(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 10 月 8 日(08.10.2015)

WIPO | PCT

(10) 国際公開番号
WO 2015/152002 A1

(51) 国際特許分類:
*H02M 7/48* (2007.01) *H02M 7/797* (2006.01)

(21) 国際出願番号: PCT/JP2015/059406

(22) 国際出願日: 2015 年 3 月 26 日(26.03.2015)

(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 2014-073588 2014 年 3 月 31 日(31.03.2014) JP

(71) 出願人: アイシン・エィ・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・エィ・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・エィ・ダブリュ株式会社内 Aichi (JP).

(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, 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, 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.

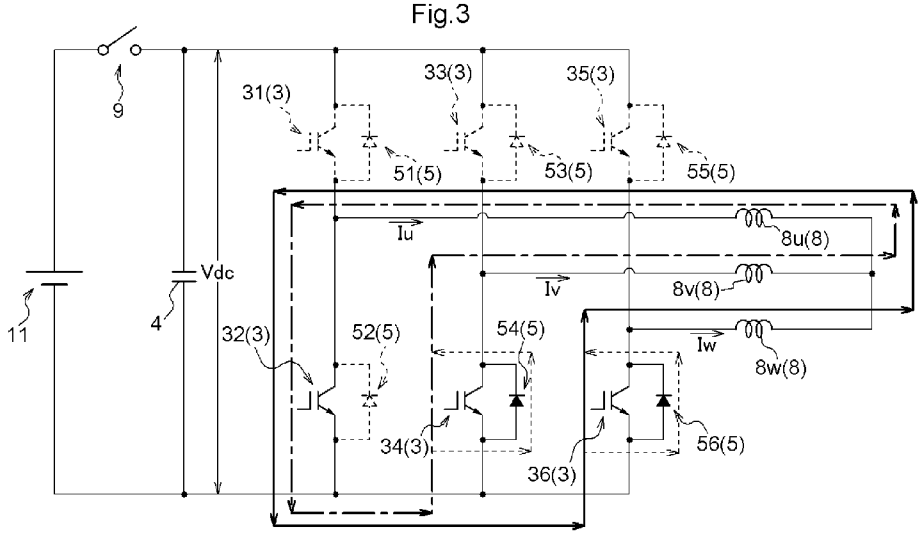
(84) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

[続葉有]

(54) **Title**: INVERTER CONTROL DEVICE

(54) 発明の名称 : インバータ制御装置

Fig.3




(57) **Abstract**: The purpose of the present invention is to suppress increase in inverter DC link voltage and to suppress total return current, when a contactor connecting the inverter and a DC power supply becomes open. Provided is an inverter control device that executes partial shut-down control if the contactor (9) becomes open during rotation of a rotating machine, such that a switching element (34), controlled so as to be ON in a target arm that is any one phase arm, is controlled to be OFF. The inverter control device subsequently executes full shut-down control whereby all remaining switching elements (3), controlled so as to be ON when the currents (Iu, Iw) of separate two phase arms are both zero, are controlled to be OFF.

(57) 要約: インバータと直流電源とを接続するコンタクタが開放状態となった場合に、インバータの直流リンク電圧の上昇や、還流電流の総量を抑制する。インバータ制御装置は、回転電機の回転中にコンタクタ（９）が開放状態となった場合に、何れか１相のアームである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（３４）をオフ状態とするように制御するパーシャルシャットダウン制御を実行し、その後、別の２相のアームの電流（Ｉｕ，Ｉｗ）が共にゼロとなる際にオン状態に制御されている残り全てのスイッチング素子（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を実行する。

WO 2015/152002 A1

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 ： インバータ制御装置

## 技術分野

[0001] 本発明は、交流の回転電機を駆動制御する技術に関する。

## 背景技術

[0002] 例えば、電気自動車やハイブリッド自動車などの動力に用いられる大出力の交流の回転電機は高い電圧で駆動される。また、このような自動車に搭載される高電圧の電源は、直流のバッテリであるから、スイッチング素子を用いたインバータ回路によって例えば３相交流に変換される。回転電機は、電気エネルギーにより車両を駆動する動力を出力するモータとしての機能に留まらず、車両や内燃機関などの運動エネルギーにより発電を行う発電機としての機能も併せ持っている。回転電機により発電された電力は、バッテリに回生されて蓄電される。

[0003] ところで、バッテリと回転電機の間、より具体的にはバッテリとインバータとの間には、開閉装置（コンタクタ）が備えられている場合がある。コンタクタは、例えばリレーを用いて構成されたシステムメインリレー（ＳＭＲ）であり、車両のイグニッションキー（ＩＧキー）がオン状態（有効状態）の場合に接点が閉じて導通状態となり、ＩＧキーがオフ状態（非有効状態）の場合に接点が開いて非導通状態となる。即ち、ＳＭＲが閉状態においてバッテリとインバータ（及び回転電機）とが電気的に接続され、ＳＭＲが開状態においてバッテリとインバータ（及び回転電機）との電気的接続が遮断される。通常動作時には、ＩＧキーの状態に応じてＳＭＲの開閉状態も制御される。しかし、ＩＧキーがオン状態であっても、車両の故障や衝突等によって、ＳＭＲが開放される場合がある。例えば、ＳＭＲへの電源供給が遮断された場合、ＳＭＲの駆動回路に異常が生じた場合、ＳＭＲが振動・衝撃やノイズ等によって機械的に故障した場合、ＳＭＲ周辺の回路に断線が生じた場合、等にＳＭＲの接点が開状態となり、コンタクタが開放状態となる可能性

がある。

[0004] このため、コンタクタが開放状態となった場合には、インバータを構成するスイッチング素子を全て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。インバータの直流側（直流リンク部）には、直流電圧（直流リンク電圧）を平滑化する平滑コンデンサ（直流リンクコンデンサ）が備えられていることが多いが、ＳＤ制御が実施された場合、ステータコイルに蓄積された電力が、スイッチング素子に逆並列接続されたフリーホイールダイオード（ＦＷＤ）を介して平滑コンデンサを充電する。このため、平滑コンデンサの端子間電圧（直流リンク電圧）が短時間で上昇する可能性がある。直流リンク電圧の上昇に備えて平滑コンデンサを大容量化、高耐圧化すると、平滑コンデンサの体格の増大につながる。また、インバータの高耐圧化も必要となる。その結果、回転電機駆動装置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。

[0005] また、コンタクタが開放状態となった場合に、いくつかのスイッチング素子をオン状態にして電流を還流させるアクティブショート制御（アクティブショートサーキット制御（ＡＳＣ制御））～例えばゼロベクトルシーケンス制御（ＺＶＳ制御）～が実行される場合もある。例えば、特開２０１１－５５５８２号公報（特許文献１）には、インバータの上段側のスイッチング素子を全てオフ状態とし、下段側のスイッチング素子の何れか１つ以上をオン状態とする制御方法が開示されている（特許文献１：図２、第１５８、１５９、１６５段落等）。ＡＳＣ制御では、直流リンク電圧の上昇は抑制できるが、スイッチング素子やステータコイルを大電流（還流電流）が流れることになる。また、熱等によってステータコイルに蓄積された電力が消費されるまで、大電流が流れ続けることになる。このため、スイッチング素子やステータコイルを消耗させ、寿命を低下させる可能性がある。また、大電流に対応したスイッチング素子などを用いる必要が生じて、部品コスト、製造コスト、製品コストにも影響する可能性がある。

## 先行技術文献

## 特許文献

[0006] 特許文献1：特開２０１１－５５５８２号公報

## 発明の概要

## 発明が解決しようとする課題

[0007] 上記背景に鑑みて、インバータと直流電源とを接続するコンタクタが開放状態となった場合に、インバータの直流リンク電圧の上昇や、還流電流の総量を抑制しつつ、回転電機に流れる電流をゼロにする技術が望まれる。

## 課題を解決するための手段

[0008] 上記に鑑みたインバータ制御装置の特徴構成は、

直流電源にコンタクタを介して接続されると共に交流の回転電機に接続されて直流と３相交流との間で電力変換を行うものであって交流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インバータと、前記インバータの直流側の電圧である直流リンク電圧を平滑化する直流リンクコンデンサと、を備える回転電機駆動装置を制御対象として、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、

前記回転電機の回転中に前記コンタクタが開放状態となった場合に、何れか１相の前記アームである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をオフ状態とするように制御するパーシャルシャットダウン制御を実行し、

その後、前記対象アームとは別の２相の前記アームの電流が共にゼロとなる際に残りの全ての前記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を実行する点にある。

[0009] この構成によれば、パーシャルシャットダウン制御では、１相だけがシャットダウンされるので、シャットダウンによって妨げられる電流の流れが限定され、直流リンク電圧の上昇が低減される。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は、シャットダウンされるアームの電流がゼロであるから、シャットダウンによる直流リンク電圧の上昇が低減される。尚、パーシャルシャットダウン制御が開始されるまでは、特別な制御は行わずに通常制御を行っていても良いし、例えばアクティブショート制御が実行されてもよい。例えば、アクティブショート制御が実行される場合には、直流リンク電圧の上昇は、コンタクタが開放状態となった後、アクティブショート制御が開始されるまでの間にほぼ限定され、直流リンク電圧の上昇を大きく抑制することができる。このように、本構成によれば、インバータと直流電源とを接続するコンタクタが開放状態となった場合に、インバータの直流リンク電圧の上昇や、還流電流の総量を抑制しつつ、回転電機に流れる電流をゼロにすることができる。

[0010] 本発明のさらなる特徴と利点は、図面を参照して説明する本発明の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

[0011] [図1]回転電機駆動装置のシステム構成を模式的に示す回路ブロック図

[図2]コンタクタ開放時の制御例を模式的に示す波形図

[図3]Ｐｈａｓｅ１におけるＩＧＢＴの制御例と電流の流れを示す等価回路図

[図4]Ｐｈａｓｅ２におけるＩＧＢＴの制御例と電流の流れを示す等価回路図

[図5]コンタクタ開放時の他の制御例を模式的に示す波形図

[図6]Ｐｈａｓｅ１におけるＩＧＢＴの制御例と電流の流れを示す等価回路図

[図7]Ｐｈａｓｅ２におけるＩＧＢＴの制御例と電流の流れを示す等価回路図

[図8]コンタクタ開放時に適した制御方法と回転電機の動作状態との関係を示す図

[図9]回転電機が正回転する際の電流波形図

## 発明を実施するための形態

[0012] 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と直流リンクコンデンサ４とを備える回転電機駆動装置１を制御対象とし、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。後述するように、インバータ１０は、直流電源（１１）にコンタクタ９を介して接続されると共に、交流の回転電機８０に接続されて直流と多相交流（ここでは３相交流）との間で電力変換を行う電力変換装置であり、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ている。直流リンクコンデンサ４は、このインバータ１０の直流側の電圧である直流リンク電圧Ｖｄｃを平滑化する。回転電機駆動装置１及びインバータ制御装置２０によ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、多相交流（ここでは３相交流）により動作する回転電機であり、電動機としても発電機としても機能することができる。

[0013] 鉄道のように架線から電力の供給を受けることができない自動車のような車両では、回転電機８０を駆動するための電力源としてニッケル水素電池やリチウムイオン電池などの二次電池（バッテリ）や、電気二重層キャパシタなどの直流電源を搭載している。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２００～４００［Ｖ］の高圧バッテリ１１（直流電源）が備えられている。回転電機８０は、交流の回転電機であるから、高圧バッテリ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）との間で電力変換を行うインバータ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Ｖｄｃ”と称する。高圧バッテリ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。

[0014] インバータ１０と高圧バッテリ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Ｖｄｃ）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Ｖｄｃ）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１１との電気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キー（ＩＧキー）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１１とインバータ１０（及び回転電機８０）とが電気的に接続され、コンタクタ９が開放状態において高圧バッテリ１１とインバータ１０（及び回転電機８０）との電気的接続が遮断される。

[0015] インバータ１０は、直流リンク電圧Ｖｄｃを有する直流電力を複数相（ｎを自然数としてｎ相、ここでは３相）の交流電力に変換して回転電機８０に供給すると共に、回転電機８０が発電した交流電力を直流電力に変換して直流電源に供給する。インバータ１０は、複数のスイッチング素子を有して構成される。スイッチング素子には、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）など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、スイッチング素子としてＩＧＢＴ３が用いられる。

[0016] 例えば直流と多相交流（ここでは３相交流）との間で電力変換するインバータ１０は、よく知られているように多相（ここでは３相）のそれぞれに対応する数のアーム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ＩＧＢＴ３が直列に接続されて１つのアームが構成される。３相交流の場合には、この直列回路（１つのアーム）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）が対応したブリッジ回路が構成される。

[0017] 対となる各相のＩＧＢＴ３による直列回路（アーム）の中間点、つまり、正極電源ラインＰの側のＩＧＢＴ３（上段側ＩＧＢＴ（上段側スイッチング素子）３１，３３，３５：図３等参照）と負極電源ラインＮ側のＩＧＢＴ３（下段側ＩＧＢＴ（下段側スイッチング素子）３２，３４，３６：図３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３等参照）にそれぞれ接続される。尚、各ＩＧＢＴ３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（ＦＷＤ）５が備えられている。

