩形波制御（1パルス制御）は、3相交流電力の電圧位相を制御してインバータ10を制御する方式である。3相交流電力の電圧位相とは、3相の電圧指令値の位相に相当する。本実施形態では、矩形波制御は、インバータ10の各スイッチング素子3のオン及びオフが回転電機80の電気角1周期に付き1回ずつ行われ、各相について電気角1周期に付き1パルスが出力される回転同期制御である。本実施形態においては、矩形波制御は、3相電圧の電圧位相を制御することによってインバータ10を駆動するので、電圧位相制御と称される。

[0024] また、上述したように、本実施形態では界磁制御の形態として、通常界磁制御と、界磁調整制御（弱め界磁制御、強め界磁制御）とを有している。最大トルク制御や最大効率制御等の通常界磁制御は、回転電機80の目標トルク T_M に基づいて設定される基本的な電流指令値（d軸電流指令 I_d^* 、q軸電流指令 I_q^* ）を用いた制御形態である。これに対して、弱め界磁制御とは、ステータからの界磁磁束を弱めるために、この基本的な電流指令値の内のd軸電流指令 I_d^* を調整する制御形態である。また、強め界磁制御とは、ステータからの界磁磁束を強めるために、この基本的な電流指令値の内のd軸電流指令 I_d^* を調整する制御形態である。弱め界磁制御や強め界磁制御等の際には、このようにd軸電流 I_d が調整されるが、ここでは、この調整値を界磁調整電流と称する。

[0025] 上述したように、回転電機80は、目標トルク T_M に応じてPWM制御や矩形波制御により駆動制御される。ところで、回転電機80が駆動中に車両のIGスイッチ（メインスイッチ）がオフ状態となったり、例えば回転電機80又はインバータ10に異常が生じるなどして車両の安全を確保する必要が生じたりした場合には、SMRの接点が開放されて（コンタクタ9が開放されて）、高圧バッテリー11とインバータ10との電氣的接続が遮断される。なお、ここで言う「異常」には、例えば過電流検出、過電圧検出、各種センサ異常、回転電機80の温度異常、インバータ10の温度異常、上位の制

御ユニット（車両ECU90）からの停止指令、イグニッションオフ検知、及び車両の衝突検知等が含まれる。

[0026] このため、コンタクタ9が開放状態となった場合には、インバータ10を構成するスイッチング素子3の全てをオフ状態とするシャットダウン制御（SD制御）が実施される場合がある。シャットダウン制御が実施された場合、ステータコイル8に蓄積された電力が、フリーホイールダイオード5を介して直流リンクコンデンサ4に充電される。このため、直流リンクコンデンサ4の端子間電圧（直流リンク電圧 V_{dc} ）が短時間で急激に上昇するおそれがある。直流リンク電圧 V_{dc} の上昇に備えて直流リンクコンデンサ4を大容量化、高耐圧化すると、コンデンサの体格の増大につながる。また、スイッチング素子3の高耐圧化も必要となる。これは、回転電機駆動装置1の小型化の妨げとなり、部品コスト、製造コスト、製品コストにも影響する。

[0027] 本実施形態のインバータ制御装置20は、後述するようにシャットダウン制御と、アクティブショートサーキット制御と、条件付きでのトルク減少制御とを行うことにより、回転電機80のトルクの絶対値を減少させ、駆動電流（q軸電流 I_q ）を減少させると共に、当該回転電機80のトルクを維持した状態で、アクティブショートサーキット制御の実行後の動作点に近づくように界磁電流（d軸電流 I_d ）を制御する点に特徴を有する。本実施形態では、トルク減少制御として、ゼロトルク制御を実行する。ゼロトルク制御とは、トルク減少制御において、回転電機80のトルクがゼロとなるようにトルク指令を設定する制御である。この場合、駆動電流（q軸電流 I_q ）はゼロ状態まで減少する。ここで、電流に関する「ゼロ状態」とは、ゼロを含む±数[A]の範囲を含む状態をいう。また、例えば、トルクに対して「ゼロ状態」と称する場合には、ゼロを含む±数[Nm]の範囲を含む状態をいう。その他の物理量についても特に明記しない限り同様である。本実施形態では、回転電機80が回生運転中であり、その回生電力がインバータ10を介して高圧バッテリー11の方向へ回生されている状態で、異常が生じた場合を例として説明する。また、ここでは、回生運転中の回転電機80が、P

WM制御で制御されている場合を例として説明する。

[0028] 以下、図2～図5を参照して、ゼロトルク制御について説明する。図2のフローチャート及び図4の波形図は、それぞれ制御モードの遷移例を示している。また、図3及び図5は、制御モードの遷移例を電流の電流ベクトル空間（直交座標系）において模式的に示している。図3及び図5において、符号“100”（101～103）は、それぞれ回転電機80が、あるトルクを出力する電機子電流のベクトル軌跡を示す等トルク線である。等トルク線101よりも等トルク線102の方が低トルクであり、さらに等トルク線102よりも等トルク線103の方が低トルクである。

[0029] 曲線“300”は電圧制限楕円（電圧速度楕円）を示している。電圧制限楕円は、回転電機80の回転速度 ω 及びインバータ10の直流電圧（直流リンク電圧 V_{dc} ）の値に応じて設定可能な電流指令の範囲を示すベクトル軌跡である。電圧制限楕円300の大きさは、直流リンク電圧 V_{dc} と回転電機80の回転速度 ω （又は回転数 NR ）とに基づいて定まる。具体的には、電圧制限楕円300の径は直流リンク電圧 V_{dc} に比例し、回転電機80の回転速度 ω に反比例する。電流指令（ I_d^* 、 I_q^* ）は、このような電流ベクトル空間において電圧制限楕円300内に存在する等トルク線100の線上の動作点における値として設定される。

[0030] 図2に示すように、インバータ制御装置20は、通常動作として回転電機80をトルクモード（目標トルク T_M に応じた例えばPWM制御）で制御している（#10）。この時の、電流ベクトル空間における回転電機80の動作点は、図3に示す第1動作点P1である。換言すれば、回転電機80は、等トルク線103上の第1動作点P1において、通常動作としてのトルクモードで回生動作している。

[0031] ここで、図2に例示するように、異常が生じたと判定されると（#20）、インバータ制御装置20はまず最初に、回転電機80の回転速度 ω が高回転速度領域（予め定められた基準速度以上の回転速度領域）にあるか否かを判定する（#22）。そして、異常が判定された場合においてさらに回転電

機 80 の回転速度 ω が高回転速度領域にあると判定された場合には、インバータ制御装置 20 は、当該インバータ制御装置 20 が制御可能な状態であるか否かを判定する（# 25）。この制御可否判定は、インバータ 10 及びインバータ制御装置 20 の各部や電源デバイス（例えば低圧バッテリー）、センサデバイス（例えば電流センサ 12 や回転センサ 13）の健全性を確認することによって行うことができる。

[0032] 例えばインバータ制御装置 20 は、インバータ 10 及びインバータ制御装置 20 がそれ自体それぞれ正常に機能しているかを確認する。また例えばインバータ制御装置 20 は、インバータ制御装置 20 や車両 ECU 90 への電力供給源としての低圧バッテリーや、電流フィードバック制御用に各種情報を得るための電流センサ 12 や回転センサ 13 等が、それぞれ正常に機能しているかを確認する。そして、インバータ制御装置 20 は、それらが全て健全であることが確認できた場合、電機子電流の制御が可能な状態であると判定する。一方、インバータ制御装置 20 は、それらのうちの少なくとも 1 つが機能不全に陥っていた場合、制御不能な状態であると判定する。

