

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2005-295659
(P2005-295659A)

(43) 公開日 平成17年10月20日(2005.10.20)

(51) Int. Cl.⁷
B60L 9/18

F I
B60L 9/18

テーマコード(参考)
5H115

審査請求 未請求 請求項の数 8 O L (全 17 頁)

(21) 出願番号	特願2004-105536 (P2004-105536)	(71) 出願人	000173784 財団法人鉄道総合技術研究所 東京都国分寺市光町2丁目8番地38
(22) 出願日	平成16年3月31日(2004.3.31)	(74) 代理人	100090033 弁理士 荒船 博司
		(74) 代理人	100093045 弁理士 荒船 良男
		(72) 発明者	渡邊 朝紀 東京都国分寺市光町二丁目8番地38 財 団法人鉄道総合技術研究所内
		(72) 発明者	山下 道寛 東京都国分寺市光町二丁目8番地38 財 団法人鉄道総合技術研究所内

最終頁に続く

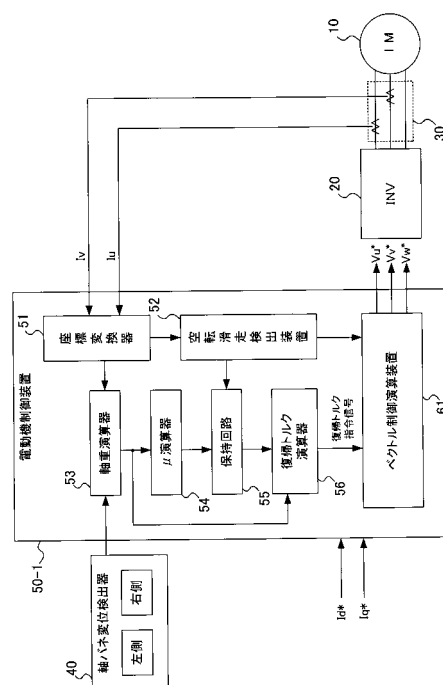
(54) 【発明の名称】 電気車の制御装置及び電気車の制御方法

(57) 【要約】

【課題】 リアルタイムに変化する軸重変動を動的に考慮して、より適切な電動機トルク制御を実現すること。

【解決手段】 電動機制御装置50-1において、軸重演算器53は、軸バネ変位検出器40で検出される軸バネの変位 X_R 、 X_L に基づいて軸重変動 W を算出し、これに静止軸重 W_0 を加算して現在の軸重 W を算出する。 μ 演算器54は、算出された軸重 W に基づいて接線力係数 μ を算出し、保持回路55は、空転滑走が検出された時点での接線力係数 μ を保持する。復帰トルク演算器56は、保持されている空転滑走が検出された時点での接線力係数 μ 及び算出された現在の軸重 W に基づき、現在の軸重で粘着走行し得る限界の復帰トルク指令信号を生成する。そして、ベクトル制御演算装置61は、再粘着制御時に、入力される復帰トルク指令信号に従って電圧指令信号を生成する。

【選択図】 図6



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

軸バネに加わる力を検出する力検出手段を備え、
前記検出された力に基づいた電動機のトルク制御を行うことを特徴とする電気車の制御装置。

【請求項 2】

前記検出された力及び電動機トルクと、静止輪重とから軸重を算出する軸重算出手段と、
前記算出された軸重を用いて接線力係数を算出する接線力係数算出手段と、
を更に備え、前記算出された接線力係数を制御基準値の 1 つとして電動機のトルク制御を行うことを特徴とする請求項 1 に記載の電気車の制御装置。

10

【請求項 3】

前記検出された力及び電動機トルクと、静止輪重とから軸重を算出する軸重算出手段と、
前記算出された軸重を用いて接線力係数を算出する接線力係数算出手段と、
駆動輪の空転又は滑走（以下「空転滑走」）を検出する空転滑走検出手段と、
前記空転滑走検出手段による空転滑走の検出開始時の前記算出された接線力係数を保持する保持手段と、
を更に備え、前記保持された接線力係数及び前記力検出手段により検出されている現在の力を用いて再粘着時のトルク制御を行うことを特徴とする請求項 1 に記載の電気車の制御装置。

20

【請求項 4】

前記電気車は駆動軸を複数具備し、
前記力検出手段を前記各駆動軸それぞれについて設け、
前記各力検出手段により検出される力を用いて前記各駆動軸の駆動トルク配分を求め、
求めた駆動トルク配分に従って前記各駆動軸それぞれを駆動する各電動機のトルク制御を行うことを特徴とする請求項 1 に記載の電気車の制御装置。