[0018] 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ＣＡＮ（Controller Area Network）などを介して要求信号として提供される回転電機８０の目標トルクＴＭ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、例えばレゾルバなどの回転センサ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エアとソフトウエア（プログラム）との協働により実現される。電流フィードバック制御については、公知であるのでここでは詳細な説明は省略する。

[0019] 車両には、高圧バッテリ１１の他に、高圧バッテリ１１よりも低電圧の電源である低圧バッテリ（不図示）も搭載されている。低圧バッテリの電源電圧は、例えば１２～２４［Ｖ］である。低圧バッテリと高圧バッテリ１１とは、互いに絶縁されており、互いにフローティングの関係にある。低圧バッテリは、インバータ制御装置２０や車両ＥＣＵ９０の他、オーディオシステムや灯火装置、室内照明、計器類のイルミネーション、パワーウィンドウなどの電装品や、これらを制御する制御装置に電力を供給する。車両ＥＣＵ９０やインバータ制御装置２０などの電源電圧は、例えば５［Ｖ］や３．３［Ｖ］である。

[0020] ところで、インバータ１０を構成する各ＩＧＢＴ３の制御端子であるゲート端子は、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などを中核とするインバータ制御装置２０などの低圧系回路とは、動作電圧（回路の電源電圧）が大きく異なる。このため、このため、各ＩＧＢＴ３に対するゲート駆動信号（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など、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ＩＧＢＴ３のゲート駆動信号は、ドライバ回路３０を介して高圧回路系のゲート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などの絶縁素子やドライバＩＣを利用して構成される。

[0021] 上述したように、コンタクタ９は、車両のイグニッションキー（ＩＧキー）がオン状態（有効状態）の際に接続状態となり、ＩＧキーがオフ状態（非

有効状態）の際に開放状態となる。通常動作時には、ＩＧキーの状態に応じてコンタクタ９の開閉状態も制御される。しかし、ＩＧキーがオン状態の際に、車両の故障や衝突等によって、コンタクタ９が開放状態となる場合がある。例えば、コンタクタ９への電源供給が遮断された場合、コンタクタ９の駆動回路に異常が生じた場合、コンタクタ９が振動・衝撃やノイズ等によって機械的に故障した場合、コンタクタ９周辺の回路に断線が生じた場合、等にコンタクタ９が開放状態となる可能性がある。コンタクタ９が開放状態となると、高圧バッテリ１１からインバータ１０側への電力の供給は直ちに遮断される。同様に、回転電機８０からインバータ１０を介して高圧バッテリ１１への電力の回生もコンタクタ９によって遮断される。

[0022] 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ＩＧＢＴ３を全て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。

ＳＤ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、ＦＷＤ５を介して直流リンクコンデンサ４を充電する。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Ｖｄｃ）が短時間で上昇する可能性がある。直流リンク電圧Ｖｄｃ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、インバータ１０の高耐圧化も必要となる。その結果、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。

[0023] また、コンタクタ９が開放状態となった場合に、いくつかのＩＧＢＴ３をオン状態にして電流を還流させるアクティブショート制御（アクティブショートサーキット制御（ＡＳＣ制御））～例えばゼロベクトルシーケンス制御（ＺＶＳ制御）～が実行される場合もある。電流（還流電流）の有するエネルギーは、ＩＧＢＴ３やステータコイル８などにおいて熱などによって消費される。ＡＳＣ制御では、直流リンク電圧Ｖｄｃの上昇は抑制できるが、ＩＧＢＴ３やステータコイル８を大電流が流れることになる。還流電流は、ステータコイル８に蓄積された電力が消費されるまで流れ続けるので、ＩＧＢ

Ｔ３やステータコイル８の寿命を低下させる可能性がある。また、大電流に対応した素子などを用いる必要が生じて、部品コスト、製造コスト、製品コストにも影響する可能性がある。また、大電流等によって発生する熱によって、回転電機８０のロータに備えられた永久磁石が減磁し、回転電機８０の耐久性が低下する可能性もある。

[0024] 本実施形態のインバータ制御装置２０は、ＳＤ制御とＡＳＣ制御とを組み合わせて、回生電力を抑制しつつ、回転電機８０に流れる電流をゼロにする制御（回生電力抑制制御）を実行する点に特徴を有する。即ち、インバータ制御装置２０は、インバータ１０と高圧バッテリ１１とを接続するコンタクタ９が開放状態となった際に、直流リンク電圧Ｖｄｃ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にする。尚、上述したように、高圧バッテリ１１とは別に、不図示の低圧バッテリが備えられており、インバータ制御装置２０や車両ＥＣＵ９０は、低圧バッテリから電力を供給されて動作する。本実施形態においては、コンタクタ９が開放状態となっても、低圧バッテリからインバータ制御装置２０や車両ＥＣＵ９０への電力供給は維持されているものとして説明する。

[0025] 図１及び図３等に示すように、インバータ１０は、交流１相分のアームが、相補的にスイッチング制御される上段側スイッチング素子（上段側ＩＧＢＴ（３１，３３，３５））と下段側スイッチング素子（下段側ＩＧＢＴ（３２，３４，３６））との直列回路により構成される。インバータ制御装置２０は、回転電機８０の回転中にコンタクタ９が開放状態となった場合に、３相全てのアームの上段側ＩＧＢＴ（３１，３３，３５）をオン状態とし、３相全てのアームの下段側ＩＧＢＴ（３２，３４，３６）をオフ状態とする上段側アクティブショート制御（上段側ＡＳＣ制御）、及び、３相全てのアームの下段側ＩＧＢＴ（３２，３４，３６）をオン状態とし、３相全てのアームの上段側ＩＧＢＴ（３１，３３，３５）をオフ状態とする下段側アクティブショート制御（下段側ＡＳＣ制御）の何れかのアクティブショート制御（ＡＳＣ制御）を実行する（図２：Ｐｈａｓｅ１）。さらに、インバータ制御

装置２０は、ＡＳＣ制御の開始後に、３相の内の何れか１相のアームである対象アームの電流がゼロとなる際に、少なくとも対象アームにおいてオン状態に制御されているＩＧＢＴ３をオフ状態とするように制御するパーシャルシャットダウン制御（ＰＳＤ制御）を実行する（図２：Ｐｈａｓｅ２）。その後、インバータ制御装置２０は、対象アームとは別の２相のアームの電流が共にゼロとなる際に残りの全てのアームにおいてオン状態に制御されているＩＧＢＴ３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）を実行する（図２：Ｐｈａｓｅ３）。

[0026] 以下、このような回生電力抑制制御について説明する。図２は、コンタクタ９の開放時の制御例を模式的に示す波形図であり、図３は、上述したＰｈａｓｅ１におけるＩＧＢＴ３の制御例と電流の流れを示す等価回路図であり、図４は、同じくＰｈａｓｅ２におけるＩＧＢＴ３の制御例と電流の流れを示す等価回路図である。図２に示す時刻“ｔ０”においてコンタクタ９が開放状態となると、直流リンク電圧Ｖｄｃが上昇し始める（Ｐｈａｓｅ０）。インバータ制御装置２０は、コンタクタ９が開放状態（コンタクタオープン）であると判定すると、回生電力抑制制御を開始する。コンタクタオープンであるとの判定は、例えば、車両ＥＣＵ９０からの通信に基づいて実施されても良いし、直流リンク電圧Ｖｄｃを検出する電圧センサ１４の検出結果に基づいて実施されても良い。また、コンタクタオープンであるとの判定は、バッテリ電流センサ１５により検出された高圧バッテリ１１の電流（バッテリ電流）の急激な変化に基づいて判定されてもよい。ここでは、電圧センサ１４により検出された直流リンク電圧Ｖｄｃが、回生電力抑制制御の要否を判定する判定しきい値を超えているか否かによって、回生電力抑制制御の開始が判定されるものとする。

[0027] 回生電力抑制制御が開始されると、まず、ＡＳＣ制御が実行される。ここでは、図３に示すように、下段側ＡＳＣ制御が実行される例を示している。図３において、破線で示すＩＧＢＴ３は、オフ状態にスイッチング制御されていることを示し、実線で示すＩＧＢＴ３はオン状態に制御されていること

を示す。また、破線で示すＦＷＤ５は非導通状態であることを示し、実線で示すＦＷＤ５は導通状態であることを示す。図３に示すように、上段側ＩＧＢＴ（３１，３３，３５）はオフ状態に、下段側ＩＧＢＴ（３２，３４，３６）はオン状態に制御される。Ｕ相電流Ｉｕは、Ｕ相下段側ＩＧＢＴ３２を流れる。Ｖ相電流Ｉｖは、Ｖ相下段側ＩＧＢＴ３４を流れると共に、Ｖ相下段側ＩＧＢＴ３４に逆並列に接続されたＶ相下段側ＦＷＤ５４も流れる。同様に、Ｗ相電流Ｉｗは、Ｗ相下段側ＩＧＢＴ３６を流れると共に、Ｗ相下段側ＩＧＢＴ３６に逆並列に接続されたＷ相下段側ＦＷＤ５６も流れる。

[0028] 図２に示すように、時刻“ｔ０”においてコンタクタ９が開放状態となると、直流リンク電圧Ｖｄｃが上昇し始めるが、時刻“ｔ１”において下段側ＡＳＣ制御が実行されると、図３に示すように、電流が還流するので、直流リンク電圧Ｖｄｃの上昇は電圧“Ｖ１”で停止する。下段側ＡＳＣ制御が実行されている期間は、Ｐｈａｓｅ１に相当する。

[0029] Ｐｈａｓｅ１の期間において、つまり、ＡＳＣ制御の実行中に、何れか１相のアーム（対象アーム）の電流（相電流）がゼロとなる際に、ＰＳＤ制御が実行される。ＰＳＤ制御は、図２に示す時刻“ｔ２”において実行されると好適であるが、厳密ではなく、時刻“ｔ２”の前後において実行されればよい。電流がゼロとなったことを検出した後では、ＰＳＤ制御の実行が遅れるため、例えば、ＰＳＤ制御は、相電流がゼロの時を予想して実行されると好適である。図２においては、Ｐｈａｓｅ１の期間においてＶ相電流Ｉｖがゼロとなる際にＰＳＤ制御が実行される形態を例示している。対象アームはＶ相アームであり、Ｖ相アームにおいてオン状態に制御されているＶ相下段側ＩＧＢＴ３４が少なくともオフ状態に制御される。これにより、Ｖ相はシャットダウンされた状態となり、インバータ１０は部分的にシャットダウンされた状態となる（Ｐｈａｓｅ２）。シャットダウンが実施された場合には、ステータコイル８に蓄積された電力が、ＦＷＤ５を介して直流リンクコンデンサ４を充電するが、相電流（Ｉｖ）がゼロの状態でシャットダウンを行っているため、直流リンク電圧Ｖｄｃは上昇しない。

[0030] ところで、上述したように、Ｖ相電流Ｉｖは、Ｖ相下段側ＩＧＢＴ３４を流れると共に、Ｖ相下段側ＩＧＢＴ３４に逆並列に接続されたＶ相下段側ＦＷＤ５４も流れる。従って、インバータ制御装置２０は、ＰＳＤ制御の実行に際して、順方向に導通状態のＦＷＤ５（ここではＶ相下段側ＦＷＤ５４）に流れる電流がゼロとなる際に、当該ＦＷＤ５（５４）に並列に接続されたＩＧＢＴ３（ここではＶ相下段側ＩＧＢＴ３４）をオフ状態となるように制御するということもできる。

[0031] また、Ｐｈａｓｅ２では、Ｖ相がシャットダウンされた状態となり、インバータ１０が部分的にシャットダウンされた状態となるため、時刻“ｔ２”から行われる制御をパーシャルシャットダウン制御（ＰＳＤ制御）と称しているが、見方を変えれば、部分的にアクティブショート制御（ＡＳＣ制御）が実行されているということもできる。従って、時刻“ｔ２”から実行される制御（Ｐｈａｓｅ２で実行される制御）は、パーシャルアクティブショート制御（ＰＡＳＣ制御）と称することもできる。

[0032] 図４は、Ｐｈａｓｅ２におけるＩＧＢＴ３の制御例と電流の流れを示している。図４に示すように、Ｕ相電流Ｉｕは、Ｕ相下段側ＩＧＢＴ３２を流れ、Ｗ相電流Ｉｗは、Ｗ相下段側ＩＧＢＴ３６を流れると共に、Ｗ相下段側ＩＧＢＴ３６に逆並列に接続されたＷ相下段側ＦＷＤ５６も流れる。Ｖ相がシャットダウンされているため、Ｕ相電流ＩｕとＷ相電流Ｉｗとは平衡する。従って、図２に示すように、Ｕ相電流ＩｕとＷ相電流Ｉｗとは同じ時刻（ここでは時刻“ｔ３”）においてゼロとなる。インバータ制御装置２０は、対象アーム（ここではＶ相）とは別の２相のアーム（ここではＵ相、Ｗ相）の電流が共にゼロとなる際に残りの全てのアームにおいてオン状態に制御されているＩＧＢＴ３（ここでは“３２，３６”）をオフ状態とするように制御するＦＳＤ制御を実行する（図２：Ｐｈａｓｅ３）。シャットダウンが実施された場合には、ステータコイル８に蓄積された電力が、ＦＷＤ５を介して直流リンクコンデンサ４を充電するが、相電流（Ｉｕ，Ｉｗ）がゼロの状態でシャットダウンを行っているため、直流リンク電圧Ｖｄｃは上昇しない。

