

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号
特許第7201071号
(P7201071)

(45)発行日 令和5年1月10日(2023.1.10)

(24)登録日 令和4年12月26日(2022.12.26)

(51)国際特許分類 F I
 B 6 0 L 15/20 (2006.01) B 6 0 L 15/20 J
 B 6 0 L 7/14 (2006.01) B 6 0 L 7/14

請求項の数 8 (全28頁)

(21)出願番号	特願2021-508565(P2021-508565)	(73)特許権者	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
(86)(22)出願日	平成31年3月27日(2019.3.27)	(74)代理人	110002468 特許業務法人後藤特許事務所
(86)国際出願番号	PCT/JP2019/013434	(72)発明者	澤田 彰 神奈川県厚木市森の里青山1-1 日産自動車株式会社 知的財産部内
(87)国際公開番号	WO2020/194621	(72)発明者	中島 孝 神奈川県厚木市森の里青山1-1 日産自動車株式会社 知的財産部内
(87)国際公開日	令和2年10月1日(2020.10.1)	(72)発明者	藤原 健吾 神奈川県厚木市森の里青山1-1 日産自動車株式会社 知的財産部内
審査請求日	令和3年9月22日(2021.9.22)	(72)発明者	大野 翔

最終頁に続く

(54)【発明の名称】 電動車両の制御装置及び電動車両の制御方法

(57)【特許請求の範囲】

【請求項1】

モータを走行駆動源とし、前記モータの回生制動力により減速する電動車両の制御方法であって、

前記電動車両は、前記電動車両が別体の対象を牽引するための牽引部を備え、

アクセル操作量を取得し、

前記電動車両の総質量を取得し、

前記電動車両が前記別体を牽引する際は前記牽引部に加わる荷重を計測し、

前記電動車両が前記別体を牽引する際には、計測した前記牽引部に加わる荷重とトルク指令値とに基づいて前記電動車両の総質量を補正し、

前記電動車両に作用する外乱トルクを推定し、

前記電動車両を駆動する駆動軸の回転速度に相関のある回転体の角速度を取得し、

前記回転体の角速度から前記電動車両の速度までの伝達特性を用いて前記電動車両の車体速度を推定し、

補正した前記電動車両の総質量に基づいて前記モータに対する新たなトルク指令値を算出し、

前記新たなトルク指令値に基づいて前記モータに生じるトルクを制御し、

前記アクセル操作量が所定値以下になり、前記電動車両が停車する際には、推定された前記車体速度の低下とともに、前記新たなトルク指令値を前記外乱トルクに収束させる、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、
 推定された前記車体速度に所定のゲインを乗算することにより車体速度フィードバックトルクを算出し、
 前記トルク指令値は、前記車体速度フィードバックトルクに基づいて算出され、
 前記所定のゲインは、前記電動車両の総質量に応じて設定される、
 電動車両の制御方法。

【請求項 3】

請求項 2 に記載の電動車両の制御方法であって、
 前記所定のゲインは、前記電動車両の総質量の増加に応じて大きく設定される、
 電動車両の制御方法。 10

【請求項 4】

請求項 1 から請求項 3 のいずれかに記載の電動車両の制御方法であって、
 前記電動車両の前記総質量に相関のあるパラメータを取得し、
 前記電動車両の総質量は、取得した前記パラメータに基づいて推定される、
 電動車両の制御方法。

【請求項 5】

請求項 4 に記載の電動車両の制御方法であって、
 前記パラメータは、前記電動車両の前後加速度であって、
 前記電動車両の総質量は、取得した前記電動車両の前後加速度と前記トルク指令値とに基づいて推定される、
 電動車両の制御方法。 20

【請求項 6】

請求項 4 に記載の電動車両の制御方法であって、
 前記パラメータは、前記電動車両の車輪に備わるサスペンションのストローク量であって、
 前記電動車両の総質量は、取得した前記ストローク量に基づいて推定される、
 電動車両の制御方法。

【請求項 7】

請求項 1 から請求項 6 のいずれか一項に記載の電動車両の制御方法であって、
 前記電動車両の総質量は、前記電動車両の総質量が変化する前に行われる所定の操作に応じて初期化される、
 電動車両の制御方法。 30

【請求項 8】

モータと、前記モータを制御するコントローラと、を備える電動車両の制御装置であって、
 前記電動車両は、前記電動車両が別体の対象を牽引するための牽引部を備え、
 前記コントローラが、
 アクセル操作量を取得し、
 前記電動車両の総質量を取得し、
 前記電動車両が前記別体を牽引する際は前記牽引部に加わる荷重を取得し、
 前記電動車両が前記別体を牽引する際には、計測した前記牽引部に加わる荷重とトルク指令値とに基づいて前記電動車両の総質量を補正し、
 前記電動車両に作用する外乱トルクを推定し、
 前記電動車両を駆動する駆動軸の回転速度に相関のある回転体の角速度を取得し、
 前記回転体の角速度から前記電動車両の速度までの伝達特性を用いて前記電動車両の車体速度を推定し、
 補正した前記電動車両の総質量に基づいて前記モータに対する新たなトルク指令値を算出し、
 前記新たなトルク指令値に基づいて前記モータに生じるトルクを制御し、 40 50

前記アクセル操作量が所定値以下になり、前記電動車両が停車する際には、推定された前記車体速度の低下とともに、前記新たなトルク指令値を前記外乱トルクに収束させる、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、電動車両の制御装置及び電動車両の制御方法に関する。

【背景技術】

【0002】

J P 2 0 1 7 - 1 3 9 2 3 0 には、アクセル操作量が減少し、かつ、電動車両が停車間際になると、モータの回転速度の低下とともにモータトルクを調整し、概ね勾配負荷抵抗となる外乱トルク推定値に収束させる停止制御を実行する電動車両の制御方法が開示されている。

10

【発明の概要】

【0003】

上述の停止制御は、モータ回転速度から車体速度までの伝達特性を用いて推定された車体速度に基づいて実行される。これにより、平坦路、登坂路、又は降坂路に依らず、加速度振動の無い常に滑らかな減速を停車間際で実現することができ、なおかつ停車状態を保持することができる。

【0004】

20

しかしながら、例えば車両への積載量の増加やトレーラの牽引等によって車両の総質量が変化した場合には、上述の伝達特性が実際の車両の伝達特性と乖離するため、電動車両の停止距離が想定より長くなるおそれがある。

【0005】

本発明は、電動車両の総質量が変化した場合でも、電動車両の停止距離が長くなることを抑制し、かつ電動車両を滑らかに停止させる電動車両の制御装置を提供することを目的とする。

【0006】

本発明の一態様における電動車両の制御方法は、モータを走行駆動源とし、モータの回生制動力により減速する電動車両の制御方法である。電動車両の制御方法は、アクセル操作量を取得し、電動車両の総質量を取得し、電動車両が別体を牽引する際は牽引部に加わる荷重を取得し、電動車両が別体を牽引する際には、計測した牽引部に加わる荷重とトルク指令値とに基づいて電動車両の総質量を補正し、電動車両に作用する外乱トルクを推定し、電動車両を駆動する駆動軸の回転速度に相関のある回転体の角速度を取得し、回転体の角速度から電動車両の速度までの伝達特性を用いて電動車両の車体速度を推定し、補正した電動車両の総質量に基づいてモータに対する新たなトルク指令値を算出し、新たなトルク指令値に基づいてモータに生じるトルクを制御する。さらに、電動車両の制御方法は、アクセル操作量が所定値以下になり、電動車両が停車する際には、推定された車体速度の低下とともに、新たなトルク指令値を外乱トルクに収束させる。

30

【図面の簡単な説明】

【0007】

40

【図1】図1は、第1実施形態における電動車両の制御方法が適用される制御システムの主要構成を示すブロック図である。

【図2】図2は、図1で示す制御システムの詳細を示すブロック図である。

【図3】図3は、第1実施形態における電動車両の制御方法が適用されるモータコントローラによって行われるモータ電流制御の処理の流れである。

【図4】図4は、アクセル開度 - トルクテーブルの一例を示す図である。

【図5】図5は、車両の駆動力伝達系をモデル化した図である。

【図6】図6は、車両の駆動力伝達系をモデル化した図である。

【図7】図7は、停止制御処理を実現するためのブロック図である。

50

【図 8】図 8 は、車体速度を推定して車体速度 F / B トルクを算出する方法を説明するための図である。

【図 9】図 9 は、第 1 実施形態における質量設定値と質量設定ゲインとの関係を示す図である。

【図 10】図 10 は、第 1 実施形態における外乱トルク推定値を算出する方法を説明するための図である。

【図 11】図 11 は、質量設定値の算出処理を実現するためのブロック図である。

【図 12】図 12 は、制振制御処理を実現する機能構成の一例を示す図である。

【図 13】図 13 は、バンドパスフィルタの一例を示す図である。

【図 14】図 14 は、制振制御処理に用いられる伝達特性の比較例を示す図である。

10

【図 15】図 15 は、本実施形態における電動車両の制御装置による制御結果の一例を示す図である。

【図 16】図 16 は、第 2 実施形態における車両の駆動力伝達系をモデル化した図である。

【図 17】図 17 は、車両質量設定値の算出処理を実現するためのブロック図である。

【発明を実施するための形態】

【0008】

以下、添付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。

【0009】

(第 1 実施形態)

図 1 は、第 1 実施形態における電動車両の制御方法が適用される電動車両の主要なシステム構成の一例を示すブロック図である。

20

【0010】

本実施形態における電動車両の制御システム 100 は、車両の駆動源の一部または全部として電動モータ 4 を備え、電動モータ 4 の駆動力により走行可能な電動車両に適用可能である。電動車両には、電気自動車だけでなく、ハイブリッド自動車や燃料電池自動車も含まれる。

【0011】

図 1 に例示する電動車両の制御装置は、アクセルペダルの操作のみで車両の加減速や停止を制御する。この電動車両のドライバは、加速時にはアクセルペダルを踏み込み、減速時や停止時には踏み込んでいるアクセルペダルの踏み込み量を減らすか、又はアクセルペダルの踏み込み量をゼロに操作する。なお、登坂路においては、車両の後退を防ぐためにアクセルペダルを踏み込みつつ停止状態に近づく場合もある。

30

【0012】

モータコントローラ 2 は、車体速度 V、アクセル開度 A P、電動モータ 4 の回転子位相、電動モータ 4 の電流 i_u 、 i_v 、 i_w 等の車両状態を示す信号をデジタル信号として入力する。そしてモータコントローラ 2 は、入力された信号に基づいて、電動モータ 4 に供給される電力を制御するための PWM 信号を生成し、生成した PWM 信号をインバータ 3 に供給してインバータ 3 のスイッチング素子を開閉制御する。

【0013】

インバータ 3 は、例えば、相毎に 2 個のスイッチング素子（例えば、IGBT や MOS-FET 等のパワー半導体素子）をオン/オフすることにより、バッテリー 1 から供給される直流の電流を交流に変換し、電動モータ 4 に所望の電流を流す。

