

(19)日本国特許庁(JP)

(12)公開特許公報(A)

(11)公開番号

特開2024-11931
(P2024-11931A)

(43)公開日 令和6年1月25日(2024.1.25)

(51)国際特許分類 F I テーマコード(参考)
B 6 0 L 15/20 (2006.01) B 6 0 L 15/20 J 5 H 1 2 5

審査請求 未請求 請求項の数 12 O L (全30頁)

(21)出願番号	特願2022-114287(P2022-114287)	(71)出願人	000003997 日産自動車株式会社 神奈川県横浜市神奈川区宝町2番地
(22)出願日	令和4年7月15日(2022.7.15)	(74)代理人	110002468 弁理士法人後藤特許事務所
		(72)発明者	澤田 彰 神奈川県横浜市神奈川区宝町2番地 日産自動車株式会社内
		(72)発明者	中島 孝 神奈川県横浜市神奈川区宝町2番地 日産自動車株式会社内
		Fターム(参考)	5H125 AA01 AC12 BA00 CA01 EE08

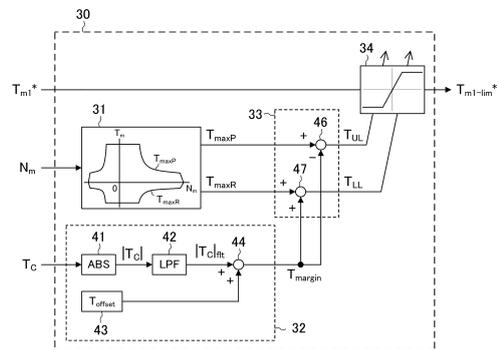
(54)【発明の名称】 電動車両の制御方法、及び、電動車両の制御装置

(57)【要約】

【課題】電動モータの性能を活かしつつ、外乱によって生じる振動を的確に抑制することができる電動車両の制御方法、及び、電動車両の制御装置を提供する。

【解決手段】この電動車両100の制御方法では、電動モータ14が出力すべきトルクを表す基本トルク目標値 T_{m1}^* 、及び、電動車両100に作用する外乱によって生じる振動を補償する補償トルク T_c が演算される。また、電動モータ14が出力し得るトルク(T_{maxP} , T_{maxR})に対する可変のマージンであるトルクマージン T_{margin} が設定される。そして、トルクマージン T_{margin} に基づいて、基本トルク目標値 T_{m1}^* を制限することにより、制限後トルク目標値 T_{m1-lim}^* が演算される。その後、制限後トルク目標値 T_{m1-lim}^* と補償トルク T_c に基づいて、最終トルク目標値 T_{mf}^* が演算され、この最終トルク目標値 T_{mf}^* にしたがって電動モータ14が制御される。

【選択図】図6



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

電動モータを駆動源とする電動車両の制御方法であって、
前記電動車両の車両情報に基づいて、前記電動モータが出力すべきトルクを表す基本トルク目標値を算出し、
前記電動モータの回転状態を表すパラメータである回転パラメータに基づいて、前記電動車両に作用する外乱によって生じる振動を補償する補償トルクを演算し、
前記補償トルクに基づいて、前記電動モータが出力し得るトルクに対する可変のマージンであるトルクマージンを設定し、
前記トルクマージンに基づいて、前記基本トルク目標値を制限することにより、制限後トルク目標値を演算し、
前記制限後トルク目標値と前記補償トルクに基づいて、最終トルク目標値を演算し、
前記最終トルク目標値にしたがって前記電動モータを制御する、
電動車両の制御方法。

【請求項 2】

請求項 1 に記載の電動車両の制御方法であって、
前記補償トルクが小さいときに、前記トルクマージンが小さく設定される、
電動車両の制御方法。

【請求項 3】

請求項 1 に記載の電動車両の制御方法であって、
前記補償トルクは、車両駆動系のねじり振動を補償する、
電動車両の制御方法。

【請求項 4】

請求項 3 に記載の電動車両の制御方法であって、
前記補償トルクに対して、前記ねじり振動の周波数以下の周波数成分を通過させるフィルタリング処理を実行し、
前記フィルタリング処理後の前記補償トルクに基づいて、前記トルクマージンを設定する、
電動車両の制御方法。

【請求項 5】

請求項 1 に記載の電動車両の制御方法であって、
前記補償トルクの絶対値を演算し、
前記補償トルクの絶対値に基づいて、前記トルクマージンを設定する、
電動車両の制御方法。

【請求項 6】

請求項 5 に記載の電動車両の制御方法であって、
予め定める基準値であるオフセットトルクと、前記補償トルクの絶対値と、を加算した値を、前記トルクマージンに設定する、
電動車両の制御方法。

【請求項 7】

請求項 1 に記載の電動車両の制御方法であって、
前記トルクマージンは、予め定める基準値であるオフセットトルクを用いて設定され、
前記補償トルクに基づいて前記オフセットトルクを補正することにより、前記トルクマージンが補正される、
電動車両の制御方法。

【請求項 8】

請求項 1 に記載の電動車両の制御方法であって、
予め定められた第 1 オフセットトルクと、予め定められ、前記第 1 オフセットトルクよりも値が小さい第 2 オフセットトルクと、から、前記補償トルクに基づいていずれか一方を選択し、

前記トルクマージンは、選択された前記第 1 オフセットトルクまたは前記第 2 オフセットトルクを用いて設定される、
電動車両の制御方法。

【請求項 9】

請求項 8 に記載の電動車両の制御方法であって、

選択された前記第 1 オフセットトルクまたは前記第 2 オフセットトルクに対して、車両駆動系に生じるねじり振動の周波数以下の周波数成分を通過させるフィルタリング処理を実行し、

選択された前記第 1 オフセットトルクまたは前記第 2 オフセットトルクと、前記フィルタリング処理後の前記第 1 オフセットトルクまたは前記第 2 オフセットトルクと、を比較し、いずれか大きい方の値を前記トルクマージンに設定する、
電動車両の制御方法。

【請求項 10】

請求項 1 に記載の電動車両の制御方法であって、

前記制限後トルク目標値を用いて、車両駆動系の伝達特性に基づくフィードフォワード制御によって前記車両駆動系のねじりを抑制する第 2 トルク目標値を演算し、

前記第 2 トルク目標値と前記補償トルクに基づいて、前記最終トルク目標値を演算する、
電動車両の制御方法。

【請求項 11】

請求項 1 に記載の電動車両の制御方法であって、

前記最終トルク目標値が、電動モータが出力し得るトルクを超えるとときに、前記トルクマージンを変更する、
電動車両の制御方法。

【請求項 12】

電動モータを駆動源とする電動車両の制御装置であって、

前記電動車両の車両情報に基づいて、前記電動モータが出力すべきトルクを表す基本トルク目標値を算出する基本トルク目標値算出部と、

前記電動モータの回転状態を表すパラメータである回転パラメータに基づいて、前記電動車両に作用する外乱によって生じる振動を補償する補償トルクを演算する補償トルク演算部と、

前記補償トルクに基づいて、前記電動モータが出力し得るトルクに対する可変のマージンであるトルクマージンを設定するトルクマージン設定部と、

前記トルクマージンに基づいて、前記基本トルク目標値を制限することにより、制限後トルク目標値を演算するトルク制限部と、

前記制限後トルク目標値と前記補償トルクに基づいて、最終トルク目標値を演算する最終トルク目標値演算部と、

前記最終トルク目標値にしたがって前記電動モータを制御する電動モータ制御部と、
を備える、電動車両の制御装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、電動車両の制御方法、及び、電動車両の制御装置に関する。

【背景技術】

【0002】

特許文献 1 は、全開加速時に、駆動系に生じるねじり振動を抑制する駆動系制振制御装置を開示している。この駆動系制振制御装置は、電動モータの回転数に応じて設定する上限トルクによって要求トルクを制限する構成となっているので、要求トルクが上限トルクに制限される全開加速時には、電動モータの回転数の振動によって上限トルクが振動し、その結果、駆動系にねじり振動が生じる。このため、特許文献 1 の駆動系制振制御装置は

10

20

30

40

50

、ローパスフィルタを用いて、電動モータの回転数が含むねじり振動の共振周波数成分を減衰させ、上限トルクの振動を抑制することにより、全開加速時に駆動系に生じるねじり振動が抑制されるように構成されている。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0003】

【特許文献1】特開2014-128088号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

アクセル操作等に応じた要求トルクに、車両駆動系に生じるねじり振動等、外乱によって生じる振動を抑制する補償トルクをフィードバック制御によって重畳することによって、ねじり振動等を抑制する電動車両が知られている。このような電動車両では、電動モータが出力し得るトルクに対して予め固定のトルクマージンを設定し、補償トルクを重畳した場合でも電動モータが出力し得るトルクを超えないように要求トルクを制限する場合がある。

【0005】

しかし、電動モータを最大トルクで使用する全開加速時や強回生制御時において、補償トルクがトルクマージンよりも大きいときには、電動モータが出力すべきトルクは、電動モータが出力し得るトルクを超え、電動モータの性能的な限界によって制限される。すなわち、トルクマージンを固定的に設定すると、トルクマージンを設定しているにもかかわらず、全開加速時や強回生制御時に、外乱によって生じる振動が十分に抑制されない場合がある。

【0006】

一方、あらゆる走行シーンにおいて車両駆動系に生じるねじり振動等を十分に抑制するために、トルクマージンを大きい値に設定すると、トルクマージンによって要求トルクが大幅に制限されるため、電動モータの性能を活かしきれない。例えば、車両駆動系のねじり振動等があまり生じない路面で全開加速をするときには、トルクマージンの設定によって、電動車両の最大加速性能が損なわれる。

【0007】

本発明は、電動モータの性能を活かしつつ、外乱によって生じる振動を的確に抑制することができる電動車両の制御方法、及び、電動車両の制御装置を提供することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0008】

本発明のある態様は、電動モータを駆動源とする電動車両の制御方法である。この電動車両の制御方法では、電動車両の車両情報に基づいて、電動モータが出力すべきトルクを表す基本トルク目標値が算出され、電動モータの回転状態を表すパラメータである回転パラメータに基づいて、電動車両に作用する外乱によって生じる振動を補償する補償トルクが演算される。また、補償トルクに基づいて、電動モータが出力し得るトルクに対する可変のマージンであるトルクマージンが設定される。そして、トルクマージンに基づいて、基本トルク目標値を制限することにより、制限後トルク目標値が演算される。その後、制限後トルク目標値と補償トルクに基づいて、最終トルク目標値が演算され、最終トルク目標値にしたがって電動モータが駆動される。

【発明の効果】

【0009】

本発明によれば、電動モータの性能を活かしつつ、外乱によって生じる振動を的確に抑制することができる電動車両の制御方法、及び、電動車両の制御装置を提供することができる。

【図面の簡単な説明】

10

20

30

40

50

【 0 0 1 0 】

【図 1】図 1 は、電動車両の概略構成を示す説明図である。

【図 2】図 2 は、電動車両の制御態様を示すフローチャートである。

【図 3】図 3 は、アクセル開度 - トルクテーブルの一例である。

【図 4】図 4 は、電動車両の力学的モデルを示す説明図である。

【図 5】図 5 は、電動モータの回転数とトルクの関係を示すグラフである。

【図 6】図 6 は、基本トルク目標値制限処理のための構成を示すブロック図である。

【図 7】図 7 は、フィルタリング処理部の構成例を示すグラフである。

【図 8】図 8 は、制振制御処理のための構成を示すブロック図である。

【図 9】図 9 は、バンドパスフィルタの構成例を示すグラフである。

10

【図 10】図 10 は、整正路面を走行する場合におけるモータトルク等の推移を示すタイムチャートである。

【図 11】図 11 は、路面状態が変化した場合におけるモータトルク等の推移を示すタイムチャートである。

【図 12】図 12 は、路面状態が整正路面から不整路面に変化した場合におけるモータトルク等の推移を示すタイムチャートである。

【図 13】図 13 は、第 2 実施形態における基本トルク目標値制限処理のための構成を示すブロック図である。

【図 14】図 14 は、4WD の電動車両の概略構成を示す説明図である。

【発明を実施するための形態】

20

【 0 0 1 1 】

以下、図面を参照しながら本発明の実施形態について説明する。

【 0 0 1 2 】

[第 1 実施形態]

図 1 は、電動車両 100 の概略構成を示す説明図である。図 1 に示すように、電動車両 100 には、バッテリー 11、コントローラ 12、インバータ 13、電動モータ 14、減速機 15、回転センサ 16、電流センサ 17、ドライブシャフト 18、及び、駆動輪 19 を備える。なお、電動車両とは、電動モータを駆動源または制動源とする車両をいう。電動モータを車両の駆動源または制動源の全部または一部として使用する車両は、電動車両である。すなわち、電動車両には、電気自動車その他、ハイブリッド車両や燃料電池自動車等

30

も含まれる。本実施形態の電動車両 100 は、電動モータ 14 を駆動源及び制動源とするハイブリッド車両または電気自動車である。

【 0 0 1 3 】

バッテリー 11 は、電動モータ 14 に電力を供給する。また、バッテリー 11 は、電動モータ 14 から回生電力の供給を受けることによって充電できる。バッテリー 11 は、インバータ 13 を介して電動モータ 14 に接続する。