[0033] このように、ＳＤ制御とＡＳＣ制御とを組み合わせることによって、適切に回転電機８０に流れる電流をゼロにする制御を実行することができる。発明者によるシミュレーションによれば、例えば、コンタクタオープンに応答して単純にＳＤ制御を実行した場合と比較して、直流リンクコンデンサ４の静電容量を概ね１／２としても、直流リンク電圧Ｖｄｃの上昇電圧は１／５～１／４程度となることが確認されている。つまり、回生電力抑制制御によって直流リンク電圧Ｖｄｃの上昇が抑制され、直流リンクコンデンサ４の小型化も可能となる。また、コンタクタオープンに応答して単純にＡＳＣ制御を実行した場合と比べて、相電流の最大値は概ね８０％程度に収まっている。つまり、回生電力抑制制御によって相電流も抑制されている。従って、ステータコイル８やＩＧＢＴ３の消耗による寿命の低下を抑制することができる。即ち、シミュレーションによって、最大の回生電力ポイントと、インバータ１０の最大電圧の条件で、定格電流と耐圧電圧とを満足することが確認されている。

[0034] ところで、図３及び図４を参照すると、Ｐｈａｓｅ１及びＰｈａｓｅ２の双方において、W相電流Ｉｗは、W相下段側ＩＧＢＴ３６を流れると共に、W相下段側ＩＧＢＴ３６に逆並列に接続されたW相下段側ＦＷＤ５６も流れる。つまり、Ｐｈａｓｅ２においてW相下段側ＩＧＢＴ３６がオフ状態であっても、W相電流Ｉｗは還流する。従って、時刻“ｔ２”におけるＰＳＤ制御の開始に際しては、Ｖ相下段側ＩＧＢＴ３４と共にW相下段側ＩＧＢＴ３６もオフ状態に制御されてもよい。即ち、インバータ制御装置２０は、次のように、ＰＳＤ制御を実行すると良い。即ち、インバータ制御装置２０は、対象アーム（ここではＶ相）においてオン状態に制御されているＩＧＢＴ３（ここでは“３４”）と、対象アームとは別の２相（ここではＵ相、W相）のアームにおいてオン状態に制御されているＩＧＢＴ３（３２，３６）の内、順方向に導通状態のＦＷＤ５（ここでは“５６”）に並列接続されているＩＧＢＴ３（３６）との２つのＩＧＢＴ３をオフ状態とするように制御して、ＰＳＤ制御を実行してもよい。換言すれば、インバータ制御装置２０は、

オン状態に制御されているＩＧＢＴ３（ここでは“３２，３４，３６”）の内、順方向に導通状態のＦＷＤ５（ここでは“５４，５６”）に並列接続されている２つのＩＧＢＴ３（ここでは“３４，３６”）をオフ状態とするように制御して、ＰＳＤ制御を実行してもよい。

[0035] このように、２つのＩＧＢＴ３がオフ状態に制御されてＰＳＤ制御が実行されると、Ｐｈａｓｅ２においてオン状態のＩＧＢＴ３はＵ相下段側ＩＧＢＴ３２のみとなる。つまり、時刻“ｔ３”におけるＦＳＤ制御の開始に際して、対象アーム（ここではＶ相）とは別の２相のアーム（ここではＵ相、Ｗ相）の電流が共にゼロとなる際に残りの全てのアームにおいてオン状態に制御されているＩＧＢＴ３はＵ相下段側ＩＧＢＴ３２のみとなる。インバータ制御装置２０は、ＦＳＤ制御の開始に際して、対象アーム（ここではＶ相）とは別の２相のアーム（ここではＵ相、Ｗ相）の電流が共にゼロとなる際に残りの全てのアームにおいてオン状態に制御されているＩＧＢＴ３として、Ｕ相下段側ＩＧＢＴ３２をオフ状態とするように制御する（図２：Ｐｈａｓｅ３）。

[0036] 上記においては、ＡＳＣ制御として下段側ＡＳＣ制御が実行される例について説明したが、以下、ＡＳＣ制御として上段側ＡＳＣ制御が実行される形態について説明する。即ち、回生電力抑制制御として、上段側ＡＳＣ制御、ＰＳＤ制御、ＦＳＤ制御の順に実行される形態について説明する。図５は、コンタクタ９の開放時の制御例を模式的に示す波形図であり、図６は、上述したＰｈａｓｅ１におけるＩＧＢＴ３の制御例と電流の流れを示す等価回路図であり、図７は、同じくＰｈａｓｅ２におけるＩＧＢＴ３の制御例と電流の流れを示す等価回路図である。図５に示す時刻“ｔ０”においてコンタクタ９が開放状態となると、直流リンク電圧Ｖｄｃが上昇し始める。インバータ制御装置２０は、コンタクタ９が開放状態（コンタクタオープン）であると判定すると、回生電力抑制制御を開始する。

[0037] 回生電力抑制制御が開始されると、まず、ＡＳＣ制御が実行される。ここでは、図６に示すように、上段側ＡＳＣ制御が実行されるので、上段側ＩＧ

ＢＴ（３１，３３，３５）はオン状態に、下段側ＩＧＢＴ（３２，３４，３６）はオフ状態に制御される。W相電流Ｉｗは、W相上段側ＩＧＢＴ３５を流れる。Ｕ相電流Ｉｕは、Ｕ相上段側ＩＧＢＴ３１を流れると共に、Ｕ相上段側ＩＧＢＴ３１に逆並列に接続されたＵ相上段側ＦＷＤ５１も流れる。同様に、Ｖ相電流Ｉｖは、Ｖ相上段側ＩＧＢＴ３３を流れると共に、Ｖ相上段側ＩＧＢＴ３３に逆並列に接続されたＶ相上段側ＦＷＤ５３も流れる。

[0038] 図５に示すように、時刻“ｔ０”においてコンタクタ９が開放状態となると、直流リンク電圧Ｖｄｃが上昇し始めるが、時刻“ｔ１”において下段側ＡＳＣ制御が実行されると、図６に示すように、電流が還流するので、直流リンク電圧Ｖｄｃの上昇は電圧“Ｖ１”で停止する。上段側ＡＳＣ制御が実行されている期間は、Ｐｈａｓｅ１に相当する。

[0039] Ｐｈａｓｅ１の期間において、つまり、ＡＳＣ制御の実行中に、何れか１相のアーム（対象アーム）の電流（相電流）がゼロとなる際に、ＰＳＤ制御が実行される。ここでは、Ｐｈａｓｅ１の期間においてＵ相電流Ｉｕがゼロとなる際にＰＳＤ制御が実行される。対象アームはＵ相アームであり、Ｕ相アームにおいてオン状態に制御されているＵ相上段側ＩＧＢＴ３１が少なくともオフ状態に制御される。これにより、Ｕ相はシャットダウンされた状態となり、インバータ１０は部分的にシャットダウンされた状態となる（Ｐｈａｓｅ２）。シャットダウンが実施された場合には、ステータコイル８に蓄積された電力が、ＦＷＤ５を介して直流リンクコンデンサ４を充電するが、相電流（Ｉｕ）がゼロの状態でシャットダウンを行っているため、直流リンク電圧Ｖｄｃは上昇しない。

[0040] Ｕ相電流Ｉｕは、Ｕ相上段側ＩＧＢＴ３１を流れると共に、Ｕ相上段側ＩＧＢＴ３１に逆並列に接続されたＵ相上段側ＦＷＤ５１も流れる。従って、インバータ制御装置２０は、順方向に導通状態のＦＷＤ５（ここではＵ相上段側ＦＷＤ５１）に流れる電流がゼロとなる際に、当該ＦＷＤ５（５１）に並列に接続されたＩＧＢＴ３（ここではＵ相上段側ＩＧＢＴ３１）をオフ状態となるように制御して、ＰＳＤ制御を実行するということもできる。この

状態は、３相の内の２相のみが、オン状態とされている状態であるから、２相スイッチング（Tow Phase Switching）制御と称することができる。

[0041] 図７は、Ｐｈａｓｅ２におけるＩＧＢＴ３の制御例と電流の流れを示している。図７に示すように、W相電流Ｉｗは、W相上段側ＩＧＢＴ３５を流れ、Ｖ相電流Ｉｖは、Ｖ相上段側ＩＧＢＴ３３を流れると共に、Ｖ相上段側ＩＧＢＴ３３に逆並列に接続されたＶ相上段側ＦＷＤ５３も流れる。Ｕ相がシャットダウンされているため、Ｖ相電流ＩｖとW相電流Ｉｗとは平衡する。従って、Ｖ相電流ＩｖとW相電流Ｉｗとは同じ時刻（ここでは時刻“ｔ３”）においてゼロとなる。インバータ制御装置２０は、対象アーム（ここではＵ相）とは別の２相のアーム（ここではＶ相、W相）の電流が共にゼロとなる際に残りの全てのアームにおいてオン状態に制御されているＩＧＢＴ３（ここでは“３３，３５”）をオフ状態とするように制御するＦＳＤ制御を実行する（図５：Ｐｈａｓｅ３）。シャットダウンが実施された場合には、ステータコイル８に蓄積された電力が、ＦＷＤ５を介して直流リンクコンデンサ４を充電するが、相電流（Ｉｖ，Ｉｗ）がゼロの状態でシャットダウンを行っているため、直流リンク電圧Ｖｄｃは上昇しない。

[0042] ところで、図６及び図７を参照すると、Ｐｈａｓｅ１及びＰｈａｓｅ２の双方において、Ｖ相電流Ｉｖは、Ｖ相上段側ＩＧＢＴ３３を流れると共に、Ｖ相上段側ＩＧＢＴ３３に逆並列に接続されたＶ相上段側ＦＷＤ５３も流れる。つまり、Ｐｈａｓｅ２においてＶ相上段側ＩＧＢＴ３３がオフ状態であっても、Ｖ相電流Ｉｖは還流する。従って、時刻“ｔ２”におけるＰＳＤ制御の開始に際しては、Ｕ相上段側ＩＧＢＴ３１と共にＶ相上段側ＩＧＢＴ３３もオフ状態に制御されてもよい。即ち、インバータ制御装置２０は、対象アーム（ここではＵ相）においてオン状態に制御されているＩＧＢＴ３（ここでは“３１”）と、対象アームとは別の２相（ここではＶ相、W相）のアームにおいてオン状態に制御されているＩＧＢＴ３（３３，３５）の内、順方向に導通状態のＦＷＤ５（ここでは“５３”）に並列接続されているＩＧＢＴ３（３３）との２つのＩＧＢＴ３をオフ状態とするように制御して、Ｐ

ＳＤ制御を実行してもよい。換言すれば、インバータ制御装置２０は、オン状態に制御されているＩＧＢＴ３（ここでは“３１，３３，３５”）の内、順方向に導通状態のＦＷＤ５（ここでは“５１，５３”）に並列接続されている２つのＩＧＢＴ３（ここでは“３１，３３”）をオフ状態とするように制御して、ＰＳＤ制御を実行してもよい。

[0043] このように、２つのＩＧＢＴ３がオフ状態に制御されて、ＰＳＤ制御が実行された場合には、Ｐｈａｓｅ２においてオン状態のＩＧＢＴ３はW相上段側ＩＧＢＴ３５のみとなる。この状態は、３相の内の１相のみが、オン状態とされている状態であるから、単相スイッチング（Single Phase Switching）制御と称することができる。この場合、時刻“ｔ３”におけるＦＳＤ制御の開始に際して、対象アーム（ここではＵ相）とは別の２相のアーム（ここではＶ相、W相）の電流が共にゼロとなる際に残りの全てのアームにおいてオン状態に制御されているＩＧＢＴ３はW相上段側ＩＧＢＴ３５のみとなる。インバータ制御装置２０は、ＦＳＤ制御の開始に際して、対象アーム（ここではＵ相）とは別の２相のアーム（ここではＶ相、W相）の電流が共にゼロとなる際に残りの全てのアームにおいてオン状態に制御されているＩＧＢＴ３として、W相上段側ＩＧＢＴ３５をオフ状態とするように制御する（図５：Ｐｈａｓｅ３）。

[0044] 以上説明したように、Ｐｈａｓｅ１において実行されるＡＳＣ制御は、上段側ＡＳＣ制御でも、下段側ＡＳＣ制御でもよい。インバータ制御装置２０は、コンタクタオープンの際に、３相のアームの電流位相に応じて、上段側ＡＳＣ制御及び下段側ＡＳＣ制御の何れかを選択してＡＳＣ制御を実行すると好適である。具体的には、図３に示すように、コンタクタオープンの際（時刻“ｔ０”において）、３相電流の波形が正側に２相、負側に１相の場合には、下段側ＡＳＣ制御が選択され、図６に示すように、コンタクタオープンの際、３相電流の波形が負側に２相、正側に１相の場合には、上段側ＡＳＣ制御が選択されると好適である。