[0033] 回転電機 80 が高速回転している状態で回転電機 80 又はインバータ 10 に異常が生じた場合においてさらにステップ # 25 で制御可能状態であると判定した場合、インバータ制御装置 20 は、通常動作としてのトルクモードから、回転電機 80 のトルクがゼロとなるようにトルク指令 T^* を設定して q 軸電流 I_q （駆動電流）をゼロ状態まで減少させると共に、当該トルク指令 T^* に基づくトルクを維持した状態で電機子電流が増加するように d 軸電流 I_d （界磁電流）を増加させるゼロトルク制御を開始する（# 30）。ゼロトルク制御の開始は、放電モードの開始と等価である。図 3 に示すように、インバータ制御装置 20 は、動作点を、第 1 動作点 P1 から第 2 動作点 P2 へと移動させるような制御を実行する。なお、本実施形態において、 q 軸電流 I_q （駆動電流）の減少とは、絶対値基準での値が小さくなることを意味する。また、 q 軸電流 I_q （駆動電流）の増加とは、絶対値基準での値が大きくなることを意味する。以下、他の物理量に関しても同様に考えることがで

きる。

[0034] インバータ制御装置 20 は、例えば制御が追従可能な範囲内で大きいトルク変化率 ΔT で回転電機の回生トルクがゼロに向かって減少するように、トルク指令 T^* を設定する。トルク変化率 ΔT は、回転電機 80 が制御可能な範囲での回生電力の変化率の最大値である電力変化率 ΔW [kW/s] と、現在の回転電機 80 の回転数 N_R [rpm] (回転速度 ω) とに基づいて算出可能である。急激なトルク変動を抑制するため、トルク変化率 ΔT には変化率制限値が設定されても良い。

[0035] ゼロトルク制御の開始時には、図 4 に示すように、3 相電流波形の振幅 (波高値 I_1) が大きくなる場合がある。しかし、後述するように、通常動作からゼロトルク制御へ円滑に遷移するように制御されるため、発明者らによる実験やシミュレーションによれば、3 相電流波形の振幅は許容値の範囲内に収まっていることが確認された。

[0036] 本実施形態では、第 1 動作点 P_1 から、 d 軸電流 I_d を一定値に保ったままで q 軸電流 I_q を減少させてトルクをゼロに近づけていく。つまり、図 3 に示すように、第 1 動作点 P_1 から、 q 軸電流 I_q がゼロ状態で d 軸電流 I_d が第 1 動作点 P_1 での d 軸電流 I_d に等しい第 2 動作点 P_2 まで遷移させる。別の形態として、第 2 動作点 P_2 を、 q 軸電流 I_q の減少を優先して、第 1 動作点 P_1 の座標と q 軸電流 I_q の減少速度と d 軸電流 I_d の増加速度とに基づいて設定される座標とするなどしても好適である。

[0037] 第 2 動作点 P_2 では、 q 軸電流 I_q はゼロ状態であるが、 d 軸電流 I_d はゼロ状態ではない。従って、放電モード (ゼロトルク制御) の継続によって、直流リンク電圧 V_{dc} が低下していく。インバータ制御装置 20 は、第 2 動作点 P_2 からさらに電圧制限楕円 300 の中心点である第 3 動作点 P_3 の方向へ、 d 軸電流 I_d を増加させると好適である。後述するように、異常が生じるとアクティブショートサーキット制御が開始されるが、アクティブショートサーキット制御への移行時には電流が振動する場合がある。従って、 q 軸電流 I_q がゼロ状態に達した後も、 d 軸電流 I_d を増加させることによ

って、直流リンクコンデンサ4に蓄積されたエネルギーを効率的に消費させておくと、アクティブショートサーキット制御への移行時に振動する電流の振幅（例えば図4の時刻 t_3 における波高値 I_3 ）を抑制することができる。

[0038] また、アクティブショートサーキット制御への移行時の過電流を抑制することができ、磁束変化率を小さく抑えることができる。このため、回転電機80のロータに備えられる永久磁石が高温の状態であったとしても、不可逆減磁が生じるのを有効に抑制することができる。

[0039] インバータ制御装置20は、 q 軸電流 I_q （駆動電流）がゼロ状態に達し、上記ゼロトルク制御を継続した状態で、 d 軸電流 I_d （より詳細には、 d 軸電流 I_d の絶対値）が予め規定されたしきい値電流 I_{d_th} を超えて大きくなったと判定した場合（#50）に、ゼロトルク制御に代えて、アクティブショートサーキット制御を開始する（#60）。例えば d 軸電流 I_d の絶対値がしきい値電流 I_{d_th} よりも大きくなって動作点が第3動作点P3に達すると（図3を参照）、ゼロトルク制御を終了してアクティブショートサーキット制御（ASC制御）を開始する。なお、ステップ#50の判定は、少なくとも d 軸電流 I_d に応じて定まる変調率が、予め規定された変調率しきい値を超えて小さくなったことに基づいて実施されても良い。回転電機80が高速回転している状態で回転電機80又はインバータ10に異常が生じた場合においてステップ#25で制御不能状態であると判定した場合には、インバータ制御装置20は、通常動作としてのトルクモードから、上述したゼロトルク制御（#30）を実行することなく、直ちにアクティブショートサーキット制御を開始する（図5：#60）。

[0040] アクティブショートサーキット制御とは、複数相のアーム3Aの上段側スイッチング素子3H及び下段側スイッチング素子3Lの何れか一方のスイッチング素子3の全てをオン状態に制御し、他方のスイッチング素子3の全てをオフ状態に制御する制御方式である。図8には、3相全てのアーム3Aの下段側スイッチング素子3L（32，34，36）をオン状態とし、3相全

てのアーム 3 A の上段側スイッチング素子 3 H (3 1 , 3 3 , 3 5) をオフ状態とする下段側アクティブショートサーキット制御を実行する場合の例を示している。このようなアクティブショートサーキット制御の実行により、電流は、回転電機 8 0 とインバータ 1 0 との間 (ステータコイル 8 とスイッチング素子 3 との間) で還流する。つまり、アクティブショートサーキット制御の開始によって、動作モードは、放電モードから、電流を還流させる動作モードへ移行する。

[0041] その際、インバータ制御装置 2 0 による電機子電流の制御が可能であってゼロトルク制御を経てアクティブショートサーキット制御が開始された場合には、 $d-q$ 軸ベクトル空間における d 軸電流 I_d (界磁電流) 及び q 軸電流 I_q (駆動電流) の制御はできなくなる。図 3 に示す例では、 q 軸電流 I_q がやや増大して、第 4 動作点 P_4 に移動している。一方、インバータ制御装置 2 0 による電機子電流の制御が不可能であってトルクモードから直ちにアクティブショートサーキット制御が開始された場合には、 $d-q$ 軸ベクトル空間における動作点は、図 5 に示すように、トルクモード中における上述した第 1 動作点 P_1 から、第 4 動作点 P_4 に直線的に移動している。アクティブショートサーキット制御の実行後の動作点である第 4 動作点 P_4 は、公知の電圧方程式において、 d 軸電圧 $V_d = 0$ 、 q 軸電圧 $V_q = 0$ の場合の d 軸電流 I_d 及び q 軸電流 I_q によって定まる動作点である。なお、電圧方程式は、下記式 (1) で表される式であり、この式において、 p は微分演算子、 L_d 、 L_q はそれぞれ d 軸インダクタンス及び q 軸インダクタンス、 K_E は誘起電圧定数である。

[0042] [数 1]

$$\begin{bmatrix} V_d \\ V_q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R + pL_d & -\omega L_q \\ \omega L_d & R + pL_q \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_d \\ I_q \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ \omega K_E \end{bmatrix} \quad \cdots(1)$$

