

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第6870577号
(P6870577)

(45) 発行日 令和3年5月12日(2021.5.12)

(24) 登録日 令和3年4月19日(2021.4.19)

(51) Int.Cl.

F I

H O 2 P	9/04	(2006.01)	H O 2 P	9/04	L
H O 2 P	101/25	(2015.01)	H O 2 P	101:25	
H O 2 P	101/45	(2015.01)	H O 2 P	101:45	
H O 2 P	103/20	(2015.01)	H O 2 P	103:20	

請求項の数 8 (全 16 頁)

(21) 出願番号 特願2017-210294 (P2017-210294)
 (22) 出願日 平成29年10月31日(2017.10.31)
 (65) 公開番号 特開2019-83643 (P2019-83643A)
 (43) 公開日 令和1年5月30日(2019.5.30)
 審査請求日 令和2年4月24日(2020.4.24)

(73) 特許権者 000004260
 株式会社デンソー
 愛知県刈谷市昭和町1丁目1番地
 (74) 代理人 100121821
 弁理士 山田 強
 (74) 代理人 100139480
 弁理士 日野 京子
 (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 小島 一祥
 愛知県刈谷市昭和町1丁目1番地 株式会
 社デンソー内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 回転電機の制御装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

ステータ巻線(34U~34W)を有する回転電機(30)と、
 スイッチ(SUp~SWn)を有し、前記スイッチを駆動することにより直流電源(20)と前記ステータ巻線との間の電力伝達を行うインバータ(40)と、
 を備える制御システムに適用される回転電機の制御装置(60)において、
 前記制御システムは、エンジン(10)を備える車両に搭載され、
 前記車両は、アイドリング運転中における前記エンジンの出力軸(10a)の回転速度を第1指令回転速度(Negt1)に制御すべく前記エンジンの燃焼制御を行う通常時制御と、アイドリング運転中における前記出力軸の回転速度を、前記第1指令回転速度よりも高い第2指令回転速度(Negt2)に制御すべく前記エンジンの燃焼制御を行うアイドルアップ制御とを行うエンジン制御装置(11)を備え、

前記回転電機は、前記出力軸から動力の供給を受けて発電する機能を有し、

前記スイッチをスイッチング制御する第1制御部と、

前記第1制御部における前記スイッチのスイッチング周波数とは異なるスイッチング周波数で前記スイッチをスイッチング制御する第2制御部と、

前記回転電機の回転速度が高回転側閾値(Nth2)以上になったと判定した場合、前記第2制御部によるスイッチング制御から前記第1制御部によるスイッチング制御に切り替え、前記回転電機の回転速度が、前記高回転側閾値よりも小さい低回転側閾値(Nth1)以下になったと判定した場合、前記第1制御部によるスイッチング制御から前記第2

10

20

制御部によるスイッチング制御に切り替える切替部と、を備え、

前記切替部は、前記エンジン制御装置により前記アイドルアップ制御が行われていると判定した場合、前記第 1 制御部にスイッチング制御を実施させる回転電機の制御装置。

【請求項 2】

前記切替部は、前記アイドルアップ制御の実行指令が外部の前記エンジン制御装置から入力されたと判定した場合、前記第 1 制御部にスイッチング制御を実施させる請求項 1 に記載の回転電機の制御装置。

【請求項 3】

前記第 2 制御部における前記スイッチのスイッチング周波数が前記第 1 制御部における前記スイッチのスイッチング周波数よりも高い請求項 1 又は 2 に記載の回転電機の制御装置。

10

【請求項 4】

前記切替部は、前記回転電機の回転速度の変動量が所定量以上であると判定した場合、前記高回転側閾値を第 1 閾値 (N) に設定し、前記回転電機の回転速度の変動量が前記所定量よりも小さいと判定した場合、前記高回転側閾値を、前記低回転側閾値よりも大きい値であってかつ前記第 1 閾値よりも小さい第 2 閾値 (N) に設定する請求項 1 ~ 3 のいずれか 1 項に記載の回転電機の制御装置。

【請求項 5】

ステータ巻線 (34U ~ 34W) を有する回転電機 (30) と、
スイッチ (SUp ~ SWn) を有し、前記スイッチを駆動することにより直流電源 (20) と前記ステータ巻線との間の電力伝達を行うインバータ (40) と、
を備える制御システムに適用される回転電機の制御装置 (60) において、

20

前記スイッチをスイッチング制御する第 1 制御部と、

前記第 1 制御部における前記スイッチのスイッチング周波数とは異なるスイッチング周波数で前記スイッチをスイッチング制御する第 2 制御部と、

前記回転電機の回転速度が高回転側閾値 (Nth2) 以上になったと判定した場合、前記第 2 制御部によるスイッチング制御から前記第 1 制御部によるスイッチング制御に切り替え、前記回転電機の回転速度が、前記高回転側閾値よりも小さい低回転側閾値 (Nth1) 以下になったと判定した場合、前記第 1 制御部によるスイッチング制御から前記第 2 制御部によるスイッチング制御に切り替える切替部と、を備え、

30

前記切替部は、前記回転電機の回転速度の変動量が所定量以上であると判定した場合、前記高回転側閾値を第 1 閾値 (N) に設定し、前記回転電機の回転速度の変動量が前記所定量よりも小さいと判定した場合、前記高回転側閾値を、前記低回転側閾値よりも大きい値であってかつ前記第 1 閾値よりも小さい第 2 閾値 (N) に設定する回転電機の制御装置。

【請求項 6】

前記回転電機は、界磁巻線 (32) を有し、

前記制御システムは、前記界磁巻線に流れる界磁電流を制御する界磁通電回路 (41) を備え、

前記第 1 制御部及び第 2 制御部は、前記スイッチをスイッチング制御しつつ、前記回転電機の制御量をその指令値に制御するための界磁指令電流が前記界磁巻線に流れるように前記界磁通電回路を制御する請求項 1 ~ 5 のいずれか 1 項に記載の回転電機の制御装置。

40

【請求項 7】

前記第 1 制御部は、前記スイッチをスイッチング制御しつつ、前記界磁指令電流が前記界磁巻線に流れるように前記界磁通電回路を制御し、

前記第 2 制御部は、前記制御量を前記指令値に制御するための指令電流が前記ステータ巻線に流れるように前記スイッチをスイッチング制御しつつ、前記界磁指令電流が前記界磁巻線に流れるように前記界磁通電回路を制御する請求項 6 に記載の回転電機の制御装置。

