

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第6439745号
(P6439745)

(45) 発行日 平成30年12月19日(2018.12.19)

(24) 登録日 平成30年11月30日(2018.11.30)

(51) Int.Cl. F I
 H O 2 P 27/08 (2006.01) H O 2 P 27/08 Z H V
 B 6 O L 9/18 (2006.01) B 6 O L 9/18 J

請求項の数 6 (全 19 頁)

| | | | |
|-----------|-------------------------------|-----------|------------------------------------|
| (21) 出願番号 | 特願2016-91160 (P2016-91160) | (73) 特許権者 | 000003207 トヨタ自動車株式会社 |
| (22) 出願日 | 平成28年4月28日 (2016.4.28) | | 愛知県豊田市トヨタ町1番地 |
| (65) 公開番号 | 特開2017-200379 (P2017-200379A) | (74) 代理人 | 110000017 特許業務法人アイテック国際特許事務所 |
| (43) 公開日 | 平成29年11月2日 (2017.11.2) | (72) 発明者 | 山本 敏洋 愛知県豊田市トヨタ町1番地 トヨタ自動車株式会社内 |
| 審査請求日 | 平成29年7月18日 (2017.7.18) | (72) 発明者 | 山田 堅滋 愛知県豊田市トヨタ町1番地 トヨタ自動車株式会社内 |
| | | 審査官 | ▲桑▼原 恭雄 |

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 自動車

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

走行用のモータと、

複数のスイッチング素子のスイッチングによって前記モータを駆動するインバータと、

前記インバータを介して前記モータと電力をやりとりするバッテリーと、

前記モータのトルク指令に基づいて前記インバータを制御する制御装置と、

を備える自動車であって、

前記制御装置は、

前記モータの回転数およびトルク指令からなる目標動作点が所定領域外のときには、前記トルク指令に基づく各相の電圧指令と、搬送波電圧と、の比較によって前記複数のスイッチング素子の第1 PWM信号を生成して前記複数のスイッチング素子のスイッチングを行なう第1 PWM制御を実行し、

前記目標動作点が前記所定領域内のときには、前記トルク指令に基づく電圧の変調率および電圧位相と、前記モータの電気角の所定周期のパルス数と、に基づいて前記複数のスイッチング素子の第2 PWM信号を生成して前記複数のスイッチング素子のスイッチングを行なう第2 PWM制御を実行し、

更に、前記制御装置は、前記目標動作点が前記所定領域内のときでも、前記モータと前記インバータと前記バッテリーとを有する駆動システムの状態が急変したとき、および/または、前記駆動システムの状態の急変が予測されるときには、前記第1 PWM制御を実行する、

自動車。

【請求項 2】

請求項 1 記載の自動車であって、

前記制御装置は、前記目標動作点が前記所定領域内のときでも、前記変調率が所定変調率未満のときには、前記第 1 PWM 制御を実行する、

自動車。

【請求項 3】

請求項 1 または 2 記載の自動車であって、

前記制御装置は、前記目標動作点が前記所定領域内のときには、前記目標動作点および前記変調率に基づいて前記パルス数を設定する、

自動車。

【請求項 4】

請求項 3 記載の自動車であって、

前記制御装置は、前記目標動作点が前記所定領域内のときには、前記目標動作点および前記変調率に基づいて、前記パルス数を設定すると共に前記モータの鉄損を低減するように前記第 2 PWM 信号を生成するタイプと高調波を低減するように前記第 2 PWM 信号を生成するタイプとを含む複数のタイプから 1 つを選択タイプとして設定し、前記変調率と前記電圧位相と前記パルス数と前記選択タイプとに基づいて前記第 2 PWM 信号を生成する、

自動車。

【請求項 5】

請求項 1 ないし 4 のうちの何れか 1 つの請求項に記載の自動車であって、

前記駆動システムの状態が急変したときは、前記トルク指令、前記回転数、前記インバータの電圧、前記バッテリーの電圧の少なくとも 1 つの単位時間当たりの変化量が閾値よりも大きくなったときである、

自動車。

【請求項 6】

請求項 1 ないし 5 のうちの何れか 1 つの請求項に記載の自動車であって、

前記駆動システムの状態の急変が予測されるときは、走行路が低 μ 路のときである、

自動車。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、自動車に関し、詳しくは、モータとインバータとバッテリーとを備える自動車に関する。

【背景技術】

【0002】

従来、この種の自動車としては、電動機と、複数のスイッチング素子のスイッチングによって電動機を駆動するインバータ回路を有する電力変換装置と、を備えるものにおいて、電動機の電気 1 周期のパルス数と、電動機のトルク指令に基づく電圧の変調率および電圧位相と、に基づいて複数のスイッチング素子のパルス信号を生成して複数のスイッチング素子のスイッチングを行なうものが提案されている（例えば、特許文献 1 参照）。この自動車では、パルス数と変調率と電圧位相とに基づいて電力変換装置および電動機の電力損失が最小となるようにパルス信号を生成することにより、電力変換装置および電動機を有する駆動システム全体の損失の低減を図っている。

【0003】

また、この種の自動車としては、モータと、複数のスイッチング素子のスイッチングによってモータを駆動するインバータと、を備えるものにおいて、モータのトルク指令に基づく各相の電圧指令と搬送波電圧との比較によって複数のスイッチング素子の PWM 信号

10

20

30

40

50

を生成して複数のスイッチング素子のスイッチングを行なうものも提案されている（例えば、特許文献2参照）。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0004】

【特許文献1】特開2013-162660号公報

【特許文献2】特開2014-75937号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

しかしながら、上述の前者の手法（第1手法）では、基本的に、後者の手法（第2手法）に比して、パルス信号（PWM信号）を生成する周期が長くなり、電動機（モータ）の応答性（目標動作点が変わったときの動作点の追従性）が低くなる。また、電動機の目標動作点によっては、第1手法と第2手法との何れを用いても損失がそれほど変わらないこともある。これらより、第1手法を用いることが必ずしも好適とは言えない。また、損失などを考慮すると、第2手法を用いることが必ずしも好適とも言えない。

【0006】

本発明の自動車は、電動機（モータ）をより好適に駆動することを主目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0007】

本発明の自動車は、上述の主目的を達成するために以下の手段を採った。

【0008】

本発明の自動車は、
走行用のモータと、
複数のスイッチング素子のスイッチングによって前記モータを駆動するインバータと、
前記インバータを介して前記モータと電力をやりとりするバッテリーと、
前記モータのトルク指令に基づいて前記インバータを制御する制御装置と、
を備える自動車であって、
前記制御装置は、

前記モータの回転数およびトルク指令からなる目標動作点が所定領域外のときには、
前記トルク指令に基づく各相の電圧指令と、搬送波電圧と、の比較によって前記複数のスイッチング素子の第1PWM信号を生成して前記複数のスイッチング素子のスイッチングを行なう第1PWM制御を実行し、

前記目標動作点が前記所定領域内のときには、前記トルク指令に基づく電圧の変調率および電圧位相と、前記モータの電気角の所定周期のパルス数と、に基づいて前記複数のスイッチング素子の第2PWM信号を生成して前記複数のスイッチング素子のスイッチングを行なう第2PWM制御を実行する、

ことを要旨とする。

【0009】

この本発明の自動車では、モータの回転数およびトルク指令からなる目標動作点が所定領域外のときには、トルク指令に基づく各相の電圧指令と、搬送波電圧と、の比較によって複数のスイッチング素子の第1PWM信号を生成して複数のスイッチング素子のスイッチングを行なう第1PWM制御を実行する。一方、目標動作点が所定領域内のときには、トルク指令に基づく電圧の変調率および電圧位相と、モータの電気角の所定周期のパルス数と、に基づいて複数のスイッチング素子の第2PWM信号を生成して複数のスイッチング素子のスイッチングを行なう第2PWM制御を実行する。第1PWM制御を実行する場合、第2PWM制御を実行する場合に比して、モータの応答性（目標動作点が変わったときの動作点の追従性）を高くすることができる。また、第2PWM制御を実行する場合、変調率と電圧位相とパルス数とに基づいて、モータの鉄損を低減する（例えば最小にする）ように第2PWM信号を生成したり電圧や電流の高調波（特に、モータの回転6次や回