40

【0014】

電動モータ 4 は、例えば、三相交流モータにより実現される。電動モータ 4 は、インバータ 3 から出力される交流電流を用いて駆動力を発生し、減速機 5 及び駆動軸 8 を介して、左右の駆動輪 9 a、9 b に駆動力を伝達する。また、電動モータ 4 は、電動車両の走行時に駆動輪 9 a、9 b に連れ回されて回転する場合に、回生駆動力を発生させることで電動車両の運動エネルギーを電気エネルギーとして回収する。この場合、インバータ 3 は、電動モータ 4 の回生運転時に発生する交流電流を直流電流に変換してバッテリー 1 に供給する。

50

【 0 0 1 5 】

磁極位置センサ 6 は、例えば、レゾルバやエンコーダにより実現され、電動モータ 4 の回転子位相を検出する。

【 0 0 1 6 】

電流センサ 7 は、電動モータ 4 に供給される三相交流電流 i_u 、 i_v 及び i_w を検出する。ただし、三相交流電流 i_u 、 i_v 及び i_w の和は 0 (ゼロ) であるため、任意の 2 相の電流を検出して、残りの 1 相の電流については演算により求めてもよい。

【 0 0 1 7 】

図 2 は、第 1 実施形態の電動車両の制御方法が適用される車両の制御システム 100 であって、特にコントローラ 2 の詳細を示すブロック図である。図 1 と同様の構成には同じ符号を付して説明は省略する。

10

【 0 0 1 8 】

本実施形態のコントローラ 2 は、その機能部として、駆動力マップ格納器 20、停止制御器 21、トルク比較器 22、車両質量設定器 23、制振制御器 24、電流電圧マップ格納器 25、電流制御器 26、座標変換器 27、29、PWM 変換器 28、及び回転数演算器 30、を含んで構成される。

【 0 0 1 9 】

駆動力マップ格納器 20 は、基本トルク目標値算出処理を実行する (後述のステップ S201 参照)。駆動力マップ格納器 20 は、後述のアクセル開度 - トルクテーブルを格納 (記憶) しており、アクセル開度 およびモータ回転数に基づいて第 1 のトルク目標値 T_{m1} を算出し、トルク比較器 22 に出力する。

20

【 0 0 2 0 】

停止制御器 21、及びトルク比較器 22 は、停止制御処理を実行する (後述のステップ S203 参照)。

【 0 0 2 1 】

停止制御器 21 は、最終トルク指令値 T_{mf}^* と、モータ回転角速度 m_f と、車両質量推定値 M^{\wedge} に基づいて、停車の際に電動モータ 4 につながるドライブシャフト (駆動軸) 8 の回転速度に相関のある速度パラメータの低下とともに外乱トルク推定値 T_d に収束する第 2 のトルク目標値 T_{m2} を算出し、トルク比較器 22 に出力する。

【 0 0 2 2 】

トルク比較器 22 は、第 1 のトルク目標値 T_{m1} と第 2 のトルク目標値 T_{m2} とを比較して、大きい方の値を第 3 のトルク目標値 T_{m3} として制振制御器 24 に出力する。

30

【 0 0 2 3 】

制振制御器 24 は、制振制御処理を実行する (後述のステップ S204 参照)。制振制御器 24 は、目標トルク指令値 T_{m3}^* に対して駆動軸のねじり振動等の駆動力伝達系振動を抑制する制振制御処理を施し、最終トルク指令値 T_{mf}^* を算出する。最終トルク指令値 T_{mf}^* は、電流電圧マップ格納器 25 に出力される。

【 0 0 2 4 】

電流電圧マップ格納器 25 は、最終トルク指令値 T_{mf}^* と、モータの回転角速度 m_f と、インバータ 3 に入力されるバッテリー 1 の電圧検出値 V_{dc} とを指標としたマップを予め格納している。そして、電流電圧マップ格納器 25 は、入力される最終トルク指令値 T_{mf}^* と、モータ回転角速度 m_f と、バッテリー 1 の電圧検出値 V_{dc} とから、上記マップを参照することにより、 dq 軸電流指令値 i_d^* 、 i_q^* および dq 軸非干渉電圧指令値 $V_{d_dcp1}^*$ 、 $V_{q_dcp1}^*$ を算出して、電流制御器 26 に出力する。なお、電圧検出値 V_{dc} は、バッテリー 1 からの直流電源ラインに設けられた電圧センサ (不図示)、又はバッテリーコントローラ (不図示) から送信される信号により取得される。

40

【 0 0 2 5 】

電流制御器 26 には、 dq 軸電流指令値 i_d^* 、 i_q^* 、 dq 軸非干渉電圧指令値 $V_{d_dcp1}^*$ 、 $V_{q_dcp1}^*$ 、および座標変換器 29 から出力される dq 軸電流検出値 i_d 、 i_q が入力される。そして、電流制御器 26 は、 dq 軸電流検出値 i_d 、 i_q を dq 軸電

50

流指令値 i_d^* 、 i_q^* に定常偏差なく所望の応答性で追従させるための d q 軸電圧指令値 V_d^* 、 V_q^* を算出して、座標変換器 27 に出力する。なお、本実施形態の電流制御器 26 は、簡単な PI フィードバック補償器、又は、いわゆるロバストモデルマッチング補償器のような公知の補償器により実現することができる。

【0026】

座標変換器 27 は、 d q 軸電圧指令値 V_d^* 、 V_q^* とモータ 4 が備える回転子の磁極位置検出値 θ を入力し、以下式 (1) を用いて座標変換処理を行うことによって uvw 各相の電圧指令値 v_u^* 、 v_v^* 、 v_w^* を算出する。算出した値は、 PWM 変換器 28 に出力される。

【0027】

【数 1】

$$\begin{bmatrix} v_u^* \\ v_v^* \\ v_w^* \end{bmatrix} = \sqrt{\frac{2}{3}} \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ -\frac{1}{2} & \frac{\sqrt{3}}{2} \\ -\frac{1}{2} & -\frac{\sqrt{3}}{2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos \hat{\theta} & -\sin \hat{\theta} \\ \sin \hat{\theta} & \cos \hat{\theta} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_d^* \\ v_q^* \end{bmatrix} \quad \dots (1)$$

10

【0028】

PWM 変換器 28 は、電圧指令値 v_u^* 、 v_v^* 、 v_w^* に応じてインバータ 3 のスイッチング素子を駆動するための強電素子駆動信号 D_{uu}^* 、 D_{ul}^* 、 D_{vu}^* 、 D_{vl}^* 、 D_{wu}^* 、 D_{wl}^* を生成し、インバータ 3 に出力する。そして、インバータ 3 は、強電素子駆動信号 D_{uu}^* 、 D_{ul}^* 、 D_{vu}^* 、 D_{vl}^* 、 D_{wu}^* 、 D_{wl}^* に従いスイッチング素子を駆動させることでバッテリー 1 の直流電圧を交流電圧 v_u 、 v_v 、 v_w に変換して電動モータ 4 に供給する。

【0029】

座標変換器 29 には、電流センサ 7 が検出した少なくとも 2 相の電流 (例えば u 相、 v 相の i_u 、 i_v) が入力される。この場合、座標変換器 29 は、電流センサ 7 により検出されなかった残り 1 相 (例えば w 相の i_w) の電流値を次式 (2) で求める。そして、座標変換器 29 は、三相の電流値 i_u 、 i_v 、 i_w に対して次式 (3) を用いて座標変換処理を行うことによって、 d q 軸電流指令値 i_d^* 、 i_q^* を算出する。算出した値は、電流制御器 26 に出力される。

【0030】

【数 2】

$$i_w = -i_u - i_v \quad \dots (2)$$

【0031】

【数 3】

$$\begin{bmatrix} i_\gamma \\ i_\delta \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \hat{\theta} & \sin \hat{\theta} \\ -\sin \hat{\theta} & \cos \hat{\theta} \end{bmatrix} \sqrt{\frac{2}{3}} \begin{bmatrix} 1 & -\frac{1}{2} & -\frac{1}{2} \\ 0 & \frac{\sqrt{3}}{2} & -\frac{\sqrt{3}}{2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_u \\ i_v \\ i_w \end{bmatrix} \quad \dots (3)$$

40

【0032】

回転数演算器 30 は、磁極位置センサ 6 から出力される電動モータ 4 の磁極位置 θ から、電動モータ 4 の回転角速度 m_f を算出して、電流電圧マップ格納器 25 と停止制御器 21 とに出力する。なお、フロントモータ回転角速度 m_f は電動モータ 4 の回転子位相

50

を検出して、当該回転子位相 を微分することによっても求められる。

【 0 0 3 3 】

図 3 は、モータコントローラ 2 によって行われるモータ電流制御の処理の流れを示すフローチャートである。

【 0 0 3 4 】

ステップ S 2 0 1 では、モータコントローラ 2 は電動車両の作動状態を示す信号を入力する。ここにいう作動状態とは、バッテリー 1 とインバータ 3 との間の直流電圧値 V_{dc} (V)、電動車両の車体速度 V (km/h)、アクセル開度 AP (%)、電動モータ 4 の回転子位相 (rad)、電動モータ 4 の回転速度 N_m (rpm)、並びに電動モータ 4 に供給される三相交流電流値 i_u 、 i_v 及び i_w などのことである。

10

【 0 0 3 5 】

車体速度 V (km/h) は、図示しない車速センサから、又は他のコントローラから通信にて取得される。または、モータコントローラ 2 は、回転子機械角速度 ω_m にタイヤ動半径 R を乗算し、ファイナルギアのギア比で除して車速 v (m/s) を求め、車速 v (m/s) に $3600/1000$ を乗算することにより、単位変換して車体速度 V (km/h) を求める。

【 0 0 3 6 】

アクセル開度 AP (%) は、図示しないアクセル開度センサから取得されるか、図示しない車両コントローラ等の他のコントローラから通信にて取得される。

【 0 0 3 7 】

20

電動モータ 4 の回転子位相 (rad) は、磁極位置センサ 6 から取得される。電動モータ 4 の回転速度 N_m (rpm) は、電動モータ 4 の機械的な角速度であるモータ回転速度 ω_m (rad/s) に $60/(2\pi)$ を乗じて求められる。モータ回転速度 ω_m (rad/s) は、回転子角速度 (電気角) を電動モータ 4 の極対数 p で除して得られる。回転子角速度 ω_p は、回転子位相 を微分することによって求められる。

【 0 0 3 8 】

電動モータ 4 に流れる電流 i_u 、 i_v 、 i_w (A) は、電流センサ 7 から取得される。

【 0 0 3 9 】

直流電圧値 V_{dc} (V) は、バッテリー 1 とインバータ 3 との間の直流電源ラインに設けられた電圧センサ (不図示) から取得されるか、又はバッテリーコントローラ (不図示) により送信される電源電圧値から求められる。

30

【 0 0 4 0 】

ステップ S 2 0 2 では、モータコントローラ 2 は第 1 のトルク目標値 T_{m1} を設定する。具体的には、モータコントローラ 2 は、ステップ S 2 0 1 で入力されたアクセル開度 AP 及びモータ回転数に基づいて、例えばアクセル開度 - トルクテーブルを参照することにより、第 1 のトルク目標値 T_{m1} を設定する。なお、モータコントローラ 2 は、モータ回転数に代えてモータ回転速度 ω_m に基づくアクセル開度 - トルクテーブルを参照して第 1 のトルク目標値 T_{m1} を設定してもよい。