[0045] 下記表１は、３相電流の波形と、各ＩＧＢＴ３のオン／オフ制御の状態と

を表している。表１に示すように、３相電流（Ｉｕ，Ｉｖ，Ｉｗ）の波形に応じて６つの状態が存在する。これをＳｅｃｔｏｒで示している。表中の“Ｓｕ＋，Ｓｖ＋，Ｓｗ＋，Ｓｕ－，Ｓｖ－，Ｓｗ－”はそれぞれ、Ｕ相上段側ＩＧＢＴ３１、Ｖ相上段側ＩＧＢＴ３３、W相上段側ＩＧＢＴ３５、Ｕ相下段側ＩＧＢＴ３２、Ｖ相下段側ＩＧＢＴ３４、W相下段側ＩＧＢＴ３６を示している。即ち、“Ｓ”はスイッチング素子、“ｕ，ｖ，ｗ”の添え字は３相各相、“＋”は上段側、“－”は下段側を示している。また、表中の“０”はオフ状態を示し、“１”はオン状態を示している。従って、３相の内の２相の電流波形が振幅中心よりも正側の場合であるＳｅｃｔｏｒ１，３，５では、下段側ＡＳＣ制御を実行される。一方、３相の内の２相の電流波形が振幅中心よりも負側の場合であるＳｅｃｔｏｒ２，４，６では、上段側ＡＳＣ制御が実行される。

[0046] 表１：３相電流の波形とＡＳＣ制御時のスイッチング素子のオン／オフ制御の状態

[表1]

| Sector | Iu | Iv | Iw | Su+ | Sv+ | Sw+ | Su- | Sv- | Sw- |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | + | - | + | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 |
| 2 | + | - | - | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| 3 | + | + | - | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 |
| 4 | - | + | - | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| 5 | - | + | + | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 |
| 6 | - | - | + | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 |

[0047] ３相電流の波形が正側に２相、負側に１相の場合には、下段側ＡＳＣ制御の実行中に下段側のＦＷＤ５が導通する相が２相存在することになる。また、３相電流の波形が負側に２相、正側に１相の場合には、上段側ＡＳＣ制御の実行中に上段側のＦＷＤ５が導通する相が２相存在することになる。従って、ＰＳＤ制御を行う際にオフ状態に制御可能なＩＧＢＴ３が１つ又は２つとなるので、制御の選択肢が増大する。また、上述したように、ＰＳＤ制御への移行に際して、２つのＩＧＢＴ３をオン状態からオフ状態へと遷移させることができるので、大電流が流れることによるＩＧＢＴ３の消耗を抑制し

、寿命に与える影響を低減することもできる。

[0048] 本実施形態のインバータ制御装置２０は、ＳＤ制御とＡＳＣ制御とを組み合わせて、適切に回転電機８０に流れる電流をゼロにする回生電力抑制制御（ＳＤ－ＡＳＣ混合制御）を実行する。ＳＤ制御、ＡＳＣ制御、ＳＤ－ＡＳＣ混合制御には、コンタクタオープンの際の回転電機８０の動作状態に応じてそれぞれ適した領域が存在する。図８は、回転電機８０の回転速度とトルクとによって表された動作マップ上において、それぞれの制御方式が適した領域を示している。回転速度が高い領域、図８における領域“ｄｅｆｇ”（領域“Ｒ２”）は、回転電機８０による起電力（ＥＭＦ：Electromotive Force）が高いため、ＡＳＣ制御が適している。線“ｄｇ”は、逆起電圧（ＢＥＭＦ：Back Electromotive Force）が、直流リンク電圧Ｖｄｃ以上となる境界を表している。回転速度が低い領域、図８における領域“０ａｃｄｇ”（領域“Ｒ１＋Ｒ３”）は、ＳＤ制御が適している。即ち、ＳＤ制御は、直流リンク電圧Ｖｄｃが回転電機８０による起電力よりも大きい場合に実行される。

[0049] このＳＤ制御が適している領域“０ａｃｄｇ”の全てにおいてＳＤ制御が可能なようにインバータ制御装置２０を構築すると、当該領域における直流リンク電圧Ｖｄｃの上昇に鑑みた設計が必要となる。例えば、ＩＧＢＴ３などのスッチング素子に高い耐圧が求められ、直流リンクコンデンサ４にも大きな容量や高い耐圧が求められる。しかし、回転速度及びトルクが高い領域“ｂｃｄ”（領域“Ｒ３”）において、直流リンク電圧Ｖｄｃの上昇を抑制できれば、それらの要求を緩和することができる。従って、上述した回生電力抑制制御は、図８における領域“ｂｃｄ”（領域“Ｒ３”）において適用されると好適である。

[0050] 〔その他の実施形態〕

以下、その他の実施形態について説明する。尚、以下に説明する各実施形態の構成は、それぞれ単独で適用されるものに限られず、矛盾が生じない限り、他の実施形態の構成と組み合わせて適用することも可能である。

[0051] （１）上記においては、コンタクタ９が開放状態となった後、アクティブショート制御、パーシャルシャットダウン制御、フルシャットダウン制御が時系列に実行される形態を例示した。しかし、アクティブショート制御が行われることなく、コンタクタ９が開放状態となった後、パーシャルシャットダウン制御、フルシャットダウン制御が時系列に実行されてもよい。即ち、コンタクタ９が開放状態となった場合に、対象アームにおいて、パーシャルシャットダウン制御が開始され、その後、対象アームとは別の２相のアームの電流が共にゼロとなる際にフルシャットダウン制御が開始されればよい。

[0052] この際、好ましくは、３相のアームの電流位相に応じて、対象アームを選択して、パーシャルシャットダウン制御が実行されるとよい。例えば、３相の内の２相の電流波形が振幅中心よりも正側の場合には、当該２相の内、電流波形が振幅中心に向かう相のアームを対象アームとして選択する。また、３相の内の２相の電流波形が振幅中心よりも負側の場合には、当該２相の内、電流波形が振幅中心に向かう相記アームを対象アームとして選択する。図９は回転電機８０が正回転する際の電流波形を示している。図中の矢印に付した数字は、表１と同様に、３相電流（Ｉｕ，Ｉｖ，Ｉｗ）の波形に応じた６つの状態（Ｓｅｃｔｏｒ）を表している。例えば、Ｓｅｃｔｏｒ１においては、Ｕ相電流ＩｕとW相電流Ｉｗとの２相の電流波形が、振幅中心よりも正側である。そして、Ｓｅｃｔｏｒ１の範囲において、Ｕ相電流Ｉｕは電流値のピークに向かい、W相電流Ｉｗは振幅中心へ向かっている。従って、Ｓｅｃｔｏｒ１では、W相アームが対象アームである。

[0053] パーシャルシャットダウン制御では、対象アームにおいてオン状態に制御されているＩＧＢＴ３がオフ状態に制御される。換言すれば、対象アームの全てのＩＧＢＴ３（上段側ＩＧＢＴ及び下段側ＩＧＢＴ）がオフ状態に制御される。上述したＳｅｃｔｏｒ１であれば、オン状態に制御されているW相上段側ＩＧＢＴ３５がオフ状態に制御される。W相下段側ＩＧＢＴ３６は、Ｓｅｃｔｏｒ１においてオフ状態であるから、W相上段側ＩＧＢＴ３５がオフ状態に制御されることによって、W相アームの全てのＩＧＢＴ３がオフ状

態となる。

[0054] ここで、Ｓｅｃｔｏｒ１において、電流波形が振幅中心よりも正側である２相の内、対象アームとは異なるＵ相アームのＩＧＢＴ３は、そのオン／オフ状態が入れ替わると好適である。具体的には、Ｓｅｃｔｏｒ１において、Ｕ相上段側ＩＧＢＴ３１はオン状態であり、Ｕ相下段側ＩＧＢＴ３２はオフ状態である。対象アームとしてのW相上段側ＩＧＢＴ３５がオフ状態に制御される際、Ｕ相上段側ＩＧＢＴ３１がオフ状態に制御され、Ｕ相下段側ＩＧＢＴ３２がオン状態に制御される。図９に示すように、Ｓｅｃｔｏｒ１では、Ｖ相電流Ｉｖは振幅中心よりも負側であり、Ｖ相下段側ＩＧＢＴ３４がオン状態である。従って、Ｕ相下段側ＩＧＢＴ３２がオン状態となると、Ｕ相下段側ＩＧＢＴ３２及びＦＷＤ５２、Ｕ相ステータコイル８ｕ、Ｖ相ステータコイル８ｖ、Ｖ相下段側ＩＧＢＴ３４、Ｕ相下段側ＩＧＢＴ３２及びＦＷＤ５２の経路で、電流が環流する。つまり、部分的なアクティブショートサーキットが形成される。上述したように、パーシャルシャットダウン制御が実行されている一方で、視点を変えればパーシャルアクティブショート制御が実行されているということもできる。

[0055] 或いは、図７を参照して上述したように、この状態は、３相の内の２相のみが、オン状態とされている状態であるから、２相スイッチング（Tow Phase Switching）制御と称することができる。例えば、Ｓｅｃｔｏｒ６においては、Ｕ相電流ＩｕとＶ相電流Ｉｖとの２相の電流波形が、振幅中心よりも負側である。そして、Ｓｅｃｔｏｒ６の範囲において、Ｖ相電流Ｉｖは電流値の負のピークに向かい、Ｕ相電流Ｉｕは振幅中心へ向かっている。従って、Ｓｅｃｔｏｒ６では、Ｕ相アームが対象アームである。Ｓｅｃｔｏｒ６では、Ｕ相下段側ＩＧＢＴ３２、Ｖ相下段側ＩＧＢＴ３４、W相上段側ＩＧＢＴ３５がオン状態である。従って、Ｕ相下段側ＩＧＢＴ３２はオフ状態に制御され、Ｖ相アームは上限段のＩＧＢＴ（３３，３４）のオン／オフが入れ替わってＶ相下段側ＩＧＢＴ３４がオフ状態に制御され、Ｖ相上段側ＩＧＢＴ３３がオン状態に制御される。Ｕ相上段側ＩＧＢＴ３１、W相の上下段のＩ

ＧＢＴ（３５，３６）のオン／オフ状態は維持される。

[0056] このような制御により、Ｓｅｃｔｏｒ６では、Ｖ相上段側ＩＧＢＴ３３及びＦＷＤ５３、W相上段側ＩＧＢＴ３５、W相ステータコイル８ｗ、Ｖ相ステータコイル８ｖ、Ｖ相上段側ＩＧＢＴ３３及びＦＷＤ５３の経路で電流が環流する。つまり、部分的なアクティブショートサーキットが形成される。即ち、図７を参照して上述した形態と同様に、パーシャルシャットダウン制御、或いは、パーシャルアクティブショート制御、或いは、２相スイッチング（Tow Phase Switching）制御が実行されている状態となる。

[0057] このように、アクティブショートサーキットが形成されるように対象アーム以外のアームのＩＧＢＴ３も制御すれば、アクティブショート制御を経た場合と同じような状態で、パーシャルシャットダウン制御を実行することができる。一般化すると、インバータ制御装置２０は、３相の内の２相の電流波形が振幅中心よりも正側の場合には、当該２相の内、電流波形が振幅中心に向かう相のアームを対象アームとして選択して、当該対象アームにおいてオン状態となっているＩＧＢＴ３をオフ状態に制御し、さらに、当該２相の内、対象アームとは異なる相のアームの上段側ＩＧＢＴ３をオフ状態とすると共に下段側ＩＧＢＴ３をオン状態とするように制御して、パーシャルシャットダウン制御を実行する。また、インバータ制御装置２０は、３相の内の２相の電流波形が振幅中心よりも負側の場合には、当該２相の内、電流波形が振幅中心に向かう相のアームを対象アームとして選択して、当該対象アームにおいてオン状態となっているＩＧＢＴ３をオフ状態に制御し、さらに、当該２相の内、対象アームとは異なる相のアームの下段側ＩＧＢＴ３をオフ状態とすると共に上段側ＩＧＢＴ３をオン状態とするように制御して、パーシャルシャットダウン制御を実行する。アクティブショート制御を経た場合と同じような状態で、パーシャルシャットダウン制御を実行する場合の３相電流の波形と各スイッチング素子のオン／オフ制御の状態を下記の表２に示す。

[0058] 表２：３相電流の波形とＰＳＤ制御時のスイッチング素子のオン／オフ制

御の状態

（ＡＳＣ制御と同時にＰＳＤ制御を実行する場合）

[表2]

| Sector | Iu | Iv | Iw | Su+ | Sv+ | Sw+ | Su- | Sv- | Sw- |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | + | - | + | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 |
| 2 | + | - | - | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| 3 | + | + | - | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 |
| 4 | - | + | - | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 5 | - | + | + | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 |
| 6 | - | - | + | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 |

[0059] 上記においては、パーシャルアクティブショート制御と共にパーシャルシャットダウン制御が行われる形態を中心に説明したが、通常制御中に、コンタクタ９が開放状態となった後、アクティブショート制御もパーシャルアクティブショート制御も行われることなく、パーシャルシャットダウン制御、フルシャットダウン制御が時系列に実行されてもよい。下記に示す表３は、通常制御からパーシャルシャットダウン制御を実行する場合の３相電流の波形と各スイッチング素子のオン／オフ制御の状態を示している。表２と表３との比較により、パーシャルアクティブショート制御を伴うことなく、パーシャルシャットダウン制御が実行されることがわかる。

[0060] 表３：３相電流の波形とＰＳＤ制御時のスイッチング素子のオン／オフ制御の状態

（通常制御からＰＳＤ制御のみを実行する場合）

[表3]

| Sector | Iu | Iv | Iw | Su+ | Sv+ | Sw+ | Su- | Sv- | Sw- |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | + | - | + | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 |
| 2 | + | - | - | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| 3 | + | + | - | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| 4 | - | + | - | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| 5 | - | + | + | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 |
| 6 | - | - | + | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 |