10

20

30

40

50

転12次などの低次高調波)を低減する(例えば最小にする)ように第2PWM信号を生成したりすることにより、第1PWM制御を実行する場合に比して、モータの鉄損を低減したり高調波を低減したりすることができる。そして、所定領域を、第2PWM制御を実行することによる効果がある程度見込める領域として定めれば、目標駆動点に応じてモータをより好適に駆動することができる。

【0010】

ここで、前記制御装置は、前記第2PWM信号を生成する際には、前記変調率と前記パルス数と前記電圧位相とに基づいてスイッチング角を設定すると共に前記パルス数に基づいてスイッチングパターンを設定し、前記スイッチング角と前記スイッチングパターンとに基づいて前記第2PWM信号を生成する、ものとしてもよい。ここで、「スイッチング角」は、モータの各相の相電圧(複数のスイッチング素子のうち対応する相のスイッチング素子のオンオフ)を切り替える角度を意味する。「スイッチングパターン」は、複数のスイッチング素子のオンオフの組み合わせを意味する。この場合、前記変調率と前記パルス数とに基づいてスイッチング基準角を設定し、前記スイッチング基準角と前記電圧位相とに基づいて前記スイッチング角を設定する、ものとしてもよい。

10

【0011】

こうした本発明の自動車において、前記制御装置は、前記目標動作点が前記所定領域内のときでも、前記変調率が所定変調率未満のときには、前記第1PWM制御を実行する、ものとしてもよい。発明者は、目標動作点が所定領域内のときでも、変調率が比較的低いときには、第2PWM制御を実行することによる効果が比較的小さいことを見出した。したがって、第1PWM制御を実行して、モータの応答性を高くすることにより、モータをより好適に駆動することができる。

20

【0012】

また、本発明の自動車において、前記制御装置は、前記目標動作点が前記所定領域内のときには、前記目標動作点および前記変調率に基づいて前記パルス数を設定する、ものとしてもよい。こうすれば、パルス数をより適切なものとして第2PWM信号をより適切なものとすることができ、モータをより好適に駆動することができる。

【0013】

この場合、前記制御装置は、前記目標動作点が前記所定領域内のときには、前記目標動作点および前記変調率に基づいて、前記パルス数を設定すると共に前記モータの鉄損を低減するように前記第2PWM信号を生成するタイプと高調波を低減するように前記第2PWM信号を生成するタイプとを含む複数のタイプから1つを選択タイプとして設定し、前記変調率と前記電圧位相と前記パルス数と前記選択タイプとに基づいて前記第2PWM信号を生成する、ものとしてもよい。こうすれば、パルス数およびタイプをより適切なものとして第2PWM信号をより適切なものとすることができ、モータをより好適に駆動することができる。

30

【0014】

さらに、本発明の自動車において、前記制御装置は、前記目標動作点が前記所定領域内のときでも、前記モータと前記インバータと前記バッテリーとを有する駆動システムの状態が急変したとき、および/または、前記駆動システムの状態の急変が予測されるときには、前記第1PWM制御を実行する、ものとしてもよい。第2PWM制御を実行する場合、第1PWM制御を実行する場合に比してモータの応答性が低くなる。したがって、駆動システムの状態が急変したときや駆動システムの状態の急変が予測されるときには、目標動作点が所定領域内のときでも第1PWM制御を実行して、モータの応答性を高くすることにより、モータをより好適に駆動することができる。

40

【0015】

ここで、前記駆動システムの状態が急変したときは、前記トルク指令、前記回転数、前記インバータの電圧、前記バッテリーの電圧の少なくとも1つの単位時間当たりの変化量が閾値よりも大きくなったときである、ものとしてもよい。こうすれば、駆動システムの状態が急変したか否かをトルク指令や回転数、インバータの電圧、バッテリーの電圧に基づい

50

て判定することができる。

【0016】

また、前記駆動システムの状態の急変が予測される時は、走行路が低 μ 路のときである、ものとしてもよい。こうすれば、駆動システムの状態の急変が予測される時か否かを走行路に基づいて判定することができる。ここで、「低 μ 路」は、濡れた路面、雪道、凍結路などの駆動輪の空転によるスリップが生じやすい走行路を意味する。

【図面の簡単な説明】

【0017】

【図1】本発明の一実施例としての電気自動車20の構成の概略を示す構成図である。

【図2】実施例の電子制御ユニット50によって実行される実行用制御設定ルーチンの一例を示すフローチャートである。

【図3】実施例の電子制御ユニット50によって実行される実行用制御設定ルーチンの一例を示すフローチャートである。

【図4】実施例の電子制御ユニット50によって実行される実行用制御設定ルーチンの一例を示すフローチャートである。

【図5】モータ32の目標動作点と第1、第2PWM制御の領域との関係の一例を示す説明図である。

【図6】エリア1~5および変調率 R_m と実行用制御およびパルスパターン PP との関係の一例を示す説明図である。

【図7】パルスパターン PP および変調率 R_m とスイッチング番号1~Nのスイッチング基準角 s_{tmp} との関係の一例を示す説明図である。

【図8】パルスパターン PP とスイッチング番号1~Nのスイッチングパターン V との関係の一例を示す説明図である。

【図9】スイッチング番号 n_s が値5で作成数 N_s が値4のときの、スイッチング番号5~8とスイッチング角 $s[5] \sim s[8]$ とスイッチングパターン $V[5] \sim V[8]$ とトランジスタ $T_{11} \sim T_{13}$ の第2PWM信号との関係の一例を示す説明図である。

【図10】変形例のハイブリッド自動車120の構成の概略を示す構成図である。

【発明を実施するための形態】

【0018】

次に、本発明を実施するための形態を実施例を用いて説明する。

【実施例】

【0019】

図1は、本発明の一実施例としての電気自動車20の構成の概略を示す構成図である。実施例の電気自動車20は、図示するように、モータ32と、インバータ34と、バッテリー36と、昇圧コンバータ40と、電子制御ユニット50と、を備える。

【0020】

モータ32は、同期発電電動機として構成されており、永久磁石が埋め込まれた回転子と、三相コイルが巻回された固定子と、を備える。このモータ32の回転子は、駆動輪22a、22bにデファレンシャルギヤ24を介して連結された駆動軸26に接続されている。

【0021】

インバータ34は、モータ32に接続されると共に高電圧系電力ライン42を介して昇圧コンバータ40に接続されている。このインバータ34は、6つのトランジスタ $T_{11} \sim T_{16}$ と、6つのダイオード $D_{11} \sim D_{16}$ と、を有する。トランジスタ $T_{11} \sim T_{16}$ は、それぞれ、高電圧系電力ライン42の正極母線と負極母線とに対して、ソース側とシンク側になるように、2個ずつペアで配置されている。6つのダイオード $D_{11} \sim D_{16}$ は、それぞれ、トランジスタ $T_{11} \sim T_{16}$ に逆方向に並列接続されている。トランジスタ $T_{11} \sim T_{16}$ の対となるトランジスタ同士の接続点の各々には、モータ32の三相コイル(U相、V相、W相)の各々が接続されている。したがって、インバータ34に電圧が作用しているときに、電子制御ユニット50によって、対となるトランジスタ T_{11}

10

20

30

40

50

～ T 1 6 のオン時間の割合が調節されることにより、三相コイルに回転磁界が形成され、モータ 3 2 が回転駆動される。以下、トランジスタ T 1 1 ～ T 1 3 を「上アーム」、トランジスタ T 1 4 ～ T 1 6 を「下アーム」ということがある。高電圧系電力ライン 4 2 の正極母線と負極母線とは、平滑用のコンデンサ 4 6 が取り付けられている。

【 0 0 2 2 】

バッテリー 3 6 は、例えばリチウムイオン二次電池やニッケル水素二次電池として構成されており、低電圧系電力ライン 4 4 を介して昇圧コンバータ 4 0 に接続されている。低電圧系電力ライン 4 4 の正極母線と負極母線とは、平滑用のコンデンサ 4 8 が取り付けられている。