【 0 0 1 4 】

コントローラ 12 は、電動車両 100 の制御装置であり、電動車両 100 の車両情報に基づいて、電動車両 100 を構成する各部を制御する。例えば、コントローラ 12 は、車両情報に基づいて、PWM (Pulse Width Modulation signal) 信号を生成する。そして、コントローラ 12 は、PWM 信号にしたがって、インバータ 13 の駆動信号を生成する。これにより、コントローラ 12 は、電動モータ 4 の動作を電動モータ 14 の動作を制御する。

40

【 0 0 1 5 】

車両情報は、電動車両 100 を構成する各部の動作状態または制御状態を示すパラメータである。例えば、電動車両 100 の車速 V [km/h]、前後方向の加速度 A_c [m/s²]、アクセル開度 (アクセルの操作量) [%]、ブレーキの操作量 [%]、電動モータ 4 の回転子位相 [rad]、電動モータ 4 の三相交流電流 i_u, i_v, i_w [A]、及び、バッテリー 11 の直流電圧 V_{dc} [V] (図示しない) 等は、電動車両 100 の車両情報である。コントローラ 12 は、回転センサ 16 や電流センサ 17 等のセンサやその

50

他図示しない計測器等からの入力により、これらの車両情報を適宜に取得する。

【0016】

また、コントローラ12は、演算により、その他の車両情報を取得する場合がある。本実施形態では、コントローラ12は、電動モータ4の回転子位相を用いて、電動モータ14の回転速度 ω_m [rad/s] (機械角速度) を演算する。さらに、コントローラ12は、回転速度 ω_m の単位を変換することにより、電動モータ14の回転数 N_m [rpm] を演算する。回転速度 ω_m 及び回転数 N_m 等は車両情報である。そして、回転子位相、回転速度 ω_m 、及び、回転数 N_m 等は、車両情報のうち、電動モータ14の回転状態を表すパラメータ (回転パラメータ) である。

【0017】

コントローラ12は、1または複数のコンピュータによって構成され、電動モータ4等の電動車両100の各部を、予め定める制御周期で制御するようにプログラムされている。コントローラ12が、電動車両100、または、電動車両100の各部を制御するために実行するプログラムは、電動車両100の制御プログラムである。電動車両100の制御プログラムは、例えば、メモリその他の記憶媒体に記憶される。また、電動車両100の制御プログラムは、電気通信回線等を介して、全部または一部が更新される場合がある。

【0018】

インバータ13は、コントローラ12から入力される駆動信号に応じて、スイッチング素子をオン/オフすることにより、バッテリー11から供給される直流電力を交流電力に変換し、電動モータ14に供給する。また、インバータ13は、回生制動力によって、電動モータ14が生じさせる交流電力を直流電力に変換し、バッテリー11に供給することにより、バッテリー11を充電する。

【0019】

電動モータ14は、例えば三相交流同期モータであり、インバータ13を介して供給される交流電力によって、アクセル開度等によって要求されたトルクを生じさせる。電動モータ14のトルクは、減速機15及びドライブシャフト18を介して駆動輪19に伝達され、電動車両100に駆動力を生じさせる。また、電動モータ14は、駆動輪19に連れ回されて回転するときに、回生制動力を発生し、電動車両100の運動エネルギーを電気エネルギーとして回収する。

【0020】

減速機15は、電動モータ14の回転速度 ω_m を減じてドライブシャフト18に伝達することにより、減速比に比例したトルクを生じさせる。

【0021】

回転センサ16は、電動モータ14の回転子位相を検出し、コントローラ12に入力する。回転センサ16は、例えば、レゾルバやエンコーダである。

【0022】

電流センサ17は、電動モータ14に流れる電流を検出し、コントローラ12に入力する。本実施形態では、電流センサ17は、三相交流電流 i_u , i_v , i_w をそれぞれ検出する。なお、電流センサ7は、三相交流電流 i_u , i_v , i_w のうち、任意の2相の電流を検出し、残りの1相の電流は演算によって求めてもよい。

【0023】

図2は、電動車両100の制御態様を示すフローチャートである。図2に示すように、コントローラ12は、入力処理、基本トルク目標値算出処理、基本トルク目標値制限処理、制振制御処理、電流目標値算出処理、及び、電流制御処理、を実行する。

【0024】

ステップS201の入力処理は、コントローラ12が、車両情報の入力を受け、必要に応じてステップS202以降の処理に用いるパラメータ (車両情報) を算出する処理である。すなわち、コントローラ12は、入力処理を行う入力処理部として機能する。本実施形態においては、コントローラ12は、電動モータ14の三相交流電流 i_u , i_v , i_w

10

20

30

40

50

、及び、バッテリー 11 の直流電圧 V_{dc} を取得する。また、コントローラ 12 は、アクセル開度及び回転子位相を取得し、これらを用いて、電動モータ 14 の回転速度 ω_m や回転数 N_m 、電動車両 100 の車速 V [km / h] 等を演算する。

【 0025 】

具体的には、コントローラ 12 は、回転子位相を時間微分することにより、電動モータ 14 の電気角速度 ω_e を演算する。その後、コントローラ 12 は、電気角速度 ω_e を、電動モータ 14 の極対数で除算することにより、回転速度 ω_m を演算する。さらに、コントローラ 12 は、回転速度 ω_m に単位変換係数 (60 / 2) を乗じることで、回転数 N_m を演算する。また、コントローラ 12 は、回転速度 ω_m を減速機 5 のファイナルギヤのギヤ比で除算することにより、駆動輪 19 の角速度 ω_w を演算する。そして、コントローラ 12 は、駆動輪 19 の角速度 ω_w に、駆動輪 19 の荷重半径 r [m] を乗算し、これに単位変換係数 (3600 / 1000) を乗算することにより、車速 V を算出する。

10

【 0026 】

なお、車速 V は、上記のように算出する代わりに、メータやブレーキコントローラ等の他のコントローラと通信することにより、直接に取得しても良い。また、駆動輪 19 に車輪速センサが設けられている場合には、コントローラ 12 は、その 1 または複数の車輪速センサの平均値等に基づいて、車速 V を取得することができる。この他、車速 V は、GPS (Global Positioning System) センサ等の出力を用いて算出することができる。また、車速 V は、前後加速度センサ等の出力を用いて推定することができる。

【 0027 】

ステップ S202 の基本トルク目標値算出処理は、電動モータ 14 が出力すべきトルクの基本的な目標値である基本トルク目標値 T_{m1}^* を算出する処理である。すなわち、コントローラ 12 は、基本トルク目標値算出処理を行う基本トルク目標値算出処理部として機能する。基本トルク目標値 T_{m1}^* は、運転者による電動車両 100 の操作に基づいて決定される。したがって、基本トルク目標値 T_{m1}^* は、電動モータ 14 (電動車両 100) に対する要求トルクである。本実施形態では、コントローラ 12 は、アクセル開度 - トルクテーブルを用いて、基本トルク目標値 T_{m1}^* を算出する。

20

【 0028 】

図 3 は、アクセル開度 - トルクテーブルの一例である。図 3 に示すように、アクセル開度 - トルクテーブルは、実験またはシミュレーション等に基づいて、電動モータ 14 の回転数 N_m 及びアクセル開度と、基本トルク目標値 T_{m1}^* と、を対応付けたテーブルである。コントローラ 12 は、このアクセル開度 - トルクテーブルを参照することにより、電動モータ 14 の回転数 N_m 及びアクセル開度に応じた基本トルク目標値 T_{m1}^* を算出する。

30

【 0029 】

ステップ S203 (図 2 参照) の基本トルク目標値制限処理は、コントローラ 12 が、基本トルク目標値 T_{m1}^* の上限値、下限値、または、これらの両方を制限する処理である。すなわち、コントローラ 12 は、基本トルク目標値 T_{m1}^* を制限する基本トルク目標値制限部 30 (図 6 参照) として機能する。

【 0030 】

具体的には、コントローラ 12 (基本トルク目標値制限部 30) は、電動モータ 14 が出力し得るトルクに対してトルクマージン T_{margin} を設定し、基本トルク目標値 T_{m1}^* を、電動モータ 14 が出力し得るトルクからトルクマージン T_{margin} を差し引いた範囲内に制限する。以下では、基本トルク目標値制限処理によって制限された基本トルク目標値 T_{m1}^* を、制限後トルク目標値 T_{m1-lim}^* という。

40

【 0031 】

電動モータ 14 が出力し得るトルクは、電動モータ 14 の特性であって、電動モータ 14 の回転数 N_m に応じて定まる。以下では、電動モータ 14 が力行制御されるときに、電動モータ 14 が出力し得るトルクの最大値 (上限値) を、最大力行トルク T_{maxP} という。最大力行トルク T_{maxP} は正值である。また、電動モータ 14 が回生制御されると

50

きに、電動モータ14が出力し得るトルクの最小値（下限値）を、最大回生トルク T_{maxR} という。最大回生トルク T_{maxR} は負値であり、電動モータ14が出力し得るトルクの最小値（下限値）を表す。

【0032】

電動モータ14が力行制御される場合、制限後トルク目標値 T_{m1-lim}^* は、最大力行トルク T_{maxP} からトルクマージン T_{margin} を減算した値（ $T_{maxP} - T_{margin}$ ）以下となるように制限される。電動モータ14が回生制御される場合、制限後トルク目標値 T_{m1-lim}^* は、最大回生トルク T_{maxR} にトルクマージン T_{margin} を加算した値（ $T_{maxR} + T_{margin}$ ）以上となるように制限される。そして、本実施形態では、トルクマージン T_{margin} は、固定値ではなく、可変値である。特に、トルクマージン T_{margin} は、ステップS204の制振制御処理において算出される補償トルク T_c に基づいて可変に設定される。コントローラ12が上記のようにトルクマージン T_{margin} を設定し、基本トルク目標値 T_{m1}^* を制限するため具体的構成、すなわち、基本トルク目標値制限部30の構成については、詳細を後述する。

10

【0033】

ステップS204の制振制御処理は、制限後トルク目標値 T_{m1-lim}^* を用いて、車両駆動系69（図8参照）に生じるねじり振動等を抑制する最終的なトルク目標値（以下、最終トルク目標値 T_{mf}^* という）を演算する処理である。すなわち、コントローラ12は、制振制御処理を行う制振制御部60（図8参照）として機能する。

【0034】

本実施形態の制振制御処理では、少なくとも、電動モータ14の回転状態を表す回転パラメータに基づいて、電動車両100に作用する外乱 d によって生じる振動が、電動モータ14が出力するトルク（以下、モータトルク T_m という）に対するフィードバック制御によって補償（低減または抑制）される。このフィードバック制御による補償で用いられるパラメータが補償トルク T_c であり、補償トルク T_c は、前述のとおり、トルクマージン T_{margin} の設定にも利用される。

20

【0035】

電動車両100に作用する外乱 d は、典型的には、車両駆動系69において、ドライブシャフト18等のねじり振動（以下、車両駆動系69のねじり振動という）を生じさせる。このため、本実施形態の制振制御処理では、車両駆動系69のねじり振動が補償される。また、電動車両100に作用する外乱 d は様々な要因によるものを含み得る。本実施形態では、外乱 d は、主に、路面の凹凸等、路面の状態またはその変化に起因する外乱であるものとする。したがって、例えば、路面に凹凸がある不整路面を走行するシーンにおいて外乱 d が電動車両100に作用し、実質的に凹凸を有しない整正路面を走行するシーンでは、電動車両100に作用する外乱 d は小さく、実質的に無視できる程度のものである。したがって、上記のフィードバック制御で用いる補償トルク T_c の値は、例えば、不整路面を走行するシーンでは大きく、整正路面を走行するシーンでは小さい。

30

【0036】

コントローラ12が制振制御処理を行うための具体的構成、すなわち、制振制御部60の構成については、詳細を後述する。

40

【0037】

ステップS205の電流目標値算出処理は、コントローラ12が、電動モータ14のd軸電流 i_d 及びq軸電流 i_q の目標値であるd軸電流目標値 i_d^* 及びq軸電流目標値 i_q^* （図示しない）を算出する処理である。具体的には、最終トルク目標値 T_{mf}^* 、回転速度 ω_m 、及び、バッテリー11の直流電圧 V_{dc} に基づいて、d軸電流目標値 i_d^* 及びq軸電流目標値 i_q^* （以下、dq軸電流目標値 i_d^* 、 i_q^* という）を算出する。本実施形態では、コントローラ12は、最終トルク目標値 T_{mf}^* 、回転速度 ω_m 、及び、直流電圧 V_{dc} と、dq軸電流目標値 i_d^* 、 i_q^* と、を対応付けるdq軸電流テーブル（図示しない）を予め保有する。したがって、コントローラ12は、このdq軸電流テーブルを参照することにより、最終トルク目標値 T_{mf}^* 、回転速度 ω_m 、及び、直流