【請求項 5】

軸バネに加わる力を検出し、検出された力に基づいた電動機のトルク制御を行うことを特徴とする電気車の制御方法。

30

【請求項 6】

前記検出された力及び電動機トルクと、静止輪重とから軸重を算出する軸重算出ステップと、
前記算出された軸重を用いて接線力係数を算出する接線力係数算出ステップと、
を含み、前記算出された接線力係数を制御基準値の 1 つとして電動機のトルク制御を行うことを特徴とする請求項 5 に記載の電気車の制御方法。

【請求項 7】

前記検出された力及び電動機トルクと、静止輪重とから軸重を算出する軸重算出ステップと、
前記算出された軸重を用いて接線力係数を算出する接線力係数算出ステップと、
駆動輪の空転滑走開始時の前記接線力係数を保持する保持ステップと、
を含み、前記保持された接線力係数及び前記検出されている現在の力を用いて再粘着時のトルク制御を行うことを特徴とする請求項 5 に記載の電気車の制御方法。

40

【請求項 8】

前記電気車は駆動軸を複数具備する電気車であり、
前記各駆動軸それぞれについての軸バネに加わる力を検出し、検出した各軸バネに加わる力を用いて前記各駆動軸の駆動トルク配分を求め、求めた駆動トルク配分に従って前記各駆動軸それぞれを駆動する各電動機のトルク制御を行うことを特徴とする請求項 5 に記載の電気車の制御方法。

【発明の詳細な説明】

50

【技術分野】

【0001】

本発明は電気車の制御装置に関し、より具体的には軸重変動（軸重移動ともいう。）を考慮した電動機のトルク制御に関する。

【背景技術】

【0002】

電気車として電車や電気自動車等が知られているが、以下、その代表例として電車（動力車）について説明する。電車は車輪・レール間の接線力（粘着力ともいう。）によって加減速がなされる。電動機の発生トルクが接線力以下の範囲であれば粘着走行がなされるが、接線力を超えた場合には空転又は滑走（以下、「空転滑走」という。）が生じる。

10

【0003】

空転滑走が生じた場合には、電動機の発生トルクを引き下げて粘着走行に復帰させる制御、すなわち再粘着制御が行われる（例えば、特許文献1参照）。

【0004】

従って、有効な粘着性能を維持し空転滑走を生じさせないトルク制御、或いは空転滑走後の速やか且つ最適な再粘着トルク制御が要求される。但し、粘着性能の維持のためには接線力を求める必要がある。接線力係数を推定する技術として、例えば特許文献2の技術が知られている。

【特許文献1】特開2002-44804号公報

【特許文献2】特開平11-252716号公報

20

【0005】

ところで、接線力係数は以下の式により求められる。

【数1】

$$\mu = \frac{F - m\alpha}{W} \times 100 [\%] \quad \dots(1)$$

ここで、Fは車輪周引張力[N]、mは回転慣性質量[kg]、 α は車輪周加速度[m/sec²]、Wは軸重[N]である。

【0006】

30

軸重Wは静止輪重W₀[N]と軸重変動W[N]との和で求められる。軸重変動Wとは、電車の駆動時や制動時等に車体や台車に働く回転モーメントによって生じる軸重の変化である。従来では、この軸重変動Wを、例えば以下の簡易式で算出していた。

【数2】

$$\Delta W = \pm 2F \left(\frac{h}{l} \pm \frac{H-h}{L} \right) \quad \dots(2)$$

ここで、正負の符号は進行方向と歯車回転方向との相対関係に応じて選択され、Fは当該軸の引張力[N]、hはレール面と牽引リンク間距離[m]、lは台車内軸間距離[m]、Hはレール面と連結器間距離[m]、Lは前後台車牽引リンク間距離[m]である。

40

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0007】

上述の通り、軸重変動は電車の駆動/制動等に応じてリアルタイムに変化する。しかしながら、従来用いていた(2)式の各諸元は固定値であるため、求められる軸重変動も固定値となっていた。即ち、従来の電動機トルク制御は、リアルタイムに変化する軸重変動を動的に考慮していなかった。