【 0 0 4 1 】

例えば、図 4 に示すアクセル開度 - トルクテーブルでは、アクセル開度が 0 (全閉) の時のモータ回生量が大きくなるようにモータトルクが設定されている。すなわち、モータ回転数が正の値を示す時であって、少なくともアクセル開度が 0 (全閉) の時には、電動車両に回生制動力が働くように負のモータトルクが設定される。ただし、図示するアクセル開度 - トルクテーブルは一例であって、図 4 に示すものに限定されない。

40

【 0 0 4 2 】

ステップ S 2 0 3 では、モータコントローラ 2 (トルク比較器 2 2) は停止制御処理を行う。具体的には、モータコントローラ 2 は、電動車両の停車間際を判断し、停車間際以前は、ステップ S 2 0 2 で算出した第 1 のトルク目標値 T_{m1} をモータトルク指令値 T_{m3}^* に設定する。停車間際以降は、モータ回転速度の低下とともに外乱トルク指令値 T_{d}^* に収束する第 2 のトルク目標値 T_{m2} をモータトルク指令値 T_{m3}^* に設定する。この第 2

50

のトルク目標値 T_{m2} は、登坂路では正トルク、降坂路では負トルク、平坦路では概ねゼロである。これにより、後述するように、路面の勾配に関わらず、第2のトルク目標値によって車両を滑らかに停止させ、かつ停車状態を維持することができる。停止制御処理の詳細については、後述する。

【0043】

ステップS204では、モータコントローラ2（制振制御器24）は、駆動軸トルクを無駄にすることなく、駆動軸8のねじり振動などの駆動力伝達系振動を抑制する制振制御処理を行う。具体的には、モータコントローラ2は、ステップS202で設定されたモータトルク指令値 T_{mf}^* とモータ回転速度 ω_m に基づいて、制振制御処理が施されたモータトルク指令値 T_{mf}^* を算出する。制振制御処理の詳細については後述する。以下の説明では、第1のトルク目標値 T_{m1} はモータ回転速度 ω_m に基づいて設定されるものとする。

10

【0044】

ステップS205では、モータコントローラ2（電流電圧マップ格納器25）は、モータトルク指令値 T_{mf}^* 、モータ回転速度 ω_m 及び直流電圧値 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 を求める。例えば、実験結果やシミュレーション結果などを通じて、モータトルク指令値、モータ回転速度及び直流電圧値と、d軸電流目標値及びq軸電流目標値との関係を求めたテーブルをあらかじめ用意しておく。そして、モータコントローラ2は、モータトルク指令値 T_{mf}^* 、モータ回転速度 ω_m 、及び直流電圧値 V_{dc} を取得すると、用意した上記のテーブルを参照してd軸電流目標値 i_d 及びq軸電流目標値 i_q を求める。

20

【0045】

ステップS206では、モータコントローラ2（電流電圧マップ格納器25）は、d軸電流 i_d 及びq軸電流 i_q をそれぞれd軸電流目標値 i_d 及びq軸電流目標値 i_q に一致させるための電流制御を行う。

【0046】

具体的には、モータコントローラ2（電流制御器26）は、ステップS201で入力された三相交流電流値 i_u 、 i_v 及び i_w と、電動モータ4の回転子位相 θ に基づいて、d軸電流 i_d 及びq軸電流 i_q を求める。続いてモータコントローラ2は、d軸及びq軸電流目標値 i_d 及び i_q と、d軸及びq軸電流 i_d 及び i_q との偏差から、d軸及びq軸電圧指令値 v_d 及び v_q を算出する。

30

【0047】

なお、モータコントローラ2で算出したd軸及びq軸電圧指令値 v_d 及び v_q に対して、d-q直交座標軸間の干渉電圧を相殺するために必要となる非干渉電圧を加算するようにしてもよい。

【0048】

続いてモータコントローラ2（座標変換器27）は、d軸及びq軸電圧指令値 v_d 及び v_q と、電動モータ4の回転子位相 θ と、三相交流電圧指令値 v_u^* 、 v_v^* 及び v_w^* と、直流電圧値 V_{dc} とから、PWM信号 t_u （%）、 t_v （%）及び t_w （%）を求める。このようにして求めたPWM信号 t_u 、 t_v 及び t_w に従ってインバータ3のスイッチング素子がON/OFFすることにより、モータトルク指令値 T_{mf}^* に示された所望のトルクで電動モータ4を駆動することができる。

40

【0049】

次に、ステップS203で行われる停止制御処理について説明するにあたり、まず、本実施形態における電動車両のモータトルク T_m からモータ回転速度 ω_m までの伝達特性 $G_p(s)$ について説明する。

【0050】

図5及び図6は、車両の駆動力伝達系をモデル化した図であり、同図における各パラメータは、以下に示すとおりである。

【0051】

50

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 : 車両の総質量
 K_d : 駆動系の捻り剛性
 K_t : タイヤと路面の摩擦に関する係数
 N : オーバーオールギヤ比
 r : タイヤの過重半径
 ω_m : モータ回転速度
 T_m^* : モータトルク指令値
 T_d : 駆動輪のトルク
 F : 車両に加えられる駆動力
 V : 車体の速度 (車体速度)
 ω_w : 駆動輪の角速度

10

【 0 0 5 2 】

そして、図 5 及び図 6 に示した駆動力伝達系のモデルを用いることにより、以下の運動方程式を導くことができる。

【 0 0 5 3 】

【数 4】

$$J_m \cdot \dot{\omega}_m = T_m - T_d / N \quad \dots (4)$$

20

【 0 0 5 4 】

【数 5】

$$2J_w \cdot \dot{\omega}_w = T_d - r \cdot F \quad \dots (5)$$

【 0 0 5 5 】

【数 6】

$$M\dot{V} = F \quad \dots (6)$$

30

【 0 0 5 6 】

【数 7】

$$T_d = K_d \int (\omega_m / N - \omega_w) dt \quad \dots (7)$$

【 0 0 5 7 】

【数 8】

$$F = K_t (r \cdot \omega_w - V) \quad \dots (8)$$

40

【 0 0 5 8 】

上述の式 (4) 乃至 (8) により表される運動方程式に基づいて、電動モータ 4 のモータトルク T_m からモータ回転速度 ω_m までの伝達関数である伝達特性 $G_p(s)$ を求めると、次式 (9) により表される。なお、この伝達特性 $G_p(s)$ は、伝達特性を模擬した車両モデル $G_p(s)$ としても用いられる。

【 0 0 5 9 】

【数 9】

50

$$G_p(s) = \frac{1}{s} \cdot \frac{b_3 s^3 + b_2 s^2 + b_1 s + b_0}{a_3 s^3 + a_2 s^2 + a_1 s + a_0} \quad \dots (9)$$

【 0 0 6 0 】

ただし、式 (9) 中の各パラメータは、次式 (1 0) により表わされる。

【 0 0 6 1 】

【 数 1 0 】

$$a_3 = 2J_m J_w M \quad 10$$

$$a_2 = K_t J_m (2J_w + r^2 M)$$

$$a_1 = K_d M (J_m + 2J_w / N^2)$$

$$a_0 = K_d K_t (J_m + 2J_w / N^2 + r^2 M / N^2) \quad \dots (10)$$

$$b_3 = 2J_w M$$

$$b_2 = K_t (2J_w + r^2 M) \quad 20$$

$$b_1 = K_d M$$

$$b_0 = K_d K_t$$

【 0 0 6 2 】

上式 (9) により表される伝達特性 $G_p(s)$ の極と零点を調べると、伝達特性 $G_p(s)$ を次式 (1 1) のような伝達特性に近似することができ、1つの極と1つの零点は極めて近い値を示す。これは、式 (1 1) の伝達特性 $G_p(s)$ 中の α と β が極めて近い値を示すことを意味する。

30

【 0 0 6 3 】

【 数 1 1 】

$$G_p(s) = \frac{1}{s} \cdot \frac{(s + \beta) \cdot (b'_2 s^2 + b'_1 s + b'_0)}{(s + \alpha) \cdot (s^2 + 2\zeta_p \omega_p s + \omega_p^2)} \quad \dots (11)$$

【 0 0 6 4 】

したがって、上式 (1 1) における極零相殺 ($\alpha = \beta$ と近似する) を行うことで導出される車両モデル $G_p(s)$ は、次式 (1 2) に示すように (2 次) / (3 次) の伝達特性を有する。

40

【 0 0 6 5 】

【 数 1 2 】

$$G_p(s) = \frac{1}{s} \cdot \frac{b'_2 s^2 + b'_1 s + b'_0}{s^2 + 2\zeta_p \omega_p s + \omega_p^2} \quad \dots (12)$$

【 0 0 6 6 】

車両モデル $G_p(s)$ と制振制御のアルゴリズムとにより、式 (1 2) の車両モデル $G_p(s)$ は、次式 (1 3) に示す伝達特性 $G_r(s)$ と見なすことができる。

50

【 0 0 6 7 】

【数 1 3】

$$G_r(s) = \frac{1}{s} \cdot \frac{b'_2 s^2 + b'_1 s + b'_0}{s^2 + 2\omega_p s + \omega_p^2} \quad \dots (13)$$

【 0 0 6 8 】

続いて、モータトルク T_m から車体速度 V までの伝達特性 $G_{pv}(s)$ について説明する。

【 0 0 6 9 】

上述の式(4)乃至(8)に基づいて伝達特性 $G_{pv}(s)$ を求めると、伝達特性 $G_{pv}(s)$ は、次式(14)により表される。 10

【 0 0 7 0 】

【数 1 4】

$$G_{pv}(s) = \frac{1}{s} \cdot \frac{c_0}{(s + \alpha) \cdot (s^2 + 2\zeta_p \omega_p s + \omega_p^2)} \quad \dots (14)$$

【 0 0 7 1 】

上述の式(11)及び(14)に基づいてモータ回転速度 m から車体速度 V までの伝達特性 $G_{\omega v}(s)$ を求めると、伝達特性 $G_{\omega v}(s)$ は、次式(15)により表される。 20

【 0 0 7 2 】

【数 1 5】

$$G_{\omega v}(s) = \frac{G_{pv}(s)}{G_p(s)} = \frac{c_0}{(s + \beta) \cdot (b'_2 s^2 + b'_1 s + b'_0)} \quad \dots (15)$$

【 0 0 7 3 】

続いて、モータトルク T_m から電動車両の駆動力 F までの伝達特性 $G_{pF}(s)$ について説明する。上述の式(4)乃至(8)に基づいて伝達特性 $G_{pF}(s)$ を求めると、伝達特性 $G_{pF}(s)$ は、次式(16)により表わされる。 30

【 0 0 7 4 】

【数 1 6】

$$G_{pF}(s) = \frac{c_0}{(s + \alpha) \cdot (s^2 + 2\zeta_p \omega_p s + \omega_p^2)} \quad \dots (16)$$