50

電圧 V_{dc} に応じた dq 軸電流目標値 i_d^* , i_q^* を演算する。

【0038】

ステップ S206 の電流制御処理は、コントローラ 12 が、インバータ 13 を用いて電動モータ 14 の電流を制御することにより、最終トルク目標値 T_{mf}^* に対応するモータトルク T_m を生じさせ、電動車両 100 を駆動（制動する場合を含む）する処理である。

【0039】

具体的には、コントローラ 12 は、まず、電動モータ 14 の三相交流電流 i_u , i_v , i_w と、回転子位相 と、に基づいて、 d 軸電流 i_d 及び q 軸電流 i_q （以下、 dq 軸電流 i_d , i_q という）を算出する。次に、コントローラ 12 は、 dq 軸電流目標値 i_d^* , i_q^* と dq 軸電流 i_d , i_q の偏差に基づいて、 d 軸電圧指令値 V_d 及び q 軸電圧指令値 V_q （以下、 dq 軸電圧指令値 V_d , V_q という）を算出する。さらに、コントローラ 12 は、 dq 軸電圧指令値 V_d , V_q と、回転子位相 と、に基づいて、三相電圧指令値 V_u , V_v , V_w を算出する。そして、コントローラ 12 は、三相電圧指令値 V_u , V_v , V_w 及び直流電圧 V_{dc} に基づいて、各相に入力する PWM 信号のデューティ比 t_u , t_v , t_w [%] を算出する。コントローラ 12 は、このように求めた PWM 信号にしたがってインバータ 13 のスイッチング素子を開閉することにより、電動モータ 14 の動作を制御する。その結果、コントローラ 12 は、最終トルク目標値 T_{mf}^* で指定された所望のモータトルク T_m で、電動車両 100 を駆動する。

10

【0040】

上記の電流目標値算出処理、電流制御処理、または、電流目標値算出処理及び電流制御処理を実行するコントローラ 12 は、最終トルク目標値 T_{mf}^* にしたがって電動モータ 14 を制御する電動モータ制御部を構成する。

20

【0041】

< 車両モデル >

以下、電動車両 100 の車両モデルについて説明する。制振制御処理は、この車両モデルにしたがって構成される。そして、制振制御処理で算出される補償トルク T_c を用いるので、基本トルク目標値制限処理もまた、間接的に、この車両モデルにしたがって構成される。

【0042】

図 4 は、電動車両 100 の力学的モデルを示す説明図である。図 4 に示す各パラメータは、下記のとおりである。

30

【0043】

J_m : 電動モータのイナーシャ

J_w : 駆動輪のイナーシャ

M : 車両の質量

K_D : 車輪駆動系のねじり剛性

K_t : 駆動輪と路面の摩擦に関する係数

N : オーバーオールギヤ比

r : 駆動輪の荷重半径

ω_m : 電動モータの回転速度

40

T_m : 電動モータのトルク

T_D : 駆動輪のトルク

F : 電動車両に加わる力

V : 電動車両の速度（車速）

ω_w : 駆動輪の角速度

【0044】

図 4 に示す電動車両 100 の力学的モデルから、以下の運動方程式（1）～（5）を導くことができる。なお、式（1）から式（3）における記号「*」は時間微分を表す。

【0045】

【数 1】

50

$$J_m \cdot \omega_m^* = T_m - TD/N \quad (1)$$

$$2J_w \cdot \omega_w^* = TD - r \cdot F \quad (2)$$

$$M \cdot V^* = F \quad (3)$$

$$TD = KD \int (\omega_m/N - \omega_w) dt \quad (4)$$

$$F = K_t(r \cdot \omega_w - V) \quad (5)$$

【 0 0 4 6 】

10

モータトルク T_m から回転速度 ω_m までの伝達特性 $G_p(s)$ は、上記の運動方程式 (1) ~ (5) から求めることができ、下記の式 (6) で表される。また、式 (6) における係数 $a_1 \sim a_4$ 及び係数 $b_0 \sim b_3$ は、式 (7) ~ (14) で表される。

【 0 0 4 7 】

【 数 2 】

$$G_p(s) = \frac{b_3 s^3 + b_2 s^2 + b_1 s + b_0}{s(a_4 s^3 + a_3 s^2 + a_2 s + a_1)} \quad (6)$$

$$a_4 = 2J_m \cdot J_w \cdot M \quad (7)$$

$$a_3 = J_m(2J_w + M \cdot r^2)K_t \quad (8)$$

$$a_2 = (J_m + 2J_w/N^2)M \cdot KD \quad (9)$$

$$a_1 = (J_m + 2J_w/N^2 + M \cdot r^2/N^2)KD \cdot K_t \quad (10)$$

$$b_3 = 2J_w \cdot M \quad (11)$$

$$b_2 = (2J_w + M \cdot r^2)K_t \quad (12)$$

$$b_1 = M \cdot KD \quad (13)$$

$$b_0 = KD \cdot K_t \quad (14)$$

20

30

【 0 0 4 8 】

上記式 (6) に示す伝達特性 $G_p(s)$ の極と零点を調べると、1つの極と1つの零点は極めて近い値を示す。これは、下記の式 (15) における β と α が極めて近い値を示すことを意味する。

【 0 0 4 9 】

【 数 3 】

$$G_p(s) = \frac{(s + \beta)(b_2' s^2 + b_1' s + b_0')}{s(s + \alpha)(a_3' s^2 + a_2' s + a_1')} \quad (15)$$

40

【 0 0 5 0 】

したがって、式 (15) において $\beta = \alpha$ と近似する極零相殺を行うことにより、下記の式 (16) のように、(2次)/(3次)形式の伝達特性 $G_p(s)$ を得ることができる。なお、伝達特性 $G_p(s)$ の減衰係数(図示しない)を「1」とすることにより、モータトルク T_m から回転速度 ω_m までの規範伝達特性 $G_m(s)$ が得られる。

【 0 0 5 1 】

【 数 4 】

50

$$G_p(s) = \frac{(b_2' s^2 + b_1' s + b_0')}{s(a_3' s^2 + a_2' s + a_1')} \quad (16)$$

【 0 0 5 2 】

また、式 (1 6) の分母において使用する係数 a_1 と係数 a_3 を用いて、固有振動角速度 ρ を下記の式 (1 7) で表すことができる。さらに、固有振動角速度 ρ は、下記の式 (1 8) によって共振周波数 (固有振動周波数) f_p に変換することができる。

【 0 0 5 3 】

【 数 5 】

$$\omega_p = (a_1'/a_3')^{1/2} \quad (17)$$

$$f_p = \omega_p/2\pi \quad (18)$$

10

【 0 0 5 4 】

< 基本トルク目標値制限処理 >

以下、コントローラ 1 2 が基本トルク目標値制限部 3 0 として実行する基本トルク目標値制限処理について詳述する。

【 0 0 5 5 】

図 5 は、電動モータ 1 4 の回転数 N_m とモータトルク T_m の関係を示すグラフである。図 5 に示すように、電動モータ 1 4 が出力し得るモータトルク T_m の範囲は、電動モータ 1 4 の特性により、回転数 N_m によって定まる。電動モータ 1 4 が出力し得るモータトルク T_m の最大値 (上限値) は、図 5 の第 1 象限及び第 2 象限に実線で示す最大力行トルク T_{maxP} である。また、電動モータ 1 4 が出力し得るモータトルク T_m の最小値 (下限値) は、図 5 の第 3 象限及び第 4 象限に実線で示す最大回生トルク T_{maxR} である。したがって、モータトルク T_m は、回転数 N_m に応じて、最大力行トルク T_{maxP} と最大回生トルク T_{maxR} で囲まれた範囲内で設定され得る。そして、電動モータ 1 4 が出力すべきモータトルク T_m がこの範囲を超えるとときには、実際に出力されるモータトルク T_m は、電動モータ 1 4 の性能的限界により、最大力行トルク T_{maxP} または最大回生トルク T_{maxR} に制限される。

20

30

【 0 0 5 6 】

電動車両 1 0 0 の制御において、電動モータ 1 4 が出力すべきモータトルク T_m 、すなわち、電動モータ 1 4 (電動車両 1 0 0) への要求トルクは、前述のとおり、原則として基本トルク目標値 T_{m1}^* によって表される。また、フィードバック制御による制振制御を行うので、この基本トルク目標値 T_{m1}^* には、後に、制振制御のための補償トルク T_c が重畳される。このとき、補償トルク T_c を重畳した基本トルク目標値 T_{m1}^* が、電動モータ 1 4 が性能的に出力し得る最大力行トルク T_{maxP} または最大回生トルク T_{maxR} を超える場合には、重畳した補償トルク T_c の全部または一部が実質的に無効化されるので、制振制御処理によって予定する制振効果の全部または一部が得られない。

【 0 0 5 7 】

したがって、電動モータ 1 4 の性能限界によって制限されずに、補償トルク T_c の重畳による制振効果を得るためには、補償トルク T_c を重畳した基本トルク目標値 T_{m1}^* が、最大力行トルク T_{maxP} または最大回生トルク T_{maxR} を超えないように、基本トルク目標値 T_{m1}^* を予め制限しておく必要がある。このため、コントローラ 1 2 (基本トルク目標値制限部 3 0) は、電動モータ 1 4 が性能的に出力し得る最大力行トルク T_{maxP} または最大回生トルク T_{maxR} に対し、トルクマージン T_{margin} を設定し、基本トルク目標値 T_{m1}^* を、図 5 において破線で示す範囲内の値をとる制限後トルク目標値 T_{m1-lim}^* に、予め制限する。以下では、制限後トルク目標値 T_{m1-lim}^* の最大値 (上限値)、すなわち最大力行トルク T_{maxP} からトルクマージン T_{margin} を減算した値を、基本トルク目標値制限処理において、上限トルク T_{UL} という。同様に

40

50

、制限後トルク目標値 T_{m1-lim}^* の最小値（下限値）、すなわち最大回生トルク T_{maxR} にトルクマージン T_{margin} を加算した値を、基本トルク目標値制限処理において、下限トルク T_{LL} という。また、上限トルク T_{UL} 及び下限トルク T_{LL} を、トルクリミットと総称する。

【0058】

図6は、基本トルク目標値制限処理のための構成を示すブロック図である。図6に示すように、基本トルク目標値制限部30は、回転数 N_m 、及び、補償トルク T_c に基づいて、基本トルク目標値 T_{m1} を制限することにより、制限後トルク目標値 T_{m1-lim}^* を算出する。

【0059】

基本トルク目標値制限部30は、最大出力トルク演算部31、トルクマージン設定部32、トルクリミット演算部33、及び、トルク制限部34を備える。

【0060】

最大出力トルク演算部31は、電動モータ14の回転数 N_m に基づいて、電動モータ14が出力し得る最大のモータトルク T_m を演算する。本実施形態では、最大出力トルク演算部31は、電動モータ14の回転数 N_m と、最大力行トルク T_{maxP} 及び最大回生トルク T_{maxR} と、を対応付けるテーブルを予め保有する。このため、最大出力トルク演算部31は、そのテーブルを参照することにより、電動モータ14の回転数 N_m に応じた最大力行トルク T_{maxP} 及び最大回生トルク T_{maxR} を演算する。

【0061】

トルクマージン設定部32は、補償トルク T_c （前値）に基づいて、トルクマージン T_{margin} を設定する。本実施形態では、トルクマージン設定部32は、絶対値演算部41、フィルタリング処理部42、オフセットトルク記憶部43、及び、補正部44を備え、これらを用いて、トルクマージン T_{margin} を演算する。

【0062】

絶対値演算部41は、補償トルク T_c の絶対値 $|T_c|$ を演算する。絶対値演算部41が演算する絶対値 $|T_c|$ は、予め設定された期間（例えば1制御周期）における補償トルク T_c の最大振幅を表す。すなわち、絶対値演算部41は、実質的に、補償トルク T_c の振幅を演算する振幅演算部である。

【0063】

フィルタリング処理部42は、補償トルク T_c の絶対値 $|T_c|$ に対し、特定の周波数成分を通過（特定の周波数成分以外の成分を低減）させるフィルタリング処理を行う。フィルタリング処理された補償トルク T_c の絶対値 $|T_c|$ （以下、フィルタリング処理後の補償トルク $|T_c|_{flt}$ という）は、トルクマージン T_{margin} の演算に使用される。本実施形態では、制振制御処理によって抑制する振動は、車両駆動系69におけるねじり振動であるから、フィルタリング処理部42が通過させる特定の周波数成分は、車両駆動系69におけるねじり振動の共振周波数成分を含む。すなわち、フィルタリング処理部42は、車両駆動系69におけるねじり振動の共振周波数成分を通過させ、その他の周波数成分の全部または一部を減衰させる。これにより、トルクマージン T_{margin} は、余分に確保されることなく、特に適切に設定される。