【0008】

本発明は上述した課題に鑑みて為されたものであり、その目的は、リアルタイムに変化

50

する軸重変動を動的に考慮して、より適切な電動機トルク制御を実現することである。

【課題を解決するための手段】

【0009】

以上の課題を解決するための第1の発明は、

軸バネに加わる力を検出する力検出手段（例えば、図6の軸バネ変位検出器40）を備え、

前記検出された力に基づいた電動機のトルク制御を行うことを特徴とする電気車の制御装置である。

【0010】

また、第5の発明は、軸バネに加わる力を検出し、検出された力に基づいた電動機のトルク制御を行うことを特徴とする電気車の制御方法である。

【0011】

この第1又は第5の発明によれば、軸バネの力を検出し、検出された力に基づいた動的な電動機のトルク制御が行われる。電気車の駆動時や制動時等に働くモーメントは、車輪にかかる軸重の変化として現れるが、この軸重の変化は軸バネに加わる力として現れる。従って、軸バネに加わる力を動的に検出し、検出された力に基づくことで、リアルタイムに変化する軸重変動を動的に考慮した電動機トルク制御を実現し得る。

【0012】

また、第2の発明は、第1の発明の電気車の制御装置において、

前記検出された力及び電動機トルクと、静止輪重とから軸重を算出する軸重算出手段（例えば、図6の軸重演算器53）と、

前記算出された軸重を用いて接線力係数を算出する接線力係数算出手段（例えば、図6の μ 演算器54）と、

を更に備え、前記算出された接線力係数を制御基準値の1つとして電動機のトルク制御を行う電気車の制御装置である。

【0013】

また、第6の発明は、第5の発明の電気車の制御方法であって、

前記検出された力及び電動機トルクと、静止輪重とから軸重を算出する軸重算出ステップ（例えば、図6の軸重演算器53）と、

前記算出された軸重を用いて接線力係数を算出する接線力係数算出ステップ（例えば、図6の μ 演算器54）と、

を含み、前記算出された接線力係数を制御基準値の1つとして電動機のトルク制御を行う電気車の制御装置である。

【0014】

この第2又は第6の発明によれば、接線力係数を制御基準値の1つとして電動機のトルク制御が行われる。その接線力係数は、検出される軸バネに加わる力及び電動機トルクと、静止輪重とから算出される軸重を用いて動的に算出される。このため、リアルタイムに変化する軸重変動を動的に考慮した電動機トルク制御を実現し得る。

【0015】

また、第3の発明は、第1の発明の電気車の制御装置において、

前記検出された力及び電動機トルクと、静止輪重とから軸重を算出する軸重算出手段（例えば、図6の軸重演算器53）と、

前記算出された軸重を用いて接線力係数を算出する接線力係数算出手段（例えば、図6の μ 演算器54）と、

駆動輪の空転滑走を検出する空転滑走検出手段（例えば、図6の空転滑走検出装置52）と、

前記空転滑走検出手段による空転滑走の検出開始時の前記算出された接線力係数を保持する保持手段（例えば、図6の保持回路55）と、

を更に備え、前記保持された接線力係数及び前記力検出手段により検出されている現在の力を用いて再粘着時のトルク制御を行う電気車の制御装置である。

10

20

30

40

50

【0016】

また、第7の発明は、第5の発明の電気車の制御方法であって、

前記検出された力及び電動機トルクと、静止輪重とから軸重を算出する軸重算出ステップ（例えば、図6の軸重演算器53）と、

前記算出された軸重を用いて接線力係数を算出する接線力係数算出ステップ（例えば、図6の μ 演算器54）と、

駆動輪の空転滑走開始時の前記接線力係数を保持する保持ステップ（例えば、図6の保持回路55）と、

を含み、前記保持された接線力係数及び前記検出されている現在の力を用いて再粘着時のトルク制御を行う電気車の制御方法である。

10

【0017】

この第3又は第7の発明によれば、検出される現在の軸バネに加わる力及び電動機トルクと、静止輪重とから軸重が算出され、算出された軸重を用いて接線力係数が動的に算出される。一方、空転滑走が生じた場合、その開始時の接線力係数が保持される。そして、保持していた接線力係数と、再粘着制御する際の現在軸バネに加わっている力とを用いて再粘着制御が行われる。空転滑走開始時の接線力係数は電気車の車輪・レール間の粘着特性を示す値である。このため、適切な再粘着トルク制御を実現し得る。

【0018】

第4の発明は、第1の発明の電気車の制御装置において、

前記電気車は駆動軸を複数具備し、

20

前記前記力検出手段を前記各駆動軸それぞれについて設け、

前記各力検出手段により検出される力を用いて前記各駆動軸の駆動トルク配分を求め、求めた駆動トルク配分に従って前記各駆動軸それぞれを駆動する各電動機のトルク制御を行う電気車の制御装置である。

【0019】

第8の発明は、第5の発明の電気車の制御方法であって、

前記電気車は駆動軸を複数具備する電気車であり、

前記各駆動軸それぞれについての軸バネに加わる力を検出し、検出した各軸バネに加わる力を用いて前記各駆動軸の駆動トルク配分を求め、求めた駆動トルク配分に従って前記各駆動軸それぞれを駆動する各電動機のトルク制御を行う電気車の制御方法である。