【 0 0 2 3 】

昇圧コンバータ 4 0 は、高電圧系電力ライン 4 2 と低電圧系電力ライン 4 4 とに接続されている。この昇圧コンバータ 4 0 は、2 つのトランジスタ T 3 1 , T 3 2 と、2 つのダイオード D 3 1 , D 3 2 と、リアクトル L と、を有する。トランジスタ T 3 1 は、高電圧系電力ライン 4 2 の正極母線に接続されている。トランジスタ T 3 2 は、トランジスタ T 3 1 と、高電圧系電力ライン 4 2 および低電圧系電力ライン 4 4 の負極母線と、に接続されている。2 つのダイオード D 3 1 , D 3 2 は、それぞれ、トランジスタ T 3 1 , T 3 2 に逆方向に並列接続されている。リアクトル L は、トランジスタ T 3 1 , T 3 2 同士の接続点と、低電圧系電力ライン 4 4 の正極母線と、に接続されている。昇圧コンバータ 4 0 は、電子制御ユニット 5 0 によって、トランジスタ T 3 1 , T 3 2 のオン時間の割合が調節されることにより、低電圧系電力ライン 4 4 の電力を電圧の昇圧を伴って高電圧系電力ライン 4 2 に供給したり、高電圧系電力ライン 4 2 の電力を電圧の降圧を伴って低電圧系電力ライン 4 4 に供給したりする。

【 0 0 2 4 】

電子制御ユニット 5 0 は、CPU 5 2 を中心とするマイクロプロセッサとして構成されており、CPU 5 2 の他に、処理プログラムを記憶する ROM 5 4 やデータを一時的に記憶する RAM 5 6 , 入出力ポートを備える。

【 0 0 2 5 】

電子制御ユニット 5 0 には、各種センサからの信号が入力ポートを介して入力されている。電子制御ユニット 5 0 に入力される信号としては、例えば、モータ 3 2 の回転子の回転位置を検出する回転位置検出センサ（例えばレゾルバ）3 2 a からの回転位置 m , モータ 3 2 の各相に流れる電流を検出する電流センサ 3 2 u , 3 2 v からの相電流 I_u , I_v を挙げることができる。また、バッテリー 3 6 の端子間に取り付けられた電圧センサ 3 6 a からの電圧 V_B , バッテリ 3 6 の出力端子に取り付けられた電流センサ 3 6 b からの電流 I_B も挙げることができる。さらに、コンデンサ 4 6 の端子間に取り付けられた電圧センサ 4 6 a からのコンデンサ 4 6（高電圧系電力ライン 4 2）の電圧 V_H , コンデンサ 4 8 の端子間に取り付けられた電圧センサ 4 8 a からのコンデンサ 4 8（低電圧系電力ライン 4 4）の電圧 V_L も挙げることができる。加えて、イグニッションスイッチ 6 0 からのイグニッション信号、シフトレバー 6 1 の操作位置を検出するシフトポジションセンサ 6 2 からのシフトポジション SP , アクセルペダル 6 3 の踏み込み量を検出するアクセルペダルポジションセンサ 6 4 からのアクセル開度 Acc , ブレーキペダル 6 5 の踏み込み量を検出するブレーキペダルポジションセンサ 6 6 からのブレーキペダルポジション BP も挙げることができる。また、車速センサ 6 8 からの車速 VS , 低 μ 路の走行を指示する低 μ 路スイッチ 6 9 からの低 μ 路スイッチ信号も挙げることができる。ここで、「低 μ 路」は、濡れた路面、雪道、凍結路などの駆動輪 2 2 a , 2 2 b の空転によるスリップが生じやすい走行路を意味する。

【 0 0 2 6 】

電子制御ユニット 5 0 からは、各種制御信号が出力ポートを介して出力されている。電子制御ユニット 5 0 から出力される信号としては、例えば、インバータ 3 4 のトランジスタ T 1 1 ～ T 1 6 へのスイッチング制御信号、昇圧コンバータ 4 0 のトランジスタ T 3 1 , T 3 2 へのスイッチング制御信号を挙げることができる。

10

20

30

40

50

【0027】

電子制御ユニット50は、回転位置検出センサ32aからのモータ32の回転子の回転位置 θ に基づいてモータ32の電気角 e や角速度 ω , 回転数 N を演算している。また、電子制御ユニット50は、電流センサ36bからのバッテリー36の電流 I_B の積算値に基づいてバッテリー36の蓄電割合 $SO C$ を演算している。ここで、蓄電割合 $SO C$ は、バッテリー36の全容量に対するバッテリー36から放電可能な電力の容量の割合である。

【0028】

こうして構成された実施例の電気自動車20では、電子制御ユニット50は、以下の走行制御を行なう。走行制御では、アクセル開度 $A c c$ と車速 $V S$ とに基づいて駆動軸26に要求される要求トルク $T d^*$ を設定し、設定した要求トルク $T d^*$ をモータ32のトルク指令 $T m^*$ に設定し、モータ32がトルク指令 $T m^*$ で駆動されるようにインバータ34のトランジスタ $T 1 1 \sim T 1 6$ のスイッチング制御を行なう。また、モータ32をトルク指令 $T m^*$ で駆動できるように高電圧系電力ライン42の目標電圧 $V H^*$ を設定し、高電圧系電力ライン42の電圧 $V H$ が目標電圧 $V H^*$ となるように昇圧コンバータ40のトランジスタ $T 3 1$, $T 3 2$ のスイッチング制御を行なう。

【0029】

ここで、インバータ34の制御について説明する。実施例では、インバータ34の制御として、正弦波PWM(パルス幅変調)制御, 過変調PWM制御, 矩形波制御の何れかを実行する。正弦波PWM制御は、擬似的な三相交流電圧がモータ32に印加(供給)されるようにインバータ34を制御する制御であり、過変調制御は、過変調電圧がモータ32に印加されるようにインバータ34を制御する制御であり、矩形波制御は、矩形波電圧がモータ32に印加されるようにインバータ34を制御する制御である。正弦波PWM制御を実行する場合、正弦波電圧に基づくパルス幅変調電圧を擬似的な三相交流電圧とするときには、変調率 $R m$ は値 $0 \sim$ 略 0.61 となり、正弦波電圧に $3n$ 次(例えば3次)高調波電圧を重畳して得られる重畳後電圧に基づくパルス幅変調電圧を擬似的な三相交流電圧とするときには、変調率 $R m$ は値 $0 \sim$ 略 0.71 となる。変調率 $R m$ は、インバータ34の入力電圧(高電圧系電力ライン42の電圧 $V H$) に対する出力電圧(モータ32の印加電圧)の実効値の割合である。実施例では、正弦波PWM制御を実行できる変調率 $R m$ の領域を大きくするために、重畳後電圧に基づくパルス幅変調電圧を擬似的な三相交流電圧とするものとした。また、矩形波制御を実行する場合、変調率 $R m$ は略 0.78 となる。実施例では、これらを踏まえて、変調率 $R m$ に基づいて、正弦波PWM制御, 過変調PWM制御, 矩形波制御の何れかを実行するものとした。以下、正弦波PWM制御について説明する。

【0030】

正弦波PWM制御として、実施例では、第1PWM制御または第2PWM制御を実行する。第1PWM制御は、モータ32の各相の電圧指令 $V u^*$, $V v^*$, $V w^*$ と搬送波電圧(三角波電圧)との比較によってトランジスタ $T 1 1 \sim T 1 6$ の第1PWM信号を生成してトランジスタ $T 1 1 \sim T 1 6$ のスイッチングを行なう制御である。第2PWM制御は、電圧の変調率 $R m$ および電圧位相 ϕ と所定周期(例えば、モータ32の電気角 e の半周期や1周期など)のパルス数 $N p$ とに基づいてトランジスタ $T 1 1 \sim T 1 6$ の第2PWM信号を生成してトランジスタ $T 1 1 \sim T 1 6$ のスイッチングを行なう制御である。なお、第1PWM制御を実行する場合には、搬送波電圧(周波数が $3kH z \sim 5kH z$ 程度の三角波電圧)の半周期や1周期などに相当する間隔 $t 1$ で第1PWM信号を生成し、第2PWM制御を実行する場合には、間隔 $t 1$ よりも長い間隔 $t 2$ で第2PWM信号を生成するものとした。

【0031】

第1PWM制御を実行する場合、第2PWM制御を実行する場合に比して、PWM信号の生成周期を短くすることができるから、モータ32の応答性(目標動作点が変化したときの動作点の追従性)を高くすることができる。また、第2PWM制御を実行する場合、モータ32の鉄損を低減する(例えば最小にする)ように第2PWM信号を生成したり電

10

20

30

40

50

圧や電流の高調波（特に、モータ32の回転6次や回転12次などの低次高調波）を低減する（例えば最小にする）ように第2PWM信号を生成したりすることにより、第1PWM制御を実行する場合に比して、モータ32の鉄損を低減したり高調波を低減したりすることができる。