[0043] なお、ゼロトルク制御を実行する場合の第 1 動作点 P_1 から第 3 動作点 P_3 への動作点移動は、各種態様に設定することができる。例えば図 6 に示すように、ゼロトルク制御において動作点を上述した第 1 動作点 P_1 から第 3

動作点 P 3 へと直線的に移動させても良い。或いは、回転電機 80 が PWM 制御で制御されている場合には、例えば図 7 に示すように、ゼロトルク制御において動作点を第 1 動作点 P 1 から原点 O へと移動させた後に d 軸上を第 3 動作点 P 3 へと移動させても良い。

[0044] アクティブショートサーキット制御（還流モード）では、エネルギーがステータコイル 8 及びスイッチング素子 3 における熱となって消費される。このため、長時間に亘ってこの還流電流が流れ続けると、ステータコイル 8 やスイッチング素子 3 の寿命に影響を与える場合がある。従って、できる限り早期に、回転電機 80 に流れる電流をゼロとすることが好ましい。そこで、本実施形態では、アクティブショートサーキット制御を開始した後、シャットダウン制御（後述するフルシャットダウン制御（FSD 制御））を行って、回転電機 80 に流れる電流をゼロ状態とする。

[0045] インバータ制御装置 20 は、アクティブショートサーキット制御の開始後に、以下に例示するような、予め規定されたフルシャットダウン制御開始条件を満たした場合（#75）に、フルシャットダウン制御（FSD 制御）を開始する（#80）。例えばインバータ制御装置 20 は、回転電機 80 の回転速度 ω が予め規定されたしきい値以下になったと判定したことを条件の 1 つとして、フルシャットダウン制御（FSD 制御）を開始しても良い。このフルシャットダウン制御では、インバータ制御装置 20 は、インバータ 10 の全てのスイッチング素子 3（全ての上段側スイッチング素子 3H 及び全ての下段側スイッチング素子 3L）をオフ状態に制御する。

[0046] 尚、上述した実施形態の説明において開示された種々の構成は、矛盾が生じない限り、組み合わせて適用することも可能である。その他の構成に関しても、本明細書において開示された実施形態は全ての点で単なる例示に過ぎない。従って、本開示の趣旨を逸脱しない範囲内で、適宜、種々の改変を行うことが可能である。

[0047] 例えば、トルク減少制御において、回転電機 80 のトルクがゼロとなるようにトルク指令 T^* を設定して q 軸電流 I_q をゼロ状態まで減少させるゼロト

ルク制御を行うのではなく、回転電機 80 のトルクの絶対値が所定トルク以下となるようにトルク指令 T^* を設定して q 軸電流 I_q を減少させるようにしても良い。すなわち、回転電機 80 が高速回転している状態で回転電機 80 又はインバータ 10 に異常が生じた場合においてさらにインバータ制御装置 20 が制御可能な状態であると判定される場合に、回転電機 80 のトルクがゼロとなるようにトルク指令 T^* を設定して q 軸電流 I_q をゼロ状態まで減少させてしまうのではなく、回転電機 80 のトルクが所定トルク以下となるようにトルク指令 T^* を設定して q 軸電流 I_q を減少させるだけでも良い。なお、この場合のトルク指令 T^* は、正トルクであっても負トルクであっても良い。その後、当該トルク指令 T^* に基づくトルクを維持した状態で、アクティブショートサーキット制御の実行後の第 4 動作点 P_4 に近づくように（例えば、一旦、電圧制限楕円 300 の中心点である第 3 動作点 P_3 に近づくように） d 軸電流 I_d を制御した後に、アクティブショートサーキット制御を開始する点は、上述した実施形態と同様である。なお、コンタクタ 9 が閉じているときには、 q 軸電流 I_q を所定トルク以下とさせるが、コンタクタが開いているときには、直流リンクコンデンサ 4 に充電されることを防ぐため、 q 軸電流 I_q をゼロとしても良い。

[0048] また、本開示の技術は、回転電機 80 が高速回転している状態で回転電機 80 又はインバータ 10 に異常が生じた場合に、コンタクタ 9 が開放される回転電機駆動装置 1 に対するインバータ制御装置 20 にも適用可能である。また、本開示の技術は、回転電機 80 が低速回転している状態（回転電機 80 の回転速度 ω が予め定められた基準速度未満である状態）で回転電機 80 又はインバータ 10 に異常が生じた場合に、コンタクタ 9 が開放される回転電機駆動装置 1 に対するインバータ制御装置 20 にも適用可能である。また、本開示の技術は、コンタクタ 9 や直流リンクコンデンサ 4 を備えていない回転電機駆動装置 1 に対するインバータ制御装置 20 にも適用可能である。

[0049] また、例えば図 9 に例示するように、インバータ制御装置 20 は、アクティブショートサーキット制御の開始後に、予め規定されたパーシャルシャッ

トダウン制御開始条件を満たした場合（＃６５）に、パーシャルシャットダウン制御（ＰＳＤ制御）を開始しても良い（＃７０）。例えばインバータ制御装置２０は、回転電機８０の回転速度 ω が予め規定されたしきい値以下になったと判定したことを条件の１つとして、パーシャルシャットダウン制御（ＰＳＤ制御）を開始しても良い。上記の実施形態のようにインバータ１０が直流と３相の交流との間で電力を変換している場合には、インバータ制御装置２０は、アクティブショートサーキット制御の開始後に、何れか１相のアーム３Ａである対象アームの電流がゼロ状態となる際に、少なくともその対象アームにおいてオン状態に制御されているスイッチング素子３をオフ状態とする制御として、パーシャルシャットダウン制御（ＰＳＤ制御）を実行すると良い（図１０を参照）。このパーシャルシャットダウン制御では、インバータ制御装置２０は、対象アームの相の上段側スイッチング素子３Ｈ及び下段側スイッチング素子３Ｌの双方をオフ状態に制御する。

[0050] アーム３Ａに電流が流れている状態で当該アーム３Ａのスイッチング素子３をオフ状態に制御すると、その電流がフリーホイールダイオード５を介して直流リンクコンデンサ４に流入し、直流リンク電圧 V_{dc} を上昇させる。しかし、アクティブショートサーキット制御からパーシャルシャットダウン制御への移行時には、オン状態からオフ状態へと制御されるスイッチング素子３を流れる電流がゼロ状態であるから、直流リンクコンデンサ４には電流が流れ込まず、直流リンク電圧 V_{dc} の上昇が抑制される。

[0051] その後、インバータ制御装置２０は、パーシャルシャットダウン制御の開始後、予め規定されたフルシャットダウン制御開始条件を満たした場合（＃７５）に、フルシャットダウン制御（ＦＳＤ制御）を開始する（＃８０）。本実施形態では、インバータ１０は、対象アームとは別の２相のアーム３Ａの電流が共にゼロ状態となる際に、残りの全てのアーム３Ａにおいてオン状態に制御されているスイッチング素子３をオフ状態とするように制御するフルシャットダウン制御（ＦＳＤ制御）を開始する。このフルシャットダウン制御では、インバータ制御装置２０は、インバータ１０の全てのスイッチ

グ素子 3（全ての上段側スイッチング素子 3 H 及び全ての下段側スイッチング素子 3 L）をオフ状態に制御する。

[0052] 3相のうち、1相には電流が流れないように制御されているので、残りの2相を流れる交流の電流は平衡する。従って、当該2相を流れる交流の電流は同時にゼロ状態となる。アクティブショートサーキット制御からパーシャルシャットダウン制御への移行時と同様に、パーシャルシャットダウン制御からフルシャットダウン制御への移行時も、オン状態からオフ状態へと制御されるスイッチング素子 3 を流れる電流はゼロ状態である。従って、パーシャルシャットダウン制御からフルシャットダウン制御への移行時にも、直流リンクコンデンサ 4 には電流が流れ込まず、直流リンク電圧 V_{dc} の上昇が抑制される。