30

【0020】

電気車の進行方向と各駆動軸の配置位置との関係（前方/後方）や、各駆動軸を駆動する電動機歯車の回転方向（駆動軸を押さえ付ける方向に働くかどうか）などに起因して、各駆動軸の軸重変動は同じではなく、また動的に変化している。この第4又は第8の発明によれば、各駆動軸の軸バネに加わる力が検出され、その検出された各駆動軸の軸バネに加わる力に応じたトルク配分でトルク制御が行われる。従って、複数の駆動軸全体において、適切なトルク配分による電動機制御を実現し得る。なお、一の電力源をもとに各電動機がそれぞれの駆動軸を駆動する制御を行う場合には、全体の使用可能電力量が限られているため、この第4又は第8の発明はより好適に作用する。

【発明の効果】

40

【0021】

軸バネに加わる力を動的に検出し、検出された力に基づくことで、リアルタイムに変化する軸重変動を動的に考慮した電動機トルク制御を実現し得る。

【発明を実施するための最良の形態】

【0022】

以下、図面を参照して本発明を実施するための最良の形態を説明する。

尚、以下では、本発明を電車に適用した場合を説明するが、本発明の適用がこれに限定されるものではない。

【0023】

[原理]

50

先ず、本実施形態の原理を説明する。

電車等の電気車では、駆動/ブレーキ時において台車や車体に回転モーメントが働くことで各軸に軸重変動が生じるが、この軸重変動は軸バネに加わる力として現れる。この軸バネに加わる力は軸バネの変位として現れるため、本実施形態では、軸バネに加わる力の検出の一例として、軸バネの変位検出として説明する。そして、本実施形態では、軸バネ変位を検出し、検出した軸バネ変位を用いて接線力係数 μ を算出する。そして、算出した接線力係数 μ に基づいて電動機のトルク制御を行う。

【0024】

軸バネは、図1に示すように、車軸1の両端部において、車軸1を支持する軸箱2と車両を支える台車枠4との間に設けられている。本実施形態では、この軸バネ3の長さ、即ち台車枠4に接している軸バネ3の上端部から軸箱2の上面に接している下端部までの距離を、例えば距離センサを用いて測定し、測定した長さと軸バネ3の基準長さとを比較することで軸バネ3の変位を検出(算出)する。尚、軸バネ変位の他の検出方法として、ロードセルを介して軸バネの下端部を軸箱に当接させ、このロードセルの測定値を軸バネ変位に換算する方法や、軸バネにひずみゲージを貼付し、このひずみゲージの測定値を軸バネ変位に換算する方法等であっても良い。

10

そして、軸重変動 W は、軸バネ変位を用いて次のように求められる。

【0025】

(A) 取り付け式台車

取り付け式台車の電車の場合、軸重変動 W は以下の式で求められる。

20

【数3】

$$\Delta W = \pm 2 \left(\frac{FD}{2a} \right) + k_b (XR + XL) \quad \dots(3)$$

ここで、 D は車輪の直径 [m]、 a は電動機のノーズと支え軸受間の距離 [m]、 K_b は軸バネ係数 [N / mm]、 X_R 、 X_L は、進行方向に向かって車軸の右側、左側に設けられている軸バネの変位 [mm]、 F は引張力 [N] である。但し、軸バネ変位 X_R 、 X_L は、軸バネが縮む方向を正 (+) とし、伸びる方向を負 (-) とする。

【0026】

30

式(3)において、第1項は引張力(車輪周引張力)が直接車軸に作用する力を表し、第2項は軸バネを介して車軸に作用する力を表しており、何れも、下向き(即ち、車軸を押さえ付ける向き)に力が働く場合を正 (+) とし、上向きに力が働く場合を負 (-) としている。

【0027】

また、第1項の正負 (+ / -) の符号は、進行方向に対する車軸と電動機との位置関係に応じて選択される。具体的には、電動機が進行方向に向かって車軸の後方に有る場合には、引張力 F が上向き方向に働くので負 (-) となり、電動機が進行方向に向かって車軸の前方に有る場合には、引張力が下向きに働くので正 (+) となる。

【0028】

40

式(3)の各諸元の内、車輪の直径 D 、電動機のノーズと支え軸受間の距離 a 及びバネ係数 K_b は、電車の仕様によって決まる固定値であり、軸バネ変位 X_R 、 X_L 及び引張力 F は、電車の走行に従って変化する値である。軸バネ変位 X_R 、 X_L は、上述のように検出値として得ることができ、また、引張力 F は以下の式で求められる。