【0064】

図7は、フィルタリング処理部42の構成例を示すグラフである。図7に示すように、本実施形態のフィルタリング処理部42は、例えば、車両駆動系69におけるねじり振動の共振周波数 f_p をカットオフ周波数とするローパスフィルタ（LPF）によって構成される。したがって、フィルタリング処理部42は、共振周波数 f_p 及びそれ以下の周波数成分を通過させ、概ね共振周波数 f_p よりも大きい周波数成分を低減または除去する。なお、図7の横軸は対数スケールである。また、図7では、共振周波数 f_p は、少なくとも通過帯域に含まれていればよく、必ずしもカットオフ周波数と厳密に一致している必要はない。但し、図7に示すように、共振周波数 f_p をカットオフ周波数とする場合、トルクマージン T_{margin} は、特に適切に設定される。

10

20

30

40

50

【0065】

オフセットトルク記憶部43(図6参照)は、オフセットトルク T_{offset} を記憶する。オフセットトルク T_{offset} は、トルクマージン T_{margin} について、実験またはシミュレーション等によって予め定める基準値(固定値)である。本実施形態では、オフセットトルク T_{offset} は、トルクマージン T_{margin} の最小値(下限値)である。

【0066】

補正部44は、フィルタリング処理後の補償トルク $|T_c|_{flt}$ を用いて、基準値であるオフセットトルク T_{offset} を補正することにより、トルクマージン T_{margin} を演算する。本実施形態では、補正部44は、オフセットトルク T_{offset} に、フィルタリング処理後の補償トルク $|T_c|_{flt}$ を加算することにより、トルクマージン T_{margin} を演算する。これにより、トルクマージン T_{margin} は補償トルク T_c に応じて可変に設定される。また、補償トルク T_c (特にその振幅)が大きくなると、トルクマージン T_{margin} はそれに応じて大きくなり、補償トルク T_c が小さいほど、トルクマージン T_{margin} は小さくなる。

10

【0067】

トルクリミット演算部33は、電動モータ14が出力し得る最大のモータトルク T_m と、トルクマージン T_{margin} と、を用いて、基本トルク目標値 T_{m1}^* に課すべきトルクリミットを演算する。本実施形態では、トルクリミット演算部33は、上限トルク演算部46及び下限トルク演算部47を備え、最大力行トルク T_{maxp} 及び最大回生トルク T_{maxR} と、トルクマージン T_{margin} と、に基づいて、上限トルク T_{UL} 及び下限トルク T_{LL} を演算する。

20

【0068】

上限トルク演算部46は、減算器によって構成される。すなわち、上限トルク演算部46は、最大力行トルク T_{maxp} からトルクマージン T_{margin} を減算することにより、上限トルク T_{UL} を演算する。

【0069】

下限トルク演算部47は、加算器によって構成される。すなわち、下限トルク演算部47は、最大回生トルク T_{maxR} にトルクマージン T_{margin} を加算することにより、下限トルク T_{LL} を演算する。

30

【0070】

トルク制限部34は、トルクリミット演算部33が演算するトルクリミットによって、基本トルク目標値 T_{m1}^* を制限することにより、制限後トルク目標値 T_{m1-lim}^* を演算する。続く制振制御処理は、この制限後トルク目標値 T_{m1-lim}^* に基づいて行われる。本実施形態では、トルク制限部34は、基本トルク目標値 T_{m1}^* を、上限トルク T_{UL} 及び下限トルク T_{LL} の範囲内に制限する。したがって、アクセルを全開にして加速するとき(以下、全開加速という)等、電動モータ14で最大限の力行トルクを生じさせるときには、制限後トルク目標値 T_{m1-lim}^* は、上限トルク T_{UL} となる。また、電動モータ14で最大限の回生トルクを生じさせる(以下、強回生という)には、制限後トルク目標値 T_{m1-lim}^* は、下限トルク T_{LL} となる。

40

【0071】

<制振制御処理>

以下、コントローラ12が制振制御部60として実行する制振制御処理について詳述する。

【0072】

図8は、制振制御処理のための構成を示すブロック図である。図8に示すように、制振制御部60は、例えば、フィードフォワード補償部61、フィードバック補償部62、最終トルク目標値演算部63、によって構成される。但し、制振制御部60は、少なくともフィードバック補償部62を含むものであれば足りる。

【0073】

50

フィードフォワード補償部 6 1 は、制限後トルク目標値 T_{m1-lim}^* に基づいて、電動車両 1 0 0 に生じる振動をフィードフォワード制御によって予め補償するためのトルク目標値（以下、FF補償後トルク目標値 T_{m2}^* という）を演算する。本実施形態では、フィードフォワード補償部 6 1 は、モータトルク T_m から回転速度 ω_m までの伝達特性 $G_p(s)$ を用いた制振フィルタによって構成される。すなわち、フィードフォワード補償部 6 1 は、制限後トルク目標値 T_{m1-lim}^* をフィルタリング処理することにより、FF補償後トルク目標値 T_{m2}^* を演算する。本実施形態のフィードフォワード補償部 6 1 を構成する制振フィルタは、具体的には、規範伝達特性 $G_m(s)$ と、伝達特性 $G_p(s)$ の逆特性 $1/G_p(s)$ と、によって構成され、 $G_m(s)/G_p(s)$ で表される。

10

【0074】

フィードバック補償部 6 2 は、最終トルク目標値 T_{mf}^* と電動モータ 1 4 の回転速度 ω_m に基づいて、電動車両 1 0 0 に生じる振動をフィードバック制御によって補償するためにトルク目標値に対して重畳する補償トルク T_c を演算する。本実施形態のフィードバック補償部 6 2 は、外乱推定フィルタ 6 4 と補償トルク演算部 6 5 を含む。

【0075】

外乱推定フィルタ 6 4 は、最終トルク目標値 T_{mf}^* と電動モータ 1 4 の回転速度 ω_m に基づいて、電動車両 1 0 0 に作用する外乱 d の推定値（以下、外乱推定値 d^{\wedge} という）を演算する。外乱推定フィルタ 6 4 は、例えば、回転速度推定部 6 6、回転速度偏差演算部 6 7、及び、外乱推定部 6 8 によって構成される。

20

【0076】

回転速度推定部 6 6 は、電動車両 1 0 0 の車両モデルに基づき、最終トルク目標値 T_{mf}^* を用いて、回転速度 ω_m の推定値である回転速度推定値 ω_m^{\wedge} を演算する。本実施形態では、回転速度推定部 6 6 は、伝達特性 $G_p(s)$ によって構成されるフィルタで、最終トルク目標値 T_{mf}^* をフィルタリング処理することにより、回転速度推定値 ω_m^{\wedge} を演算する。

【0077】

回転速度偏差演算部 6 7 は、回転速度推定値 ω_m^{\wedge} と、電動モータ 1 4 の実際の回転速度 ω_m と、の偏差 $\Delta\omega_m$ を演算する。本実施形態では、回転速度偏差演算部 6 7 は、回転速度推定値 ω_m^{\wedge} から実際の回転速度 ω_m を減算することにより、これらの偏差 $\Delta\omega_m$ を演算する。

30

【0078】

外乱推定部 6 8 は、偏差 $\Delta\omega_m$ に基づいて外乱推定値 d^{\wedge} を演算する。本実施形態では、外乱推定部 6 8 は、バンドパスフィルタ $H(s)$ と、伝達特性 $G_p(s)$ の逆特性 $1/G_p(s)$ と、によって構成されるフィルタであり、 $H(s)/G_p(s)$ で表される。

【0079】

図 9 は、バンドパスフィルタ $H(s)$ の構成例を示すグラフである。図 9 の横軸は、対数スケールである。図 9 に示すように、バンドパスフィルタ $H(s)$ は、車両駆動系 6 9 におけるねじり振動の共振周波数 f_p を通過させる。このため、外乱推定値 d^{\wedge} は、実質的に、車両駆動系 6 9 にねじり振動を生じさせる外乱 d の推定値であり、この外乱推定値 d^{\wedge} を用いて演算される補償トルク T_c は、実質的に、車両駆動系 6 9 のねじり振動を補償する。

40

【0080】

なお、バンドパスフィルタ $H(s)$ を 1 次のハイパスフィルタと 1 次のローパスフィルタで構成する場合、バンドパスフィルタ $H(s)$ は下記の式 (19) で表すことができる。また、式 (19) で用いるハイパスフィルタの時定数 τ_H 及びカットオフ周波数 f_{Hc} 、並びに、ローパスフィルタの時定数 τ_L 及びカットオフ周波数 f_{Lc} は、車輪駆動系におけるねじり振動の共振周波数 f_p と予め定める所定係数 k を用いて、下記の式 (20) から式 (23) で表される。

【0081】

50

【数 6】

$$H_2(s) = \frac{\tau_H s}{(1 + \tau_H s)(1 + \tau_L s)} \quad (19)$$

$$\tau_L = \frac{1}{2\pi f_{HC}} \quad (20)$$

$$f_{HC} = k \cdot f_p \quad (21)$$

$$\tau_H = \frac{1}{2\pi f_{LC}} \quad (22)$$

$$f_{LC} = \frac{f_p}{k} \quad (23)$$

10

【0082】

補償トルク演算部 65 (図 8 参照) は、外乱推定値 d^{\wedge} に基づいて、補償トルク T_c を演算する。本実施形態では、補償トルク演算部 65 は、外乱推定値 d^{\wedge} に、実験またはシミュレーション等によって予め定めた係数 K_{FB} (ゲイン) を乗算することにより、外乱 d によって生じる振動を抑制し、または、打ち消す補償トルク T_c を演算する。

【0083】

最終トルク目標値演算部 63 は、FF 補償後トルク目標値 T_{m2}^* に補償トルク T_c を加算 (重畳) することにより、最終トルク目標値 T_{mf}^* を演算する。これにより、フィードフォワード補償及びフィードバック補償によって、車両駆動系 69 に生じるねじり振動等を抑制する最終トルク目標値 T_{mf}^* が演算される。

20

【0084】

そして、コントローラ 12 が最終トルク目標値 T_{mf}^* を出力するように電動モータ 14 を制御する。これにより、電動モータ 14 は最終トルク目標値 T_{mf}^* を出力するための回転速度 ω_m で回転し、最終トルク目標値 T_{mf}^* に応じたモータトルク T_m (T_{mf}^*) が電動モータ 14 から車両駆動系 69 に入力される。このとき、車両駆動系 69 には外乱 d が作用することがあるが、最終トルク目標値 T_{mf}^* が上記のように外乱 d によって生じる振動を抑制するように設定されているので、外乱 d による電動車両 100 の振動 (特に車両駆動系 69 のねじり振動) が抑制される。なお、図 8 では、車両駆動系 69 の実際の伝達特性を便宜的に $G_p'(s)$ で表している。

30

【0085】

< 作用 >

以下では、比較例の電動車両と対比しながら、上記のように構成される本実施形態に係る電動車両 100 の作用を説明する。

【0086】

本実施形態に係る電動車両 100 (以下、実施例という) では、前述のとおり、補償トルク T_c に応じた可変のトルクマージン T_{margin} が設定される。これに対し、比較例の電動車両 (以下、単に比較例という) では、トルクマージン T_{margin} が一定 (固定) であり、発生し得る補償トルク T_c に対して十分に大きなトルクマージン T_{margin} が固定的に確保されてるものとする。トルクマージン T_{margin} の設定以外の要素については、比較例の電動車両は、本実施形態の電動車両 100 と同様である。例えば、比較例の電動車両は、本実施形態の電動車両と同じ制振制御処理が行われる。

40

【0087】

図 10 は、整正路面を走行する場合におけるモータトルク T_m 等の推移を示すタイムチャートである。より詳細には、図 10 は、整正路面において、ある時刻 t_1 にステップ状に全開加速が開始される走行シーンにおけるモータトルク T_m 等の推移を示すものである。ここでは、全開加速の開始後まもなく、要求トルクである基本トルク目標値 T_{m1}^* はトルクリミットである上限トルク T_{UL} に達して制限され、遅くとも時刻 t_2 までには、

50

制限後トルク目標値 T_{m1-lim}^* は上限トルク T_{UL} に等しくなっているものとする。
 なお、図 10 に示す各タイムチャートの横軸は、時間 [s] である。この例では、整正路面は、電動車両 100 に対して実質的に外乱 d を生じさせない路面をいうものとする。

【 0088 】

図 10 (A) から図 10 (D) は、比較例におけるモータトルク T_m 等の推移を示し、
 図 10 (E) から図 10 (H) は、実施例におけるモータトルク T_m 等の推移を示す。具体的には、
 図 10 (A) は、比較例におけるモータトルク T_m の推移を示す。図 10 (B) は、比較例における前後加速度 A_c の推移を示す。図 10 (C) は、比較例における回転数 N_m の推移を示す。図 10 (D) は、比較例における補償トルク T_c の推移を示す。
 一方、図 10 (E) は、実施例におけるモータトルク T_m の推移を示す。図 10 (F) は、
 実施例における前後加速度 A_c の推移を示す。図 10 (G) は、実施例における回転数 N_m の推移を示す。
 図 10 (H) は、実施例における補償トルク T_c の推移を示す。