[0053] [実施形態の概要]

以下、上記において説明したインバータ制御装置（20）の概要について簡単に説明する。

[0054] 1つの態様として、上記に鑑みたインバータ制御装置（20）は、

直流電源（11）に接続されると共に交流の回転電機（80）に接続されて直流と複数相の交流との間で電力を変換するインバータ（10）であって、交流1相分のアーム（3A）が上段側スイッチング素子（3H）と下段側スイッチング素子（3L）との直列回路により構成された当該インバータ（10）を制御対象とし、

前記回転電機（80）の回転に同期して回転する2軸の直交座標系において、当該直交座標系の各軸に沿った界磁電流（ I_d ）と駆動電流（ I_q ）との合成ベクトルである電機子電流を制御して前記インバータ（10）を構成するスイッチング素子（3）をスイッチング制御するインバータ制御装置（20）であって、

複数相の前記アーム（3A）の前記上段側スイッチング素子（3H）及び前記下段側スイッチング素子（3L）の何れか一方の前記スイッチング素子（3）の全てをオン状態に制御し、他方の前記スイッチング素子（3）の全

てをオフ状態に制御するアクティブショートサーキット制御を実行するものであり、

前記回転電機（８０）が回転している状態で前記回転電機（８０）又は前記インバータ（１０）に異常が生じた場合に、

当該インバータ制御装置（２０）による前記電機子電流の制御が可能であるか否かを判定し、

前記電機子電流を制御可能と判定した場合に、前記回転電機（８０）のトルクの絶対値が所定トルク以下となるようにトルク指令を設定して前記駆動電流（ I_q ）を減少させると共に、当該トルク指令に基づくトルクを維持した状態で、前記アクティブショートサーキット制御の実行後の動作点（ P_4 ）に近づくように前記界磁電流（ I_d ）を制御するトルク減少制御を実行した後に、前記アクティブショートサーキット制御を開始する。

[0055] この構成によれば、回転電機（８０）が回転している状態で回転電機（８０）又はインバータ（１０）に異常が生じた場合には、インバータ制御装置（２０）による電機子電流の制御が可能であるか否かが判定され、当該制御が可能と判定される場合に、回転電機（８０）のトルクが所定トルク以下となるように駆動電流（ I_q ）が減少される。この制御の実行により駆動電流（ I_q ）が減少した後は、回転電機（８０）から直流電源（１１）に回生される電流が小さくなる。その後、所定のタイミングで、アクティブショートサーキット制御が開始される。制御方式が切り換わる際には、インバータ（１０）及び回転電機（８０）に流れる電流に過渡的な振動が生じることがあるが、予めアクティブショートサーキット制御の実行後の動作点（ P_4 ）に近づくように界磁電流（ I_d ）を制御しておくことにより、そのような振動の振幅を低減することができる。その結果、制御方式が切り換わる際の過電流の発生を抑制することができる。このように、本構成によれば、回転電機（８０）が回転している状態で回転電機（８０）又はインバータ（１０）に異常が生じた場合に過電流を抑制することができ、モータの減磁を防ぎ、インバータ素子への負荷を低減できる。

- [0056] ここで、前記トルク減少制御では、前記回転電機の回転速度及び前記直流電源の電圧に応じて設定可能な前記合成ベクトルの範囲である電圧制限楕円（300）の中心点（P3）に近づくように前記界磁電流（ I_d ）を制御すると好適である。
- [0057] この構成によれば、トルク減少制御を実行することにより、界磁電流（ I_d ）が電圧制限楕円（300）の中心点（P3）に近づき、アクティブショートサーキット制御の実行後の動作点（P4）にも近づく。よって、トルク減少制御からアクティブショートサーキット制御へ制御方式が切り換わる際の過電流の発生を効果的に抑制することができる。
- [0058] また、前記トルク減少制御を開始した後、前記界磁電流（ I_d ）に応じて定まる値が予め規定されたしきい値を超えたと判定した場合に、前記アクティブショートサーキット制御を開始すると好適である。
- [0059] この構成によれば、界磁電流（ I_d ）に応じて定まる値と予め規定されたしきい値との大小関係に基づき、アクティブショートサーキット制御を開始するタイミングを適切に決定することができる。なお、界磁電流（ I_d ）に応じて定まる値としては、例えば、界磁電流（ I_d ）の絶対値や、少なくとも界磁電流（ I_d ）に応じて定まる変調率等が例示される。
- [0060] また、前記トルク減少制御では、前記回転電機（80）のトルクがゼロとなるように前記トルク指令を設定すると好適である。
- [0061] この構成によれば、駆動電流（ I_q ）がゼロ状態に達した後は、回転電機（80）から直流電源（11）に電流が回生されなくなる。よって、例えばコンタクタが開いているときに、直流電源（11）の過電圧を抑制することができる。
- [0062] また、前記電機子電流を制御不能と判定した場合には、前記トルク減少制御を実行することなく、前記アクティブショートサーキット制御を開始すると好適である。
- [0063] この構成によれば、電機子電流を制御不能な場合でも、異常が生じた場合には少なくともアクティブショートサーキット制御を実行することで、直流

電源（１１）の過電圧を抑制することができる。

[0064] また、前記アクティブショートサーキット制御の実行後、前記回転電機（８０）の回転速度（ ω ）が予め規定されたしきい値以下になったと判定した場合に、前記上段側スイッチング素子（３Ｈ）及び前記下段側スイッチング素子（３Ｌ）の双方をオフ状態とするように制御するシャットダウン制御を開始すると好適である。

[0065] アクティブショートサーキット制御からシャットダウン制御への移行時には、回転電機（８０）の回転速度（ ω ）がしきい値以下であるから、流れる電流は少ない。このため、直流リンク電圧（ V_{dc} ）の上昇が抑制される。本構成によれば、回転電機（８０）が回転している状態で回転電機（８０）又はインバータ（１０）に異常が生じた際に、直流リンク電圧（ V_{dc} ）の上昇や、還流電流の総量を抑制しつつ、回転電機（８０）に流れる電流をゼロ状態にすることができる。

符号の説明

- [0066] ３ : スwitchング素子
- ３Ａ : アーム
- ３Ｈ : 上段側スイッチング素子
- ３Ｌ : 下段側スイッチング素子
- １０ : インバータ
- １１ : 高圧バッテリー（直流電源）
- ２０ : インバータ制御装置
- ８０ : 回転電機
- I_d : d 軸電流（界磁電流、界磁電流に応じて定まる値）
- I_{d_th} : しきい値電流（しきい値）
- I_q : q 軸電流（駆動電流）
- V_{dc} : 直流リンク電圧
- ω : 回転電機の回転速度

請求の範囲

[請求項1]

直流電源に接続されると共に交流の回転電機に接続されて直流と複数相の交流との間で電力を変換するインバータであって、交流1相分のアームが上段側スイッチング素子と下段側スイッチング素子との直列回路により構成された当該インバータを制御対象とし、

前記回転電機の回転に同期して回転する2軸の直交座標系において、当該直交座標系の各軸に沿った界磁電流と駆動電流との合成ベクトルである電機子電流を制御して前記インバータを構成するスイッチング素子をスイッチング制御するインバータ制御装置であって、

複数相の前記アームの前記上段側スイッチング素子及び前記下段側スイッチング素子の何れか一方の前記スイッチング素子の全てをオン状態に制御し、他方の前記スイッチング素子の全てをオフ状態に制御するアクティブショートサーキット制御を実行するものであり、