[0061] （２）アクティブショート制御が行われることなく、コンタクタ９が開放状態となった後、パーシャルシャットダウン制御、フルシャットダウン制御が

時系列に実行される場合において、何れか１相のアームである対象アームの電流がゼロとなる際に、パーシャルシャットダウン制御が開始されると好適である。上述したように、パーシャルシャットダウン制御の開始時に、対象アームの電流がゼロであると、シャットダウンによって電流の流れは妨げられず、直流リンク電圧Ｖｄｃの上昇を招くことが抑制される。

[0062] （３）上述したように、コンタクタ９が開放状態となると直流リンク電圧Ｖｄｃが直ぐに上昇する。従って、インバータ制御装置２０は、コンタクタ９が開放状態となったことを迅速に判定して、回生電力抑制制御を開始することが望ましい。従って、上記説明においては、一般的に通信時間を要するＣＡＮなどを利用して車両ＥＣＵ９０経由でコンタクタ９の状態を取得するのではなく、直流リンク電圧Ｖｄｃの検出結果に基づいて、迅速にコンタクタ９が開放状態となったことを判定できる例を示した。また、他の１つの態様として、高圧バッテリ１１と直流リンクコンデンサ４との間に設けられたバッテリ電流センサ１５により検出された高圧バッテリ１１の電流（バッテリ電流）の急激な変化に基づいてコンタクタオープンが判定されてもよい。コンタクタ９が開放状態となると、高圧バッテリ１１と、その後段の回路（直流リンクコンデンサ４、インバータ１０、回転電機８０等）との電気的な接続状態が急激に変化する。このため、高圧バッテリ１１を出入りする電流も急激に変化する。従って、この場合も、ＣＡＮなどを利用して車両ＥＣＵ９０経由でコンタクタ９の状態を取得するよりも、インバータ制御装置２０は、高圧バッテリ１１の電流の検出結果に基づいて、コンタクタ９が開放状態となったことを迅速に判定することができる。このように、コンタクタオープンによって平滑コンデンサ（直流リンクコンデンサ４）の端子間電圧（直流リンク電圧Ｖｄｃ）が短時間で上昇するのを防止するためには、コンタクタオープンを迅速に検出することが特に肝要である。

[0063] 〔実施形態の概要〕

以下、上記において説明した実施形態に係るインバータ制御装置（２０）の概要について簡単に説明する。

[0064] １つの好適な態様として、インバータ制御装置（２０）は、

直流電源にコンタクタ（９）を介して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３相交流との間で電力変換を行うものであって交流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インバータ（１０）と、前記インバータ（１０）の直流側の電圧である直流リンク電圧（Ｖｄｃ）を平滑化する直流リンクコンデンサと（４）、を備える回転電機駆動装置（１）を制御対象として、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、

前記回転電機（８０）の回転中に前記コンタクタ（９）が開放状態となった場合に、何れか１相の前記アームである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）をオフ状態とするように制御するパーシャルシャットダウン制御を実行し、

その後、前記対象アームとは別の２相の前記アームの電流が共にゼロとなる際に残りの全ての前記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）をオフ状態とするように制御するフルシャットダウン制御を実行するように構成されている。

[0065] この構成によれば、パーシャルシャットダウン制御では、１相だけがシャットダウンされるので、シャットダウンによって妨げられる電流の流れが限定され、直流リンク電圧（Ｖｄｃ）の上昇が低減される。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は、シャットダウンされるアームの電流がゼロであるから、シャットダウンによる直流リンク電圧（Ｖｄｃ）の上昇が低減される。尚、パーシャルシャットダウン制御が開始されるまでは、特別な制御は行わずに通常制御を行っていても良いし、例えばアクティブショート制御が実行されてもよい。例えば、アクティブショート制御が実行される場合には、直流リンク電圧（Ｖｄｃ）の上昇は、コンタクタ（９）開放状態となった後、アクティブショート制御が開始されるまでの間にほぼ限定され、直流リンク電圧（Ｖｄｃ）の上昇を大きく抑制する

ことができる。このように、本構成によれば、インバータ（１０）と直流電源とを接続するコンタクタ（９）が開放状態となった際に、インバータ（１０）の直流リンク電圧（Ｖｄｃ）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にすることができる。

[0066] ここで、好ましくは、３相のアームの電流位相に応じて、対象アームを選択して、パーシャルシャットダウン制御が実行されるとよい。３相のアームの電流位相の相対関係は、インバータ（１０）の空間ベクトル（スイッチング制御の状態）に対応するから、空間ベクトル（スイッチング制御の状態）に応じて適切な対象アームを選択することができる。

[0067] ここで、インバータ制御装置（２０）は、３相の内の２相の電流波形が振幅中心よりも正側の場合には、当該２相の内、電流波形が振幅中心に向かう相の前記アームを前記対象アームとして選択し、３相の内の２相の電流波形が振幅中心よりも負側の場合には、当該２相の内、電流波形が振幅中心に向かう相の前記アームを前記対象アームとして選択すると好適である。シャットダウンされるアームの電流がゼロに近いほど、シャットダウンによって電流の流れが妨げられず、直流リンク電圧（Ｖｄｃ）の上昇を招くことが抑制される。振幅中心は電流がゼロであるから、電流波形が振幅中心に向かう相のアームを対象アームとして選択すると好適である。

[0068] また、インバータ制御装置（２０）は、３相の内の２相の電流波形が振幅中心よりも正側の場合には、当該２相の内、前記対象アームとは異なる相の前記アームの前記上段側スイッチング素子（３）をオフ状態とすると共に前記下段側スイッチング素子（３）をオン状態とするように制御し、３相の内の２相の電流波形が振幅中心よりも負側の場合には、当該２相の内、前記対象アームとは異なる相の前記アームの前記下段側スイッチング素子（３）をオフ状態とすると共に前記上段側スイッチング素子（３）をオン状態とするように制御して、前記パーシャルシャットダウン制御を実行すると好適である。この構成によれば、アクティブショートサーキットが形成されるように対象アーム以外のアームのスイッチング素子（３）も制御されるので、アク

ティブショート制御を経た場合と同じような状態で、パーシャルシャットダウン制御を実行することができる。つまり、アクティブショート制御とシャットダウン制御とが時系列に適切なタイミングで実行されることによって、アクティブショート制御による電流を抑制し、シャットダウン制御による電圧上昇を抑制することができる。

[0069] 好適な態様として、インバータ制御装置（２０）は、前記回転電機（８０）の回転中に前記コンタクタ（９）が開放状態となった場合に、３相全ての前記アームの前記上段側スイッチング素子（３）をオン状態とする上段側アクティブショート制御、及び、３相全ての前記アームの前記下段側スイッチング素子（３）をオン状態とする下段側アクティブショート制御の何れかのアクティブショート制御を実行し、前記アクティブショート制御の開始後に、前記パーシャルシャットダウン制御を実行するとよい。

[0070] この構成によれば、コンタクタ（９）が開放状態となった後、アクティブショート制御、パーシャルシャットダウン制御、フルシャットダウン制御が時系列に実行される。アクティブショート制御では大電流が還流し続け、シャットダウン制御では直流リンクコンデンサ（４）の端子間電圧（直流リンク電圧（Ｖｄｃ））が大きく上昇するという課題を有する。しかし、この構成のように、アクティブショート制御とシャットダウン制御とが時系列に適切なタイミングで実行されることによって、アクティブショート制御による電流を抑制し、シャットダウン制御による電圧上昇を抑制することができる。

[0071] １つの態様として、インバータ制御装置（２０）は、前記対象アームの電流がゼロとなる際に、少なくとも前記対象アームにおいてオン状態に制御されている前記スイッチング素子（３）をオフ状態とするように制御して、前記パーシャルシャットダウン制御を実行すると好適である。この態様によれば、パーシャルシャットダウン制御の開始時には、対象アームの電流がゼロであるから、シャットダウンによって電流の流れは妨げられず、直流リンク電圧（Ｖｄｃ）の上昇を招くことが抑制される。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、シャットダウンされるアームの電流がゼロであるから、シャットダウンによって直流リンク電圧（Ｖｄｃ）の上昇を招くことが抑制される。

[0072] 例えば、コンタクタ（９）が開放状態となった後、アクティブショート制御、パーシャルシャットダウン制御、フルシャットダウン制御が時系列に実行され、対象アームの電流がゼロとなる際にパーシャルシャットダウン制御が実行されると、好適である。上述したように、パーシャルシャットダウン制御への移行時及びフルシャットダウン制御への移行時にシャットダウンされるアームの電流がゼロであると、シャットダウンによって電流の流れは妨げられず、直流リンク電圧（Ｖｄｃ）の上昇を招くことが抑制される。即ち、直流リンク電圧（Ｖｄｃ）の上昇は、コンタクタ（９）が開放状態となった後、アクティブショート制御が開始されるまでの間にほぼ限定されるので、特に、直流リンク電圧（Ｖｄｃ）の上昇を大きく抑制することができる。

[0073] 一般的に、インバータ（１０）は、下段側から上段側へ向かう方向を順方向として各スイッチング素子（３）に並列に接続されたフリーホイールダイオード（５）を備えて構成されている。そのような構成を備えている場合において、１つの態様として、インバータ制御装置（２０）は、前記順方向に導通状態の前記フリーホイールダイオード（５）に流れる電流がゼロとなる際に、当該フリーホイールダイオード（５）に並列に接続された前記スイッチング素子（３）をオフ状態となるように制御して、前記パーシャルシャットダウン制御を実行すると好適である。フリーホイールダイオード（５）により電流の方向が規定されるので、対象アームの特定が容易となる。また、対象アームでは、フリーホイールダイオード（５）に流れる電流がゼロとなる際に、スイッチング素子（３）に流れる電流もゼロとなるから、インバータ制御装置（２０）は、適切なタイミングで対象アームのスイッチング素子（３）がオフ状態となるように制御することができる。

[0074] また、１つの態様として、インバータ制御装置（２０）は、３相の前記アームの電流位相に応じて、前記上段側アクティブショート制御、及び、前記

下段側アクティブショート制御の何れかを選択して、前記アクティブショート制御を実行すると好適である。アクティブショート制御の次には、パーシャルシャットダウン制御が実行されるが、パーシャルシャットダウン制御の際には、対象アームの電流がゼロとなる必要がある。アクティブショート制御の実行時間が長くなると、それだけ長い時間、大電流が還流するため、アクティブショート制御の実行時間を短縮できると好ましい。アクティブショート制御の開始後、対象アームの電流がゼロとなるまでの時間は、アクティブショート制御の開始時の３相の電流位相に依存する。また、その際に上段側アクティブショート制御及び下段側アクティブショート制御の何れを実行するかにも依存する。従って、３相のアームの電流位相に応じて、上段側アクティブショート制御及び下段側アクティブショート制御の何れかを選択することによって、アクティブショート制御の実行時間を短縮することができ、大電流が還流する時間を短くすることができる。

[0075] ここで、１つの態様として、インバータ制御装置（２０）は、前記アクティブショート制御の実行を開始する際に、３相の内の２相の電流波形が振幅中心よりも正側の場合には、前記下段側アクティブショート制御を実行し、前記アクティブショート制御の実行を開始する際に、３相の内の２相の電流波形が振幅中心よりも負側の場合には、前記上段側アクティブショート制御を実行すると好適である。３相電流の波形が正側に２相、負側に１相の場合には、下段側アクティブショート制御の実行中に下段側のフリーホイールダイオード（５）が導通する相が２相存在することになる。また、３相電流の波形が負側に２相、正側に１相の場合には、上段側アクティブショート制御の実行中に上段側のフリーホイールダイオードが導通する相が２相存在することになる。従って、パーシャルシャットダウン制御を行う際にオフ状態に制御可能なスイッチング素子（３）が１つ又は２つとなるので、制御の選択肢が増大する。パーシャルシャットダウン制御への移行に際して、２つのスイッチング素子（３）をオン状態からオフ状態へと遷移させることができると、大電流が流れることによるスイッチング素子（３）の消耗を抑制し、寿

命に与える影響を低減することもできる。

[0076] パーシャルシャットダウン制御では、対象アームの電流がゼロとなる際に、少なくとも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）がオフ状態に制御される。しかし、インバータ（１０）が、フリーホイールダイオード（５）を備えており、あるアームにおいて電流がフリーホイールダイオード（５）を流れている状態では、当該フリーホイールダイオード（５）に並列に接続されたスイッチング素子（３）がオフ状態であっても、そのアームには電流が流れる。従って、パーシャルシャットダウン制御では、フリーホイールダイオード（５）を介して電流が流れ続けるのであれば、対象アーム以外のアームであっても、対象アームと共にスイッチング素子（３）がオフ状態となっても問題はない。アクティブショート制御では大電流が還流するので、電流が流れているスイッチング素子（３）を早期にオフ状態とすることによって、スイッチング素子（３）の寿命の低下を抑制することができる。即ち、前記インバータ（１０）が、下段側から上段側へ向かう方向を順方向として各スイッチング素子（３）に並列に接続されたフリーホイールダイオード（５）を備えている場合、前記インバータ制御装置（２０）は、前記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）と、前記対象アームとは別の２相の前記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）の内、前記順方向に導通状態の前記フリーホイールダイオード（５）並列接続されているスイッチング素子（３）と、の２つのスイッチング素子（３）をオフ状態とするように制御して、前記パーシャルシャットダウン制御を実行すると好適である。