10

【 0089 】

なお、電動モータ 14 が出力するモータトルク T_m は、最終トルク目標値 T_{mf}^* と等しいので、
 図 10 (A) 及び図 10 (E) では、電動モータ 14 が出力するモータトルク T_m の推移として、
 最終トルク目標値 T_{mf}^* の推移を実線で示している。また、図 10 (A) 及び図 10 (E) では、
 制限後トルク目標値 T_{m1-lim}^* の推移を破線で示している。

【 0090 】

図 10 (A) 及び図 10 (E) に示すように、時刻 t_1 に全開加速が開始されると、
 比較例及び実施例のいずれにおいても、要求トルクである基本トルク目標値 T_{m1} は、
 まもなく上限トルク T_{UL} に到達するので、制限後トルク目標値 T_{m1-lim}^* は上限トルク T_{UL} となる。

20

【 0091 】

一方、この例では走行路面は整正路面であるため、路面は電動車両 100 (車両駆動系 69)
 に対して実質的に外乱 d を生じさせない。このため、図 10 (D) 及び図 10 (H) に示すように、
 全開加速の開始前後において、補償トルク T_c は実質的にゼロである。したがって、
 実施例において、設定されるトルクマージン $T_{margin} (= T_{maxP} - T_{UL})$ は、
 基準値であるオフセットトルク T_{offset} となるので、取り得るトルクマージン T_{margin}
 の中で最小の状態となる。

30

【 0092 】

また、図 10 (A) 及び図 10 (E) に示すように、比較例と実施例でそれぞれ設定される
 トルクマージン T_{margin} の大きさを基準とすると、実施例は比較例に対してトルクマージン
 T_{margin} が低減される。その結果、実施例における制限後トルク目標値 T_{m1-lim}^* は、
 比較例における制限後トルク目標値 T_{m1-lim}^* よりも高くなる。そして、補償トルク T_c が
 実質的にゼロである状況であるため、実施例における最終トルク目標値 T_{mf}^* は、
 比較例における最終トルク目標値 T_{mf}^* よりも高い。すなわち、実施例は、
 比較例よりも、最終トルク目標値 T_{mf}^* を、電動モータ 14 の性能限界である最大力行
 トルク T_{maxP} に漸近させることができる。

【 0093 】

これにより、図 10 (C) 及び図 10 (G) に示すように、電動モータ 14 は、実施例
 では、比較例に対して、回転数 N_m が高くなるように制御される。そして、図 10 (B)
 及び図 10 (F) に示すように、実施例における前後加速度 A_c の到達点は、比較例に
 対して前後加速度 A_c の到達点よりも高くなる。

40

【 0094 】

すなわち、実施例は、トルクマージン T_{margin} を補償トルク T_c に応じて設定すること
 によって、固定的なトルクマージン T_{margin} を設定する比較例よりも、電動モータ 14
 の性能が活かされる。これは、全開加速という運転者の要求に、より適うものである。

【 0095 】

50

図 11 は、路面状態が変化した場合におけるモータトルク T_m 等の推移を示すタイムチャートである。より詳細には、図 11 は、時刻 t_1 において全開加速を開始した後、時刻 t_5 において、走行路面が、相対的に駆動力が伝達されやすい第 1 の整正路面から、相対的に駆動力が伝達されにくい第 2 の整正路面に、変化した場合のモータトルク T_m 等の推移を示す。図 11 (A) から図 11 (D) は比較例のモータトルク T_m 等の推移を示し、図 11 (E) から図 11 (H) は実施例のモータトルク T_m 等の推移を示す。また、図 11 (A) から図 11 (H) に示す各パラメータ等は、前述の図 10 と同様である。

【0096】

図 11 (A) 及び図 11 (E) に示すように、時刻 t_1 に全開加速が開始されると、比較例及び実施例のいずれにおいても、要求トルクである基本トルク目標値 T_{m1} は、まもなく上限トルク T_{UL} に到達するので、制限後トルク目標値 T_{m1-lim}^* は上限トルク T_{UL} となる。これは図 10 の走行シーンと同様である。

10

【0097】

一方、この例では、走行路面は整正路面であるものの、時刻 t_5 において路面状態が変化することによって、一時的な外乱 d (インパルス状の外乱) が生じる。このため、図 11 (D) 及び図 11 (H) に示すように、時刻 t_5 において路面状態が変化したときに、補償トルク T_c が一時的に変動する。このため、図 11 (A) 及び図 11 (E) に示すように、比較例及び実施例のいずれにおいても、制振制御処理によって制限後トルク目標値 T_{m1-lim}^* に補償トルク T_c が重畳されることにより、最終トルク目標値 T_{mf}^* は制限後トルク目標値 T_{m1-lim}^* を超えて変動する。

20

【0098】

このとき、比較例では、トルクマージン $T_{margin} (= T_{maxP} - T_{UL})$ は、固定的に、かつ、十分な大きさを確保されているので、発生した補償トルク T_c は、確保されたトルクマージン T_{margin} の範囲内である。したがって、図 11 (A) に示すように、比較例では、補償トルク T_c の重畳によって最終トルク目標値 T_{mf}^* が変動したときでも、この変動によって、最終トルク目標値 T_{mf}^* が、電動モータ 14 の性能的限界である最大力行トルク T_{maxP} を超えることはない。すなわち、電動モータ 14 の性能的限界である最大力行トルク T_{maxP} によって、重畳した補償トルク T_c の全部または一部が制限 (カット) されることがないので、比較例では、路面状態の変化によって生じ得る車両駆動系 69 のねじり振動が抑えられる。

30

【0099】

これに対し、実施例では、トルクマージン T_{margin} が補償トルク T_c に応じて可変に設定されるので、時刻 t_5 において補償トルク T_c が生じると、これに応じて、トルクマージン T_{margin} が増加する。このため、図 11 (E) に示すように、実施例では、時刻 t_5 において、制限後トルク目標値 T_{m1-lim}^* (= 上限トルク T_{UL}) がステップ的に急峻に低下する。その結果、実質的に時刻 t_5 において、実施例における最終トルク目標値 T_{mf}^* は、比較例の最終トルク目標値 T_{mf}^* と同程度にまで、急峻に低下する。その結果、実施例においても、補償トルク T_c の重畳によって最終トルク目標値 T_{mf}^* が変動するが、その変動によっても、最終トルク目標値 T_{mf}^* は、電動モータ 14 の性能的限界である最大力行トルク T_{maxP} を超えない範囲に抑えられる。したがって、実施例においても、重畳した補償トルク T_c の全部または一部が制限されることがないので、路面状態の変化によって生じ得る車両駆動系 69 のねじり振動が抑えられる。

40

【0100】

すなわち、図 11 (F) に示すように、実施例は、全開加速の開始後、路面状態の変化によって外乱 d が生じる時刻 t_5 まで、比較例よりも電動モータ 14 の性能を活かし、比較例よりも全開加速の要求に合う高加速を実現する。その上で、実施例は、時刻 t_5 において路面状態の変化 (外乱 d) が突発的に生じた場合でも、比較例と同様に、最終トルク目標値 T_{mf}^* を、電動モータ 14 の性能的限界である最大力行トルク T_{maxP} を超えない範囲に抑え、少なくとも比較例と同程度に、路面状態の変化によって生じ得る車両駆動系 69 のねじり振動を抑えることができる。したがって、実施例では、比較例よりも電

50

動モータ 14 の性能を活かしつつ、かつ、制振制御処理による制振効果が得られる。

【0101】

また、路面状態が変化した時刻 t_5 以降においては、比較例では、図 11 (B) に示すように、路面状態の変化に応じて、時刻 t_5 から前後加速度 A_c が一定程度低下する。これは、路面状態等に関わらず、一定のトルクマージン T_{margin} が確保されているため、図 11 (A) に示すように、比較例の制限後トルク目標値 T_{m1-lim}^* は全開加速中においてほぼ一定となっているからである。

【0102】

これに対し、実施例では、時刻 t_5 に生じた一時的な補償トルク T_c が収束すると、図 11 (F) に示すように、前後加速度 A_c は徐々に回復（上昇）する。これは、トルクマージン T_{margin} が補償トルク T_c によって可変となっているからである。具体的には、図 11 (E) に示すように、補償トルク T_c の収束に応じてトルクマージン T_{margin} が漸減するので、実施例では、制限後トルク目標値 T_{m1-lim}^* が徐々に回復する。このため、実施例では、前後加速度 A_c が徐々に回復する。

【0103】

したがって、時刻 t_5 以降について実施例と比較例を比べると、実施例では、電動モータ 14 の性能を活かして、比較例よりも加速し得る利点がある。

【0104】

なお、実施例において、補償トルク T_c の収束以降、制限後トルク目標値 T_{m1-lim}^* （ひいては前後加速度 A_c ）が、急峻に回復するのではなく、徐々に回復しているが、これは、ローパスフィルタで構成されたフィルタリング処理部 42 の作用によるものである。すなわち、フィルタリング処理部 42 が設けられていることによって、トルクマージン T_{margin} は、補償トルク T_c の収束に遅れて徐々に、オフセットトルク T_{offset} に収束する。このため、実施例においては、補償トルク T_c の収束以降、制限後トルク目標値 T_{m1-lim}^* （ひいては前後加速度 A_c ）が徐々に回復する。

【0105】

図 12 は、路面状態が整正路面から不整路面に変化した場合におけるモータトルク T_m 等の推移を示すタイムチャートである。より詳細には、図 12 は、時刻 t_1 において全開加速を開始した後、時刻 t_5 において、走行路面が、整正路面から、定常的な外乱 d （ここでは周期的な外乱 d ）を生じさせる不整路面に、変化した場合のモータトルク T_m 等の推移を示す。図 12 (A) から図 12 (D) は比較例のモータトルク T_m 等の推移を示し、図 12 (E) から図 12 (H) は実施例のモータトルク T_m 等の推移を示す。また、図 12 (A) から図 12 (H) に示す各パラメータ等は、前述の図 10 及び図 11 と同様である。

【0106】

図 12 (A) 及び図 12 (E) に示すように、時刻 t_1 に全開加速が開始されると、比較例及び実施例のいずれにおいても、要求トルクである基本トルク目標値 T_{m1} は、まもなく上限トルク T_{UL} に到達するので、制限後トルク目標値 T_{m1-lim}^* は上限トルク T_{UL} となる。これは図 10 及び図 11 の走行シーンと同様である。

【0107】

一方、この例では、時刻 t_5 において走行路面が整正路面から不整路面に変化することによって、時刻 t_5 以降、周期的な外乱 d が生じる。このため、図 12 (D) 及び図 12 (H) に示すように、走行路面が不整路面となった時刻 t_5 以降において、周期的な補償トルク T_c が生じる。このため、図 12 (A) 及び図 12 (E) に示すように、比較例及び実施例のいずれにおいても、制振制御処理によって制限後トルク目標値 T_{m1-lim}^* に補償トルク T_c が重畳されることにより、最終トルク目標値 T_{mf}^* は、制限後トルク目標値 T_{m1-lim}^* を中心に、周期的に変動する。

【0108】

このとき、比較例では、トルクマージン $T_{margin} (= T_{maxP} - T_{UL})$ は、固定的に、かつ、十分な大きさを確保されているので、発生した補償トルク T_c の振幅は、

確保されたトルクマージン T_{margin} の範囲内である。したがって、図 12 (A) に示すように、比較例では、補償トルク T_c の重畳によって最終トルク目標値 T_{mf}^* が周期的に変動したときでも、この周期的変動によって、最終トルク目標値 T_{mf}^* が、電動モータ 14 の性能的限界である最大力行トルク T_{maxP} を超えることはない。すなわち、電動モータ 14 の性能的限界である最大力行トルク T_{maxP} によって、重畳した補償トルク T_c の全部または一部が制限 (カット) されることがないので、比較例では、路面状態の変化によって生じ得る車両駆動系 69 のねじり振動が抑えられる。

【0109】

一方、実施例においては、トルクマージン T_{margin} が補償トルク T_c に応じて可変に設定されるので、補償トルク T_c が振動的に変化すると、その振幅に応じて、トルクマージン T_{margin} が増加する。このため、図 12 (E) に示すように、実施例では、時刻 t_5 において、制限後トルク目標値 T_{m1-lim}^* (= 上限トルク T_{UL}) がステップ的に急峻に低下する。その結果、実質的に時刻 t_5 において、実施例における最終トルク目標値 T_{mf}^* は、比較例の最終トルク目標値 T_{mf}^* と同程度にまで、急峻に低下する。その結果、実施例においても、補償トルク T_c の重畳によって最終トルク目標値 T_{mf}^* が周期的に変動するが、その周期的変動によっても、最終トルク目標値 T_{mf}^* は、電動モータ 14 の性能的限界である最大力行トルク T_{maxP} を超えない範囲に抑えられる。したがって、実施例においても、重畳した補償トルク T_c の全部または一部が制限されることがないので、路面状態の変化によって生じ得る車両駆動系 69 のねじり振動が抑えられる。