【請求項 8】

50

前記インバータは、前記スイッチとして上アームスイッチ（ $SUp \sim SWp$ ）及び下アームスイッチ（ $SUn \sim SWn$ ）の直列接続体を有し、

前記第1制御部は、前記回転電機の1電気角周期のうち、前記ステータ巻線の発電電圧が前記直流電源の電圧を超える期間の少なくとも一部において前記上アームスイッチを1回オン駆動し、

前記第2制御部は、PWM制御に基づいて前記上アームスイッチ及び前記下アームスイッチを交互にオン駆動する請求項1～7のいずれか1項に記載の回転電機の制御装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

10

本発明は、回転電機の制御装置に関する。

【背景技術】

【0002】

従来、特許文献1に見られるように、回転電機のステータ巻線に流す電流を制御し、回転電機の界磁巻線に流す界磁電流を制御する制御装置が知られている。制御装置は、回転電機の回転速度が所定値以下の場合、界磁電流を制御するとともに、PWM制御された電流をステータ巻線に流して回転電機に発電させるPWM制御モードを実施する。制御装置は、回転電機の回転速度が所定値を超える場合、界磁電流の制御により回転電機に発電させる界磁制御モードを実施する。

【先行技術文献】

20

【特許文献】

【0003】

【特許文献1】国際公開第2016/006386号

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

PWM制御モードでは、直流電源とステータ巻線との間の電力伝達を行うインバータのスイッチが駆動されることにより、ステータ巻線に流れる電流が制御される。界磁制御モードが実施される場合におけるスイッチのスイッチング周波数は、PWM制御モードが実施される場合におけるスイッチのスイッチング周波数よりも低い。このため、界磁制御モードが実施される場合に発生する主な動作音の周波数は、PWM制御モードが実施される場合に発生する主な動作音の周波数よりも低い。

30

【0005】

ここで、回転電機の回転速度が所定値近傍で変動すると、PWM制御モード及び界磁制御モードのうち、一方の制御モードから他方の制御モードへと頻繁に切り替えられる事態が発生し得る。制御モードが頻繁に切り替えられると、主な動作音の周波数が頻繁に切り替わり、NVH特性が悪化する懸念がある。

【0006】

なお、PWM制御モード及び界磁制御モードのうち、一方の制御モードから他方の制御モードへの切り替えを実施する制御装置に限らず、スイッチング周波数が異なる2つの制御モードの切り替えを実施する制御装置であれば、上述した問題は同様に生じ得る。

40

【0007】

本発明は、回転電機の駆動制御におけるNVH特性を改善できる回転電機の制御装置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】

【0008】

本発明は、ステータ巻線を有する回転電機と、スイッチを有し、前記スイッチを駆動することにより直流電源と前記ステータ巻線との間の電力伝達を行うインバータと、を備える制御システムに適用される回転電機の制御装置である。本発明は、前記スイッチをスイッチング制御する第1制御部と、前記第1制御部における前記スイッチのスイッチング周

50

波数とは異なるスイッチング周波数で前記スイッチをスイッチング制御する第２制御部と、前記回転電機の回転速度が高回転側閾値以上になったと判定した場合、前記第２制御部によるスイッチング制御から前記第１制御部によるスイッチング制御に切り替え、前記回転電機の回転速度が、前記高回転側閾値よりも小さい低回転側閾値以下になったと判定した場合、前記第１制御部によるスイッチング制御から前記第２制御部によるスイッチング制御に切り替える切替部と、を備える。

【０００９】

本発明では、第２制御部におけるインバータのスイッチのスイッチング周波数と、第１制御部におけるスイッチのスイッチング周波数とが異なっている。この構成を前提として、本発明では、回転電機の回転速度が高回転側閾値以上になったと判定された場合、第２制御部によるスイッチング制御から第１制御部によるスイッチング制御に切り替えられる。一方、回転電機の回転速度が、高回転側閾値よりも小さい低回転側閾値以下になったと判定された場合、第１制御部によるスイッチング制御から第２制御部によるスイッチング制御に切り替えられる。このため、回転電機の回転速度が変動する場合であっても、第１制御部によるスイッチング制御及び第２制御部によるスイッチング制御のうち、一方から他方への頻繁な切り替えを抑制することができる。これにより、回転電機の駆動制御におけるNVH特性を改善することができる。

【図面の簡単な説明】

【００１０】

【図１】一実施形態に係る車載制御システムの全体構成図。

【図２】PWM発電制御モードのブロック図。

【図３】PWM発電制御モード時におけるインバータのスイッチの駆動態様及び相電流の推移を示すタイムチャート。

【図４】同期整流制御モードのブロック図。

【図５】同期整流制御モード時におけるインバータのスイッチの駆動態様及び相電流の推移を示すタイムチャート。

【図６】制御モードの切替処理の手順を示すフローチャート。

【図７】PWM発電制御モードから同期整流制御モードへの切り替え態様を示すタイムチャート。

【図８】同期整流制御モードからPWM発電制御モードへの切り替え態様を示すタイムチャート。

【図９】比較例に係る制御モードの切り替え態様を示すタイムチャート。

【発明を実施するための形態】

【００１１】

以下、本発明に係る制御装置を車両に搭載した一実施形態について、図面を参照しつつ説明する。

【００１２】

図１に示すように、車両は、車載主機としてのエンジン１０を備えている。エンジン１０は、燃料噴射弁等を備え、燃料噴射弁から噴射されたガソリン又は軽油等の燃料の燃焼により動力を発生する。発生した動力は、エンジン１０の出力軸１０aから出力される。

【００１３】

車両は、直流電源としてのバッテリー２０と、回転電機装置２１とを備えている。バッテリー２０は、例えば、定格電圧が１２Vの鉛蓄電池である。回転電機装置２１は、コンデンサ２２、交流駆動される回転電機３０、インバータ４０、界磁通電回路４１、及び回転電機３０を制御する制御装置であるMGECU６０を備えている。本実施形態では、回転電機３０として、巻線界磁型の同期機が用いられている。また、本実施形態において、MGECU６０は、回転電機３０が電動機兼発電機であるISG(Integrated Starter Generator)として機能するように回転電機３０を制御する。回転電機装置２１は、回転電機、インバータ４０、界磁通電回路４１及びMGECU６０を備える機電一体型駆動装置である。