【 0 0 7 5 】

次に、図3のステップ S 2 0 3 で行われる停止制御処理の詳細について説明する。

【 0 0 7 6 】

図7は、停止制御処理を実現する機能構成の一例を示すブロック図である。図7には、停止制御処理を実現する機能構成として、車体速度 F/B トルク設定器 1 0 1 と、外乱トルク推定器 1 0 2 と、減算器 1 0 3 と、トルク比較器 1 0 4 と、車両質量設定器 1 0 5 と、が示されている。 40

【 0 0 7 7 】

車体速度 F/B トルク設定器 1 0 1 は、検出されたモータ回転速度 m に基づいて、電動モータ4の回生制動力を用いて電動車両を停止させるための車体速度フィードバックトルク T (以下、車体速度 F/B トルク T と呼ぶ) を算出する。

【 0 0 7 8 】

図8は、車体速度 F/B トルク設定器 1 0 1 の詳細を示す図であって、モータ回転速度 m に基づいて車体速度 F/B トルク T を算出する方法を説明するための図である。 50

【 0 0 7 9 】

車体速度 F / B トルク設定器 1 0 1 は、制御ブロック 2 0 1 と乗算器 2 0 2 とを備える。

【 0 0 8 0 】

制御ブロック 2 0 1 は、上式 (1 5) の伝達特性 $G_v(s)$ を模擬又は近似したフィルタ、すなわち伝達特性 $G_v(s)$ を有するフィルタとしての機能を担っている。このため、制御ブロック 2 0 1 は、モータ回転速度 m を入力し、伝達特性 $G_v(s)$ を考慮したフィルタリング処理を行うことにより、車体速度 V の推定値を示す推定車体速度 V^{\wedge} を算出する。

【 0 0 8 1 】

なお、式 (1 5) の伝達特性 $G_v(s)$ は、次式 (1 7) のように近似することができる。

10

【 0 0 8 2 】

【数 1 7 】

$$G_{\omega V}'(s) = \frac{c_0'}{(s + \tau_{\omega V})} \quad \dots (17)$$

【 0 0 8 3 】

このため、制御ブロック 2 0 1 は、式 (1 5) の伝達特性 $G_v(s)$ に代えて、式 (1 7) の伝達特性 $G_v(s)$ を用いてフィルタリング処理を行うものであってもよい。これにより、式 (1 5) の伝達特性 $G_v(s)$ を用いる場合に比べて演算処理を低減することができる。

20

【 0 0 8 4 】

なお、上式 (1 7) 中の時定数 $\tau_{\omega V}$ に代えて、式 (1 6) により特定される極 p を用いても良い。このように、モータ回転速度 m から車体速度 V までの伝達特性の分母の極を一つ用いることにより推定車体速度 V^{\wedge} を算出することが可能になる。

【 0 0 8 5 】

また、制御ブロック 2 0 1 は、上式 (1 5) のモータ回転速度 m から車体速度 V までの伝達特性 $G_v(s)$ に加えて、上式 (1 6) のモータトルク T_m から電動車両の駆動力 F までの伝達特性 $G_{pF}(s)$ を考慮したフィルタリング処理を行うものであっても良い。例えば、制御ブロック 2 0 1 は、次式 (1 8) の伝達特性 $G_v(s)$ を有するフィルタリング処理を行う。

30

【 0 0 8 6 】

【数 1 8 】

$$G_{\omega V}(s) = k \frac{(s + \alpha) \cdot (s^2 + 2\zeta_p \omega_p s + \omega_p^2)}{(s + \beta) \cdot (b_2' s^2 + b_1' s + b_0')} \quad \dots (18)$$

【 0 0 8 7 】

上式 (1 8) において、ギア比、及びタイヤ同半径などを考慮したゲイン k を乗算することにより、伝達特性 $G_v(s)$ のうち入力をモータ回転速度 m とし、出力を推定車体速度 V^{\wedge} とすることができる。

40

【 0 0 8 8 】

上式 (1 8) の伝達特性 $G_v(s)$ を制御ブロック 2 0 1 に適用することにより、モータトルク T_m から電動車両の駆動力 F までの伝達特性を考慮したモータトルク指令値である第 3 のトルク目標値 T_{m3} を算出することが可能になる。

【 0 0 8 9 】

なお、式 (1 6) の伝達特性 $G_{pF}(s)$ に代えて、次式 (1 9) の伝達特性 $G_{pF}(s)$ を用いても良い。

【 0 0 9 0 】

50

【数 19】

$$G_{pF}(s) = \frac{c_0}{(s^2 + 2\zeta_p \omega_p s + \omega_p^2)} \quad \dots (19)$$

【0091】

上式(19)の伝達特性 $G_{pF}(s)$ は、式(16)の伝達特性 $G_{pF}(s)$ において複素平面上で原点から遠い極を近似した特性である。

【0092】

以上のように、制御ブロック201は、モータ回転速度 m から車体速度 V までの伝達特性 $G_v(s)$ により特定される分母の極を一つ以上用いて推定車体速度 V^{\wedge} を算出する。

10

【0093】

乗算器202は、推定車体速度 V^{\wedge} に所定のゲイン K_{vref} を乗じることにより、車体速度 F/B トルク T を算出する。この乗算器202には、車両質量設定器105(図7参照)において設定された車両質量推定値 M^{\wedge} が入力される。乗算器202は、入力された車両質量推定値 M^{\wedge} に応じたゲイン K_{vref} を決定する。車両質量設定器105の詳細は後述する。

【0094】

なお、このゲイン K_{vref} は、シミュレーションや実験等によって適切な値をあらかじめ導出し、車両質量推定値 M^{\wedge} と推定車体速度 V^{\wedge} とに関連付けられたテーブル形式で乗算器202に記憶されていてもよい。この場合、乗算器202は、車体速度 F/B トルクの算出時にこのテーブルを参照し、車両質量推定値 M^{\wedge} に応じたゲイン K_{vref} を決定する。

20

【0095】

図9は、車両質量推定値 M^{\wedge} とゲイン K_{vref} との関係の一例を示す図である。図9の設計質量 M_{ini} は出荷時における車両それ自身の質量であり、車両質量推定値 M^{\wedge} は車両に人が乗ったり荷物が積載されたりした場合における車両の総質量である。なお、本実施形態における車両の総質量とは、車両そのものの質量である設計質量 M_{ini} に対して、車両の乗員の質量、車両の積載物の質量、トレーラ T 等を牽引する場合には当該トレーラ T の質量等の質量を含む車両の質量の総量である。なお、設計質量 M_{ini} は、必ずしも車両のみの質量の値である必要はない、例えば、数人分の乗員の質量があらかじめ含まれていてもよい。

30

【0096】

図9に示すように、ゲイン K_{vref} の絶対値は、車両質量推定値 M^{\wedge} の増加に応じて大きく設定される。ただし、ゲイン K_{vref} は、電動車両の停車間際に電動車両を停止させるために負(マイナス)の値をとることを前提とする。これにより、車体速度 F/B トルク T は、推定車体速度 V^{\wedge} が大きくなるほど、大きな回生制動力が得られるようなトルク値に設定される。

【0097】

なお、車体速度 F/B トルク設定器101は、推定車体速度 V^{\wedge} にゲイン K_{vref} を乗じて車体速度 F/B トルク T を算出するものとして説明したが、推定車体速度 V^{\wedge} と回生トルクとの関係を予め記憶した回生トルクテーブル、又は推定車体速度 V^{\wedge} の減衰率を予め記憶した減衰率テーブルを用いて車体速度 F/B トルク T を算出するものであってもよい。

40

【0098】

図7に示す外乱トルク推定器102は、モータ回転速度 m 、第3のトルク目標値 T_{m3} 、及び車両質量推定値 M^{\wedge} に基づいて外乱トルク推定値 T_d を算出する。

【0099】

図10は、外乱トルク推定器102の詳細を示す図である。図10を参照すると、外乱トルク推定器102は、制御ブロック301と、制御ブロック302と、減算器303と

50

、を備える。

【0100】

制御ブロック301は、 $H1(s)/Gr(s)$ なる伝達特性を有するフィルタとしての機能を担っており、モータ回転速度 m を入力してフィルタリング処理を行うことにより、第1のモータトルク推定値を算出する。

【0101】

制御ブロック301の伝達特性のうち、分母を構成する $Gr(s)$ は、上述の式(10)に示した伝達特性であり、式(9)の車両モデル $Gp(s)$ と制振制御のアルゴリズムとから導かれる車両モデルである。また、伝達特性の分子を構成する $H1(s)$ は、分母次数と分子次数との差分が車両モデル $Gp(s)$ の分母次数と分子次数との差分以上となる伝達特性を有するローパスフィルタである。

10

【0102】

また、制御ブロック301には、車両質量設定器105において設定された車両質量推定値 M^{\wedge} が入力される。制御ブロック301は、分母を構成する $Gr(s)$ に含まれる質量成分を入力された車両質量推定値 M^{\wedge} に応じて補正する。具体的には、例えば式(10)の b_1 に含まれる M を車両質量推定値 M^{\wedge} に補正することにより、 b_1 を含む式(13)の伝達特性 $Gr(s)$ が車両質量推定値 M^{\wedge} に基づいて補正される。これにより、制御ブロック301において算出される第1のモータトルク推定値は、車両質量推定値 M^{\wedge} に応じた値として算出される。

【0103】

制御ブロック302は、伝達特性 $H1(s)$ を有するフィルタとしての機能を担っており、第3のトルク目標値 $Tm3$ を入力して、伝達特性 $H1(s)$ を考慮したフィルタリング処理を行うことにより、第2のモータトルク推定値を算出する。

20

【0104】

減算器303は、第1のモータトルク推定値と第2のモータトルク推定値との偏差を外乱トルク推定値 Td として出力する。本実施形態の減算器303は、第1のモータトルク推定値を第2のモータトルク推定値から減じることにより、外乱トルク推定値 Td を算出する。

【0105】

図7に示す車両質量設定器105は、車両に設けられたセンサによって取得されるパラメータ及び第3のトルク目標値 $Tm3$ に基づいて車両の総質量である車両質量推定値 M^{\wedge} を設定する。

30

【0106】

図11は、車両質量設定器105の詳細を示す図である。図11を参照すると、車両質量設定器105は、センサ信号処理部401、加速度推定部402、加速度変化量算出部403、補正質量算出部404、車両質量設定部405、駆動力演算部406、及び加速度演算部407を備える。

【0107】

センサ信号処理部401は、車両に設けられたセンサ(不図示)からの出力値が入力される。本実施形態における当該センサは、車両の前後加速度 a を取得するセンサ、例えば加速度センサである。センサ信号処理部401は、センサの検出値である前後加速度 a が入力されると、その絶対値を算出して加速度変化量算出部403に出力する。

40

【0108】

加速度推定部402は、後述の加速度演算部407において算出された前後加速度推定値 a^{\wedge} が入力されると、その絶対値を算出して加速度変化量算出部403に出力する。