## 産業上の利用可能性

[0077] 本発明は、インバータを介して交流の回転電機を駆動制御するインバータ制御装置に利用することができる。

## 符号の説明

[0078] １ ：回転電機駆動装置

３ ：ＩＧＢＴ（スイッチング素子）

４　　：直流リンクコンデンサ

５　　：フリーホイールダイオード

９　　：コンタクタ

１０　　：インバータ

１１　　：高圧バッテリ（直流電源）

２０　　：インバータ制御装置

３１～３６：ＩＧＢＴ（スイッチング素子）

５１～５６：フリーホイールダイオード

８０　　：回転電機

Ｖｄｃ　　：直流リンク電圧

# 請求の範囲

[請求項1] 直流電源にコンタクタを介して接続されると共に交流の回転電機に接続されて直流と３相交流との間で電力変換を行うものであって交流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インバータと、前記インバータの直流側の電圧である直流リンク電圧を平滑化する直流リンクコンデンサと、を備える回転電機駆動装置を制御対象として、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、

前記回転電機の回転中に前記コンタクタが開放状態となった場合に、何れか１相の前記アームである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をオフ状態とするように制御するパーシャルシャットダウン制御を実行し、

その後、前記対象アームとは別の２相の前記アームの電流が共にゼロとなる際に残りの全ての前記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を実行するインバータ制御装置。

[請求項2] ３相の前記アームの電流位相に応じて、前記対象アームを選択して、前記パーシャルシャットダウン制御を実行する請求項１に記載のインバータ制御装置。

[請求項3] ３相の内の２相の電流波形が振幅中心よりも正側の場合には、当該２相の内、電流波形が振幅中心に向かう相の前記アームを前記対象アームとして選択し、

３相の内の２相の電流波形が振幅中心よりも負側の場合には、当該２相の内、電流波形が振幅中心に向かう相の前記アームを前記対象アームとして選択する請求項２に記載のインバータ制御装置。

[請求項4] ３相の内の２相の電流波形が振幅中心よりも正側の場合には、当該２相の内、前記対象アームとは異なる相の前記アームの前記上段側ス

イッチング素子をオフ状態とすると共に前記下段側スイッチング素子をオン状態とするように制御し、

３相の内の２相の電流波形が振幅中心よりも負側の場合には、当該２相の内、前記対象アームとは異なる相の前記アームの前記下段側スイッチング素子をオフ状態とすると共に前記上段側スイッチング素子をオン状態とするように制御して、前記パーシャルシャットダウン制御を実行する請求項３に記載のインバータ制御装置。

[請求項5] 前記回転電機の回転中に前記コンタクタが開放状態となった場合に、３相全ての前記アームの前記上段側スイッチング素子をオン状態とする上段側アクティブショート制御、及び、３相全ての前記アームの前記下段側スイッチング素子をオン状態とする下段側アクティブショート制御の何れかのアクティブショート制御を実行し、

前記アクティブショート制御の開始後に、前記パーシャルシャットダウン制御を実行する請求項１から４の何れか一項に記載のインバータ制御装置。

[請求項6] 前記対象アームの電流がゼロとなる際に、少なくとも前記対象アームにおいてオン状態に制御されている前記スイッチング素子をオフ状態とするように制御して、前記パーシャルシャットダウン制御を実行する請求項１から５の何れか一項に記載のインバータ制御装置。

[請求項7] 前記インバータは、下段側から上段側へ向かう方向を順方向として各スイッチング素子に並列に接続されたフリーホイールダイオードを備えるものであり、

前記順方向に導通状態の前記フリーホイールダイオードに流れる電流がゼロとなる際に、当該フリーホイールダイオードに並列に接続された前記スイッチング素子をオフ状態となるように制御して、前記パーシャルシャットダウン制御を実行する請求項６に記載のインバータ制御装置。

[請求項8] ３相の前記アームの電流位相に応じて、前記上段側アクティブショ

ート制御、及び、前記下段側アクティブショート制御の何れかを選択して、前記アクティブショート制御を実行する請求項５から７の何れか一項に記載のインバータ制御装置。

[請求項9] 前記アクティブショート制御の実行を開始する際に、３相の内の２相の電流波形が振幅中心よりも正側の場合には、前記下段側アクティブショート制御を実行し、

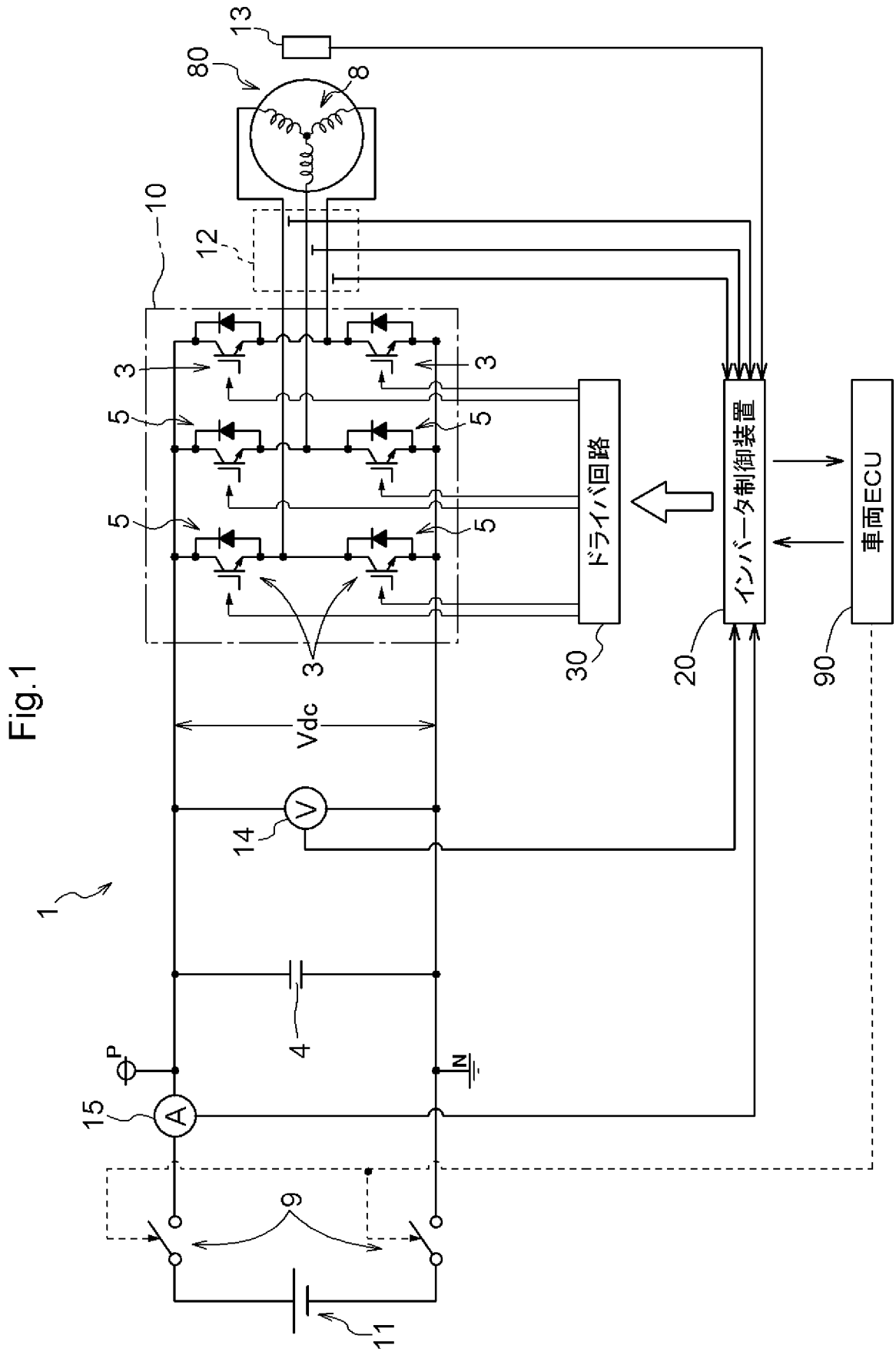
前記アクティブショート制御の実行を開始する際に、３相の内の２相の電流波形が振幅中心よりも負側の場合には、前記上段側アクティブショート制御を実行する、請求項８に記載のインバータ制御装置。

[請求項10] 前記インバータは、下段側から上段側へ向かう方向を順方向として各スイッチング素子に並列に接続されたフリーホイールダイオードを備えるものであり、

前記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と、前記対象アームとは別の２相の前記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の内、前記順方向に導通状態の前記フリーホイールダイオードに並列接続されているスイッチング素子と、の２つのスイッチング素子をオフ状態とするように制御して、前記パーシャルシャットダウン制御を実行する請求項５から９の何れか一項に記載のインバータ制御装置。

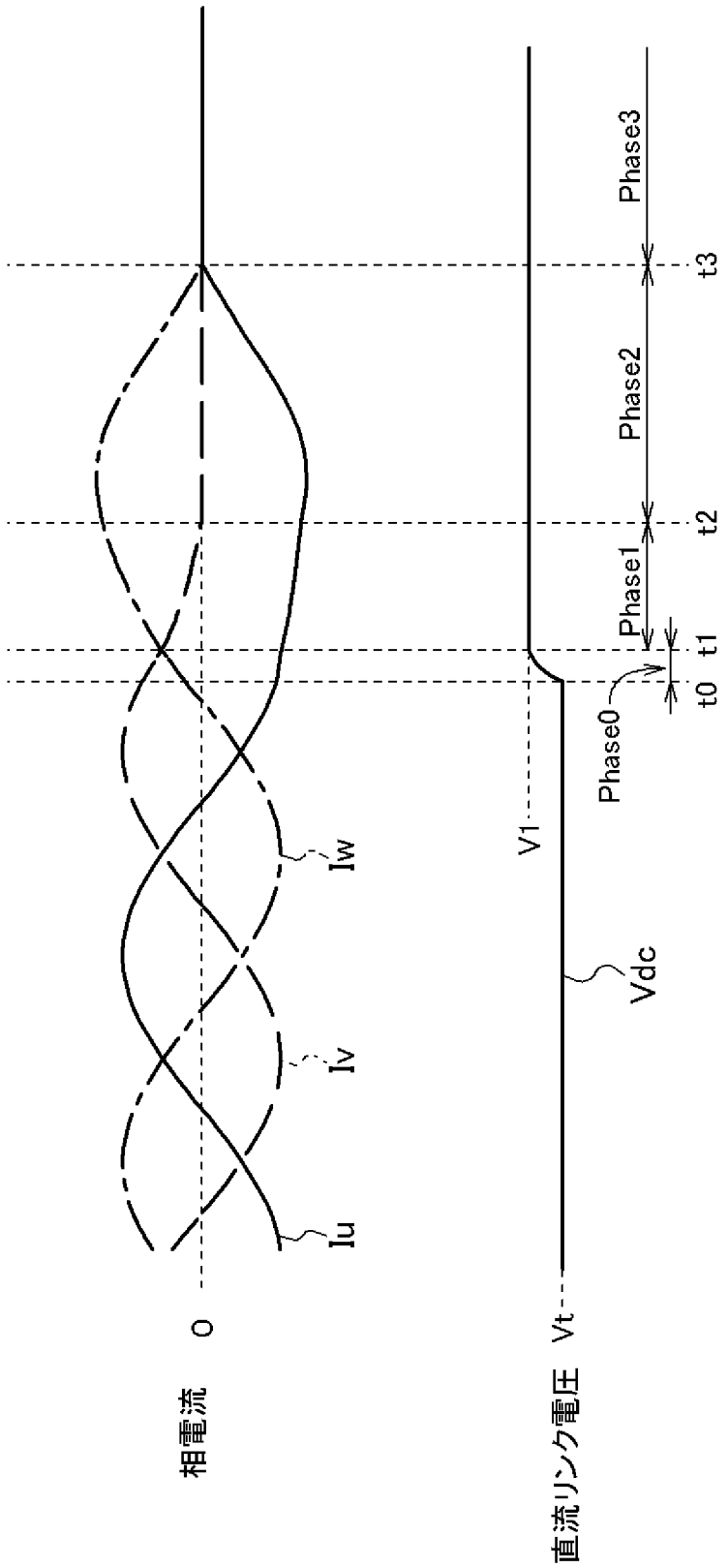
[図1]

Fig.1


13
80
8
10
12
3
5
3
5
5
5
3
ドライバ回路
30
インバータ制御装置
20
車両ECU
90
Vdc
14
V
1
4
P
N
15
A
9
11