【 0 0 1 4 】

回転電機 3 0 は、ロータ 3 1 を備えている。ロータ 3 1 は、界磁巻線 3 2 を備えている。ロータ 3 1 の回転軸は、図示しないプーリ等を介してエンジン 1 0 の出力軸 1 0 a と動力伝達が可能とされている。回転電機 3 0 が発電機として駆動される場合、出力軸 1 0 a から供給される回転動力によってロータ 3 1 が回転し、回転電機 3 0 が発電する。回転電機 3 0 の発電電力により、バッテリー 2 0 が充電される。一方、回転電機 3 0 が電動機として駆動される場合、ロータ 3 1 の回転に伴って出力軸 1 0 a が回転し、出力軸 1 0 a に回転力が付与される。これにより、例えば車両の走行をアシストすることができる。なお、出力軸 1 0 a には、変速装置等を介して車両の駆動輪が接続されている。

【 0 0 1 5 】

回転電機 3 0 は、ステータ 3 3 を備えている。ステータ 3 3 は、ステータ巻線を備えている。ステータ巻線は、電気角で互いに 1 2 0 ° ずれた状態で配置された U , V , W 相巻線 3 4 U , 3 4 V , 3 4 W を含む。

【 0 0 1 6 】

インバータ 4 0 は、U , V , W 相上アームスイッチ S U p , S V p , S W p と、U , V , W 相下アームスイッチ S U n , S V n , S W n との直列接続体を備えている。U , V , W 相上アームスイッチ S U p , S V p , S W p と、U , V , W 相下アームスイッチ S U n , S V n , S W n との接続点には、U , V , W 相巻線 3 4 U , 3 4 V , 3 4 W の第 1 端が接続されている。U , V , W 相巻線 3 4 U , 3 4 V , 3 4 W の第 2 端は、中性点で接続されている。すなわち、本実施形態において、U , V , W 相巻線 3 4 U , 3 4 V , 3 4 W は、星形結線されている。

【 0 0 1 7 】

なお、本実施形態において、各スイッチ S U p ~ S W n は、N チャンネル MOS F E T である。N チャンネル MOS F E T がオン駆動される場合、高電位側端子であるドレイン及び低電位側端子であるソースの間の電流の流通が許可される。一方、N チャンネル MOS F E T がオフ駆動される場合、ドレイン及びソース間の電流の流通が阻止される。各スイッチ S U p , S V p , S W p , S U n , S V n , S W n には、各ボディダイオード D U p , D V p , D W p , D U n , D V n , D W n が逆並列に接続されている。

【 0 0 1 8 】

U , V , W 相上アームスイッチ S U p , S V p , S W p のドレインには、高電位側電気経路 L p を介してバッテリー 2 0 の正極端子が接続されている。U , V , W 相下アームスイッチ S U n , S V n , S W n のソースには、低電位側電気経路 L n を介してバッテリー 2 0 の負極端子が接続されている。各電気経路 L p , L n は、バスバー等の導電部材である。各上アームスイッチ S U p , S V p , S W p のドレインと高電位側電気経路 L p との接続点のうちバッテリー 2 0 の正極端子に最も近い接続点と、バッテリー 2 0 の正極端子とを接続する高電位側電気経路 L p には、コンデンサ 2 2 の高電位側端子が接続されている。各下アームスイッチ S U n , S V n , S W n のソースと低電位側電気経路 L n との接続点のうちバッテリー 2 0 の負極端子に最も近い接続点と、バッテリー 2 0 の負極端子とを接続する低電位側電気経路 L n には、コンデンサ 2 2 の低電位側端子が接続されている。

【 0 0 1 9 】

界磁通電回路 4 1 は、フルブリッジ回路であり、第 1 上アームスイッチ S H 1 及び第 1 下アームスイッチ S L 1 の直列接続体と、第 2 上アームスイッチ S H 2 及び第 2 下アームスイッチ S L 2 の直列接続体とを備えている。第 1 上アームスイッチ S H 1 と第 1 下アームスイッチ S L 1 との接続点には、図示しないブラシを介して界磁巻線 3 2 の第 1 端が接続されている。第 2 上アームスイッチ S H 2 と第 2 下アームスイッチ S L 2 との接続点には、図示しないブラシを介して界磁巻線 3 2 の第 2 端が接続されている。なお、本実施形態において、各アームスイッチ S H 1 , S L 1 , S H 2 , S L 2 は、N チャンネル MOS F E T である。各スイッチ S H 1 , S L 1 , S H 2 , S L 2 には、各ボディダイオード D H 1 , D L 1 , D H 2 , D L 2 が逆並列に接続されている。

【 0 0 2 0 】

第1, 第2上アームスイッチSH1, SH2のドレインには、高電位側電気経路Lpのうちコンデンサ22の高電位側端子との接続点よりもインバータ40側が接続されている。第1, 第2下アームスイッチSL1, SL2のソースには、低電位側電気経路Lnのうちコンデンサ22の低電位側端子との接続点よりもインバータ40側が接続されている。

【0021】

回転電機装置21は、電圧検出部50、相電流検出部51、界磁電流検出部52及び角度検出部53を備えている。電圧検出部50は、コンデンサ22の端子電圧を電源電圧VDCとして検出する。相電流検出部51は、U, V, W相巻線34U, 34V, 34Wに流れる相電流を検出する。界磁電流検出部52は、界磁巻線32に流れる界磁電流を検出する。角度検出部53は、ロータ31の回転角に応じた信号である角度信号を出力する。各検出部50~53の出力信号は、MGECU60に入力される。

10

【0022】

なお、MGECU60の各機能の一部又は全部は、例えば、1つ又は複数の集積回路等によりハードウェア的に構成されていてもよい。また、MGECU60の各機能は、例えば、非遷移的実体的記録媒体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によって構成されていてもよい。

【0023】

車両は、エンジン10の燃焼制御を行う制御装置であるエンジンECU11と、車両の制御を統括する上位の制御装置である上位ECU12とを備えている。MGECU60、エンジンECU11及び上位ECU12は、CAN等の通信線により情報のやり取りが可能とされている。