【0109】

加速度変化量算出部403は、入力された前後加速度 a の絶対値と前後加速度推定値 a^{\wedge} の絶対値との差分である加速度差分 a を演算する。

【0110】

補正質量算出部404は、加速度変化量算出部403において演算された加速度差分

50

aが入力される。補正質量算出部404は、入力された加速度差分 a に対して質量設定ゲイン K_m を乗算することによって補正質量 M を算出する。なお、このゲイン K_m は、例えば、あらかじめシミュレーションなどによって求められ、加速度差分 a と補正質量 M とに関連付けられた値としてテーブル形式で記憶されている。

【0111】

車両質量設定部405は、補正質量算出部404から出力された補正質量 M が入力される。車両質量設定部405は、受付けた補正質量 M を演算ごとに加算することによって車両質量推定値 M^{\wedge} を演算する。

【0112】

駆動力演算部406は、第3のトルク目標値 T_{m3} が入力される。駆動力演算部406は、受付けた第3のトルク目標値 T_{m3} に伝達特性 $G_{pf}(s)$ を適用することによって駆動力 F を演算する。

10

【0113】

加速度演算部407は、車両質量設定部405からの車両質量推定値 M^{\wedge} と、駆動力演算部406からの駆動力 F と、に基づいて前後加速度の推定値として前後加速度推定値 a^{\wedge} を算出する。具体的には、駆動力 F を車両質量推定値 M^{\wedge} で除算することによって前後加速度推定値 a^{\wedge} を導出する。この前後加速度推定値 a^{\wedge} は、上記のとおり加速度推定部402に入力されて、加速度差分 a の演算に用いられる。このように、加速度差分 a は、走行中常時演算可能であり、補正質量 M もまた走行中常時演算可能である。

【0114】

20

また、破線で示されるように、上記の車両質量推定値 M^{\wedge} の演算過程において、電動車両の総質量が変化する前に行われるドライバの所定の操作に応じて車両質量推定値 M^{\wedge} は初期化されてもよい。所定の操作として、例えば、シフトレバーをPレンジに、又はパーキングに切り替えるシフト操作が行われたとき、車両質量設定部405はこの所定の操作に応じて車両質量推定値 M^{\wedge} を初期化するように構成されてもよい。ドライバがこのような操作を行った後には、例えばドライバが車両を停車させて乗員を乗り降りさせる等して車両質量推定値 M^{\wedge} が変化する可能性が高い。したがって、コントローラ2は、このようなドライバの操作に基づいて車両の総質量 M が変化する可能性を検知し、車両質量推定値 M^{\wedge} が変化する前に車両質量推定値 M^{\wedge} を初期化してもよい。これにより、車両質量推定値 M^{\wedge} が変化した場合でも、変化した後の車両質量推定値 M^{\wedge} を前後加速度 a に基づいて適切に推定することができる、なお、所定の操作は、このようなシフト操作に限らず、例えば、IGNオフ状態とする、シートベルトを外す、又はバックドアを開ける等の動作でもよい。

30

【0115】

図7に戻って説明を続ける。減算器103は、車体速度 F/Bトルク設定器101からの車体速度 F/Bトルク T から、外乱トルク推定器102からの外乱トルク推定値 T_d を減算することにより、第2のトルク目標値 T_{m2} を算出する。

【0116】

トルク比較器104は、第1のトルク目標値 T_{m1} と第2のトルク目標値 T_{m2} の大きさを比較し、値が大きい方のトルク目標値を第3のトルク目標値 T_{m3} に設定する。車両の走行中、第2のトルク目標値 T_{m2} は、第1のトルク目標値 T_{m1} よりも小さく、車両が減速して停車間際(車速が所定車速以下)になると、第1のトルク目標値 T_{m1} よりも大きくなる。したがって、トルク比較器104は、第1のトルク目標値 T_{m1} が第2のトルク目標値 T_{m2} より大きければ、停車間際以前と判断して、第1のトルク目標値 T_{m1} を第3のトルク目標値 T_{m3} に設定する。

40

【0117】

また、トルク比較器104は、第2のトルク目標値 T_{m2} が第1のトルク目標値 T_{m1} よりも大きくなると、車両が停車間際と判断して、第3のトルク目標値 T_{m3} を第1のトルク目標値 T_{m1} から第2のトルク目標値 T_{m2} に切り替える。この第2のトルク目標値 T_{m2} は、停車状態を維持するため、登坂路では正トルク、降坂路では負トルク、平坦路

50

では概ねゼロに収束する。

【 0 1 1 8 】

次に、図 2 のステップ S 2 0 4 で行われる制振制御処理の詳細について説明する。

【 0 1 1 9 】

図 1 2 は、電動車両の駆動力伝達系の振動を抑制する制振制御処理を実現する機能構成の一例を示すブロック図である。制振制御処理は、F / F 補償器と F / B 補償器との組み合わせにより構成される。

【 0 1 2 0 】

図 1 2 には、F / F 補償器として制御ブロック 5 0 1 が示され、F / B 補償器として、加算器 5 0 2 と、制御ブロック 5 0 3 と、減算器 5 0 4 と、制御ブロック 5 0 5 と、乗算器 5 0 6 とが示されている。

10

【 0 1 2 1 】

制御ブロック 5 0 1 は、 $G_r(s) / G_p(s)$ なる伝達特性を有するフィルタとしての機能を担っており、第 3 のトルク目標値 T_{m3} を入力して、電動車両のねじり振動を低減するフィルタリング処理を行うことにより、第 4 のトルク目標値 T_{m4} を算出する。

【 0 1 2 2 】

制御ブロック 5 0 1 の伝達特性のうち、分母を構成する $G_p(s)$ は、式 (1 2) の車両モデル $G_p(s)$ であり、分子を構成する $G_r(s)$ は、車両モデル $G_p(s)$ 及び制振制御のアルゴリズムから導かれる式 (1 3) の車両モデルである。

【 0 1 2 3 】

加算器 5 0 2 は、フィードフォワード制御により得られた第 4 のトルク目標値 T_{m4} に F / B 補償器の出力を加算することにより、第 6 のトルク目標値 T_{m6} を出力する。

20

【 0 1 2 4 】

制御ブロック 5 0 3 は、車両モデル $G_p(s)$ を有するフィルタとしての機能を担っている。このため、制御ブロック 5 0 3 は、第 6 のトルク目標値 T_{m6} を入力し、車両モデル $G_p(s)$ を考慮したフィルタリング処理を行うことにより、モータ回転速度 m の推定値を示すモータ回転速度推定値 m^{\wedge} を算出する。

【 0 1 2 5 】

減算器 5 0 4 は、モータ回転速度推定値 m^{\wedge} とモータ回転速度 m との偏差を出力する。本実施形態の減算器 5 0 4 は、モータ回転速度推定値 m^{\wedge} からモータ回転速度 m を減じることにより得た値を制御ブロック 5 0 5 に出力する。

30

【 0 1 2 6 】

制御ブロック 5 0 5 は、 $H_2(s) / G_p(s)$ なる伝達特性を有するフィルタとしての機能を担っており、減算器 5 0 4 の偏差を入力してフィルタリング処理を行うことにより、外乱トルクの推定値を含む推定外乱 d^{\wedge} を算出する。

【 0 1 2 7 】

制御ブロック 5 0 5 の伝達特性のうち、式 (1 2) の車両モデル $G_p(s)$ と制振制御のアルゴリズムとから導かれる車両モデルであり、分子を構成する $H_2(s)$ は、駆動系のねじり振動のみを低減するフィードバック要素となる伝達特性を有するバンドパスフィルタである。

40

【 0 1 2 8 】

乗算器 5 0 6 は、制御ブロック 5 0 5 からの推定外乱 d^{\wedge} にフィードバックゲイン K_{FB} を乗じて、モータ回転速度 m の制御誤差を考慮した第 5 のトルク目標値 T_{m5} を算出する。そして加算器 5 0 2 により第 5 のトルク目標値 T_{m5} が第 4 のトルク目標値 T_{m4}^* に加算されることで第 6 のトルク目標値 T_{m6} が算出される。電動車両のねじり振動の発生を抑制する第 6 のトルク目標値 T_{m6} にモータ回転速度 m がフィードバックされる。このように、第 6 のトルク目標値 T_{m6} にモータ回転速度 m が F / B されることにより、電動車両のねじり振動を抑制することができる。

【 0 1 2 9 】

次に、制御ブロック 5 0 5 が有する伝達特性 $H_2(s)$ について説明する。

50

【 0 1 3 0 】

図 1 3 は、伝達特性 $H_2(s)$ を実現するためのバンドパスフィルタの一例を示す図である。図示するようにフィルタの特性を設定することにより、最も大きな効果を得ることができる。

【 0 1 3 1 】

すなわち、伝達特性 $H_2(s)$ は、ローパス側での減衰特性とハイパス側での減衰特性とが略一致し、かつ、駆動系のねじり共振周波数が対数軸 (log スケール) 上で通過帯域の中央部近傍となるように設定される。

【 0 1 3 2 】

そして、例えば、1 次のハイパスフィルタ及び 1 次のローパスフィルタを用いて伝達特性 $H_2(s)$ を構成する場合、伝達特性 $H_2(s)$ は次式 (20) で表され、周波数 f_p が駆動系のねじり共振周波数に設定され、 k が任意の値に設定される。

【 0 1 3 3 】

【 数 2 0 】

$$H_2(s) = \frac{\tau_H s}{(1 + \tau_H s) \cdot (1 + \tau_L s)} \quad \dots (20)$$

【 0 1 3 4 】

ただし、 $\tau_L = 1 / (2 \pi f_{HC})$ 、 $f_{HC} = k \cdot f_p$ 、 $\tau_H = 1 / (2 \pi f_{LC})$ 、 $f_{LC} = f_p / k$ である。なお、本実施形態では、電動車両の駆動力伝達系にねじり振動が発生するため停止制御と制振制御を併用した例を説明したが、省略することもできる。この場合は、第 3 のトルク目標値 T_{m3} が最終トルク指令値 T_{mf}^* となる。

【 0 1 3 5 】

以下、本実施形態における電動車両の制御方法を電気自動車に適用した際の効果について、図 1 4 及び図 1 5 を参照して、平坦路で停止制御を実行した場合の制御結果について説明する。

【 0 1 3 6 】

図 1 4 は、比較例として、従来の停止制御、すなわち車両の総質量 M を推定し、推定した総質量 M に応じたトルク指令値の算出を行わない場合の停止制御による制御結果の一例を示すタイムチャートである。図 1 5 は、本実施形態の停止制御であって、車両の総質量の推定値である車両質量推定値 M^{\wedge} に基づいて停止制御を行った場合の制御結果の一例を示すタイムチャートである。

【 0 1 3 7 】

図 1 4 及び図 1 5 において、(a) にはモータトルク指令値に相当する最終トルク指令値としての第 3 のトルク目標値 T_{m3} が示され、(b) にはモータ回転速度が示され、(c) には車両前後加速度が示されている。また (a) ~ (c) の横軸は共通の時間軸である。