【0110】

すなわち、図 12 (F) に示すように、実施例は、全開加速の開始後、路面状態の変化によって外乱 d が生じる時刻 t_5 まで、比較例よりも電動モータ 14 の性能を活かし、比較例よりも全開加速の要求に適う高加速を実現する。その上で、実施例は、時刻 t_5 において路面状態の変化 (外乱 d) が生じた場合でも、比較例と同様に、最終トルク目標値 T_{mf}^* を、電動モータ 14 の性能的限界である最大力行トルク T_{maxP} を超えない範囲に抑え、少なくとも比較例と同程度に、路面状態の変化によって生じ得る車両駆動系 69 のねじり振動を抑えることができる。したがって、実施例では、比較例よりも電動モータ 14 の性能を活かしつつ、かつ、制振制御処理による制振効果が得られる。

【0111】

なお、上記図 10 から図 12 においては、全開加速をする走行シーンを例に挙げたが、強回生を行う走行シーンについても同様である。すなわち、本実施形態の電動車両 100 は、要求トルクである基本トルク目標値 T_{m1} が上限トルク T_{UL} または下限トルク T_{LL} によって制限される走行シーンにおいて、電動モータ 14 の性能を活かしつつ、かつ、制振制御処理による制振効果を得ることができる。

【0112】

[第 2 実施形態]

上記第 1 実施形態では、基本トルク目標値制限部 30 が含むトルクマージン設定部 32 が、絶対値演算部 41、フィルタリング処理部 42、オフセットトルク記憶部 43、及び、補正部 44 によって構成される例を示したが、これに限らない。第 1 実施形態のトルクマージン設定部 32 とは異なる構成により、補償トルク T_c に応じたトルクマージン T_{margin} を設定することができる。以下では、第 2 実施形態として、第 1 実施形態とは異なるトルクマージン設定部 32 の構成例を説明する。トルクマージン設定部 32 以外の構成については、第 1 実施形態と同様である。

【0113】

図 13 は、第 2 実施形態における基本トルク目標値制限処理のための構成を示すブロック図である。図 13 に示すように、本実施形態では、トルクマージン設定部 32 は、絶対値演算部 201、第 1 オフセットトルク記憶部 202、第 2 オフセットトルク記憶部 203、オフセットトルク選択部 204、フィルタリング処理部 205、及び、トルクマージン選択部 206 によって構成される。

【0114】

絶対値演算部201は、補償トルク T_c の絶対値 $|T_c|$ を演算する。絶対値演算部201が演算する絶対値 $|T_c|$ は、予め設定された期間（例えば1制御周期）における補償トルク T_c の最大振幅を表す。すなわち、絶対値演算部201は、実質的に、補償トルク T_c の振幅を演算する振幅演算部である。したがって、絶対値演算部201は、第1実施形態の絶対値演算部41と同様の構成である。但し、第1実施形態においては補償トルク T_c の絶対値 $|T_c|$ がそのままトルクマージン T_{margin} に寄与するが、本実施形態では、補償トルク T_c の絶対値 $|T_c|$ は、オフセットトルク選択部204に入力される。そして、補償トルク T_c の絶対値 $|T_c|$ は、トルクマージン T_{margin} に寄与する第1オフセットトルク T_{o1} または第2オフセットトルク T_{o2} の選択に用いられる。

10

【0115】

第1オフセットトルク記憶部202は、第1オフセットトルク T_{o1} を記憶する。また、第2オフセットトルク記憶部203は、第2オフセットトルク T_{o2} を記憶する。第1オフセットトルク T_{o1} 及び第2オフセットトルク T_{o2} は、いずれも、トルクマージン T_{margin} について、実験またはシミュレーション等によって予め定める基準値（固定値）である。本実施形態では、第1オフセットトルク T_{o1} は、第2オフセットトルク T_{o2} よりも大きい値に設定される。したがって、第1オフセットトルク T_{o1} は、不整路面等、外乱 d 及びそれによる振動を生じさせやすい路面を走行するシーンにおいて発生し得る補償トルク T_c の程度を表す。また、第2オフセットトルク T_{o2} は、整路面等、相対的に外乱 d 及びそれによる振動を生じさせ難い路面を走行するシーンにおいて発生し得る補償トルク T_c の程度を表す。

20

【0116】

オフセットトルク選択部204は、補償トルク T_c の絶対値 $|T_c|$ に基づいて、第1オフセットトルク T_{o1} または第2オフセットトルク T_{o2} のいずれかを選択的に出力する。具体的には、オフセットトルク選択部204は、補償トルク T_c の絶対値 $|T_c|$ を、図示しない予め定める所定値（閾値）と比較する。そして、補償トルク T_c の絶対値 $|T_c|$ が所定値より大きいときに、電動車両100が走行する路面が外乱 d 及びそれによる振動を生じさせやすい走行シーンであると判定し、トルクマージン T_{margin} の演算に用いるオフセットトルクとして、第1オフセットトルク T_{o1} を選択する。第1オフセットトルク T_{o1} が選択されると、第2オフセットトルク T_{o2} が選択された場合と比較して、トルクマージン T_{margin} は大きくなる。一方、補償トルク T_c の絶対値 $|T_c|$ が所定値以下であるときに、電動車両100が走行する路面が外乱 d 及びそれによる振動を生じさせにくい走行シーンであると判定し、トルクマージン T_{margin} の演算に用いるオフセットトルクとして、第2オフセットトルク T_{o2} を選択する。第2オフセットトルク T_{o2} が選択されると、第1オフセットトルク T_{o1} が選択された場合と比較して、トルクマージン T_{margin} は小さくなる。オフセットトルク選択部204が選択したオフセットトルクは、フィルタリング処理部205及びトルクマージン選択部206に出力する。

30

【0117】

フィルタリング処理部205は、オフセットトルク選択部204によって選択されたオフセットトルクに対して、特定の周波数成分を通過（特定の周波数成分以外の成分を低減）させるフィルタリング処理を行う。オフセットトルク選択部204が第1オフセットトルク T_{o1} を選択したときには、フィルタリング処理部205は、フィルタリング処理後の第1オフセットトルク（ T_{o1-flt} ）を出力する。同様に、オフセットトルク選択部204が第2オフセットトルク T_{o2} を選択したときには、フィルタリング処理部205は、フィルタリング処理後の第2オフセットトルク（ T_{o2-flt} ）を出力する。フィルタリング処理部205は、例えば、第1実施形態のフィルタリング処理部42（図7参照）と同様に、ローパスフィルタによって構成される。

40

【0118】

トルクマージン選択部206は、オフセットトルク選択部204が選択したオフセット

50

トルクと、フィルタリング処理部 205 が出力するフィルタリング処理後のオフセットトルクと、を取得し、これらのうちいずれか大きい方を、トルクマージン T_{margin} として出力する（セレクトハイ）。

【0119】

具体的には、オフセットトルク選択部 204 が第 1 オフセットトルク T_{O1} を選択した場合、トルクマージン選択部 206 は、第 1 オフセットトルク T_{O1} と、フィルタリング処理後の第 1 オフセットトルク (T_{O1-flt}) と、を比較し、これらのうちいずれか大きい方をトルクマージン T_{margin} に設定する。同様に、オフセットトルク選択部 204 が第 2 オフセットトルク T_{O2} を選択した場合、トルクマージン選択部 206 は、第 2 オフセットトルク T_{O2} と、フィルタリング処理後の第 2 オフセットトルク (T_{O2-flt}) と、を比較し、これらのうちいずれか大きい方をトルクマージン T_{margin} に設定する。

10

【0120】

このように、オフセットトルク選択部 204 が選択したオフセットトルクと、フィルタリング処理部 205 が出力するフィルタリング処理後のオフセットトルクと、のセレクトハイにより、トルクマージン T_{margin} を設定すると、オフセットトルク選択部 204 が選択するオフセットトルクが、値が大きい第 1 オフセットトルク T_{O1} から、値が小さい第 2 オフセットトルク T_{O2} に変化したときには、この変化に迅速に追従して、トルクマージン T_{margin} が急峻に切り替わる。一方、これとは逆に、オフセットトルク選択部 204 が選択するオフセットトルクが、値が小さい第 2 オフセットトルク T_{O2} から、値が大きい第 1 オフセットトルク T_{O1} に変化したときには、この変化に緩慢に追従して、トルクマージン T_{margin} が緩やかに切り替わる。その結果、トルクマージン T_{margin} が、実質的に、第 1 オフセットトルク T_{O1} または第 2 オフセットトルク T_{O2} の 2 値から選択的に設定される場合でも、第 1 実施形態とほぼ同様に、上限トルク T_{UL} または下限トルク T_{LL} が変化する。

20

【0121】

上記のように、トルクマージン設定部 32 を構成する場合も、電動車両 100 は、第 1 実施形態と同様の作用効果を奏する。なお、本実施形態では、トルクマージン T_{margin} が、実質的に、第 1 オフセットトルク T_{O1} または第 2 オフセットトルク T_{O2} の 2 値から選択的に設定されるが、トルクマージン設定部 32 は、トルクマージン T_{margin} を、3 以上の予め定めるオフセットトルクから選択的に設定するように構成されていてもよい。

30

【0122】

[第 1 変形例]

上記第 1 実施形態及び第 2 実施形態では、いわゆる 2WD (two-wheel drive) の電動車両 100 を例に説明したが、上記第 1 実施形態及び第 2 実施形態の電動車両 100 の制御方法及び制御装置は、4WD (four-wheel drive) の電動車両にも好適である。以下では、第 1 変形例として、4WD の電動車両 300 の構成例を説明する。

【0123】

図 14 は、4WD の電動車両 300 の概略構成を示す説明図である。図 14 に示すように、電動車両 300 は、バッテリー 11、コントローラ 12、フロント駆動システム S_f 、及び、リア駆動システム S_r を備える。バッテリー 11 は、フロント駆動システム S_f 及びリア駆動システム S_r に共用される。

40

【0124】

フロント駆動システム S_f は、フロントインバータ 13f、フロントモータ 14f、フロント減速機 15f、フロント回転センサ 16f、フロント電流センサ 17f、フロントドライブシャフト 18f、及び、フロント駆動輪 19f によって構成される。これら各部は、第 1 実施形態におけるインバータ 13、電動モータ 14、減速機 15、回転センサ 16、電流センサ 17、ドライブシャフト 18、及び、駆動輪 19 に対応する。

【0125】

50

同様に、リア駆動システム S_r は、リアインバータ 13r、リアモータ 14r、リア減速機 15r、リア回転センサ 16r、リア電流センサ 17r、リアドライブシャフト 18r、及び、リア駆動輪 19r によって構成される。これら各部は、第 1 実施形態におけるインバータ 13、電動モータ 14、減速機 15、回転センサ 16、電流センサ 17、ドライブシャフト 18、及び、駆動輪 19 に対応する。

【0126】

したがって、電動車両 300 のコントローラ 12 は、バッテリー 11 の直流電圧 V_{dc} やアクセル開度 を取得するとともに、フロント駆動システム S_f から、フロントモータ 14f の三相電流 $i_f (= i_{fu}, i_{fv}, i_{fw})$ 及び回転子位相 θ_f を取得する。同様に、電動車両 300 のコントローラ 12 は、リア駆動システム S_r から、リアモータ 14r の三相電流 $i_r (= i_{ru}, i_{rv}, i_{rw})$ 及び回転子位相 θ_r を取得する。そして、電動車両 300 のコントローラ 12 は、これらの車両情報に基づいて、フロント駆動システム S_f 及びリア駆動システム S_r を制御する。

10

【0127】

そして、電動車両 300 のコントローラ 12 は、第 1 実施形態または第 2 実施形態と同様に、補償トルク T_c に応じて可変に設定されるトルクマージン T_{margin} によって、フロント駆動システム S_f に対する基本トルク目標値 T_{m1f} (図示しない) を制限するように構成される。また、電動車両 300 のコントローラ 12 は、第 1 実施形態または第 2 実施形態と同様に、補償トルク T_c に応じて可変に設定されるトルクマージン T_{margin} によって、リア駆動システム S_r に対する基本トルク目標値 T_{m1r} (図示しない) を制限するように構成される。これにより、4WD の電動車両 300 は、第 1 実施形態または第 2 実施形態と同様の作用効果を奏する。

20

【0128】

なお、電動車両 300 のコントローラ 12 は、フロント駆動システム S_f またはリア駆動システム S_r のいずれか一方について、補償トルク T_c に応じて可変に設定されるトルクマージン T_{margin} によって、リア駆動システム S_r に対する基本トルク目標値を制限するように構成されていてもよい。

【0129】

[第 2 変形例]

上記第 1 実施形態、第 2 実施形態、及び、第 1 変形例のとおり、トルクマージン T_{margin} を変更する必要があるか否かは、補償トルク T_c を基本トルク目標値 T_{m1}^* (あるいは FF 補償後トルク目標値 T_{m2}^*) に重畳することによって、最終トルク目標値 T_{mf}^* が、電動モータ 14 の出力し得るトルク (T_{maxP}, T_{maxR}) を超えるか否かによって決まる。より具体的には、トルクマージン T_{margin} の変更についての要否は、予め定めるオフセットトルク T_{offset} (または T_{O1}, T_{O2})、及び、予め定める電動モータ 14 が出力し得るトルク (T_{maxP}, T_{maxR}) と、リアルタイム発生する補償トルク T_c と、の関係で定まる。