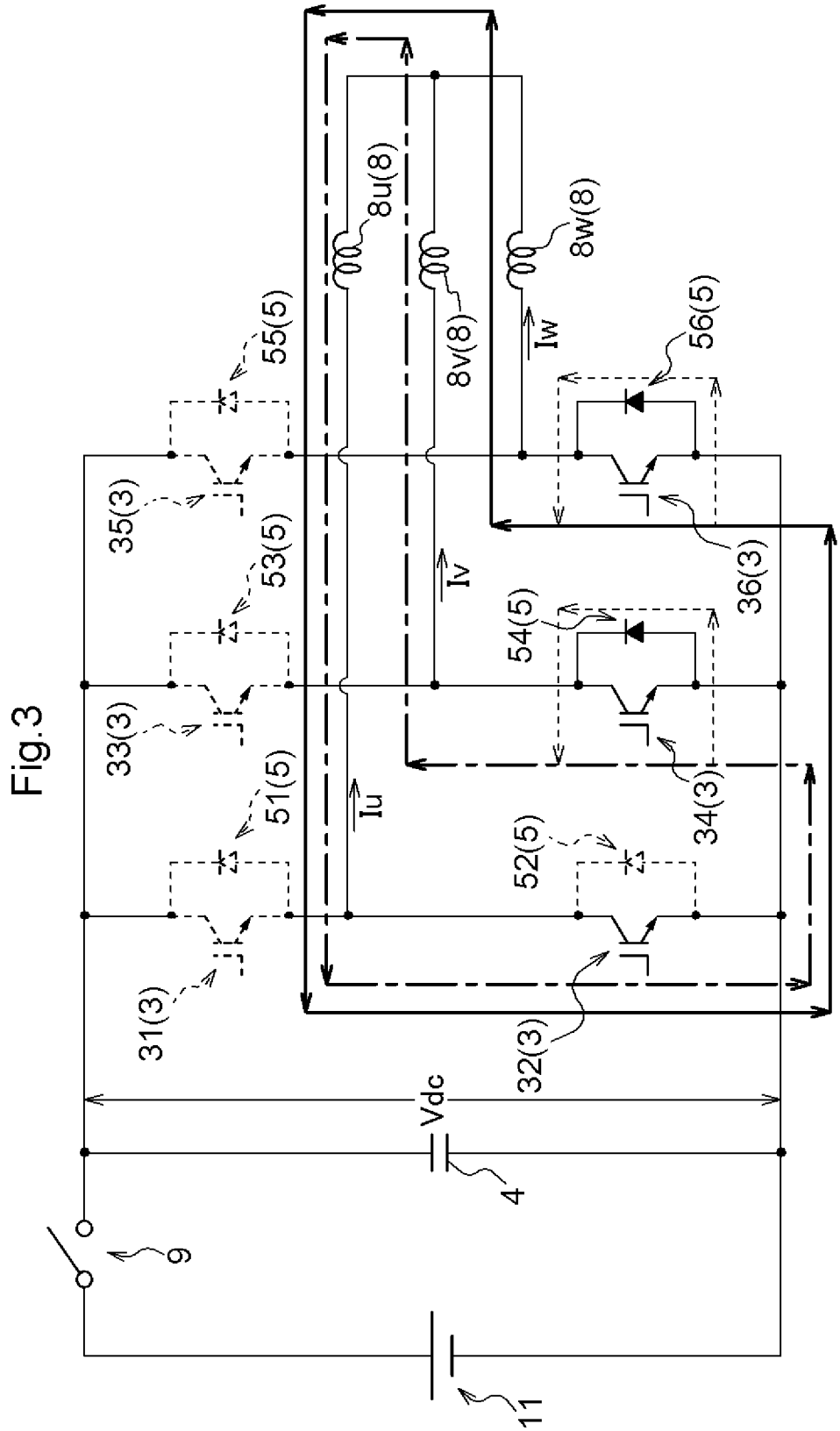
[図2]

Fig.2


相電流
0
Iu
Iv
Iw
直流リンク電圧
Vt
Vdc
V1
Phase0
Phase1
Phase2
Phase3
t0
t1
t2
t3

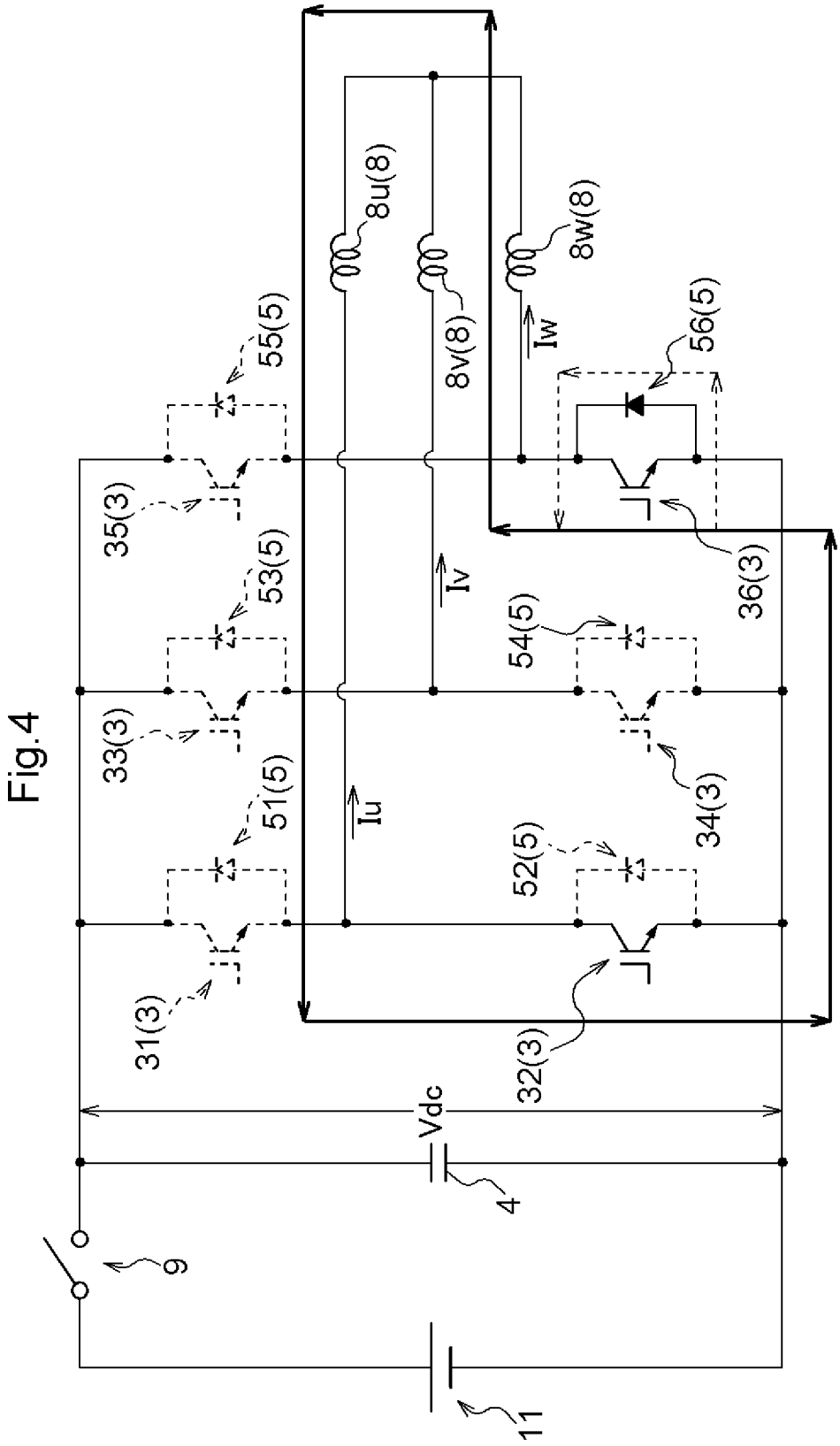
[図3]

Fig.3


8u(8)
8v(8)
8w(8)
Iw
Iv
Iu
55(5)
53(5)
51(5)
56(5)
54(5)
52(5)
35(3)
33(3)
31(3)
36(3)
34(3)
32(3)
Vdc
4
9
11

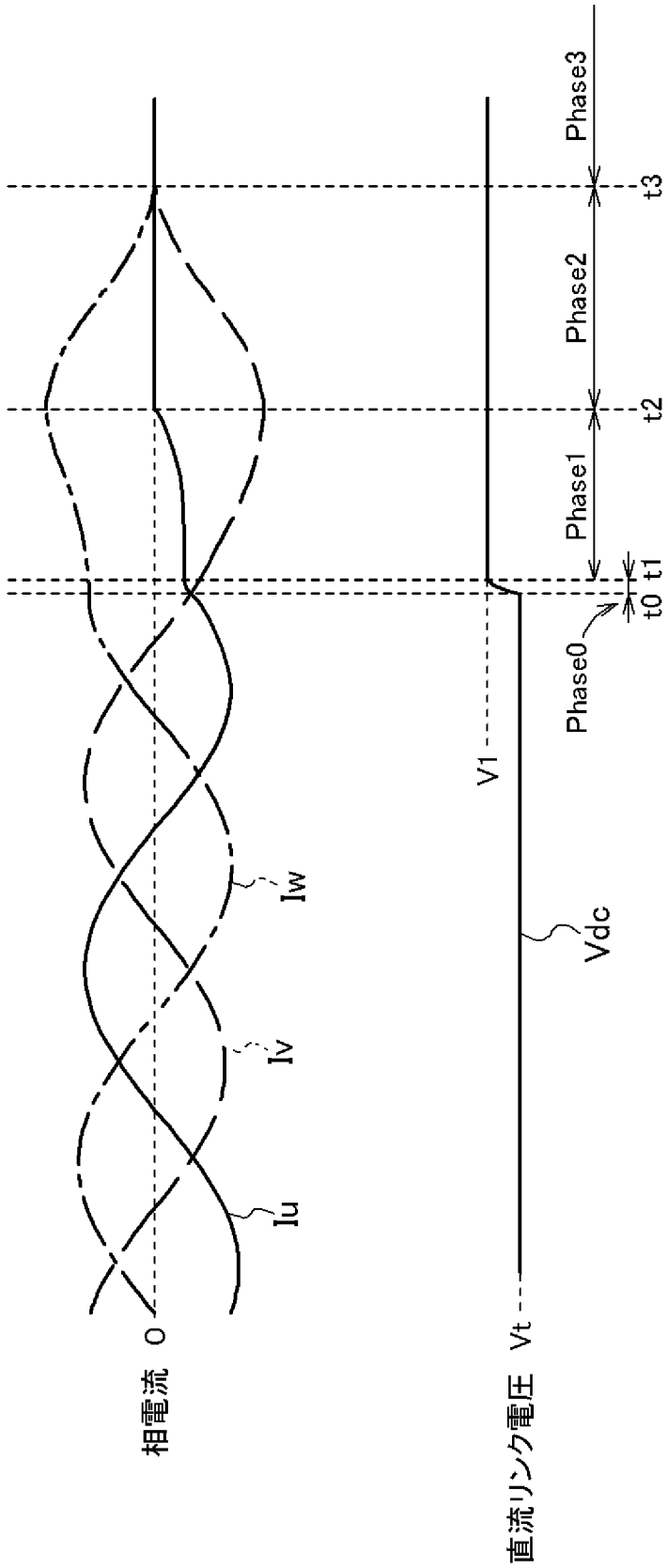
[図4]

Fig.4


8u(8)
8v(8)
8w(8)
Iw
Iv
Iu
55(5)
53(5)
51(5)
56(5)
54(5)
52(5)
35(3)
33(3)
31(3)
36(3)
34(3)
32(3)
Vdc
4
9
11

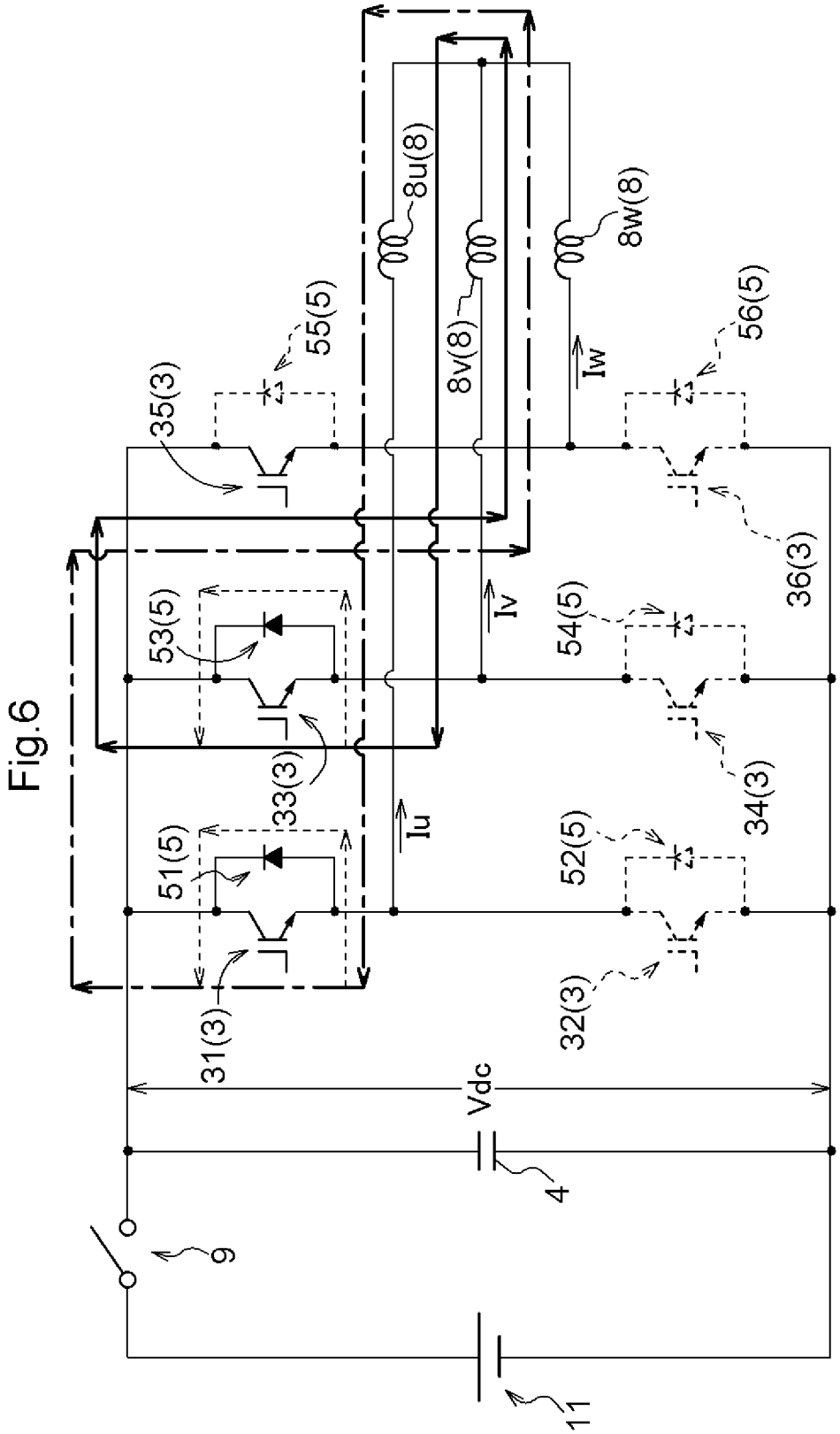
[図5]