【 0 1 3 8 】

また、図中の破線は、車両の設計質量 M_{ini} と実際の車両の総質量とが一致している場合の停止制御を示す線である。一方、図中の実線は、車両の設計質量 M_{ini} に対して実際の車両の総質量が大きい場合の停止制御を示す線である。なお、停止制御は、時刻 t_1 から開始する。

【 0 1 3 9 】

従来例である図 1 4 (a) の実線に示すように、車両の総質量 M が補正質量 M 増加した場合、モータ回転速度は図 1 4 (b) の実線で示されるように時刻 t_1 から時刻 t_3 にかけて漸近的にゼロに収束していく。一方、本図の破線に示すように、車両の総質量 M が設計質量 M_{ini} から変化していない場合、モータ回転速度は時刻 t_1 から時刻 t_2 にかけて漸近的にゼロに収束する。

【 0 1 4 0 】

10

20

30

40

50

このように、従来技術では、車両の総質量が増加しても角速度フィードバックゲインが一定値であるため、車両の総質量の変化が無い破線のような変化と比較して、収束までの時間が長くなることがわかる。

【0141】

これに対して、本実施形態を適用した電動車両の停止制御によれば、図15(a)の実線に示すように、車両の総質量 M が設計質量 M_{ini} に対して増加した場合であっても、時刻 t_1 から時刻 t_2 にかけてモータ回転速度は漸近的にゼロに収束していく。本実施形態では車両の総質量 M の増加に応じて角速度フィードバックゲインが調整されるので、図14の従来技術に比べて停止制御中の制御誤差が小さくなる。このため、車両の総質量 M が増加した場合でも、車両の総質量と設計質量 M_{ini} とが一致する場合と同じタイミングで停止することが可能となる。

10

【0142】

その結果、図15(c)に示すように、車両前後加速度の急峻な変動を抑制しつつ、図15(b)の実線に示すように、停止制御処理の開始からモータ回転速度 ω がゼロに収束するまでの期間を時刻 t_3 から時刻 t_2 に短縮することができる。

【0143】

すなわち、本実施形態のモータコントローラ2は、フィードバック制御系の安定性を確保しつつ、ドライバの意図する停止距離を実現することができる。したがって、本実施形態によれば、電動車両の停止距離を短くし、かつ、滑らかな停車を実現することができる。

【0144】

このように、本実施形態によれば、車両の総質量によらず、停車間際から停車までの時間や停車間際の車両挙動を一致させることができる。すなわち、電動車両の総質量が変化した場合でも、電動車両の停止距離が長くなることを抑制し、かつ電動車両を滑らかに停止させることができる。

20

【0145】

なお、本実施形態において、車両に設けられたセンサが取得するパラメータは、上記の前後加速度 a に限られず、総質量 M の変化に関連する種々のパラメータであってもよい。例えば、前後加速度 a に代えて車体速度 V 又は駆動力 F などが用いられてもよい。この場合、車体速度 V 又は駆動力 F から前後加速度 a 及び推定加速度 a^{\wedge} を算出した後に車両質量推定値 M^{\wedge} を算出するか、又はこれらから加速度 a 、 a^{\wedge} 以外の他のパラメータを演算することにより車両質量推定値 M^{\wedge} を算出してもよい。このように、パラメータの種類は適宜変更可能である。

30

【0146】

本発明の実施形態によれば以下の作用効果を生じる。

【0147】

本実施形態の電動車両の制御方法は、電動モータ4を走行駆動源とし、電動モータ4の回生制動力により減速する電動車両の制御方法である。この制御方法は、アクセル操作量を取得し、電動車両の総質量 M^{\wedge} を取得(推定)し、電動車両に作用する外乱トルクを推定し、電動車両を駆動する駆動軸8の回転速度に相関のある回転体の角速度を取得し、回転体の角速度から電動車両の速度までの伝達特性 $G_p(s)$ を用いて電動車両の車体速度を推定し、取得した電動車両の総質量 M^{\wedge} に基づいて電動モータ4に対する第2のトルク目標値 T_{m2} (トルク指定値)を算出し、第2のトルク目標値 T_{m2} に基づいて電動モータ4に生じるトルクを制御する。さらに、制御方法は、アクセル操作量が所定値以下になり、電動車両が停車する際には、推定された車体速度 V の低下とともに、第2のトルク目標値 T_{m2} を外乱トルク T_d に収束させる。

40

【0148】

このように、本実施形態の制御方法は、総質量 M^{\wedge} に基づいて第2のトルク指令値 T_{m2}^* を算出して電動モータ4に生じるトルクを制御するため、車両の総質量 M^{\wedge} に応じて電動モータ4の制御を行うことができる。このため、電動車両の総質量が変化した場合でも、停車間際から停車までの時間や停車間際の車両の挙動を、車両の総質量が設計質量 M_i

50

n_i と同じ場合の規範応答と一致させることができるので、電動車両の停止距離が長くなることを抑制することができる。また、電動車両が停車する際には車体速度 V の低下とともに外乱トルク T_d に収束するので、平坦路、登坂路、及び降坂路において加速度振動の無い常に滑らかな減速を停車間際で実現することができ、なおかつ停車状態を保持することができる。

【0149】

また、本実施形態の電動車両の制御方法は、推定された車体速度 V^{\wedge} に所定のゲイン K_{vref} を乗算することにより車体速度フィードバックトルク T を算出する。また、第2のトルク目標値 T_{m2} （トルク指令値）は、車体速度フィードバックトルク T に基づいて算出される。そして、所定のゲイン K_{vref} は電動車両の総質量 M^{\wedge} に応じて設定される。

10

【0150】

このように、車体速度フィードバックトルク T が総質量 M^{\wedge} に応じて演算されるため、車体速度フィードバック T に基づいて決定される第2のトルク指令値 T_{m2}^* もまた、車両の総質量 M^{\wedge} に応じた値が適切に算出される。これにより、電動車両の総質量が変化した場合であっても、伝達特性 $G_p(s)$ に基づいて算出されるトルクと実際の車両のトルクとが乖離することを抑制できるので、車両の総質量 M^{\wedge} に適合した停止制御を実現できる。

【0151】

また、本実施形態の電動車両の制御方法では、所定のゲイン K_{vref} は、電動車両の総質量 M の増加に応じて大きく設定される。

20

【0152】

図8において説明したように、車両の総質量 M の増加に応じてゲイン K_{vref} を大きくすることによって、車体速度 F/B トルク T を車両の総質量 M^{\wedge} に応じた適切な値に調整することができる。これにより、伝達特性 $G_p(s)$ に基づいて算出されるトルクと実際の車両のトルクとが乖離することをより確実に抑制できるので、車両の総質量 M^{\wedge} により適合した停止制御を実現できる。

【0153】

また、本実施形態の電動車両の制御方法では、電動車両の総質量に相関のあるパラメータを取得し、電動車両の総質量 M^{\wedge} は、取得したパラメータに基づいて推定される。

30

【0154】

本実施形態によれば、電動車両の総質量を直接測定しなくても、電動車両の総質量に相関のある所定のパラメータを取得し、これに基づいて間接的に総質量 M^{\wedge} を求めることができる。したがって、電動車両に質量を直接計測するための装置を別途設ける必要がないので、簡易な構成によって電動車両の総質量 M^{\wedge} を推定することができる。

【0155】

また、本実施形態における電動車両の制御方法では、パラメータは、電動車両の前後加速度 a であって、電動車両の総質量 M^{\wedge} は、取得した電動車両の前後加速度 a と第2のトルク目標値 T_{m2} （第3のトルク目標値 T_{m3} ）とに基づいて推定される。

【0156】

図11で説明したように、車両の加速度センサによって取得された車両の前後加速度 a に基づいて車両の総質量 M の変化量としての補正質量 M が求められる。加速度 a は、例えば車両に簡単に取り付けられる加速度センサによって取得することができる。

40

【0157】

また、本実施形態における電動車両の制御方法によれば、電動車両の総質量 M^{\wedge} は、電動車両の総質量が変化する前に行われる所定の操作に応じて初期化される。

【0158】

例えば、演算された車両質量推定値 M^{\wedge} の演算誤差がある場合には、その積算誤差をリセットできるので、車両質量推定値 M^{\wedge} を精度よく推定することができる。これにより、車両の総質量 M^{\wedge} に適合した停止制御を常年实现できる。

50

【 0 1 5 9 】

(第 2 実施形態)

次に、第 2 実施形態にかかる車両の制御方法について説明する。第 2 実施形態は、車両の総質量 M を設定する車両質量設定器 106 の構成が第 1 実施形態と相違する。以下では当該相違点の詳細について説明する。

【 0 1 6 0 】

図 16 は、車両の駆動力伝達系をモデル化した図である。第 2 実施形態では、一例として、車両 W がトレーラ T を牽引する場合について説明する。車両 W とトレーラ T とは牽引部としてのトレーラヒッチ F によって連結されており、トレーラヒッチ F には車両 W がトレーラ T を牽引する際に車両に作用する重量を検知するためのトレーラヒッチ荷重センサ F_t が設けられている。

10

【 0 1 6 1 】

また、本実施形態では、車両 W の車輪、具体的には左右の駆動輪 $9a$, $9b$ (図 1 参照) 及び左右の後輪 (不図示) のそれぞれに対応するサスペンション、及びこれらのサスペンションのそれぞれのストローク量を検出する四つのサスペンションストロークセンサ F_R , F_L , R_R , R_L が設けられている。

【 0 1 6 2 】

図 16 における各パラメータは、以下に示すとおりである。

【 0 1 6 3 】

M : 車両 W とトレーラ T とを含む総質量

20

M_c : 車両 W の質量

M_t : トレーラ T の質量 (トレーラの従動輪等価質量 (車輪イナーシャ) を含む)

F_t : トレーラヒッチ荷重センサ

【 0 1 6 4 】

ここで、車両 W とトレーラ T とが剛体で連結していると仮定すると、車両の総質量 M は次式 (21) 式で表される。

【 0 1 6 5 】

【 数 2 1 】

$$M = M_c + M_t \quad \dots (21)$$

30

【 0 1 6 6 】

また、駆動力 F によって車両 W が加減速している際の、駆動力 F とトレーラヒッチ荷重センサ F_t との関係は次式 (22) で表される。

【 0 1 6 7 】

【 数 2 2 】

$$F_t = \frac{M_c}{M} \cdot F \quad \dots (22)$$

40

【 0 1 6 8 】

上記の式 (21) 及び式 (22) から車両の総質量 M は次式 (23) 式で表される。

【 0 1 6 9 】

【 数 2 3 】

$$M = \left(1 + \frac{F_t}{F - F_t} \right) \cdot M_c \quad \dots (23)$$

【 0 1 7 0 】

続いて、本実施形態に係る車両質量設定器 106 について説明する。図 17 は、車両質

50

量設定器 106 の詳細を示す図である。車両質量設定器 106 は、総ストローク量演算部 601、サスペンションストローク変化量演算部 602、車両増加質量演算部 603、車両質量演算部 604、駆動力演算部 605、車両駆動力演算部 606、牽引力比率演算部 607、牽引質量演算部 608、及び総質量演算部 609 を備える。