30

【0130】

この点、上記第 2 実施形態では、補償トルク T_c の絶対値 $|T_c|$ を、第 1 オフセットトルク T_{O1} 及び第 2 オフセットトルク T_{O2} の切り替え判定に使用することにより、最終トルク目標値 T_{mf}^* が、電動モータ 14 の出力し得るトルク (T_{maxP}, T_{maxR}) を超えるか否か、すなわち、トルクマージン T_{margin} を変更する必要があるか否か、に係る判定を行っている。しかし、上記第 1 実施形態では、補償トルク T_c の絶対値 $|T_c|$ (振幅) をトルクマージン T_{margin} の変動幅とすることにより、トルクマージン T_{margin} の変更要否に係る判定を省略している。したがって、第 1 実施形態においても、コントローラ 12 は、トルクマージン T_{margin} の変更要否に係る判定を実行し、その判定結果、トルクマージン T_{margin} の変更が必要であると判定されたときに、トルクマージン T_{margin} を変更する構成であってもよい。

40

【0131】

例えば、第 1 実施形態におけるコントローラ 12 (基本トルク目標値制限部 30) は、

50

第2実施形態のオフセットトルク選択部204と同様に、補償トルク T_C の絶対値 $|T_C|$ を所定値(閾値)と比較し、補償トルク T_C の絶対値 $|T_C|$ が所定値より大きいときに、補償トルク T_C の絶対値 $|T_C|$ をオフセットトルク T_{offset} に加算して、トルクマージン T_{margin} を設定する構成とすることができる。

【0132】

また、例えば、第1実施形態におけるコントローラ12(基本トルク目標値制限部30)は、基本トルク目標値 T_{m1}^* と補償トルク T_C (またはその絶対値 $|T_C|$)を加算し、この加算値($T_{m1}^* + T_C$)を、電動モータ14が出力し得るトルク(T_{maxP} , T_{maxR})と比較し、加算値($T_{m1}^* + T_C$)が、電動モータ14の出力し得るトルク(T_{maxP} , T_{maxR})を超えるときに、トルクマージン T_{margin} を変更する構成としてもよい。

10

【0133】

このように、トルクマージン T_{margin} の変更可否を判定する場合、電動モータ14の限界(T_{maxP} , T_{maxR})までその性能を活かした加速/減速を実現でき、その上で、補償トルク T_C が、電動モータ14が出力し得るトルク(T_{maxP} , T_{maxR})によって制限され、制振制御処理による制振効果が低減されるおそれがあるときには、的確にトルクマージン T_{margin} を設定(増加)し、制振制御処理によって予定された制振効果を得ることができる。

【0134】

なお、上記のように、補償トルク T_C が重畳された最終トルク目標値 T_{mf}^* が、電動モータ14の出力し得るトルク(T_{maxP} , T_{maxR})を超えるか否かを判定し、その結果に応じてトルクマージン T_{margin} を設定する場合には、トルクマージン T_{margin} の増加量を、最終トルク目標値 T_{mf}^* が電動モータ14の出力し得るトルク(T_{maxP} , T_{maxR})を超える分量とすることができる。例えば、第1実施形態におけるオフセットトルク T_{offset} への加算値を、オフセットトルク T_{offset} に対する補償トルク T_C の絶対値 $|T_C|$ の超過分($|T_C| - T_{offset}$)とすることができる。この場合、電動モータ14は、その性能的限界まで活かされる。

20

【0135】

以上のように、第1実施形態、第2実施形態、及び、各変形例に係る電動車両の制御方法は、電動モータ14を駆動源とする電動車両100の制御方法である。この電動車両100の制御方法では、電動車両100の車両情報(等)に基づいて、電動モータ14が出力すべきトルクを表す基本トルク目標値(T_{m1}^*)が算出されるとともに、電動モータ14の回転状態を表すパラメータである回転パラメータ(N_m)に基づいて、電動車両100に作用する外乱によって生じる振動を補償する補償トルク(T_C)が演算される。また、補償トルク(T_C)に基づいて、電動モータ14が出力し得るトルク(T_{maxP} , T_{maxR})に対する可変のマージンであるトルクマージン(T_{margin})が設定される。そして、トルクマージン(T_{margin})に基づいて、基本トルク目標値(T_{m1}^*)を制限することにより、制限後トルク目標値(T_{m1-lim}^*)が演算される。その後、制限後トルク目標値(T_{m1-lim}^*)と補償トルク(T_C)に基づいて、最終トルク目標値(T_{mf}^*)が演算され、この最終トルク目標値(T_{mf}^*)にしたがって電動モータ14が制御される。

30

40

【0136】

このように、基本トルク目標値 T_{m1}^* に補償トルク T_C を重畳する制振制御処理を行うために、トルクマージン T_{margin} を設定して、要求トルクである基本トルク目標値 T_{m1}^* を予め制限する場合に、補償トルク T_C に応じてトルクマージン T_{margin} を可変に設定すると、電動モータ14の性能を最大限に活かしつつ、かつ、外乱 d によって振動が生じるときには、これを的確に抑制することができる。

【0137】

上記第1実施形態、第2実施形態、及び、各変形例に係る電動車両の制御方法では、具体的に、補償トルク(T_C)が小さいときに、トルクマージン(T_{margin})が小さ

50

く設定される。これにより、補償トルク T_c が小さい走行シーンでは、電動モータ 14 の性能を最大限に生かした加速（または減速）を実現することができ、かつ、補償トルク T_c が大きい走行シーンでは、制振制御処理によって予定される制振効果が損なわれることなく得られる。したがって、第 1 実施形態、第 2 実施形態、及び、変形例に係る電動車両の制御方法によれば、電動モータ 14 の性能を最大限に活かしつつ、かつ、外乱 d によって振動が生じるときには、これを的確に抑制することができる。

【0138】

上記第 1 実施形態、第 2 実施形態、及び、各変形例に係る電動車両の制御方法では、補償トルク (T_c) は、車両駆動系 69 のねじり振動を補償するものである。外乱 d によって生じる振動のうち、車両駆動系 69 のねじり振動は、特にドライブフィーリングに影響を及ぼしやすい。このため、上記のように、補償トルク T_c を、車両駆動系 69 のねじり振動を補償するものとすることにより、ドライブフィーリングに影響を及ぼしやすい車両駆動系 69 のねじり振動が、特に的確に抑制されやすい。

10

【0139】

特に、上記第 1 実施形態、及び、各変形例に係る電動車両の制御方法では、補償トルク (T_c) に対して、ねじり振動の周波数 (f_p) 以下の周波数成分を通過させるフィルタリング処理が実行され、フィルタリング処理後の補償トルク ($|T_c|_{flt}$) に基づいて、トルクマージン (T_{margin}) が設定される。このように、ねじり振動の周波数 (f_p) 以下の周波数成分を通過させるフィルタリング処理を施した補償トルク ($|T_c|_{flt}$) に基づいてトルクマージン T_{margin} を設定すると、ねじり振動を抑制するために必要な分量のトルクマージン T_{margin} が設定される。すなわち、トルクマージン T_{margin} を増加させなければならないシーンにおいても、確保されるトルクマージン T_{margin} は必要最小限となる。したがって、上記のように、フィルタリング処理後の補償トルク ($|T_c|_{flt}$) に基づいてトルクマージン T_{margin} を設定することによって、外乱 d によって生じるねじり振動を抑制するシーンにおいても、電動モータ 14 の性能が最大限に活かされる。

20

【0140】

上記第 1 実施形態、第 2 実施形態、及び、各変形例に係る電動車両の制御方法では、補償トルク (T_c) の絶対値 ($|T_c|$) が演算され、補償トルク (T_c) の絶対値 ($|T_c|$) に基づいて、トルクマージン (T_{margin}) が設定される。このように、補償トルク T_c の絶対値 $|T_c|$ (振幅) に基づいてトルクマージン T_{margin} を設定することにより、インパルス状の外乱 d やステップ状の外乱 d 等、最大/最小の振幅が異なる外乱 d が生じた場合でも、最終トルク目標値 T_{mf}^* が、電動モータ 14 の出力し得るトルク (T_{maxP} , T_{maxR}) を超えないように、的確なトルクマージン T_{margin} が設定される。すなわち、外乱 d の具体的な形態によらず、的確なトルクマージン T_{margin} が設定されやすくなる。

30

【0141】

特に、上記第 1 実施形態、及び、各変形例に係る電動車両の制御方法では、予め定める基準値であるオフセットトルク (T_{offset}) と、補償トルク (T_c) の絶対値 ($|T_c|$) と、を加算した値が、トルクマージン (T_{margin}) に設定される。このように、オフセットトルク T_{offset} と補償トルク T_c の絶対値 $|T_c|$ を加算することによってトルクマージン T_{margin} を設定すると、補償トルク T_c が実質的にゼロの状態であっても、オフセットトルク T_{offset} 分のトルクマージン T_{margin} を担保される。その結果、ステップ状の外乱 d 等に対する応答 (演算) の遅れの影響が低減され、突発的に外乱 d が生じたとしても、制振制御処理による制振効果が迅速かつ適切に得られやすい。

40

【0142】

また、上記第 1 実施形態、及び、各変形例に係る電動車両の制御方法では、トルクマージン (T_{margin}) は、予め定める基準値であるオフセットトルク (T_{offset}) を用いて設定され、補償トルク (T_c) に基づいてオフセットトルク (T_{offset})

50

を補正することにより、トルクマージン (T_{margin}) が補正される。このように、トルクマージン T_{margin} の基準となるオフセットトルク T_{offset} を定めておき、これを補償トルク T_c に応じて補正することによってトルクマージン T_{margin} を設定すると、走行シーンに応じて、特に適切なトルクマージン T_{margin} が設定されやすい。

【0143】

上記第2実施形態、及び、各変形例に係る電動車両の制御方法では、予め定められた第1オフセットトルク (T_{o1}) と、予め定められ、第1オフセットトルク (T_{o1}) よりも値が小さい第2オフセットトルク (T_{o2}) と、から、補償トルク (T_c) に基づいていずれか一方が選択される。そして、トルクマージン (T_{margin}) は、選択された第1オフセットトルク (T_{o1}) または第2オフセットトルク (T_{o2}) を用いて設定される。このように、第1オフセットトルク T_{o1} と第2オフセットトルク T_{o2} を定めておき、これらから選択したオフセットトルクを用いてトルクマージン T_{margin} を設定することにより、簡易かつ迅速に、走行シーンに応じて適切なトルクマージン T_{margin} が設定される。

10

【0144】

特に、上記第2実施形態、及び、各変形例に係る電動車両の制御方法では、選択された第1オフセットトルク (T_{o1}) または第2オフセットトルク (T_{o2}) に対して、車両駆動系69に生じるねじり振動の周波数 (f_p) 以下の周波数成分を通過させるフィルタリング処理が実行される。そして、選択された第1オフセットトルク (T_{o1}) または第2オフセットトルク (T_{o2}) と、フィルタリング処理後の第1オフセットトルク (T_{o1-flt}) または第2オフセットトルク (T_{o2-flt}) と、を比較し、いずれか大きい方の値がトルクマージン (T_{margin}) に設定される。このように、オフセットトルクと、さらにフィルタリング処理されたオフセットトルクと、のセレクトハイにより、トルクマージン T_{margin} を設定すると、トルクマージン T_{margin} は、値が大きくなるときには迅速に変化し、値が小さくなるときには緩やかに変化する。したがって、外乱 d が生じて、トルクマージン T_{margin} を大きくしなければならないシーンでは、迅速にこれに対応することができる。その後、制振のために大きなトルクマージン T_{margin} を確保しておく必要がなくなったときには、緩やかにトルクマージン T_{margin} を削減し、トルク段差等を生じさせずに、電動モータ14の性能的限界の近くまで、電動車両100を滑らかに加速（または減速）させることができる。

20

30

【0145】

上記第1実施形態、第2実施形態、及び、各変形例に係る電動車両の制御方法では、制限後トルク目標値 (T_{m1-lim}^*) を用いて、車両駆動系69の伝達特性 ($G_p(s)$) に基づくフィードフォワード制御によって車両駆動系69のねじりを抑制する第2トルク目標値 (T_{m2}^*) が演算され、その後、この第2トルク目標値 (T_{m2}^*) と補償トルク (T_c) に基づいて、最終トルク目標値 (T_{mf}^*) が演算される。このように、制振制御処理が、フィードフォワード制御による補償と、補償トルク T_c をフィードバックするフィードバック制御による補償と、によって構成されるときには、フィードフォワード制御及びフィードバック制御による各制振補償は、制限後トルク目標値 T_{m1-lim}^* を用いて行われる。すなわち、トルクマージン T_{margin} の設定によるトルク制限は、フィードフォワード制御及びフィードバック制御による各制振補償よりも前に行われる。制振補償を行った後にトルク制限を実施すると、その制振補償のために重畳されたトルクの全部または一部がトルク制限によってカットされ、予定した制振効果が得られにくくなる場合がある。したがって、上記のように、フィードフォワード制御及びフィードバック制御による各制振補償よりも前に、トルクマージン T_{margin} の設定によるトルク制限を行うことによって、トルクマージン T_{margin} の設定によるトルク制限を行うつつ、制振制御処理によって予定する制振効果を、より確実に得ることができる。