20

【0024】

エンジンECU11は、エンジン10のアイドルリング運転中の燃焼制御として、通常時制御と、アイドルアップ制御とを行う。通常時制御は、出力軸10aの回転速度であるエンジン回転速度Nerを第1指令回転速度Netgt1に制御するための燃焼制御である。アイドルアップ制御は、エンジン回転速度Nerを、第1指令回転速度Netgt1よりも高い第2指令回転速度Netgt2に制御するための燃焼制御である。各指令回転速度Netgt1, Netgt2は、エンジン10の冷却水の温度等に応じて可変設定される。エンジンECU11は、所定の条件が成立したと判定した場合、通常時制御からアイドルアップ制御に切り替える。所定の条件は、例えば、出力軸10aの動力により駆動される車載機器の消費動力が所定動力以上になったとの条件である。この場合の車載機器には、回転電機30も含まれる。

30

【0025】

MGECU60は、インバータ40及び界磁通電回路41を構成する各スイッチの駆動信号を生成する。

【0026】

まず、インバータ40について説明する。MGECU60は、角度検出部53の角度信号を取得し、取得した角度信号に基づいて、インバータ40を構成する各スイッチSup~SWnをオンオフする駆動信号を生成する。詳しくは、MGECU60は、回転電機30を電動機として駆動させる場合、バッテリー20から出力された直流電力を交流電力に変換してU, V, W相巻線34U, 34V, 34Wに供給すべく、各アームスイッチSup~SWnをオンオフする駆動信号を生成し、生成した駆動信号を各アームスイッチSup~SWnのゲートに供給する。一方、MGECU60は、回転電機30を発電機として駆動させる場合、U, V, W相巻線34U, 34V, 34Wから出力された交流電力を直流電力に変換してバッテリー20に供給すべく、各アームスイッチSup~SWnをオンオフする駆動信号を生成する。

40

【0027】

続いて、界磁通電回路41について説明する。MGECU60は、界磁巻線32を励磁すべく、界磁通電回路41を構成する各スイッチをオンオフする。詳しくは、MGECU60は、第1状態と第2状態とが交互に出現するように各スイッチをオンオフする。第1

50

状態は、第 1 上アームスイッチ S_{H1} と第 2 下アームスイッチ S_{L2} とがオンされて、かつ、第 2 上アームスイッチ S_{H2} と第 1 下アームスイッチ S_{L1} とがオフされている状態である。第 2 状態は、第 1 上アームスイッチ S_{H1} と第 2 下アームスイッチ S_{L2} とがオフされて、かつ、第 2 上アームスイッチ S_{H2} と第 1 下アームスイッチ S_{L1} とがオンされている状態である。

【0028】

MGE60 は、角度検出部 53 の角度信号に基づいて、回転電機 30 の電気角 e と、ロータ 31 の回転速度 N_m とを算出する。

【0029】

以下、本実施形態では、回転電機 30 を発電機として駆動させる場合について説明する。図 2 に、MGE60 が行う PWM 発電制御モードのブロック図を示す。なお、本実施形態において、MGE60 のうち、図 2 に示す処理を行う構成が第 2 制御部に相当する。

10

【0030】

電圧偏差算出部 61 は、指令発電電圧 V_D^* から、電圧検出部 50 により検出された電源電圧 V_{DC} を減算することにより、電圧偏差 V を算出する。指令発電電圧 V_D^* は、インバータ 40 からバッテリー 20 に出力する直流電圧の指令値である。指令発電電圧 V_D^* は、例えば、上位 ECU12 から MGE60 へと入力される。

【0031】

トルク算出部 62 は、電圧偏差 V を 0 にフィードバック制御するための操作量として、回転電機 30 の制御量の指令値を算出する。本実施形態において、制御量はトルクであり、その指令値は指令トルク T_{rq}^* である。また、本実施形態において、トルク算出部 62 で用いられるフィードバック制御は、比例積分制御である。なお、フィードバック制御としては、比例積分制御に限らず、例えば比例積分微分制御であってもよい。

20

【0032】

2 相変換部 70 は、相電流検出部 51 により検出された相電流及び電気角 e に基づいて、回転電機 30 の 3 相固定座標系における U , V , W 相電流 I_U , I_V , I_W を、2 相回転座標系である dq 座標系における d , q 軸電流 I_{dr} , I_{qr} に変換する。

【0033】

d 軸指令設定部 71 は、指令トルク T_{rq}^* に基づいて、回転電機 30 のトルクを指令トルク T_{rq}^* とするための d 軸指令電流 I_d^* を設定する。具体的には、 d 軸指令設定部 71 は、指令トルク T_{rq}^* と d 軸指令電流 I_d^* とが関係付けられたマップ情報に基づいて、 d 軸指令電流 I_d^* を設定する。

30

【0034】

q 軸指令設定部 72 は、指令トルク T_{rq}^* に基づいて、回転電機 30 のトルクを指令トルク T_{rq}^* とするための q 軸指令電流 I_q^* を設定する。具体的には、 q 軸指令設定部 72 は、指令トルク T_{rq}^* と q 軸指令電流 I_q^* とが関係付けられたマップ情報に基づいて、 q 軸指令電流 I_q^* を設定する。

【0035】

ステータ制御部 73 は、 d 軸電流 I_{dr} を d 軸指令電流 I_d^* にフィードバック制御するための操作量として、 d 軸指令電圧 V_d^* を算出する。具体的には、ステータ制御部 73 は、 d 軸指令電流 I_d^* から d 軸電流 I_{dr} を減算した値として d 軸電流偏差 I_d を算出し、算出した d 軸電流偏差 I_d を 0 にフィードバック制御するための操作量として、 d 軸指令電圧 V_d^* を算出する。

40

【0036】

ステータ制御部 73 は、 q 軸電流 I_{qr} を q 軸指令電流 I_q^* にフィードバック制御するための操作量として、 q 軸指令電圧 V_q^* を算出する。具体的には、ステータ制御部 73 は、 q 軸指令電流 I_q^* から q 軸電流 I_{qr} を減算した値として q 軸電流偏差 I_q を算出し、算出した q 軸電流偏差 I_q を 0 にフィードバック制御するための操作量として、 q 軸指令電圧 V_q^* を算出する。

50

【 0 0 3 7 】

なお、本実施形態において、ステータ制御部 7 3 で用いられるフィードバック制御は、比例積分制御である。なお、フィードバック制御としては、比例積分制御に限らず、例えば比例積分微分制御であってもよい。