【0171】

まず、車両 W の車両質量 M_c の演算処理について説明する。総ストローク量演算部 601 は、四つのサスペンションストロークセンサ F_R 、 F_L 、 R_R 、 R_L の出力を加算する事で、車両 W における全ての駆動輪にそれぞれ対応するサスペンションにかかる総ストローク量 S_T を算出する。この総ストローク量は、例えば、サスペンションマウントに取り付けられる圧力センサ、又はストローク量センサによって取得される。

10

【0172】

サスペンションストローク変化量演算部 602 は、総ストローク量演算部 601 において演算された総ストローク量 S_T 、及び設計質量 M_{ini} によって事前に規定された四輪のストローク量の合計値としての設計質量ストローク量 S_{Tini} が入力される。サスペンションストローク変化量演算部 602 は、設計質量ストローク量 S_{Tini} から、総ストローク量 S_T を減算することによって、車両 W の設計質量 M_{ini} からの質量の増加の影響で沈み込んだサスペンションストローク量としてのストローク変化量 S_T を算出する。

【0173】

車両増加質量演算部 603 は、サスペンションストローク変化量演算部 602 において算出されたストローク変化量 S_T に、サスペンションを構成するバネのバネ定数 K_{st} (N/mm) を乗算することによって、車両 W の質量変化量 M_c を算出する。

20

【0174】

車両質量演算部 604 は、車両 W の設計質量 M_{ini} 、及び車両増加質量演算部 603 において算出した車両質量変動量 M が入力され、これらを加算することによって、車両 W の車両質量 M_c を算出する。このように、車両 W の車両質量 M_c は、サスペンションストローク量を示すサスペンションストロークセンサ F_R 、 F_L 、 R_R 、 R_L からの信号を用いて算出される。

【0175】

次に、トレーラ T のトレーラ質量 M_t の演算処理について説明する。駆動力演算部 605 は、第 3 のトルク目標値 T_{m3} を入力とし、式 (16) を用いて駆動力 F を算出する。

30

【0176】

車両駆動力演算部 606 は、駆動力演算部 605 で算出した車両 W の駆動力 F 、及びトレーラヒッチ荷重センサ F_t における重量の検出値である牽引力 F_{to} が入力される。ここにいう牽引力 F_{to} は、車両 W がトレーラ T を牽引する力に相当する値である。車両駆動力演算部 606 は、駆動力 F から牽引力 F_{to} を減算することにより、車両 W を駆動する力としての車両駆動力 F_w を算出する。

【0177】

牽引力比率演算部 607 は、トレーラヒッチ荷重センサ F_t からの牽引力 F_{to} 、及び車両駆動力演算部 606 において算出された車両駆動力 F_w が入力される。牽引力比率演算部 607 は、牽引力 F_{to} に対して車両駆動力 F_w を除算する事で、車両駆動力 F_w に対する牽引力 F_{to} の比率 K_t を算出する。

40

【0178】

牽引質量演算部 608 は、牽引力比率演算部 607 において算出された比率 K_t 、及び車両質量演算部 604 において算出された車両 W の車両質量 M_c が入力される。牽引質量演算部 608 は、車両の車両質量 M_c に対して比率 K_t を乗算することにより、トレーラ T の質量としてのトレーラ質量 M_t を算出する。

【0179】

総質量演算部 609 は、車両質量演算部 604 で算出した車両質量 M_c 、及び牽引質量演算部 608 で算出したトレーラ質量 M_t を加算することで、車両 W とトレーラ T の総質

50

量としての車両質量推定値 M^{\wedge} を算出する。

【0180】

このように、本実施形態では、第3のトルク目標値 T_{m3} とトレーラヒッチの荷重センサ F_t の検出値とを用いてトレーラ質量 M_t を推定する。そして、このトレーラ質量 M_t を用いて車両の車両質量 M_c を補正することにより、車両質量推定値 M^{\wedge} を算出する。なお、第1実施形態と同様に、コントローラ2は、ドライバによるシフト操作があったことを示す信号を検知した場合には、車両質量推定値 M^{\wedge} を初期化してもよい。

【0181】

なお、トレーラが接続されない場合には、荷重センサを要せずに、サスペンションストロークセンサ F_R, F_L, R_R, R_L を用いて車両の総質量 M^{\wedge} を推定することができる。その場合は、車両質量演算部604から出力される M_c が車両の総質量 M^{\wedge} として算出される。

10

【0182】

以上の構成により、本実施形態によれば、第1実施形態において説明した図14及び図15と同様の制御結果を得ることができる。

【0183】

上記実施形態によれば、以下の作用効果を奏する。

【0184】

本実施形態における電動車両の制御方法では、パラメータは、電動車両に備わるサスペンションのストローク量であって、電動車両の総質量 M^{\wedge} は取得したストローク量に基づいて推定される。

20

【0185】

このような構成によって、サスペンションストロークセンサ F_R, F_L, R_R, R_L のストローク量を示すパラメータに基づいて間接的に車両質量変化量 M を算出することで、適切に車両質量推定値 M^{\wedge} を推定することができる。

【0186】

本実施形態における電動車両の制御方法では、電動車両 W は、トレーラ T (別体の対象) を牽引するためのトレーラヒッチ (牽引部) F をさらに備え、電動車両 W はトレーラ T を牽引する際にトレーラヒッチ F に加わる荷重を計測する。また、電動車両 W はトレーラ T を牽引する際には、トレーラヒッチ F に加わる荷重 F_{t0} と第2のトルク目標値 (トルク指令値) T_{m2} に基づいて電動車両の総質量 M^{\wedge} を補正する。

30

【0187】

このような構成によって、車両 W がトレーラ T 等を牽引する場合であっても、車両の総質量 M^{\wedge} を正確に推定し、車両の総質量 M^{\wedge} に適合した停止制御を実現できる。

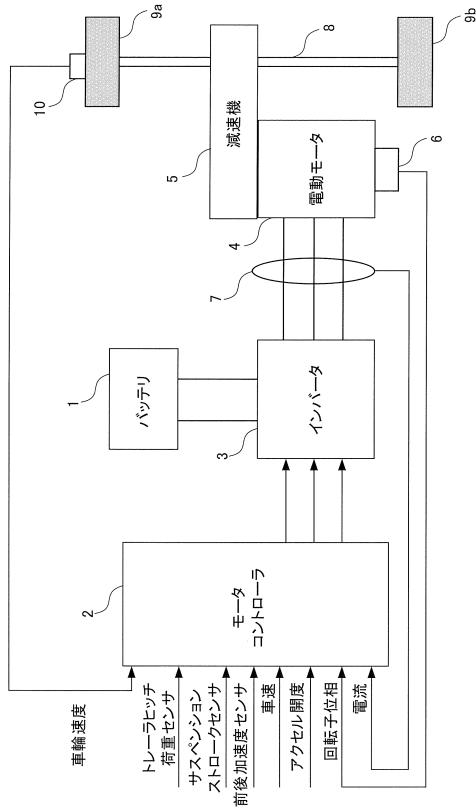
【0188】

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上記実施形態の具体的構成に限定する趣旨ではない。また、上記実施形態は、矛盾が生じない範囲で適宜組み合わせ可能である。例えば、第1実施形態の電動車両の制御方法は、図16で示すトレーラが接続された状態の車両にも適用することもできる。その場合、トレーラが接続された車両の総質量を、図8を用いて説明した方法と同様の方法により前後加速度センサ a に基づいて算出することができる。また、上述の実施形態において、総質量 M^{\wedge} は、所定のパラメータに基づいて推定されているが、質量を直接測定可能な構成を設けることによって測定されてもよい。例えば、上述のサスペンションにおいて、質量を測定可能なセンサを設ける等の方法によって、総質量 M^{\wedge} が直接測定されてもよい。このように、総質量 M^{\wedge} は種々の方法によって取得される。