前記回転電機が回転している状態で前記回転電機又は前記インバータに異常が生じた場合に、

当該インバータ制御装置による前記電機子電流の制御が可能であるか否かを判定し、

前記電機子電流を制御可能と判定した場合に、前記回転電機のトルクの絶対値が所定トルク以下となるようにトルク指令を設定して前記駆動電流を減少させると共に、当該トルク指令に基づくトルクを維持した状態で、前記アクティブショートサーキット制御の実行後の動作点に近づくように前記界磁電流を制御するトルク減少制御を実行した後、前記アクティブショートサーキット制御を開始するインバータ制御装置。

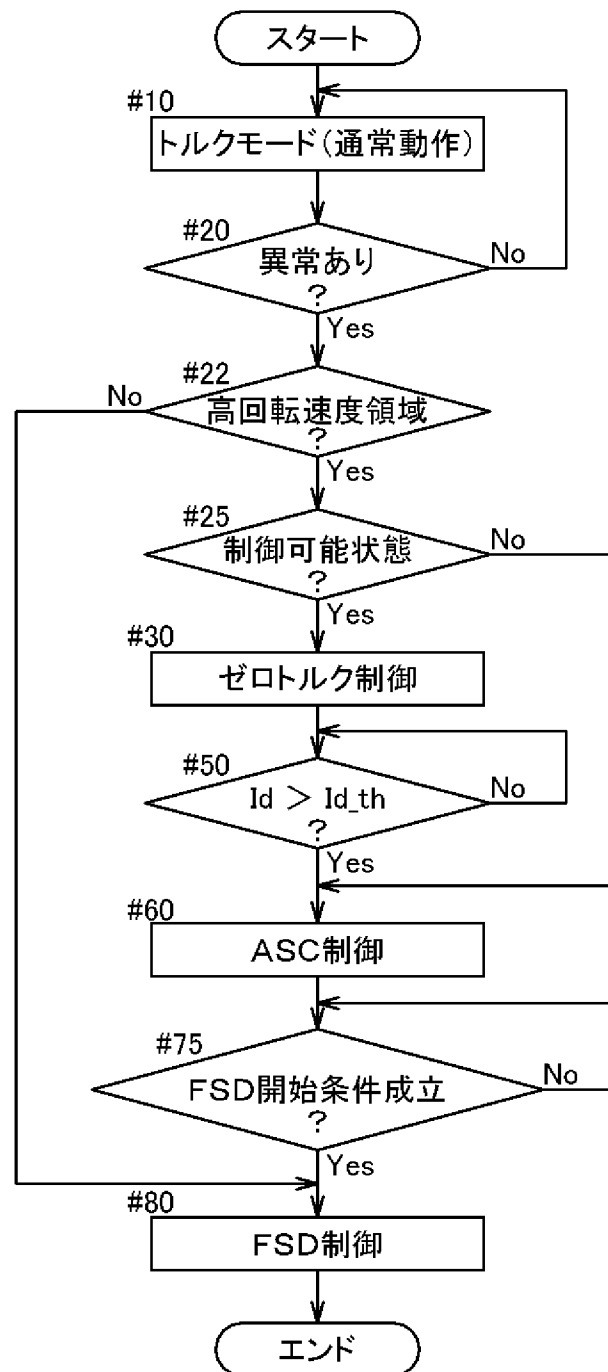
[請求項2]

前記トルク減少制御では、前記回転電機の回転速度及び前記直流電源の電圧に応じて設定可能な前記合成ベクトルの範囲である電圧制限楕円の中心点に近づくように前記界磁電流を制御する請求項1に記載のインバータ制御装置。

- [請求項3] 前記トルク減少制御を開始した後、前記界磁電流に応じて定まる値が予め規定されたしきい値を超えたと判定した場合に、前記アクティブショートサーキット制御を開始する請求項1又は2に記載のインバータ制御装置。
- [請求項4] 前記トルク減少制御では、前記回転電機のトルクがゼロとなるように前記トルク指令を設定する請求項1から3のいずれか一項に記載のインバータ制御装置。
- [請求項5] 前記電機子電流を制御不能と判定した場合には、前記トルク減少制御を実行することなく、前記アクティブショートサーキット制御を開始する請求項1から4のいずれか一項に記載のインバータ制御装置。
- [請求項6] 前記アクティブショートサーキット制御の実行後、前記回転電機の回転速度が予め規定されたしきい値以下になったと判定した場合に、前記上段側スイッチング素子及び前記下段側スイッチング素子の双方をオフ状態とするように制御するシャットダウン制御を開始する請求項1から5のいずれか一項に記載のインバータ制御装置。

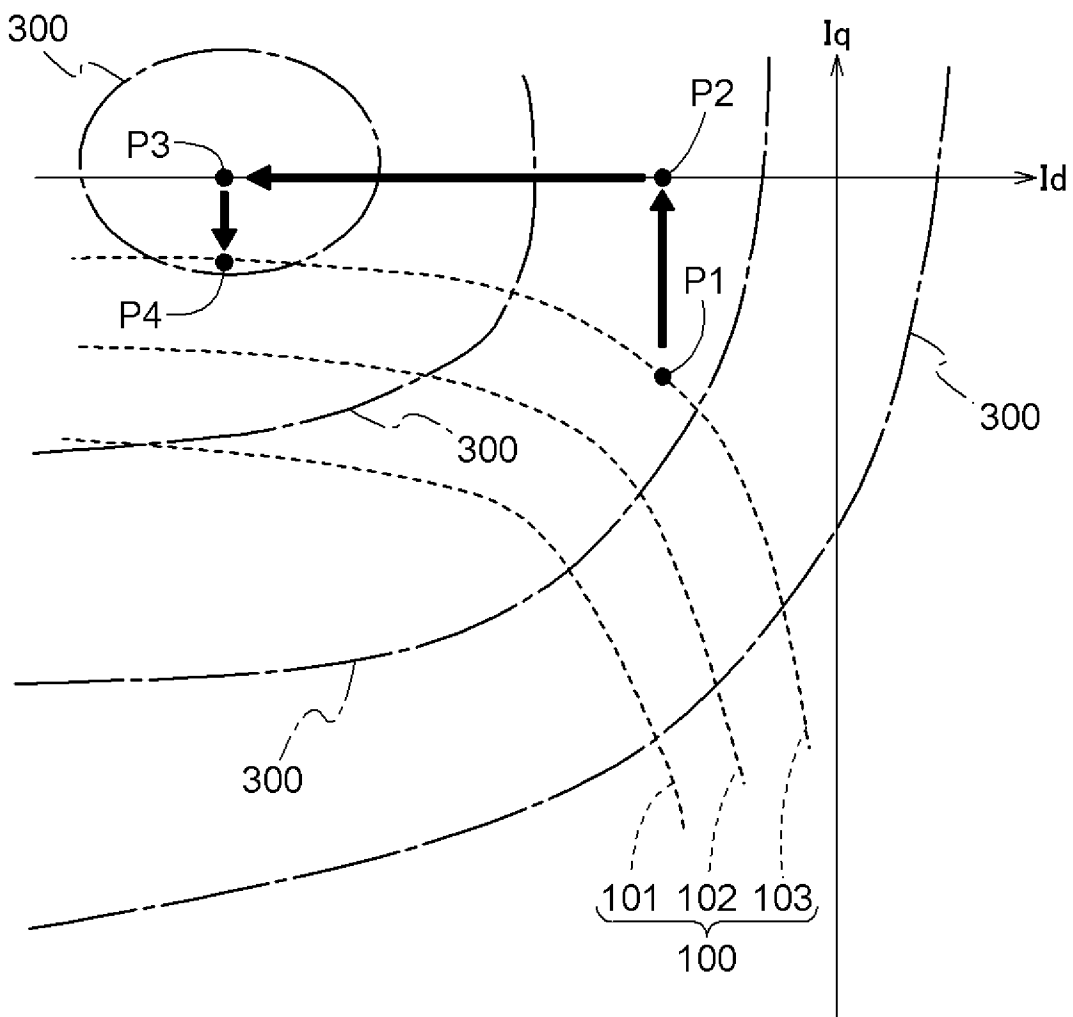
[図2]