40

【0146】

上記第2実施形態、及び、第1実施形態をベースとする第2変形例に係る電動車両の制

50

御方法では、最終トルク目標値 (T_{mf}^*) が、電動モータ 14 が出力し得るトルク (T_{maxP} , T_{maxR}) を超えるときに、トルクマージン (T_{margin}) が変更される。すなわち、最終トルク目標値 T_{mf}^* が、電動モータ 14 の出力し得るトルクを超えるか否かを、直接的または間接的に判定し、最終トルク目標値 T_{mf}^* が、電動モータ 14 の出力し得るトルクを超えるときにトルクマージン T_{margin} を変更する。このように構成することにより、電動モータ 14 の限界 (T_{maxP} , T_{maxR}) までその性能を活かした加速/減速を実現しやすい。そして、補償トルク T_c が、電動モータ 14 が出力し得るトルク (T_{maxP} , T_{maxR}) によって制限され、制振制御処理による制振効果が低減されるおそれがあるときには、特に的確にトルクマージン T_{margin} を設定 (増加) して、制振制御処理によって予定する制振効果を得ることができる。

10

【0147】

上記第 1 実施形態、第 2 実施形態、及び、各変形例に係る電動車両の制御装置は、電動モータ 14 を駆動源とする電動車両 100 の制御装置 (コントローラ 12) である。この電動車両 100 の制御装置 (コントローラ 12) は、電動車両 100 の車両情報 (等) に基づいて、電動モータ 14 が出力すべきトルクを表す基本トルク目標値 (T_{m1}^*) を算出する基本トルク目標値算出部 (S202) と、電動モータ 14 の回転状態を表すパラメータである回転パラメータ (N_m) に基づいて、電動車両 100 に作用する外乱によって生じる振動を補償する補償トルク (T_c) を演算する補償トルク演算部 65 と、補償トルク (T_c) に基づいて、電動モータ 14 が出力し得るトルク (T_{maxP} , T_{maxR}) に対する可変のマージンであるトルクマージン (T_{margin}) を設定するトルクマージン設定部 32 と、トルクマージン (T_{margin}) に基づいて、基本トルク目標値 (T_{m1}^*) を制限することにより、制限後トルク目標値 (T_{m1-lim}^*) を演算するトルク制限部 34 と、制限後トルク目標値 (T_{m1-lim}^*) と補償トルク (T_c) に基づいて、最終トルク目標値 (T_{mf}^*) を演算する最終トルク目標値演算部 63 と、最終トルク目標値 (T_{mf}^*) にしたがって電動モータ 14 を制御する電動モータ制御部 (S205, S206) と、を備える。

20

【0148】

基本トルク目標値 T_{m1}^* に補償トルク T_c を重畳する制振制御処理を行うために、トルクマージン T_{margin} を設定して、要求トルクである基本トルク目標値 T_{m1}^* を予め制限する場合に、コントローラ 12 を上記のように構成し、補償トルク T_c に応じてトルクマージン T_{margin} を可変に設定することによって、電動モータ 14 の性能を最大限に活かしつつ、かつ、外乱 d によって振動が生じるときには、これを的確に抑制することができる。

30

【0149】

以上、本発明の実施形態について説明したが、上記実施形態及び各変形例で説明した構成は本発明の適用例の一部を示したに過ぎず、本発明の技術的範囲を限定する趣旨ではない。

【符号の説明】

【0150】

2 : モータコントローラ, 4 : 電動モータ, 5 : 減速機, 7 : 電流センサ, 11 : バッテリ, 12 : コントローラ, 13 : インバータ, 13f : フロントインバータ, 13r : リアインバータ, 14 : 電動モータ, 14f : フロントモータ, 14r : リアモータ, 15 : 減速機, 15f : フロント減速機, 15r : リア減速機, 16 : 回転センサ, 16f : フロント回転センサ, 16r : リア回転センサ, 17 : 電流センサ, 17f : フロント電流センサ, 17r : リア電流センサ, 18 : ドライブシャフト, 18f : フロントドライブシャフト, 18r : リアドライブシャフト, 19 : 駆動輪, 19f : フロント駆動輪, 19r : リア駆動輪, 30 : 基本トルク目標値制限部, 31 : 最大出力トルク演算部, 32 : トルクマージン設定部, 33 : トルクリミット演算部, 34 : トルク制限部, 41 : 絶対値演算部, 42 : フィルタリング処理部, 43 : オフセットトルク記憶部, 44 : 補正部, 46 : 上限トルク演算部, 47 : 下限トルク演算部, 60 : 制振制御部, 61 :

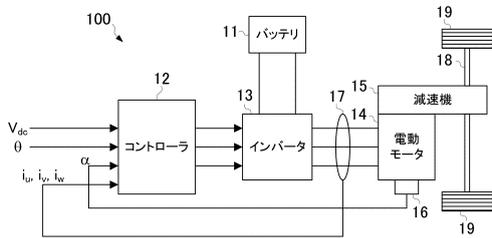
40

50

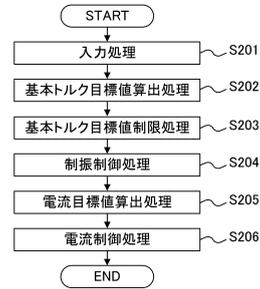
フィードフォワード補償部, 62: フィードバック補償部, 63: 最終トルク目標値演算部, 64: 外乱推定フィルタ, 65: 補償トルク演算部, 66: 回転速度推定部, 67: 回転速度偏差演算部, 68: 外乱推定部, 69: 車両駆動系, 100: 電動車両, 201: 絶対値演算部, 202: 第1オフセットトルク記憶部, 203: 第2オフセットトルク記憶部, 204: オフセットトルク選択部, 205: フィルタリング処理部, 206: トルクマージン選択部, 300: 電動車両

【図面】

【図1】



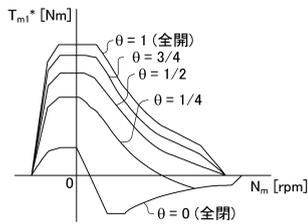
【図2】



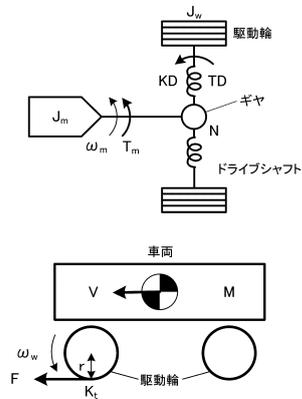
10

20

【図3】



【図4】

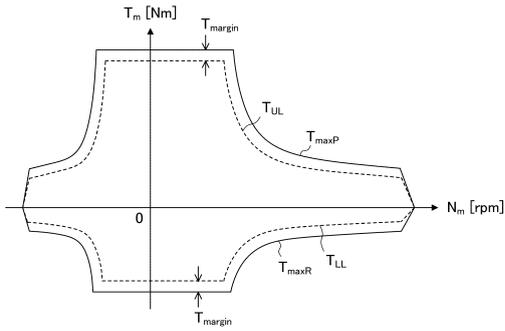


30

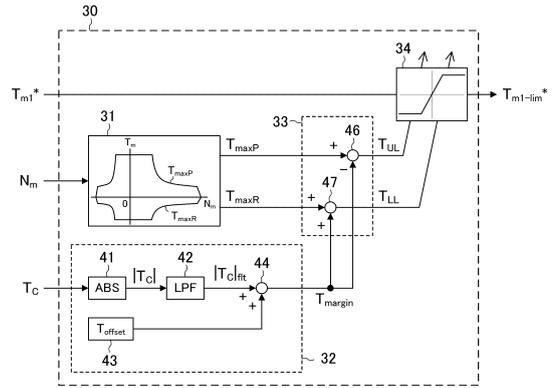
40

50

【 図 5 】

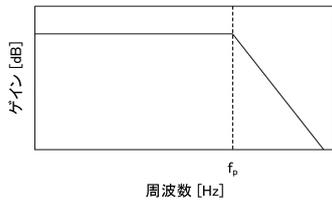


【 図 6 】

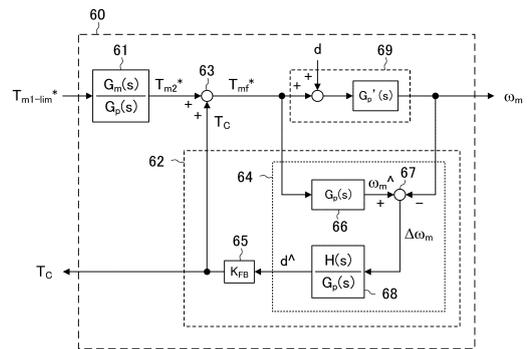


10

【 図 7 】



【 図 8 】



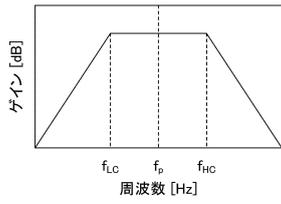
20

30

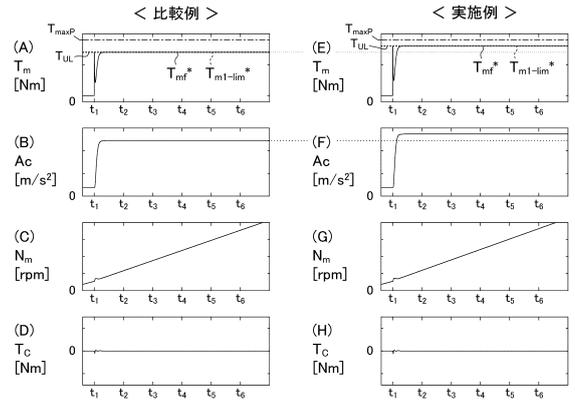
40

50

【 図 9 】

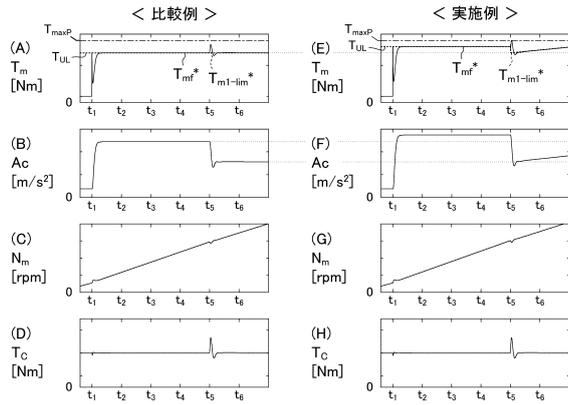


【 図 10 】

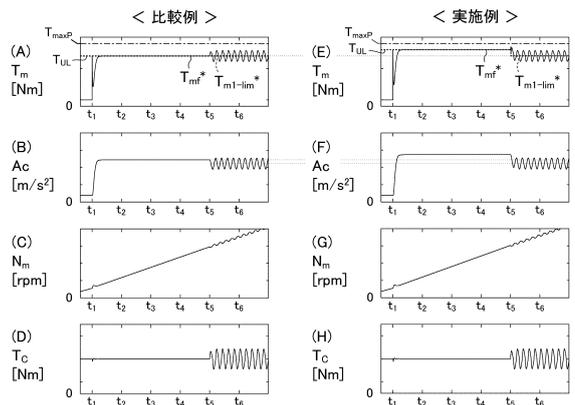


10

【 図 11 】



【 図 12 】



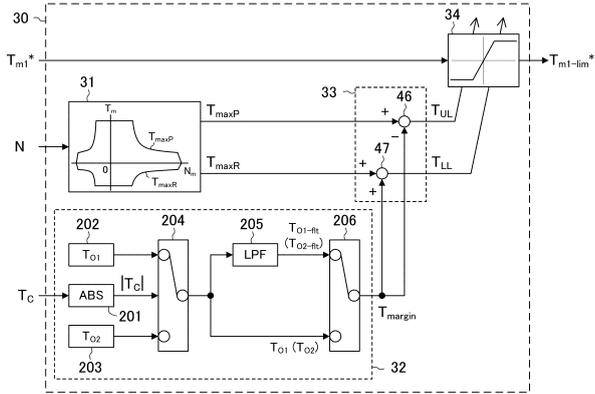
20

30

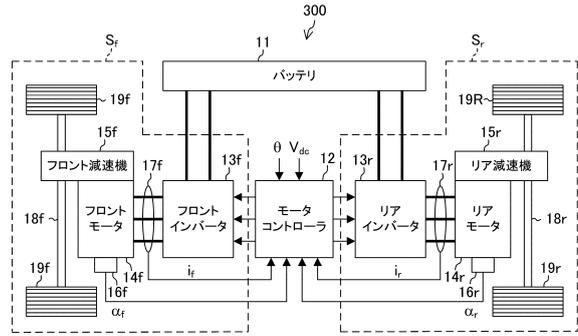
40

50

【 図 1 3 】



【 図 1 4 】



10

20

30

40

50