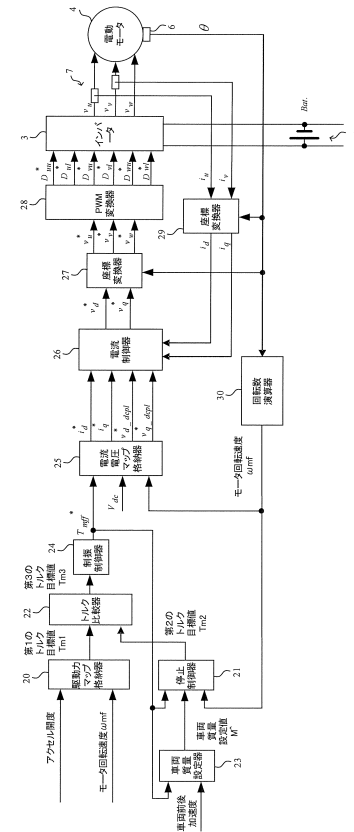
40

【図面】

【図 1】



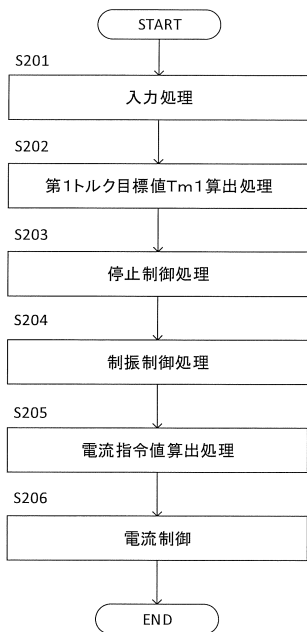
【図 2】



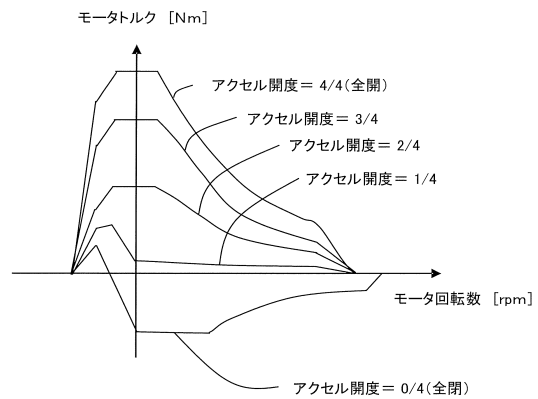
10

20

【図 3】



【図 4】

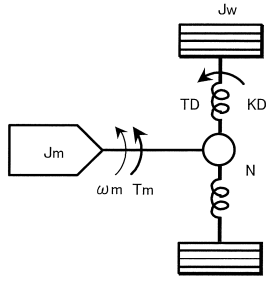


30

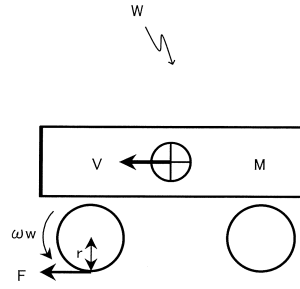
40

50

【 図 5 】

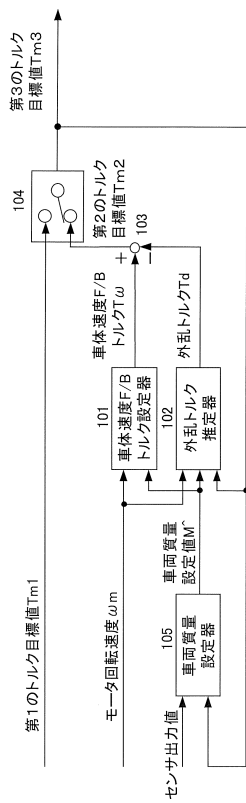


【 図 6 】

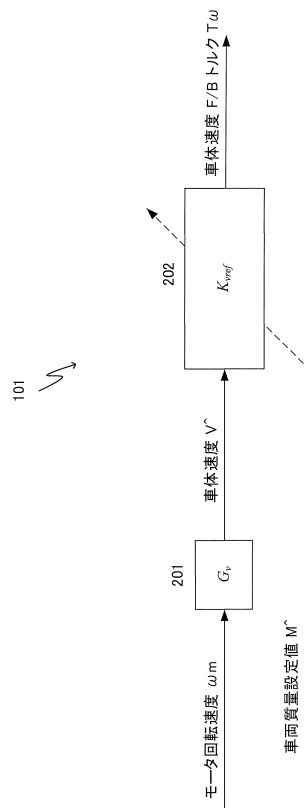


10

【 図 7 】



【 図 8 】

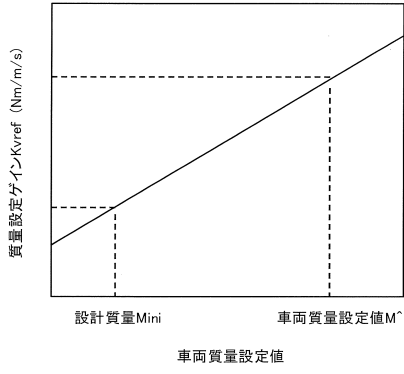


30

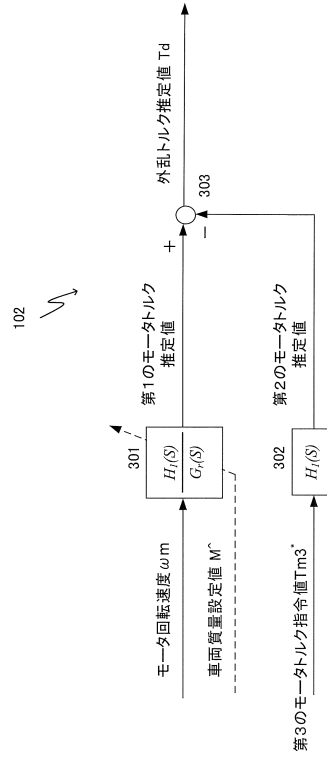
40

50

【図 9】



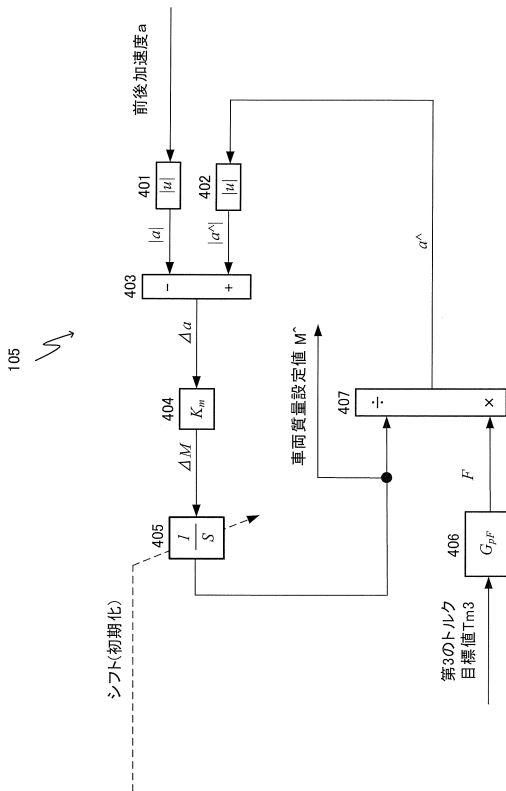
【図 10】



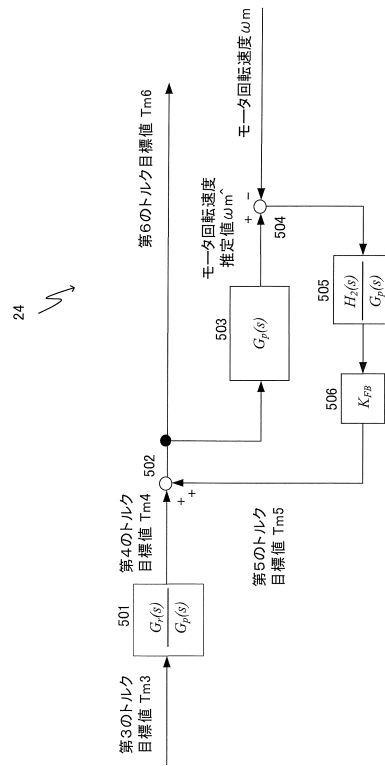
10

20

【図 11】



【図 12】

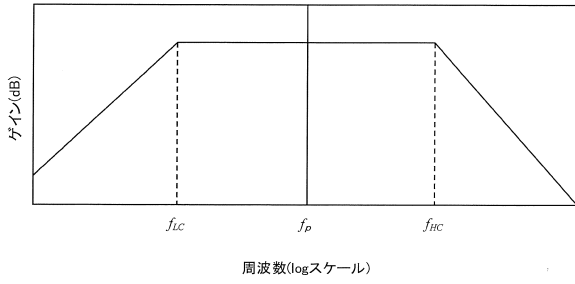


30

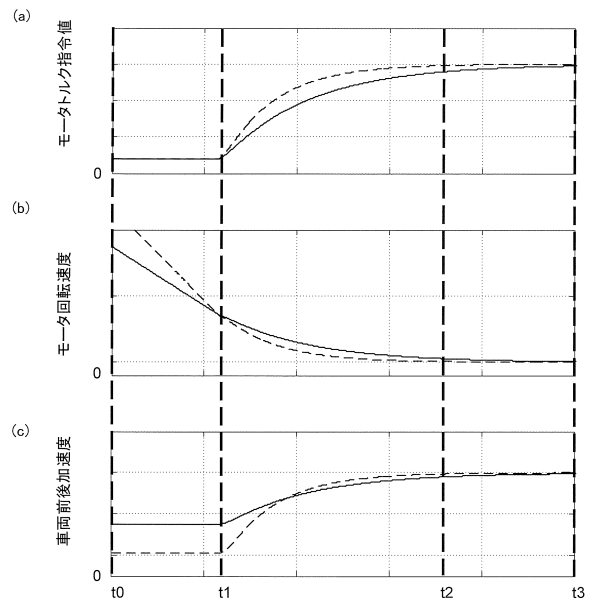
40

50

【図 1 3】



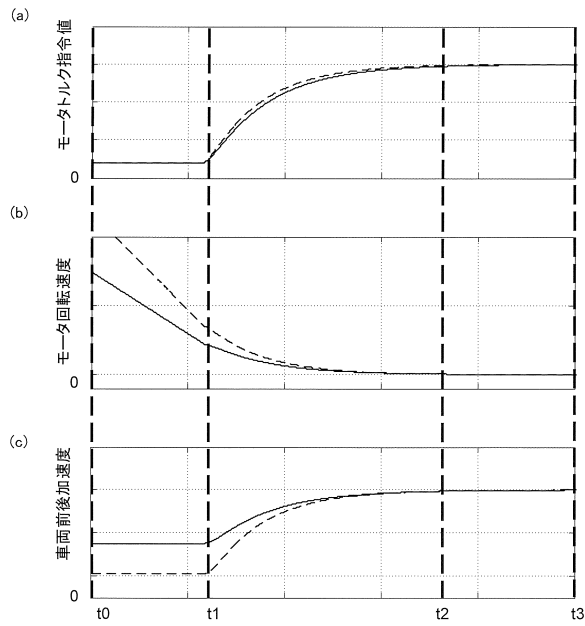
【図 1 4】



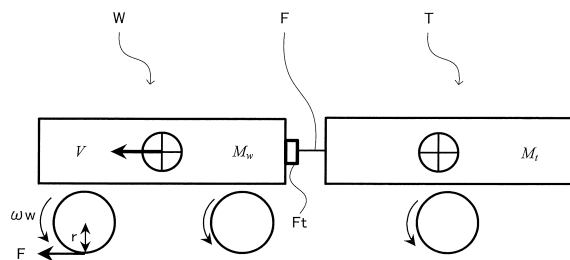
10

20

【図 1 5】



【図 1 6】

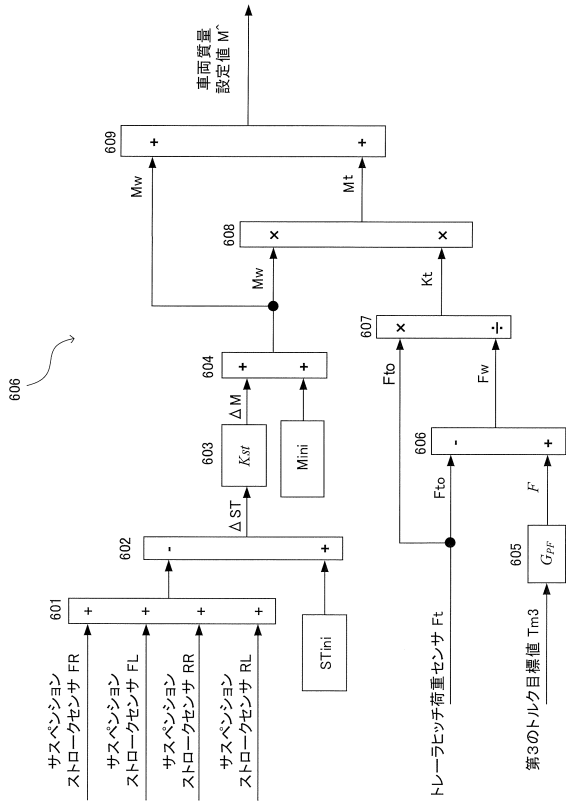


30

40

50

【図 17】



10

20

30

40

50

フロントページの続き

- 神奈川県厚木市森の里青山 1 - 1 日産自動車株式会社 知的財産部内
(72)発明者 伊藤 唯
神奈川県厚木市森の里青山 1 - 1 日産自動車株式会社 知的財産部内
審査官 笹岡 友陽
- (56)参考文献 国際公開第 2 0 1 5 / 0 8 3 2 1 3 (W O , A 1)
特開 2 0 1 4 - 0 9 6 9 7 3 (J P , A)
特開 2 0 1 7 - 1 5 9 7 1 1 (J P , A)
国際公開第 2 0 1 8 / 1 3 8 7 8 0 (W O , A 1)
米国特許出願公開第 2 0 1 7 / 0 0 1 5 1 6 3 (U S , A 1)
- (58)調査した分野 (Int.Cl., D B 名)
B 6 0 L 1 5 / 2 0
B 6 0 L 7 / 1 4