Fig.2



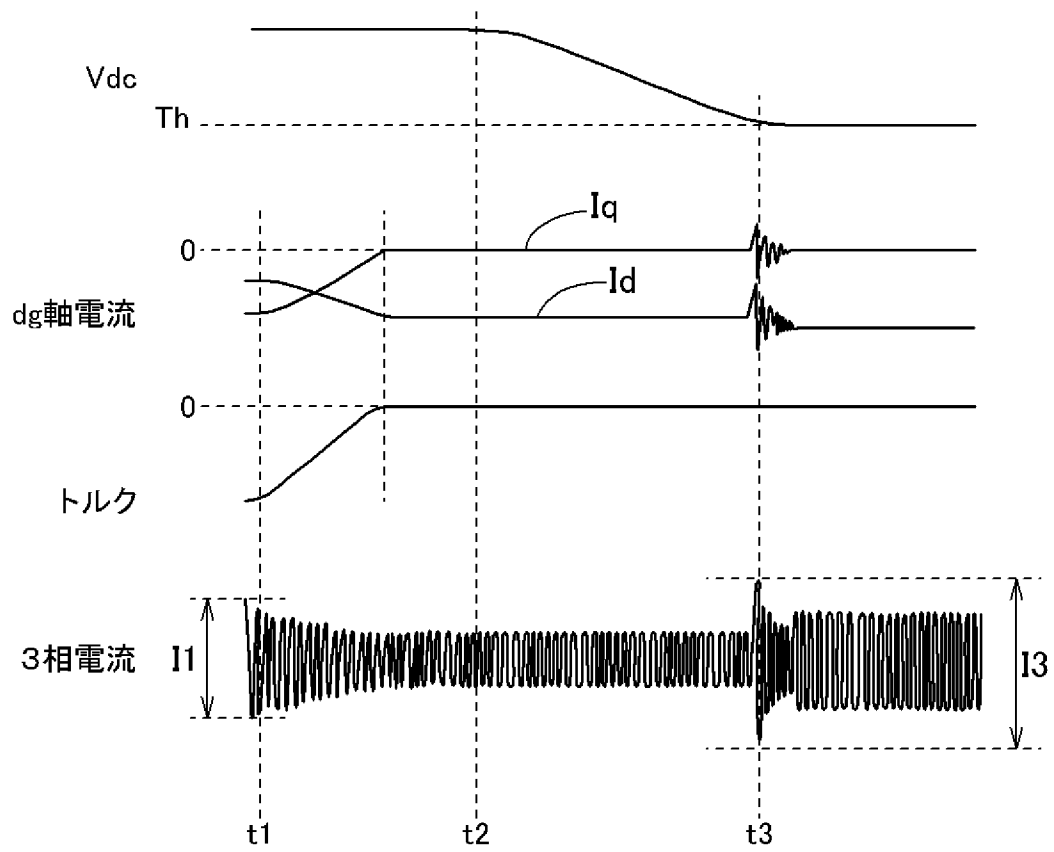
[図3]

Fig.3



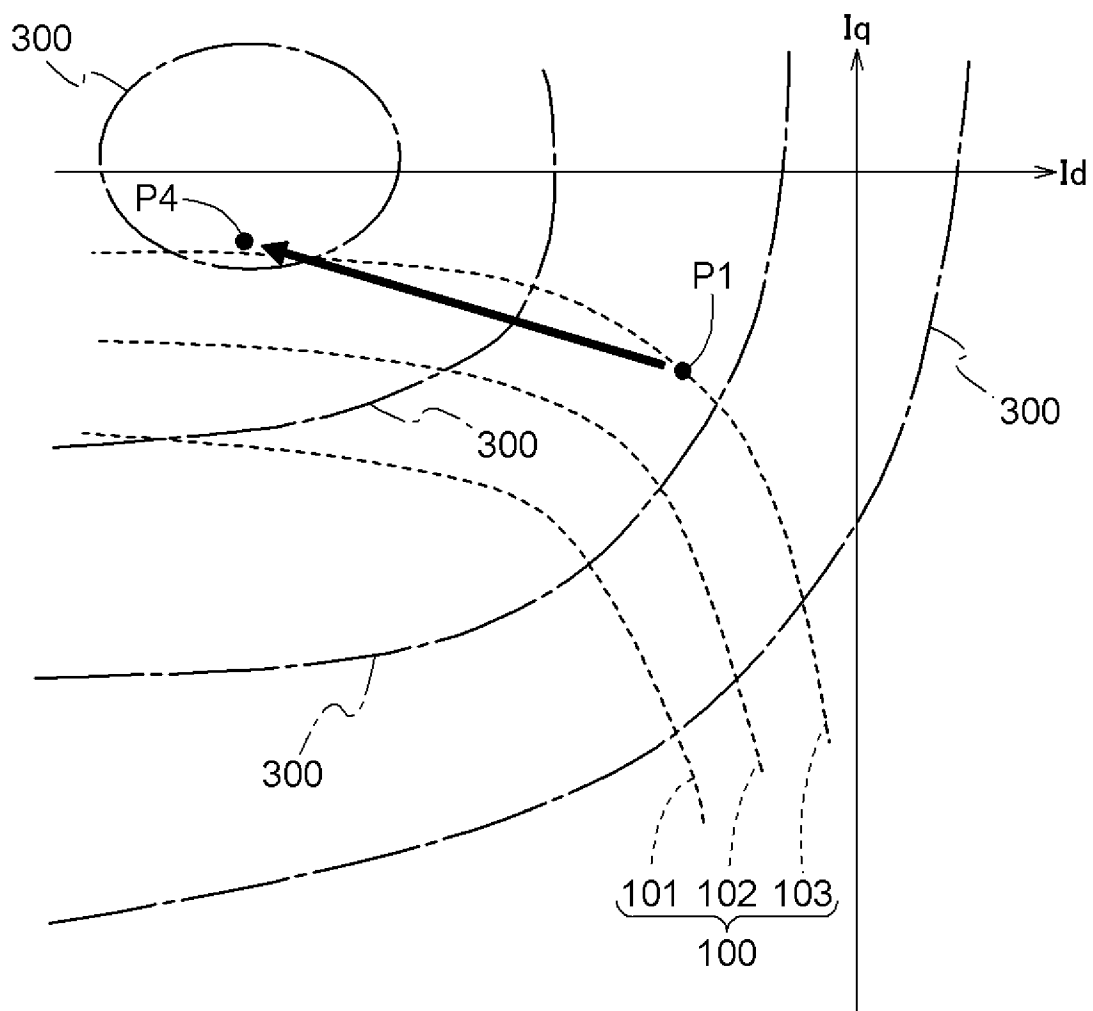
[図4]

Fig.4



[図5]

Fig.5



[図6]