【 0 0 3 8 】

d 軸指令電圧 V_d^* 及び q 軸指令電圧 V_q^* により、d q 座標系における電圧ベクトルの指令値である指令電圧ベクトルが定まる。ここで、ステータ巻線に印加される電圧ベクトルは、その d 軸成分が d 軸電圧 V_d となり、q 軸成分が q 軸電圧 V_q となるものである。電圧ベクトルの位相である電圧位相は、例えば、d 軸の正方向を基準とし、この基準から反時計回りの方向が正方向として定義されている。

10

【 0 0 3 9 】

3 相変換部 7 4 は、d , q 軸指令電圧 V_d^* , V_q^* 及び電気角 θ_e に基づいて、d , q 軸指令電圧 V_d^* , V_q^* を、3 相固定座標系における U , V , W 相指令電圧 V_u^* , V_v^* , V_w^* に変換する。本実施形態において、U , V , W 相指令電圧 V_u^* , V_v^* , V_w^* は、電気角で位相が 120° ずれた正弦波状の信号となる。

【 0 0 4 0 】

ステータ生成部 7 5 は、キャリア信号、各相指令電圧 V_u^* , V_v^* , V_w^* 及び電源電圧 V_{DC} に基づいて、PWM 制御により、インバータ 4 0 の各スイッチ $S_{Up} \sim S_{Wn}$ をオンオフするための各駆動信号を生成する。詳しくは、PWM 制御は、各相指令電圧 V_u^* , V_v^* , V_w^* を「 $V_{DC}/2$ 」で除算した値と、キャリア信号との大小比較に基づいて、各駆動信号を生成するものである。本実施形態において、キャリア信号は、三角波信号である。PWM 制御において、各相指令電圧 V_u^* , V_v^* , V_w^* の振幅を「 $V_{DC}/2$ 」で除算した値は、キャリア信号の振幅以下である。

20

【 0 0 4 1 】

界磁指令設定部 8 0 は、指令トルク T_{rq}^* に基づいて、界磁指令電流 I_f^* を設定する。具体的には、界磁指令設定部 8 0 は、指令トルク T_{rq}^* と界磁指令電流 I_f^* とが関係付けられたマップ情報に基づいて、界磁指令電流 I_f^* を設定する。

【 0 0 4 2 】

界磁電流制御部 8 1 は、界磁電流検出部 5 2 により検出された界磁電流 I_{fr} を界磁指令電流 I_f^* にフィードバック制御するための操作量として、界磁指令電圧 V_f^* を算出する。具体的には、界磁電流制御部 8 1 は、界磁指令電流 I_f^* から界磁電流 I_{fr} を減算した値として界磁電流偏差 I_f を算出し、算出した界磁電流偏差 I_f を 0 にフィードバック制御するための操作量として、界磁指令電圧 V_f^* を算出する。なお、本実施形態において、界磁電流制御部 8 1 で用いられるフィードバック制御は、比例積分制御である。なお、フィードバック制御としては、比例積分制御に限らず、例えば比例積分微分制御であってもよい。

30

【 0 0 4 3 】

界磁生成部 8 2 は、界磁指令電圧 V_f^* を電源電圧 V_{DC} で除算した値と、三角波信号であるキャリア信号との大小比較に基づいて、界磁巻線 3 2 の印加電圧を界磁指令電圧 V_f^* に制御するための界磁通電回路 4 1 の各スイッチ $S_{H1} \sim S_{L2}$ の各駆動信号を生成する。

40

【 0 0 4 4 】

図 3 に、PWM 発電制御モードが実行される場合における 1 相分のゲート信号及び相電流の推移を示す。図 3 (a) において、ゲート信号は、H によって上アームスイッチをオン駆動してかつ下アームスイッチをオフ駆動することを示し、L によって上アームスイッチをオフ駆動してかつ下アームスイッチをオン駆動することを示す。また、相電流は、インバータ 4 0 側からステータ巻線側へと流れる電流方向を正と定義する。

【 0 0 4 5 】

続いて、図 4 に、MGECU 6 0 が行う同期整流制御モードのブロック図を示す。なお、本実施形態において、MGECU 6 0 のうち、図 4 に示す処理を行う構成が第 1 制御部

50

に相当する。同期整流制御モードでは、回転電機 30 の発電時において、インバータ 40 のスイッチに逆並列接続されたボディダイオードに電流が流れようとする期間に、電流が流れようとするダイオードに逆並列接続されたスイッチがオンされる。ボディダイオードに電流が流れようとする期間は、ステータ巻線の発電電圧（逆起電圧）がバッテリー 20 の端子電圧を超える期間である。同期整流制御モードでは、1 電気角周期のうち、ステータ巻線の発電電圧がバッテリー 20 の端子電圧を超える期間の少なくとも一部において上アームスイッチが 1 回オン駆動される。これにより、ステータ巻線から出力される交流電流が直流電流に変換される。

【0046】

同期生成部 90 は、電気角 θ_e 、インバータ 40 の上、下アームスイッチのデッドタイム DT、及び電圧位相の指令値に基づいて、インバータ 40 の各スイッチ $S_{Up} \sim S_{Wn}$ をオンオフするための各駆動信号を生成する。同期生成部 90 により生成された駆動信号は、各相の 1 電気角周期において、上アームスイッチ及び下アームスイッチのそれぞれを 1 回ずつオン駆動させる信号となる。この駆動信号は、各相それぞれで位相が電気角で 120° ずれている。

【0047】

なお、図 4 において、電圧偏差算出部 61、トルク算出部 62、界磁指令設定部 80、界磁電流制御部 81 及び界磁生成部 82 は、図 2 に示した構成と同じである。このため、PWM 発電制御モード及び同期整流制御モードのうち、一方から他方へと切り替えられる場合においても、指令トルク T_{rq*} に基づく界磁電流の制御の連続性が維持される。

【0048】

図 5 に、同期整流制御モードが実行される場合における 1 相分のゲート信号及び相電流の推移を示す。なお、図 5 (a)、(b) は、先の図 3 (a)、(b) に対応している。

【0049】

続いて、アイドリング運転中における制御モードの切替処理について説明する。この処理は、算出したロータ 31 の回転速度 N_m が高回転側閾値 N_{th2} 以上になったと判定された場合、PWM 発電制御モードから同期整流制御モードに切り替え、回転速度 N_m が、高回転側閾値 N_{th2} よりも小さい低回転側閾値 N_{th1} 以下になったと判定された場合、同期整流制御モードから PWM 発電制御モードに切り替える処理である。ここで、本実施形態の高回転側閾値 N_{th2} 及び低回転側閾値 N_{th1} について説明する。