【0032】

過変調制御は、実施例では、第1PWM制御と同様に行なうものとした。過変調制御や矩形波制御については本発明の中核をなさないことから、詳細な説明は省略する。

【0033】

次に、こうして構成された実施例の電気自動車20の動作、特に、正弦波PWM制御を実行する際に第1PWM制御または第2PWM制御を実行用制御に設定するときの動作について説明する。図2～図4は、実施例の電子制御ユニット50によって実行される実行用制御設定ルーチンの一例を示すフローチャートである。このルーチンは、上述の間隔 t_1 （第1PWM信号の生成周期）と同一またはそれよりも短い間隔で繰り返し実行される。

【0034】

実行用制御設定ルーチンが実行されると、電子制御ユニット50のCPU52は、まず、モータ32の相電流 I_u 、 I_v や電気角 e 、回転数 N_m 、トルク指令 T_m^* 、高電圧系電力ライン42の電圧 V_H 、バッテリー36の電圧 V_B 、低 μ 路スイッチ信号などのデータを入力する（ステップS100）。ここで、モータ32の相電流 I_u 、 I_v は、電流センサ32u、32vによって検出された値を入力するものとした。モータ32の電気角 e や回転数 N_m は、回転位置検出センサ32aによって検出されたモータ32の回転子の回転位置 m に基づいて演算された値を入力するものとした。モータ32のトルク指令 T_m^* は、上述の駆動制御によって設定された値を入力するものとした。高電圧系電力ライン42の電圧 V_H は、電圧センサ46aによって検出された値を入力するものとした。バッテリー36の電圧 V_B は、電圧センサ36aによって検出された値を入力するものとした。低 μ 路スイッチ信号は、低 μ 路スイッチ69からの信号（オンまたはオフ）を入力するものとした。

【0035】

こうしてデータを入力すると、モータ32のトルク指令 T_m^* に基づいてd軸、q軸の電流指令 I_d^* 、 I_q^* を設定する（ステップS110）。続いて、モータ32の各相（U相、V相、W相）に流れる電流の総和が値0であるとして、モータ32の電気角 e を用いて、U相、V相の相電流 I_u 、 I_v をd軸、q軸の電流 I_d 、 I_q に座標変換（3相-2相変換）する（ステップS112）。そして、d軸、q軸の電流指令 I_d^* 、 I_q^* とd軸、q軸の電流 I_d 、 I_q との差分 I_d 、 I_q に基づくフィードバック項と、d軸、q軸の各軸相互に干渉する項をキャンセルするためのフィードフォワード項と、の和によってd軸、q軸の電圧指令 V_d^* 、 V_q^* を設定する（ステップS114）。

【0036】

こうしてd軸、q軸の電圧指令 V_d^* 、 V_q^* を設定すると、設定したd軸、q軸の電圧指令 V_d^* 、 V_q^* を用いて電圧の変調率 R_m および電圧位相 p を設定する（ステップS116）。ここで、変調率 R_m は、d軸の電圧指令 V_d^* の二乗とq軸の電圧指令 V_q^* の二乗との和の平方根として計算される電圧指令絶対値 V_{dq} を高電圧系電力ライン42の電圧 V_H で除して得ることができる。電圧位相 p は、d軸、q軸の電圧指令 V_d^* 、 V_q^* を成分とするベクトルのq軸に対する角度として得ることができる。

【0037】

続いて、第1PWM信号の生成タイミングか否かを判定する（ステップS120）。この判定は、前回に第1PWM信号を生成してから上述の間隔 t_1 に相当する時間が経過したか否かによって行なうことができる。そして、第1PWM信号の生成タイミングであると判定されたときには、第1PWM信号の生成処理を実行し（ステップS122、S124）、第1PWM信号の生成タイミングでないと判定されたときには、第1PWM信号の生成処理を実行しない。

10

20

30

40

50

【0038】

第1 PWM信号の生成処理では、モータ32の電気角 e を用いてd軸、q軸の電圧指令 V_d^* 、 V_q^* を各相の電圧指令 V_u^* 、 V_v^* 、 V_w^* に座標変換(2相-3相変換)し(ステップS122)、座標変換後の各相の電圧指令 V_u^* 、 V_v^* 、 V_w^* と搬送波電圧との比較によってトランジスタT11~T16の第1 PWM信号を生成する(ステップS124)。

【0039】

次に、モータ32の回転数 N_m およびトルク指令 T_m^* からなる目標動作点が第1、第2 PWM制御の領域の何れに属するかを判定する(ステップS130、S132)。ここで、第1、第2 PWM制御の領域は、実施例では、モータ32の各目標動作点に対して第1、第2 PWM制御を実行した実験結果や解析結果に基づいて、第2 PWM制御を実行することによる効果がある程度見込める(変調率 R_m によっては見込める)領域については第2 PWM制御の領域として定め、その効果があまり見込めない(何れの変調率 R_m でも見込めない)領域についてはモータ32の応答性を向上させるために第1 PWM制御の領域として定めるものとした。図5は、モータ32の目標動作点と第1、第2 PWM制御の領域との関係の一例を示す説明図である。図5の例では、以下のように、第1、第2 PWM制御の領域を定めるものとした。

【0040】

第1 PWM制御の領域としては、モータ32の回転数 N_m が1000rpm未満や9000rpm以上の領域、モータ32の回転数 N_m が1000rpm~9000rpmでトルク指令 T_m^* が-10Nm~10Nmか-100Nm未満の領域、モータ32の回転数 N_m が6000rpm~9000rpmでトルク指令 T_m^* が150Nm以上の領域を定めるものとした。

【0041】

第2 PWM制御の領域としては、モータ32の回転数 N_m が1000rpm~6000rpmでトルク指令 T_m^* が10Nm以上か-100Nm~-10Nmの領域、モータ32の回転数 N_m が6000rpm~9000rpmでトルク指令 T_m^* が10Nm~150Nmか-100Nm~-10Nmの領域を定めるものとした。第2 PWM制御の領域については、以下のように、エリア1~5を定めるものとした。

【0042】

エリア1としては、モータ32の回転数 N_m が1000rpm~3500rpmでトルク指令 T_m^* が10Nm以上か-100Nm~-10Nmの領域を定めるものとした。エリア2としては、モータ32の回転数 N_m が3500rpm~6000rpmでトルク指令 T_m^* が10Nm~150Nmか-100Nm~-10Nmの領域を定めるものとした。エリア3としては、モータ32の回転数 N_m が3500rpm~6000rpmでトルク指令 T_m^* が150Nm以上の領域を定めるものとした。エリア4としては、モータ32の回転数 N_m が6000rpm~9000rpmでトルク指令 T_m^* が10Nm~100Nmか-50Nm~-10Nmの領域を定めるものとした。エリア5としては、モータ32の回転数 N_m が6000rpm~9000rpmでトルク指令 T_m^* が100Nm~150Nmか-100Nm~-50Nmの領域を定めるものとした。

【0043】

なお、図5において、モータ32の回転数 N_m やトルク指令 T_m^* についての各値、第1 PWM制御の領域と第2 PWM制御の領域との区分、第2 PWM制御の領域におけるエリアの区分(エリアの数を含む)については、例示しただけであり、モータ32やインバータ34などの仕様に応じて適宜設定することができる。

【0044】

ステップS130、S132でモータ32の目標動作点が第1 PWM制御の領域に属すると判定されたときには、第1 PWM制御を実行用制御に設定して(ステップS140)、本ルーチンを終了する。この場合、第1 PWM信号を用いてインバータ34のトランジスタT11~T16のスイッチングを行なう。これにより、モータ32の応答性を高くす

10

20

30

40

50

ることができる。

【 0 0 4 5 】

ステップ S 1 3 0 , S 1 3 2 でモータ 3 2 の目標動作点が第 2 P W M 制御の領域 (エリア 1 ~ 5) に属すると判定されたときには、エリア 1 ~ 5 のうち属するエリアと変調率 R_m とに基づいて、第 1 , 第 2 P W M 制御の何れかを実行用制御に設定すると共に第 2 P W M 制御を実行用制御に設定した場合にはパルスパターン P P を設定する (ステップ S 1 5 0) 。ここで、パルスパターン P P は、第 2 P W M 制御におけるパルスタイプ P T とパルス数 N_p との組み合わせである。実施例では、パルスタイプ P T として、モータ 3 2 の鉄損を低減する (例えば最小にする) ように第 2 P W M 信号を生成するタイプ (第 2 P W M a) と、電圧や電流の高調波 (特に、低次高調波) を低減する (例えば最小にする) ように第 2 P W M 信号を生成するタイプ (第 2 P W M b) と、を用いるものとした。