Fig.6

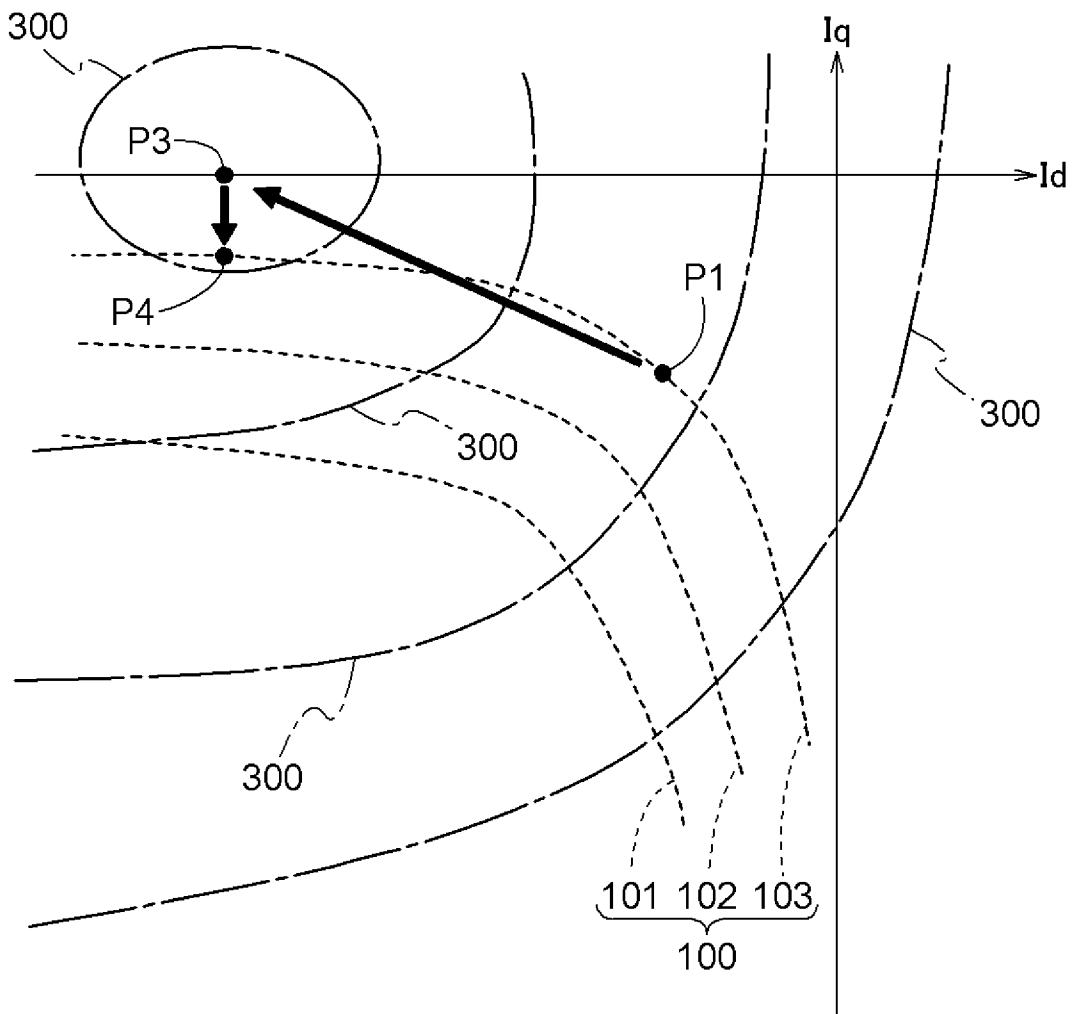
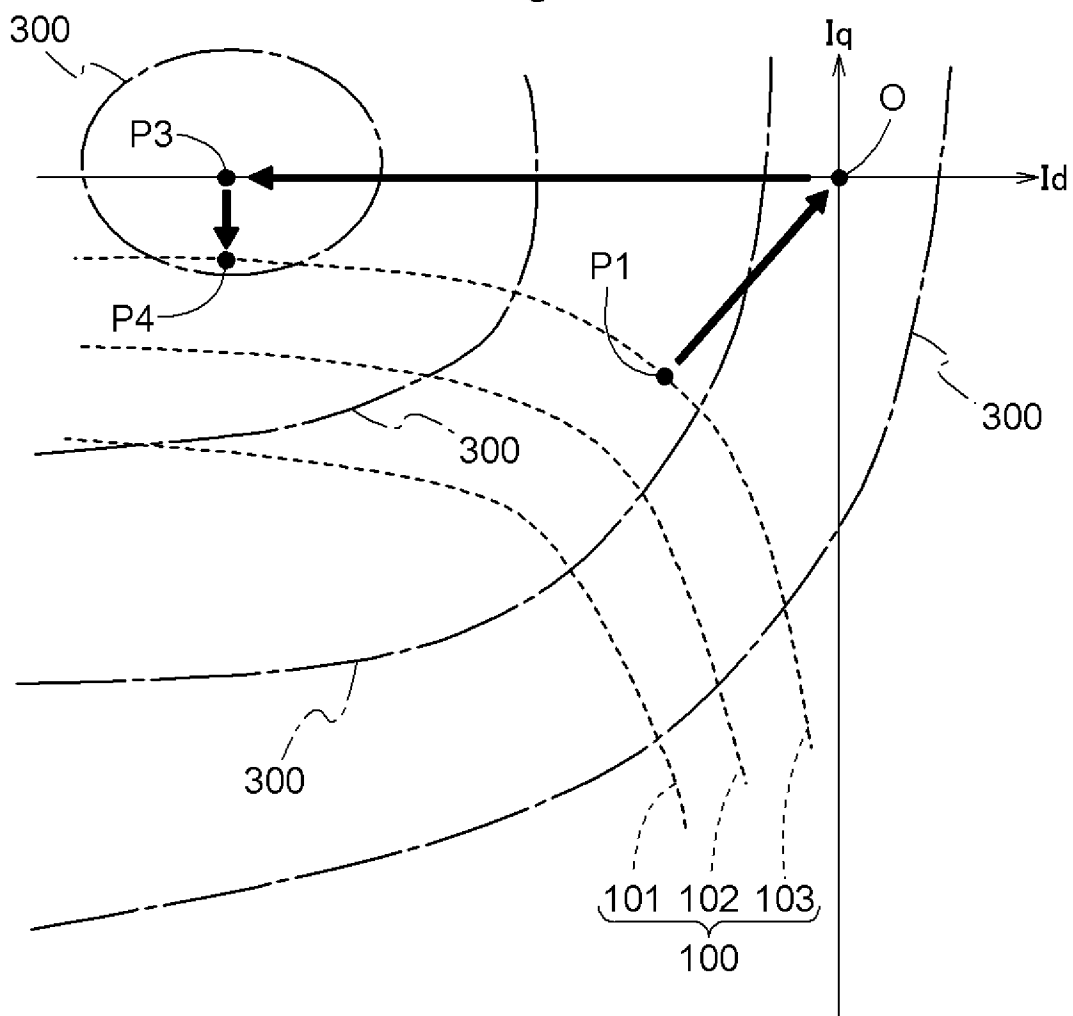
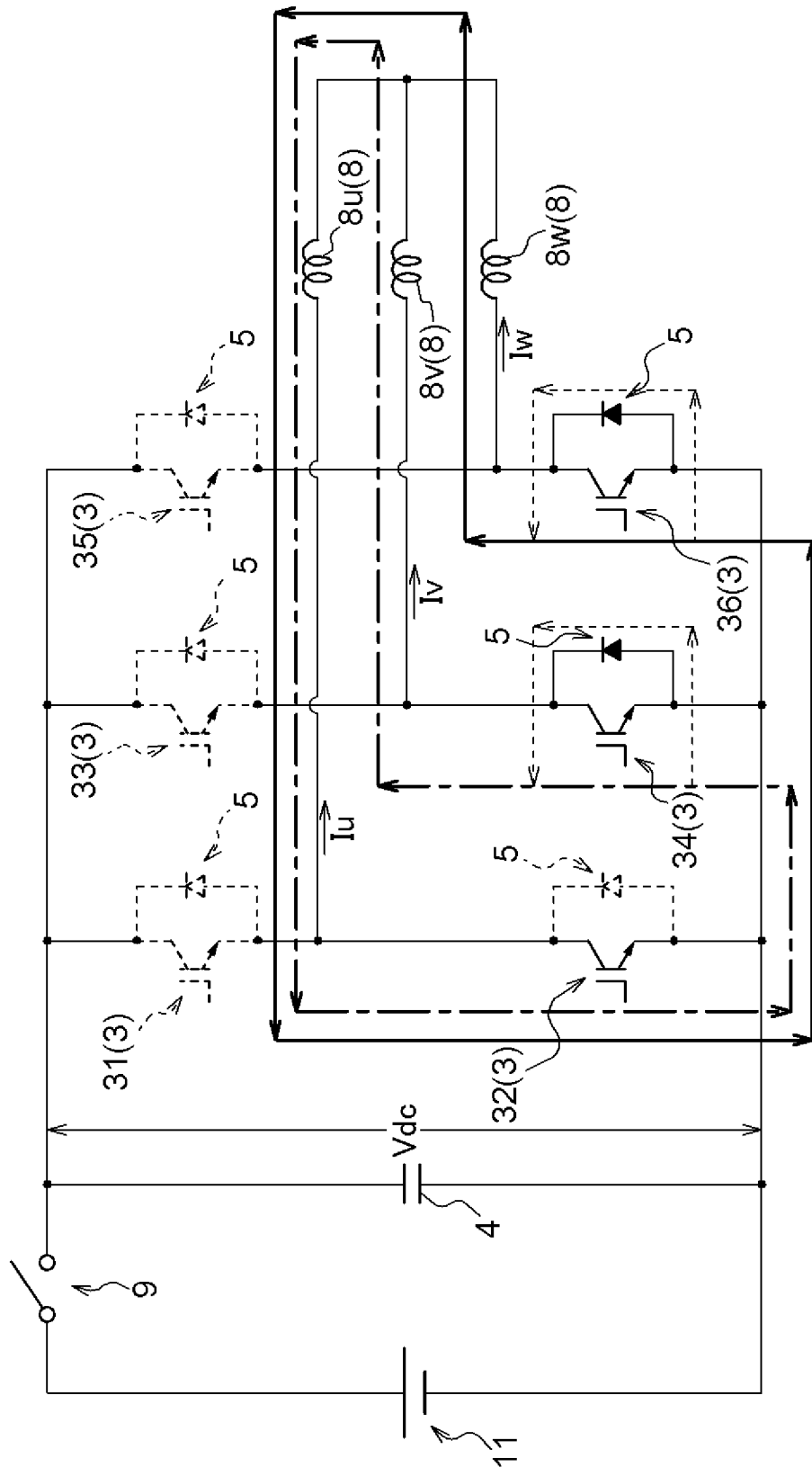