【0050】

第 1 指令回転速度 N_{tgt1} に対応するロータ 31 の回転速度を第 1 ロータ回転速度 N_{m1} とする。第 1 ロータ回転速度 N_{m1} は、プーリ比等により定まる出力軸 10a からロータ 31 までの変速比と、第 1 指令回転速度 N_{tgt1} とに基づいて定まる。例えば、第 1 指令回転速度 N_{tgt1} が 700 rpm であり、変速比が 3 である場合、第 1 ロータ回転速度 N_{m1} は 2100 rpm となる。

【0051】

第 2 指令回転速度 N_{tgt2} に対応するロータ 31 の回転速度を第 2 ロータ回転速度 N_{m2} ($> N_{m1}$) とする。第 2 ロータ回転速度 N_{m2} は、プーリ比等により定まる出力軸 10a からロータ 31 までの変速比と、第 2 指令回転速度 N_{tgt2} とに基づいて定まる。

【0052】

第 1、第 2 指令回転速度 N_{tgt1} 、 N_{tgt2} に対するエンジン回転速度 N_{er} の高回転側への最大想定変動量をエンジン変動量 N_e (> 0) とし、エンジン変動量 N_e に対応するロータ 31 の回転速度の高回転側への最大想定変動量をロータ変動量 N_m とする。ロータ変動量 N_m は、プーリ比等により定まる出力軸 10a からロータ 31 までの変速比と、エンジン変動量 N_e とに基づいて定まる。例えば、エンジン変動量 N_e が 80 rpm であり、変速比が 3 である場合、ロータ変動量 N_m は 240 rpm となる。

【0053】

10

20

30

40

50

高回転側閾値 N_{th2} は、第 1 ロータ回転速度 N_{m1} 及びロータ変動量 N_m の加算値よりも大きい値に設定され、例えば、この加算値よりも大きくてかつ第 2 ロータ回転速度 N_{m2} 以下の値に設定されている。本実施形態において、高回転側閾値 N_{th2} は、第 2 ロータ回転速度 N_{m2} に設定されている。

【0054】

低回転側閾値 N_{th1} は、高回転側閾値 N_{th2} よりも小さい値に設定され、例えば、高回転側閾値 N_{th2} よりも小さくて、かつ、第 1 ロータ回転速度 N_{m1} 以上の値に設定されている。本実施形態において、低回転側閾値 N_{th1} は、第 1 ロータ回転速度 N_{m1} に設定されている。

【0055】

図 6 に、アイドリング運転中における制御モードの切替処理の手順を示す。この処理は、MGE C U 6 0 により、例えば所定の制御周期毎に繰り返し実行される。

【0056】

ステップ S 1 0 では、エンジン E C U 1 1 によりアイドルアップ制御が実行されているか否かを判定する。アイドルアップ制御が実行されているか否かは、例えば、エンジン E C U 1 1 から上位 E C U 1 2 及び通信線を介して入力される外部信号に基づいて判定されればよい。ちなみに、上位 E C U 1 2 を介さずにエンジン E C U 1 1 から M G E C U 6 0 に入力された外部信号に基づいて、アイドルアップ制御が実行されているか否かが判定されてもよい。また、上位 E C U 1 2 やエンジン E C U 1 1 の外部装置からの外部信号によらず、例えば、ロータ 3 1 の回転速度 N_m に基づいて、アイドルアップ制御が実行されているか否かを M G E C U 6 0 自身で判定してもよい。この場合、M G E C U 6 0 は、例えば、ロータ 3 1 の回転速度 N_m に基づいて、回転速度 N_m が第 2 ロータ回転速度 N_{m2} に制御されていると判定した場合にアイドルアップ制御が実行されていると判定すればよい。

【0057】

ステップ S 1 0 においてアイドルアップ制御が実行されていないと判定した場合には、通常時制御が実行されていると判定し、ステップ S 1 1 に進む。ステップ S 1 1 では、算出したロータ 3 1 の回転速度 N_m の変動量が所定量よりも小さいか否かを判定する。ステップ S 1 1 の処理は、ロータ 3 1 と動力伝達可能な出力軸 1 0 a の回転速度の変動量が小さいか否かを判定し、制御モードの切り替えを判定するための高回転側閾値 N_{th2} を小さくできる状況であるか否かを判定する処理である。つまり、高回転側閾値 N_{th2} は、低回転側閾値 N_{th1} に対して、ロータ変動量 N_m を含むマージンを持たせて設定されている。このため、出力軸 1 0 a の回転速度の変動量が小さく、ロータ変動量 N_m が小さい状況であれば、高回転側閾値 N_{th2} を小さくできる。

【0058】

なお、例えば、エンジン 1 0 の暖機が完了したと判定した場合、回転速度 N_m の変動量が所定量よりも小さいと判定してもよい。ここでは、例えば、エンジン 1 0 の燃焼室での燃焼が開始されてからの経過時間が判定時間以上になったと判定した場合、又はエンジン 1 0 の温度又はその相関値（例えば、エンジン 1 0 のオイル又は冷却水の温度）を検出する検出部の検出値が所定温度以上になったと判定した場合に暖機が完了したと判定すればよい。

【0059】

また、例えば、出力軸 1 0 a から動力を供給されて駆動可能な回転電機 3 0 以外の車載機器の駆動が停止していると判定した場合、回転速度 N_m の変動量が所定量よりも小さいと判定してもよい。ここで、この車載機器としては、例えば空調用のコンプレッサが挙げられる。

【0060】

また、例えば、クランク角度センサ等の出力信号に基づいて速度算出部により算出されたエンジン回転速度 N_{er} から、回転速度 N_m の変動量が所定量よりも小さいと判定してもよい。

10

20

30

40

50

【0061】

ステップS11において回転速度Nmの変動量が所定量以上であると判定した場合には、ステップS12に進み、高回転側閾値Nth2を第1閾値Nに設定する。一方、ステップS11において回転速度Nmの変動量が所定量よりも小さいと判定した場合には、ステップS13に進み、高回転側閾値Nth2を、後述する低回転側閾値Nth1よりも大きい値であってかつ第1閾値Nよりも小さい第2閾値Nに設定する。ステップS15の処理によれば、同期整流制御モードが実行される機会を増やすことができ、インバータ40で発生するスイッチング損失を低減することができる。