10

【 0 0 4 6 】

実行用制御およびパルスパターン P P は、実施例では、エリア 1 ~ 5 および変調率 R_m と実行用制御およびパルスパターン P P との関係を予め定めてマップとして R O M 5 4 に記憶しておき、エリアおよび変調率 R_m が与えられると、このマップに適用して、実行用制御およびパルスパターン P P を設定するものとした。エリア 1 ~ 5 および変調率 R_m と実行用制御およびパルスパターン P P との関係の一例を図 6 に示す。なお、図 6 では、参考のために、矩形波制御や過変調制御の領域 (変調率 R_m が略 0 . 7 1 ~ 0 . 7 8 の領域) についても図示した。

【 0 0 4 7 】

図示するように、エリア 1 ~ 5 の何れでも、変調率 R_m が 0 . 2 0 未満の領域では第 1 P W M 制御を実行用制御に設定し、変調率 R_m が 0 . 2 0 ~ 略 0 . 7 1 の領域では第 2 P W M 制御を実行用制御に設定するものとした。これは、発明者が、変調率 R_m が所定変調率 R_{mref} (図 6 の例では 0 . 2 0) 未満の領域では、第 2 P W M 制御を実行することによる効果が比較的小さいことを見出したためである。また、変調率 R_m が 0 . 2 0 ~ 略 0 . 7 1 の領域において、エリア 1 , 2 , 4 , 5 ではパルスタイプ P T として第 2 P W M a を選択し、エリア 3 ではパルスタイプ P T として第 2 P W M b を選択するものとした。さらに、変調率 R_m が 0 . 2 0 ~ 略 0 . 7 1 の領域において、変調率 R_m が大きいほどパルス数 N_p を少なくするものとした。これは、パルス数 N_p が少ないほどリプル電流が大きくなってモータ 3 2 の損失が大きくなりやすいことと、パルス数 N_p が多いほどトランジスタ T 1 1 ~ T 1 6 のスイッチング回数が増えてインバータ 3 4 の損失が大きくなりやすいことと、を踏まえて変調率 R_m に応じてモータ 3 2 およびインバータ 3 4 のトータル損失が小さくなる (例えば最小となる) ように定めたものである。実施例では、変調率 R_m が比較的大きい領域では、変調率 R_m が比較的小さい領域に比して、パルス数 N_p が比較的小さいときにモータ 3 2 の損失が大きくなりやすくモータ 3 2 およびインバータ 3 4 のトータル損失が大きくなりやすいことを踏まえて、パルス数 N_p を比較的少なくするものとした。

20

30

【 0 0 4 8 】

なお、図 6 において、パルス数 N_p の境界などについては、例示しただけであり、モータ 3 2 やインバータ 3 4 などの仕様に応じて適宜設定することができる。

40

【 0 0 4 9 】

次に、実行用制御が第 1 P W M 制御であるか第 2 P W M 制御であるかを判定し (ステップ S 1 6 0) 、実行用制御が第 1 P W M 制御であると判定されたときには、そのまま本ルーチンを終了する。この場合、第 1 P W M 制御の第 1 P W M 信号を用いてインバータ 3 4 のトランジスタ T 1 1 ~ T 1 6 のスイッチングを行なう。このように、モータ 3 2 の目標動作点が第 2 P W M 制御の領域に属するときでも、変調率 R_m が所定変調率 R_{mref} 未満のとき (第 2 P W M 制御を実行することによる効果が比較的小さいとき) には、第 1 P W M 制御を実行して、モータ 3 2 の応答性を高くすることにより、モータ 3 2 をより好適に駆動することができる。

【 0 0 5 0 】

50

ステップS160で実行用制御が第2PWM制御であると判定されたときには、第2PWM信号の生成タイミングか否かを判定する(ステップS170)。この判定は、前回に第1PWM信号を生成してから間隔 t_2 に相当する時間が経過したか否かによって行なうことができる。なお、間隔 t_2 は、例えば、前回の電気角(前回 e)と角速度(前回 m)と後述のスイッチング角(前回 $s[ns + Ns - 1]$)とに基づいて式(1)によって計算される値などとすることができる。そして、第2PWM信号の生成タイミングであると判定されたときには、第2PWM信号の生成処理を実行し(ステップS172~S182)、第2PWM信号の生成タイミングでないと判定されたときには、第2PWM信号の生成処理を実行しない。

$$t_2 = (\text{前回 } s[ns + Ns - 1] - \text{前回 } e) / \text{前回 } m \quad (1)$$

10

【0051】

第2PWM信号の生成処理では、まず、モータ32の回転数 N_m に基づいて作成数 N_s を設定する(ステップS172)。ここで、作成数 N_s は、後述のスイッチング基準角 s_{tmp} やスイッチング角 s 、スイッチングパターン V をいくつ作成(設定)するかを示す値である。この作成数 N_s は、実施例では、モータ32の回転数 N_m が大きいときには小さいときに比して多くなるように、詳細には、モータ32の回転数 N_m が大きいほど多くなるように設定するものとした。これは、間隔 t_2 を所定範囲内の時間としたときに、モータ32の回転数 N_m が大きいときには小さいときに比して、間隔 t_2 の間のスイッチング回数を多くすることができるためである。なお、この作成数 N_s は、一定値を用いるものとしてもよい。この場合、間隔 t_2 は、モータ32の回転数 N_m (角速度 m) が大きいときには小さいときに比して短くなる。

20

【0052】

続いて、モータ32の電気角 e に基づいてスイッチング番号 ns を作成(設定)する(ステップS174)。ここで、スイッチング番号 ns は、後述のスイッチング基準角 s_{tmp} やスイッチング角 s 、スイッチングパターン V の設定に用いる番号であり、値1~値 N の範囲内で作成される。値 N は、モータ32の電気角 e の1周期におけるスイッチング基準角 s_{tmp} やスイッチング角 s 、スイッチングパターン V の個数であり、パルスパターン PP のパルス数 N_p と値2(各パルスの立ち上がりおよび立ち下がり)と値3(U相, V相, W相)との積となる。

【0053】

30

そして、パルスパターン PP と変調率 R_m とスイッチング番号 ns と作成数 N_s とに基づいて、スイッチング番号 $ns \sim (ns + Ns - 1)$ のスイッチング基準角 $s_{tmp}[ns] \sim s_{tmp}[ns + Ns - 1]$ を作成(設定)する(ステップS176)。ここで、スイッチング基準角 s_{tmp} は、スイッチング角 s の基準角度である。スイッチング角 s は、モータ32の各相の相電圧(トランジスタ $T_{11} \sim T_{16}$ のうち対応する相のトランジスタのオンオフ、例えばU相についてはトランジスタ T_{11} , T_{14} のオンオフ)を切り替える角度である。スイッチング基準角 $s_{tmp}[ns] \sim s_{tmp}[ns + Ns - 1]$ は、実施例では、パルスパターン PP および変調率 R_m とスイッチング番号 $1 \sim N$ のスイッチング基準角 s_{tmp} との関係を予め定めてマップとしてROM54に記憶しておき、パルスパターン PP と変調率 R_m とスイッチング番号 ns と作成数 N_s とが与えられると、このマップに適用して、スイッチング番号 $ns \sim (ns + Ns - 1)$ のスイッチング基準角 $s_{tmp}[ns] \sim s_{tmp}[ns + Ns - 1]$ を導出して設定するものとした。パルスパターン PP および変調率 R_m とスイッチング番号 $1 \sim N$ のスイッチング基準角 s_{tmp} との関係の一例を図7に示す。図7では、スイッチング基準角 s_{tmp} の各値を値 $[PP, R_m, n]$ ($n: 1 \sim N$) として図示した。図7において、パルスパターン PP がパターン P_1 で変調率 R_m が値 R_1 でスイッチング番号 ns が値5で作成数 N_s が値4のときには、スイッチング番号5~8の値 $[P_1, R_1, 5] \sim [P_1, R_1, 8]$ をスイッチング基準角 $s_{tmp}[5] \sim s_{tmp}[8]$ に設定する。