Fig.5


相電流
0
Iu
Iv
Iw
直流リンク電圧
Vt
Vdc
V1
Phase0
Phase1
Phase2
Phase3
t0 t1
t2
t3

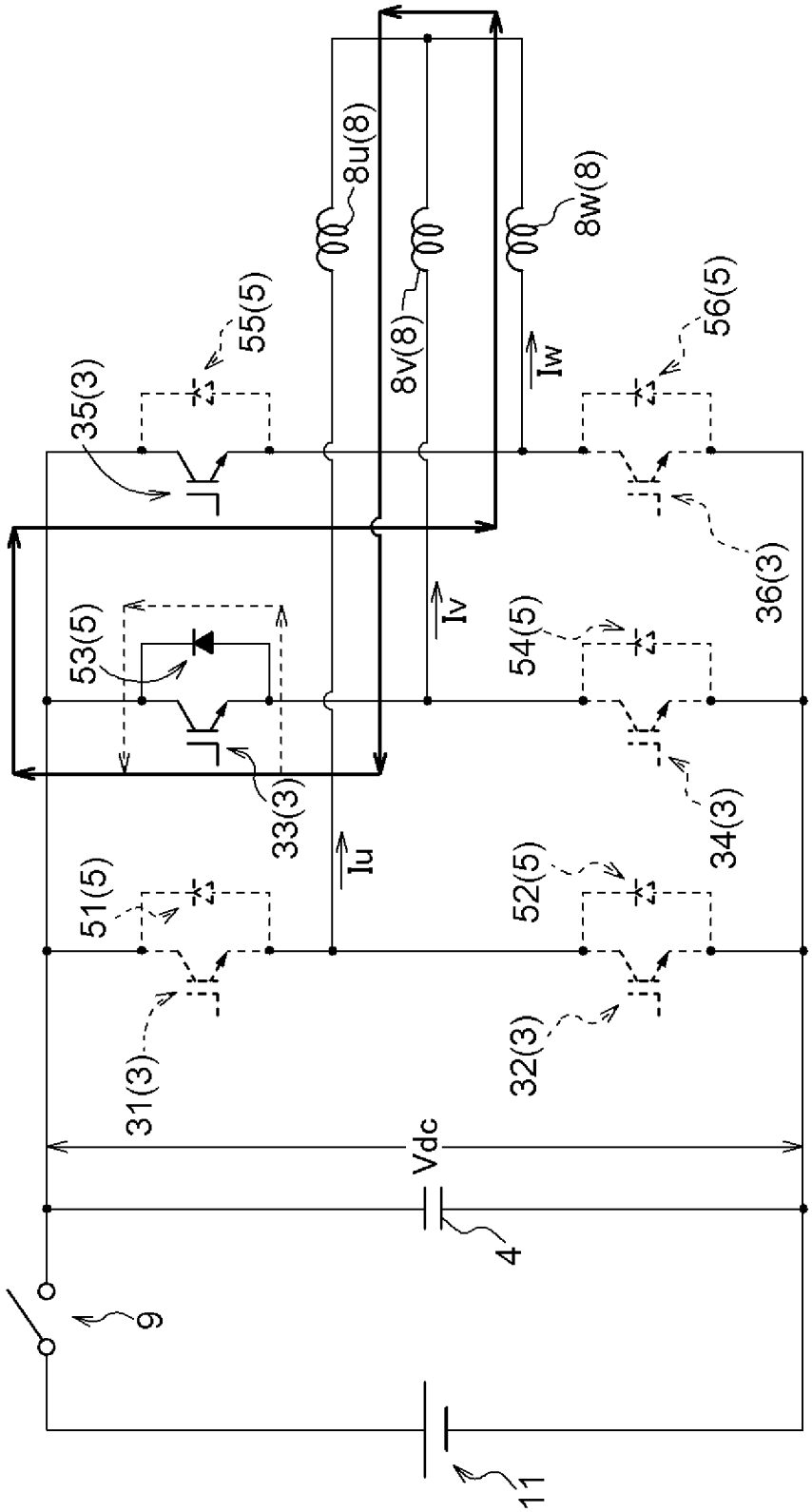
[図6]

Fig.6


8u(8)
8v(8)
8w(8)
55(5)
56(5)
35(3)
36(3)
Iw
Iv
Iu
53(5)
54(5)
33(3)
34(3)
51(5)
52(5)
31(3)
32(3)
Vdc
4
9
11

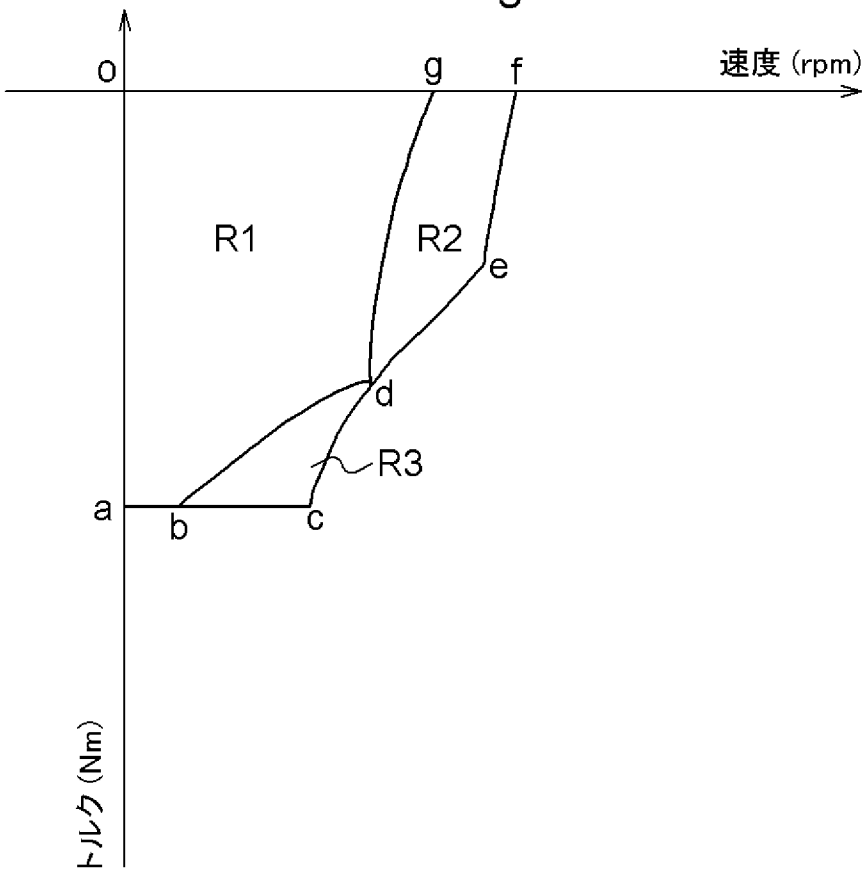
[図7]

Fig.7


8u(8)
8v(8)
8w(8)
55(5)
56(5)
35(3)
36(3)
53(5)
54(5)
33(3)
34(3)
51(5)
52(5)
31(3)
32(3)
Iu
Iv
Iw
Vdc
4
9
11

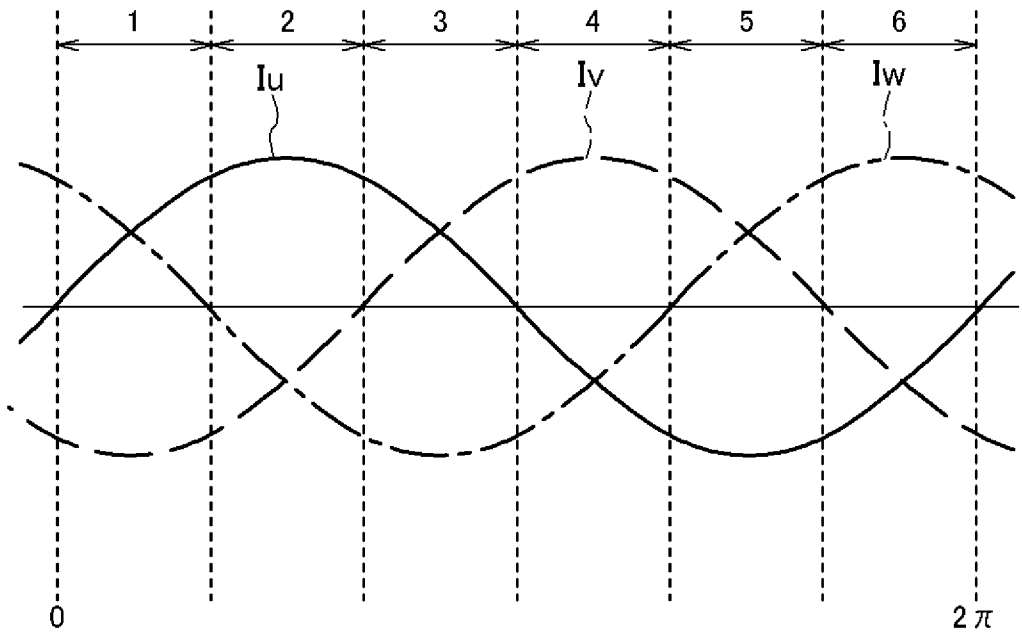
[図8]

Fig.8




[図9]

Fig.9



# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/JP2015/059406

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
*H02M7/48*(2007.01)i, *H02M7/797*(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)
H02M7/48, H02M7/797

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 | 1996-2015 |
| Kokai Jitsuyo Shinan Koho | 1971-2015 | Toroku Jitsuyo Shinan Koho | 1994-2015 |

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 | JP 2011-55582 A (Denso Corp.), 17 March 2011 (17.03.2011), paragraphs [0146] to [0165]; fig. 12 to 13 & US 2011/0050136 A1 & DE 102010035459 A1 | 1-10 |
| A | JP 2010-220287 A (Aisin Seiki Co., Ltd.), 30 September 2010 (30.09.2010), paragraphs [0010] to [0024]; fig. 1 to 4 (Family: none) | 1-10 |
| A | JP 2008-11670 A (Toyota Motor Corp.), 17 January 2008 (17.01.2008), paragraphs [0016] to [0026]; fig. 1 to 4 (Family: none) | 1-10 |

☐ 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 | Date of mailing of the international search report |
|---|---|
| 09 June 2015 (09.06.15) | 16 June 2015 (16.06.15) |

| Name and mailing address of the ISA/ | Authorized officer |
|---|---|
| Japan Patent Office<br>3-4-3,Kasumigaseki,Chiyoda-ku,<br>Tokyo 100-8915,Japan | Telephone No. |

国際調査報告

国際出願番号　ＰＣＴ／ＪＰ２０１５／０５９４０６

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, H02M7/797(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.　H02M7/48, H02M7/797

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 | １９７１－２０１５年 |
| 日本国実用新案登録公報 | １９９６－２０１５年 |
| 日本国登録実用新案公報 | １９９４－２０１５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 | JP 2011-55582 A (株式会社デンソー) 2011.03.17, 段落［0146］－［0165］, 図１２－１３ & US 2011/0050136 A1 & DE 102010035459 A1 | 1-10 |
| A | JP 2010-220287 A (アイシン精機株式会社) 2010.09.30, 段落［0010］－［0024］, 図１－４（ファミリーなし） | 1-10 |
| A | JP 2008-11670 A (トヨタ自動車株式会社) 2008.01.17, 段落［0016］－［0026］, 図１－４（ファミリーなし） | 1-10 |

☐　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 | 国際調査報告の発送日 |
|---|---|
| ０９．０６．２０１５ | １６．０６．２０１５ |

国際調査機関の名称及びあて先
日本国特許庁（ＩＳＡ／ＪＰ）
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）　３Ｖ　９１５０
安池　一貴
電話番号　０３－３５８１－１１０１　内線　３３５７