【0062】

ステップS12、S13の処理の完了後、ステップS14に進み、算出したロータ31の回転速度Nmが高回転側閾値Nth2以上になっているか否かを判定する。ステップS14において回転速度Nmが高回転側閾値Nth2よりも低いと判定した場合には、ステップS15に進み、算出したロータ31の回転速度Nmが低回転側閾値Nth1以下になっているか否かを判定する。

【0063】

ステップS15において回転速度Nmが低回転側閾値Nth1以下になっていると判定した場合には、ステップS16に進み、判定フラグFを0にする。判定フラグFは、0によってPWM発電制御モードの実行を指示し、1によって同期整流制御モードの実行を指示する。なお、本実施形態において、判定フラグFの初期値は0とされている。

【0064】

ステップS14において回転速度Nmが高回転側閾値Nth2以上になっていると判定した場合には、ステップS17に進み、判定フラグFを1にする。ステップS15において回転速度Nmが低回転側閾値Nth1よりも高くなっていると判定した場合には、現在実行されている制御モードが引き続き実行される。

【0065】

ステップS16、S17の処理が完了した場合、又はステップS15において否定判定した場合には、ステップS18に進む。ステップS18では、判定フラグFが1であるか否かを判定する。ステップS18において判定フラグFが0であると判定した場合には、ステップS19に進み、先の図2に示したPWM発電制御モードの実行を指示する。一方、ステップS18において判定フラグFが1であると判定した場合には、ステップS20に進み、先の図4に示した同期整流制御モードの実行を指示する。なお、本実施形態において、ステップS14～S20の処理が、制御モードを切り替える切替部に相当する。

【0066】

ステップS10においてアイドルアップ制御がなされていると判定した場合には、ステップS17に進む。これにより、判定フラグFが1とされる。その結果、ロータ31の回転速度Nmにかかわらず、その後ステップS20において同期整流制御モードの実行が指示される。このため、PWM発電制御モードが実施される場合と比較して、インバータ40で発生するスイッチング損失を低減することができる。

【0067】

図7に、PWM発電制御モードから同期整流制御モードへの切り替え態様を示し、図8に、同期整流制御モードからPWM発電制御モードへの切り替え態様を示す。図7(a)、図8(a)は、MGECU60により算出されたロータ31の回転速度Nmの推移を示し、図7(b)、図8(b)は、制御方式の推移を示す。図7に示す例は、通常時制御が実行される場合に制御モードが切り替えられる例である。図8に示す例は、例えば、アイドルアップ制御から通常時制御に切り替えられた後、回転速度Nmが低回転側閾値Nth1以下になったと判定されて制御モードが切り替えられる例である。

【0068】

図9に、比較例における制御モードの切り替え態様を示す。ここで、比較例とは、ロータ31の回転速度Nmが速度閾値Nthcを超えていると判定された場合に同期整流制御モードが実行され、回転速度Nmが速度閾値Nthc以下になっていると判定された場合

10

20

30

40

50

にPWM発電制御モードが実行される構成である。図9(a), (b)は、先の図7(a), (b)に対応しており、図9(c)は、各制御モードが実行される場合に発生するインバータ40における主な動作音の周波数の推移を示す。図9(d)は、回転電機30のトルクの推移を示し、図9(e)は、発電に伴いインバータ40からバッテリー20へと流れる出力電流の推移を示す。

【0069】

算出されたロータ31の回転速度Nmが図9(a)に示すように速度閾値Nthc近傍で変動すると、図9(b)に示すように、PWM発電制御モード及び同期整流制御モードのうち、一方の制御モードから他方の制御モードへと頻繁に切り替えられる事態が発生する。なお、この頻繁な切り替えは、ロータ31の実際の回転速度が変動すること以外に、

10

【0070】

同期整流制御モードが実施される場合におけるインバータ40のスイッチのスイッチング周波数は、PWM発電制御モードが実施される場合におけるインバータ40のスイッチのスイッチング周波数よりも低い。このため、図9(c)に示すように、同期整流制御モードが実施される場合に発生する主な動作音の周波数は、PWM発電制御モードが実施される場合に発生する主な動作音の周波数よりも低くなる。制御モードが頻繁に切り替えられると、主な動作音の周波数が頻繁に切り替わり、回転電機装置21のNVH特性が悪化してしまう。

【0071】

20

また、制御モードが頻繁に切り替えられると、図9(d)に示すように、回転電機30のトルク変動が頻繁に発生したり、図9(e)に示すように、出力電流のアンダーシュートやオーバーシュートが発生したりする。オーバーシュートが発生すると、インバータ40からバッテリー20へと過電流が流れ、バッテリー20やインバータ40等の信頼性が低下し、ひいては回転電機装置21の信頼性が低下する懸念がある。

【0072】

これに対し、本実施形態では、PWM制御モード及び同期整流制御モードの切り替え用閾値Nth1, Nth2にヒステリシスが設定されている。このため、ロータ31の回転速度Nmが変動する場合であっても、制御モードの頻繁な切り替えを抑制することができる。これにより、回転電機装置21のNVH特性及び信頼性を改善することができる。

30

【0073】

<その他の実施形態>

なお、上記実施形態は、以下のように変更して実施してもよい。

【0074】

・図6のステップS13において、回転速度Nmの変動量が小さいほど、第2閾値Nが小さい値に設定されてもよい。

【0075】

・上記実施形態では、同期整流制御モードとPWM発電制御モードとが切り替えられる構成であったがこれに限らない。例えば、同期整流制御モードと、このモードよりもスイッチング周波数の高い過変調制御モードとが切り替えられる構成、又は過変調制御モードとPWM発電制御モードとが切り替えられる構成であってもよい。