40

【0054】

50

こうしてスイッチング基準角 $s_{tmp}[ns] \sim s_{tmp}[ns + N_s - 1]$ を設定すると、設定したスイッチング基準角 $s_{tmp}[ns] \sim s_{tmp}[ns + N_s - 1]$ のそれぞれに電圧位相 p を加えて、スイッチング角 $s[ns] \sim s[ns + N_s - 1]$ を設定する(ステップS178)。

【0055】

続いて、パルスパターンPPとスイッチング番号 ns と作成数 N_s とに基づいて、スイッチング番号 $ns \sim (ns + N_s - 1)$ のスイッチングパターン $V[ns] \sim V[ns + N_s - 1]$ を設定する(ステップS180)。ここで、スイッチングパターン V は、トランジスタ $T11 \sim T13$ のオンオフの組み合わせを示すパターンであり、パターン $V0 \sim V7$ を用いるものとした。なお、トランジスタ $T11 \sim T16$ のオンオフの組み合わせでなくトランジスタ $T11 \sim T13$ のオンオフの組み合わせを用いるのは、通常、トランジスタ $T11 \sim T16$ のうち対応する上アームと下アームとを同時にオンとすることはなく、トランジスタ $T14 \sim T16$ のオンオフの組み合わせを省略しても差し支えないためである。パターン $V0 \sim V7$ は以下の通りである。

パターン $V0$: トランジスタ $T11 \sim T13$ の全てがオフ

パターン $V1$: トランジスタ $T11, T12$ がオフでトランジスタ $T13$ がオン

パターン $V2$: トランジスタ $T11, T13$ がオフでトランジスタ $T12$ がオン

パターン $V3$: トランジスタ $T11$ がオフでトランジスタ $T12, T13$ がオン

パターン $V4$: トランジスタ $T11$ がオンでトランジスタ $T12, T13$ がオフ

パターン $V5$: トランジスタ $T11, T13$ がオンでトランジスタ $T12$ がオフ

パターン $V6$: トランジスタ $T11, T12$ がオンでトランジスタ $T13$ がオフ

パターン $V7$: トランジスタ $T11 \sim T13$ が全てオン

【0056】

スイッチングパターン $V[ns] \sim V[ns + N_s - 1]$ は、実施例では、パルスパターンPPとスイッチング番号 $1 \sim N$ のスイッチングパターン V との関係を予め定めてマップとしてROM54に記憶しておき、パルスパターンPPとスイッチング番号 ns と作成数 N_s とが与えられると、このマップに適用して、スイッチング番号 $ns \sim (ns + N_s - 1)$ のスイッチングパターン $V[ns] \sim V[ns + N_s - 1]$ を導出して設定するものとした。パルスパターンPPとスイッチング番号 $1 \sim N$ のスイッチングパターン V との関係の一例を図8に示す。図8では、スイッチング角 s の各値を値 $[PP, n]$ ($n: 1 \sim N$)として図示した。図8において、パルスパターンPPがパターンP1でスイッチング番号 ns が値5で作成数 N_s が値4のときには、スイッチング番号5～8のスイッチングパターン $V[P1, 5] \sim V[P1, 8]$ をスイッチングパターン $V[5] \sim V[8]$ に設定する。

【0057】

こうしてスイッチング番号 $ns \sim (ns + N_s - 1)$ のスイッチング角 $s[ns] \sim s[ns + N_s - 1]$ およびスイッチングパターン $V[ns] \sim V[ns + N_s - 1]$ を設定すると、設定したスイッチング角 $s[ns] \sim s[ns + N_s - 1]$ およびスイッチングパターン $V[ns] \sim V[ns + N_s - 1]$ に基づいて、トランジスタ $T11 \sim T16$ の第2PWM信号を生成する(ステップS182)。スイッチング番号 ns が値5で作成数 N_s が値4のときの、スイッチング番号5～8とスイッチング角 $s[5] \sim s[8]$ とスイッチングパターン $V[5] \sim V[8]$ とトランジスタ $T11 \sim T13$ の第2PWM信号との関係の一例を図9に示す。

【0058】

次に、モータ32のトルク指令 Tm^* 、モータ32の回転数 Nm 、高電圧系電力ライン42の電圧 VH 、バッテリー36の電圧 VB の単位時間当たりの変化量 Tm^*, Nm, VH, VB を計算する(ステップS190)。続いて、変化量 Tm^* の絶対値を閾値 Tm_{ref} と比較し(ステップS200)、変化量 Nm の絶対値を閾値 Nm_{ref} と比較し(ステップS202)、変化量 VH の絶対値を閾値 VH_{ref} と比較し(ステップS204)、変化量 VB の絶対値を閾値 VB_{ref} と比較し(ステップS2

10

20

30

40

50

06)、走行路が低 μ 路か否かを判定する(ステップS210)。

【0059】

ここで、閾値 T_{mref} 、 N_{mref} 、 V_{Href} 、 V_{Bref} は、それぞれ、モータ32のトルク指令 T_m^* 、モータ32の回転数 N_m 、高電圧系電力ライン42の電圧 V_H 、バッテリー36の電圧 V_B が急変したか否かを判定するために用いられる閾値である。走行路が低 μ 路か否かの判定は、低 μ 路スイッチ89からの低 μ 路スイッチ信号がオンか否かを調べたり、駆動軸26の回転加速度に基づいて推定した走行路の摩擦係数を閾値と比較したり、駆動輪22a、22bの回転加速度に基づいて推定した走行路の摩擦係数を閾値と比較したりする、ことによって行なうことができる。ステップS200~S206の処理は、モータ32とインバータ34とバッテリー36と昇圧コンバータ40とを有する駆動システムの状態が急変したか否かを判定する処理であり、ステップS210の処理は、駆動システムの状態の急変が予測されるか否かを判定する処理である。

10

【0060】

ステップS200~S206で変化量 T_m^* の絶対値が閾値 T_{mref} 未満で且つ変化量 N_m の絶対値が閾値 N_{mref} 未満で且つ変化量 V_H の絶対値が閾値 V_{Href} 未満で且つ変化量 V_B の絶対値が閾値 V_{Bref} 未満で、さらに、ステップS210で走行路が低 μ 路でないと判定されたときには、駆動システムの状態は急変していないと判断すると共に駆動システムの状態の急変も予測されないと判断し、そのまま本ルーチンを終了する。いま、ステップS160で実行用制御が第2PWM制御であると判定されたときを考えているから、第2PWM信号を用いてインバータ34のトランジスタT11~T16のスイッチングを行なう。これにより、パルスタイプPT(第2PWMaまたは第2PWMb)およびパルス数 N_p からなるパルスパターンPPに応じて、モータ32の鉄損を低減したり電圧や電流の高調波を低減したりすることができる。この結果、モータ32をより好適に駆動することができる。

20

【0061】

ステップS200で変化量 T_m^* の絶対値が閾値 T_{mref} 以上のとき、ステップS202で変化量 N_m の絶対値が閾値 N_{mref} 以上のとき、ステップS204で変化量 V_H の絶対値が閾値 V_{Href} 以上のとき、ステップS206で変化量 V_B の絶対値が閾値 V_{Bref} 以上のときには、駆動システムの状態が急変したと判断し、第1PWM制御を実行用制御に再設定して(ステップS220)、本ルーチンを終了する。また、ステップS210で走行路が低 μ 路であると判定されたときには、駆動システムの状態の急変が予測されると判断し、第1PWM制御を実行用制御に再設定して(ステップS220)、本ルーチンを終了する。上述したように、第2PWM制御を実行する場合、第1PWM制御を実行する場合に比してモータ32の応答性が低くなる。実施例では、これを考慮して、駆動システムの状態が急変したときや駆動システムの状態の急変が予測されるときには、第1PWM制御を実行するものとした。これにより、モータ32の応答性を高くすることができ、モータ32をより好適に駆動することができる。

30

【0062】

以上説明した実施例の電気自動車20では、正弦波PWM制御を実行する際において、モータ32の目標動作点(回転数 N_m およびトルク指令 T_m^*)が第1PWM制御の領域に属するときには、第1PWM制御を実行し、モータ32の目標動作点が第2PWM制御の領域に属するときには、基本的には、第2PWM制御を実行する。これにより、第1PWM制御を実行する場合には、モータ32の応答性を高くすることができ、第2PWM制御を実行する場合には、モータ32の鉄損を低減したり電圧や電流の高調波を低減したりすることができる。また、第2PWM制御を実行することによる効果がある程度見込める領域については第2PWM制御の領域として定め、その効果があまり見込めない領域についてはモータ32の応答性の向上のために第1PWM制御の領域として定めるから、目標駆動点に応じてモータをより好適に駆動することができる。