Fig.7



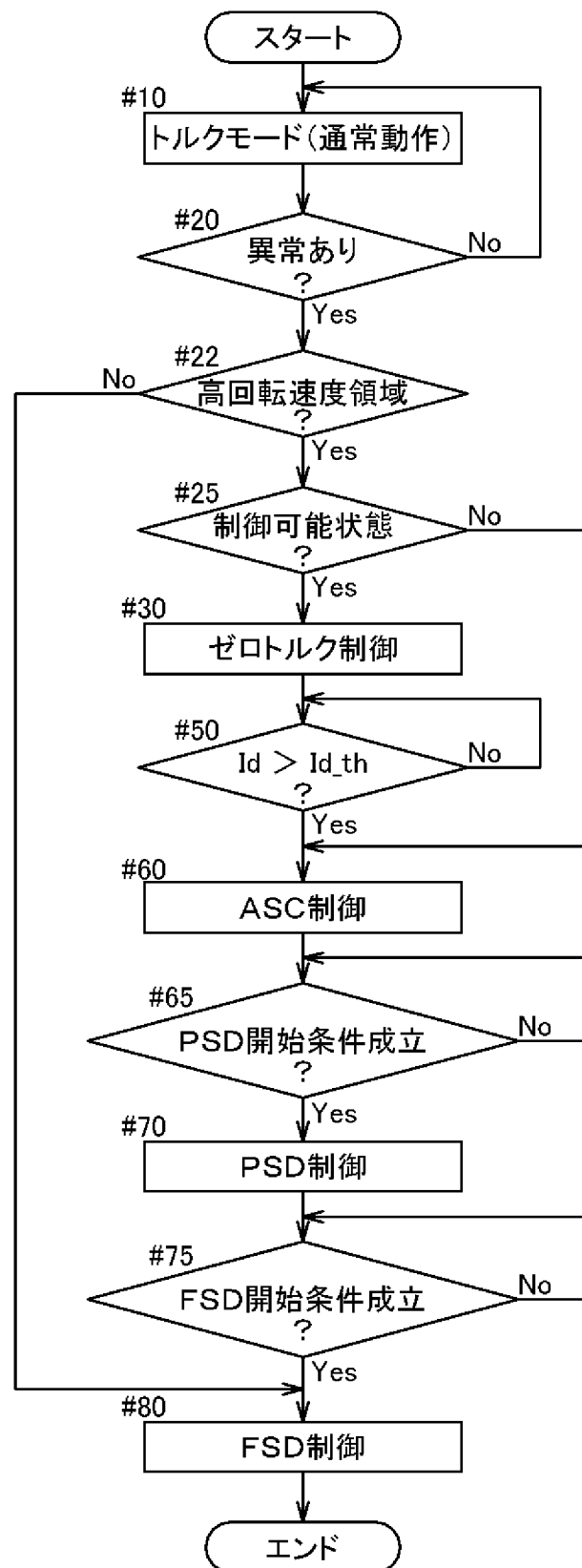
[図8]

Fig.8



[図9]

Fig.9



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2017/035532

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

H02M7/48 (2007.01) 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)

H02M7/48

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	1996-2017
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2017	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2017

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.
A	WO 2016/076429 A1 (Aisin AW Co., Ltd.), 19 May 2016 (19.05.2016), & US 2017/305274 A1 & DE 112015004320 T5 & CN 107112937 A	1-6
A	JP 2016-25776 A (Aisin AW Co., Ltd.), 08 February 2016 (08.02.2016), (Family: none)	1-6
P, A	JP 2017-175772 A (Aisin AW Co., Ltd.), 28 September 2017 (28.09.2017), (Family: none)	1-6

☐ Further documents are listed in the continuation of Box C.

☐ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
 "E" earlier application or patent but published on or after the international filing date
 "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)
 "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

"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
 "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
 "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
 "&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search
30 October 2017 (30.10.17)

Date of mailing of the international search report
07 November 2017 (07.11.17)

Name and mailing address of the ISA/
Japan Patent Office
3-4-3, Kasumigaseki, Chiyoda-ku,
Tokyo 100-8915, Japan

Authorized officer

Telephone No.

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC））

Int.Cl. H02M7/48(2007.01)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. H02M7/48

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	1971-2017年
日本国実用新案登録公報	1996-2017年
日本国登録実用新案公報	1994-2017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
A	W0 2016/076429 A1 (アイシン・エイ・ダブリュ株式会社) 2016.05.19 & US 2017/305274 A1 & DE 112015004320 T5 & CN 107112937 A	1-6
A	JP 2016-25776 A (アイシン・エイ・ダブリュ株式会社) 2016.02.08 (ファミリーなし)	1-6
P, A	JP 2017-175772 A (アイシン・エイ・ダブリュ株式会社) 2017.09.28 (ファミリーなし)	1-6

C欄の続きにも文献が列挙されている。

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

の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

30.10.2017

国際調査報告の発送日

07.11.2017

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）

木村 励

5G

4092

電話番号 03-3581-1101 内線 3526