40

【0076】

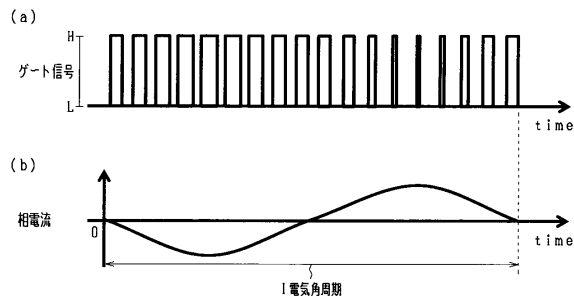
・回転電機が電動機として駆動される場合においても、本発明を適用することができる。この場合、例えば、第1制御部のスイッチング制御に相当する矩形波制御モードと、第2制御部のスイッチング制御に相当するPWM制御モードとが切り替えられる。矩形波制御モードは、インバータ40の各相の1電気角周期において、上アームスイッチ及び下アームスイッチがそれぞれ1回ずつオン駆動されるモードである。

【0077】

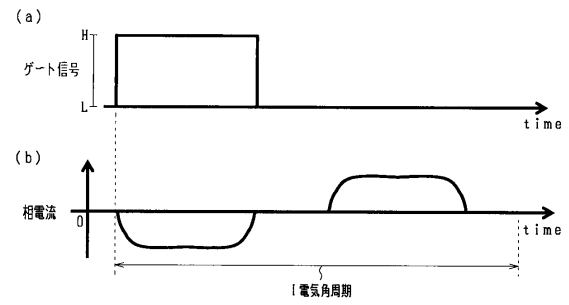
・ロータ31の回転速度Nmが高回転側閾値Nth2以上になったと判定された場合に実行されるスイッチング制御のスイッチング周波数が、回転速度Nmが低回転側閾値Nt

50

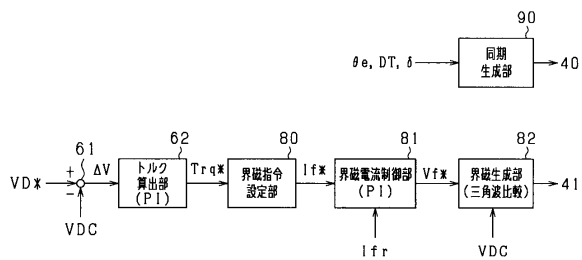
【図 3】



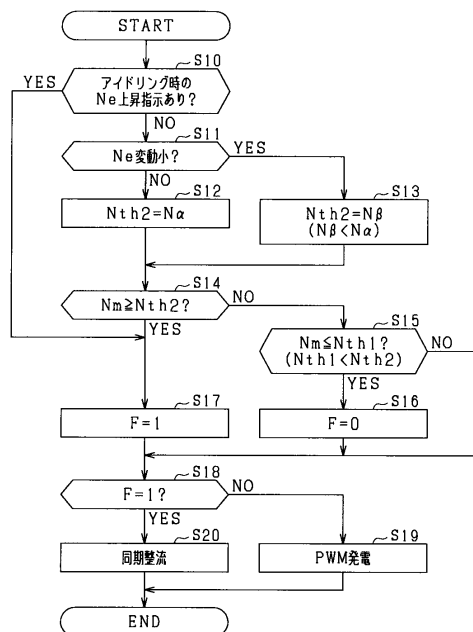
【図 5】



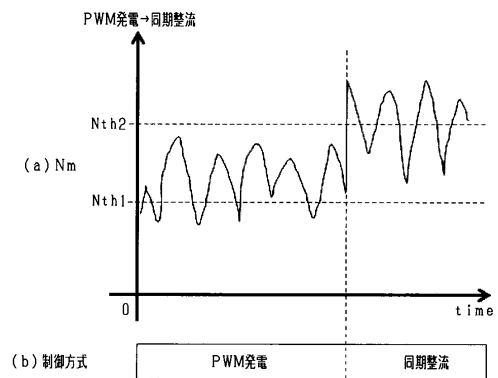
【図 4】



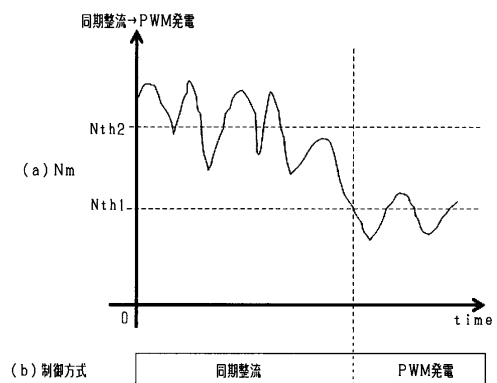
【図 6】



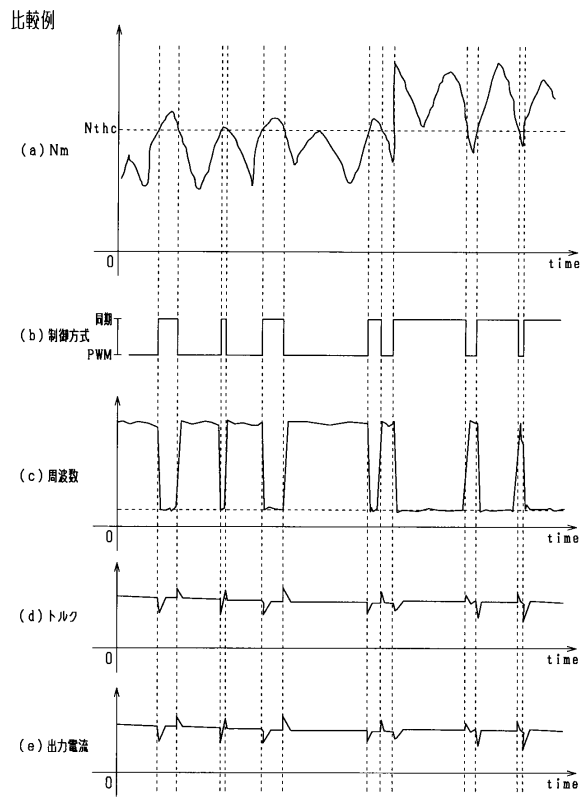
【図 7】



【図 8】



【図 9】



フロントページの続き

- (72)発明者 鈴木 拓人
愛知県刈谷市昭和町1丁目1番地 株式会社デンソー内
(72)発明者 川村 卓也
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 佐藤 彰洋

- (56)参考文献 特表2016-527436(JP,A)
国際公開第2016/006386(WO,A1)
特開2004-015847(JP,A)
特開2008-199844(JP,A)

- (58)調査した分野(Int.Cl., DB名)
H02P 9/00-9/48
H02P 101/25
H02P 101/45
H02P 103/20