40

【0063】

また、実施例の電気自動車20では、正弦波PWM制御を実行する際において、モータ

50

32の目標動作点が第2PWM制御の領域に属するときでも、変調率 R_m が所定変調率 R_{mref} 未満のときには、第1PWM制御を実行する。これにより、第2PWM制御を実行することによる効果が比較的小さいときに、モータ32の応答性を高くすることができ、モータ32をより好適に駆動することができる。

【0064】

さらに、実施例の電気自動車20では、正弦波PWM制御を実行する際において、モータ32の目標動作点が第2PWM制御の領域に属するときでも、駆動システムの状態が急変したときや駆動システムの状態の急変が予測されるときには、第1PWM制御を実行する。第2PWM制御を実行する場合、第1PWM制御を実行する場合に比してモータ32の応答性が低くなるから、第1PWM制御を実行してモータ32の応答性を高くすることにより、モータ32をより好適に駆動することができる。

10

【0065】

実施例の電気自動車20では、正弦波PWM制御を実行する際において、図3のステップS130、S132でモータ32の目標動作点が第2PWM制御の領域に属するとき、ステップS150で、変調率 R_m が所定変調率 R_{mref} 以上のときには第2PWM制御を実行用制御に設定し、変調率 R_m が所定変調率 R_{mref} 未満のときには、第1PWM制御を実行用制御に設定するものとした。しかし、ステップS150で変調率 R_m が所定変調率 R_{mref} 以上か未満かに拘わらずに第2PWM制御を実行用制御に設定するものとしてもよい。この場合、変調率 R_m が所定変調率 R_{mref} 未満の領域についても、エリア(モータ32の目標動作点)と変調率 R_m とに基づいてパルスパターンPPを設定すればよい。

20

【0066】

実施例の電気自動車20では、正弦波PWM制御を実行する際において、図3のステップS150で第2PWM制御を実行用制御に設定したときには、ステップS200~S206で、モータ32のトルク指令 T_m^* 、モータ32の回転数 N_m 、高電圧系電力ライン42の電圧 V_H 、バッテリー36の電圧 V_B の単位時間当たりの変化量 T_m^* 、 N_m 、 V_H 、 V_B を用いて駆動システムの状態が急変したか否かを判定するものとした。しかし、モータ32のトルク指令 T_m^* 、モータ32の回転数 N_m 、高電圧系電力ライン42の電圧 V_H 、バッテリー36の電圧 V_B の単位時間当たりの変化量 T_m^* 、 N_m 、 V_H 、 V_B の一部を用いて駆動システムの状態が急変したか否かを判定するものとしてもよい。また、これら以外のパラメータ、例えば、モータ32の要求パワー P_m^* ($=T_m^* \cdot N_m$)、モータ32の相電流 I_u 、 I_v の実効値、昇圧コンバータ40のリアクトルLに流れる電流 I_L 、低電圧系電力ライン44の電圧 V_L などの単位時間当たりの変化量を用いて駆動システムの状態が急変したか否かを判定するものとしてもよい。

30

【0067】

実施例の電気自動車20では、正弦波PWM制御を実行する際において、図3のステップS150で第2PWM制御を実行用制御に設定したときには、ステップS200~S206で駆動システムの状態が急変したか否かを判定すると共にステップS210で駆動システムの状態の急変が予測されるか否かを判定するものとした。しかし、駆動システムの状態が急変したか否かについては判定するが、駆動システムの状態の急変が予測されるか否かについては判定しないものとしてもよい。また、駆動システムの状態の急変が予測されるか否かについては判定するが、駆動システムの状態が急変したか否かについては判定しないものとしてもよい。さらに、駆動システムの状態が急変したか否かについても駆動システムの状態の急変が予測されるか否かについても判定しないものとしてもよい。

40

【0068】

実施例の電気自動車20では、第2PWM信号を生成する際に用いるパルスパターンPPのパルスタイプPTとして、モータ32の鉄損を低減するように第2PWM信号を生成するタイプ(第2PWMa)と、電圧や電流の高調波を低減するように第2PWM信号を生成するタイプ(第2PWMb)と、の2つのタイプを用いるものとした。しかし、パルスタイプPTとして、3つ以上のパルスタイプPTを用いるものとしてもよい。この場合

50

、例えば、モータ32の鉄損を低減するように第2PWM信号を生成するタイプ、モータ32の銅損を低減するように第2PWM信号を生成するタイプ、モータ32のトルクリプルを低減するように第2PWM信号を生成するタイプ、インバータ34の損失を低減するように第2PWM信号を生成するタイプ、モータ32およびインバータ34のトータル損失を低減するように第2PWM信号を生成するタイプ、電圧の高調波を低減するように第2PWM信号を生成するタイプ、電流の高調波を低減するように第2PWM信号を生成するタイプなどを用いるものとしてもよい。また、パルスタイプPTとして、1つのタイプだけを用いるものとしてもよい。この場合、パルスパターンPPとしては、パルス数Npだけに応じたパターンを設定すればよい。

【0069】

実施例の電気自動車20では、第2PWM信号を生成する際には、パルスパターンPP（パルスタイプPTおよびパルス数Np）と変調率Rmとに基づいてスイッチング基準角 s_{tmp} を設定し、このスイッチング基準角 s_{tmp} を電圧位相 p を用いて補正してスイッチング角 s を設定するものとした。しかし、パルスパターンPPと変調率Rmと電圧位相 p とに基づいてスイッチング角 s を直接設定するものとしてもよい。

【0070】

実施例の電気自動車20では、バッテリー36とインバータ34との間に昇圧コンバータ40を設けるものとしたが、昇圧コンバータ40を設けないものとしてもよい。

【0071】

実施例の電気自動車20では、モータ32とインバータ34とバッテリー36とを備える構成とした。しかし、図10の変形例のハイブリッド自動車120に示すように、モータ32とインバータ34とに加えて、エンジン122とプラネタリギヤ124とモータ132とインバータ134とを備える構成としてもよい。ここで、プラネタリギヤ124のサンギヤにはモータ132が接続され、キャリアにはエンジン122が接続され、リングギヤには駆動軸26およびモータ32が接続されている。インバータ134は、モータ132に接続されると共に高電圧系電力ライン42に接続されている。

【0072】

実施例の主要な要素と課題を解決するための手段の欄に記載した発明の主要な要素との対応関係について説明する。実施例では、モータ32が「モータ」に相当し、インバータ34が「インバータ」に相当し、バッテリー36が「バッテリー」に相当し、電子制御ユニット50が「制御装置」に相当する。

【0073】

なお、実施例の主要な要素と課題を解決するための手段の欄に記載した発明の主要な要素との対応関係は、実施例が課題を解決するための手段の欄に記載した発明を実施するための形態を具体的に説明するための一例であることから、課題を解決するための手段の欄に記載した発明の要素を限定するものではない。即ち、課題を解決するための手段の欄に記載した発明についての解釈はその欄の記載に基づいて行なわれるべきものであり、実施例は課題を解決するための手段の欄に記載した発明の具体的な一例に過ぎないものである。

【0074】

以上、本発明を実施するための形態について実施例を用いて説明したが、本発明はこうした実施例に何等限定されるものではなく、本発明の要旨を逸脱しない範囲内において、種々なる形態で実施し得ることは勿論である。

【産業上の利用可能性】

【0075】

本発明は、自動車の製造産業などに利用可能である。

【符号の説明】

【0076】

20 電気自動車、22a, 22b 駆動輪、24 デファレンシャルギヤ、26 駆動軸、32, 132 モータ、32a 回転位置検出センサ、32u, 32v, 36b

10

20

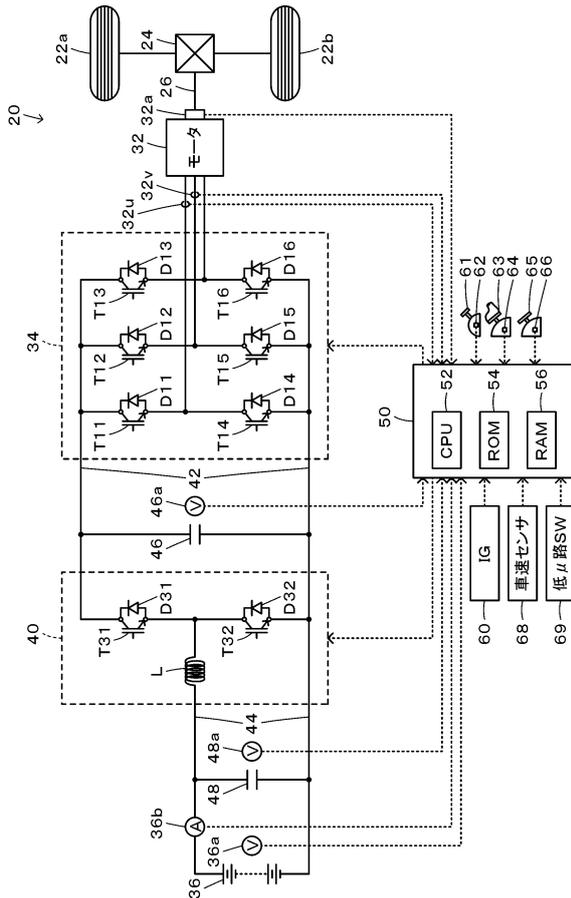
30

40

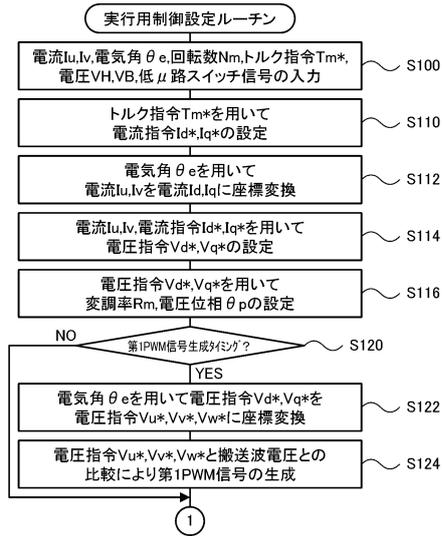
50

電流センサ、34 インバータ、36 バッテリ、36a, 46a, 48a 電圧センサ、40 昇圧コンバータ、42 高電圧系電力ライン、44 低電圧系電力ライン、46, 48 コンデンサ、50 電子制御ユニット、52 CPU、54 ROM、56 RAM、60 イグニッションスイッチ、61 シフトレバー、62 シフトポジションセンサ、63 アクセルペダル、64 アクセルペダルポジションセンサ、65 ブレーキペダル、66 ブレーキペダルポジションセンサ、68 車速センサ、69 低μ路スイッチ、120 ハイブリッド自動車、122 エンジン、124 プラネタリギヤ、D11~D16, D31, D32 ダイオード、L リアクトル、T11~T16, T31, T32 トランジスタ。

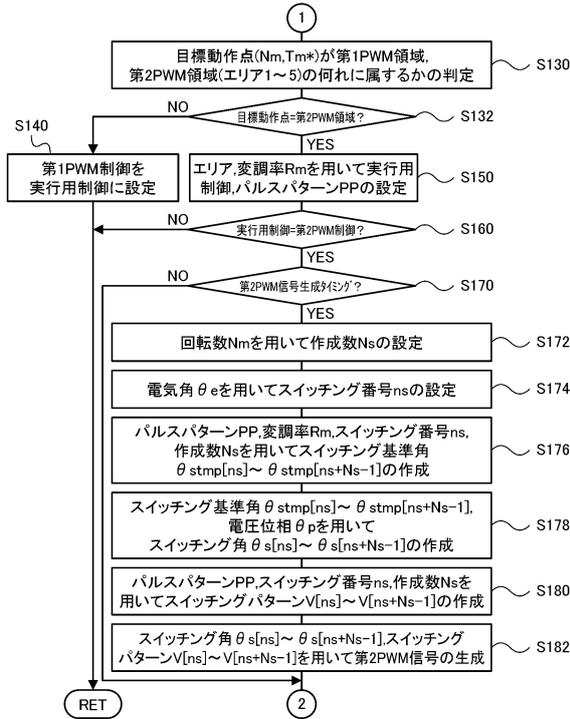
【図1】



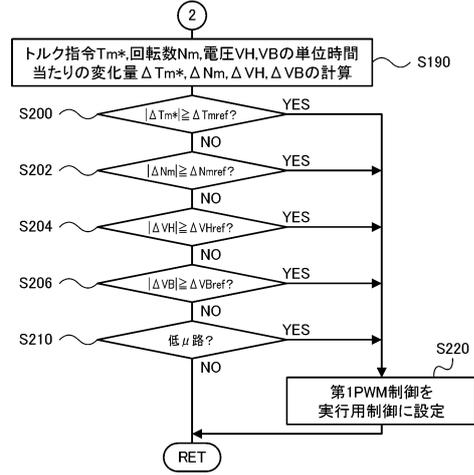
【図2】



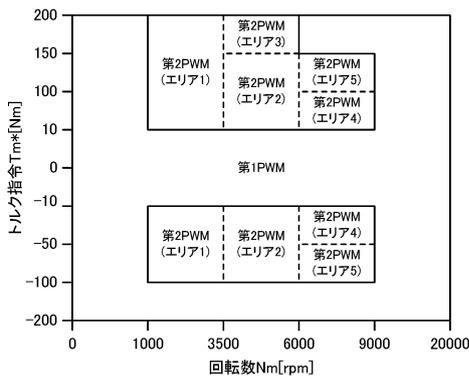
【図3】



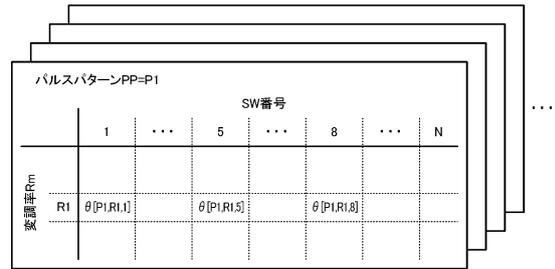
【図4】



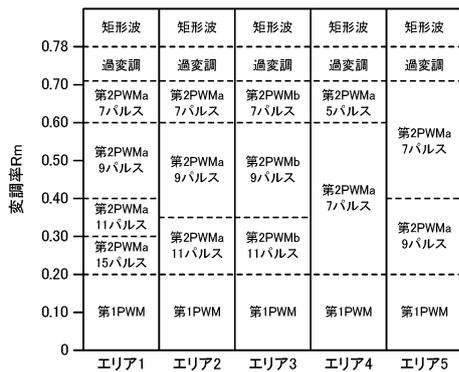
【図5】



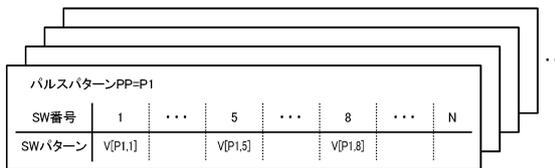
【図7】



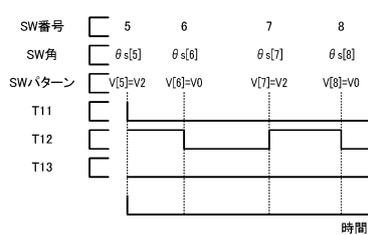
【図6】



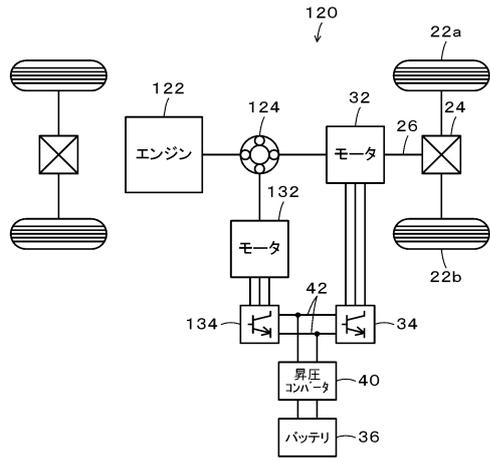
【図8】



【図9】



【図10】



フロントページの続き

- (56)参考文献 特開2010-154735(JP,A)
特開2013-187933(JP,A)
特開2013-215041(JP,A)
特開2012-050259(JP,A)
特開2013-062970(JP,A)
特開2007-306679(JP,A)
特開2010-166677(JP,A)
特開2015-173549(JP,A)
特開2010-252488(JP,A)
特開2015-156755(JP,A)
米国特許出願公開第2014/0070735(US,A1)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H02P 27/08
B60L 9/18