【数4】

$$F = \frac{G}{r} \tau e \quad \dots(4)$$

ここで、 G は大歯車と小歯車の歯車比、 r は車輪の半径 [m]、 e は電動機の発生ト

50

ルク [N m] である。

【 0 0 2 9 】

式 (4) の各諸元の内、歯車比 G 及び車輪半径 r は、電車の仕様によって決まる固定値である。また、発生トルク τ_e は、電車の走行に従って変化する値であり、以下の式で求められる。

【 数 5 】

$$\tau_e = \frac{M^2}{L_2} I_d^* \cdot I_q \quad \dots(5)$$

10

ここで、M は相互インダクタンス [H]、L₂ は二次インダクタンス [H]、I_d^{*} は磁束分電流指令値 [A]、I_q は電動機トルク分電流 [A] である。

【 0 0 3 0 】

式 (5) の各諸元の内、相互インダクタンス M 及び二次インダクタンス L₂ は、電動機の仕様によって決まる固定値であり、磁束分電流指令値 I_d^{*} 及び電動機トルク分電流 I_q は、電車の走行に応じて変化する値である。電動機トルク分電流 I_q は測定値として得ることができる。

【 0 0 3 1 】

このように、つりかけ式台車の場合、式 (2) ~ 式 (5) より、測定した現在の軸バネ変位 X_R、X_L、電動機トルク分電流 I_q、磁束分電流指令値 I_d^{*} 及び電車の各諸元から現在の軸重変動 W を求めることができる。

20

【 0 0 3 2 】

(B) 台車装架式

台車装架式の電車の場合、軸重変動 W は以下の式で求められる。

【 数 6 】

$$\Delta W = k_b (X_R + X_L) \pm F_w \quad \dots(6)$$

ここで、F_w は歯車に伝わる力 [N] である。

【 0 0 3 3 】

式 (6) において、第 1 項は軸バネを介して車軸に作用する力を表し、第 2 項は引張力が直接車軸に作用する力を表しており、何れも、下向きに力が働く場合を正 (+) としている。また、第 1 項の正負 (+ / -) の符号は、車軸を駆動する電動機歯車の回転方向に応じて選択される。

30

【 0 0 3 4 】

歯車に伝わる力 F_w は、電車の走行に伴って値が変化するものであり、以下の式で求められる。

【 数 7 】

$$F_w = \frac{r}{r_b} F \quad \dots(7)$$

40

ここで、r_b は大歯車のピッチ円半径 [m]、F は車輪周引張力 [N] である。

【 0 0 3 5 】

式 (7) の各諸元の内、ピッチ円半径 r_b は電車の仕様によって決まる固定値である。また、車輪周引張力 F は、電車の走行に伴って変化する値であり、上述した式 (4) で求められる。

【 0 0 3 6 】

このように、台車装架式の場合、式 (4) ~ 式 (7) より、測定した現在の軸バネ変位 X_R、X_L、電動機トルク分電流 I_q、磁束分電流指令値 I_d^{*} 及び電車の各諸元から現

50

在の軸重変動 W が求められる。

【0037】

つまり、つりかけ式台車、台車装架式の何れの場合であっても、検出された現在の軸バネ変位 X_R 、 X_L 及び電動機トルク分電流 I_q に基づいて、現在の軸重変動 W が求められる。そして、軸重変動 W に基づき、式(1)より接線力係数 μ が求められる。

【0038】

以上のように、検出した現在の軸バネ変位 X_R 、 X_L から現在の軸重変動 W が求められ、更に、走行に伴って変化する現在の接線力係数 μ がリアルタイムに求められる。

【0039】

[試験結果]

次に、上述した原理に基づく1つの試験結果を開示し、検出した軸バネに加わる力(現在の軸バネ変位より演算・算出)に基づく接線力係数 μ を用いた電動機トルク制御の有効性を説明する。

【0040】

図2は、新幹線電車を約330[km/h]で高速試験走行させた場合の空転検知前後の試験結果を示す図である。同図では、横軸を共通な時間軸として、1軸、2軸それぞれを駆動する電動機速度(電動機速度) V_1 、 V_2 と、1軸について測定した軸バネ変位 X_{R1} 、 X_{L1} と、2軸について測定した軸バネ変位 X_{R2} 、 X_{L2} と、を示している。

【0041】

次いで、これらの軸バネ変位 X_{R2} 、 X_{L2} 、 X_{R1} 、 X_{L1} から、1軸、2軸のそれぞれについて、引張力 F_1 、 F_2 、軸重変動 W_1 、 W_2 を算出した。尚、新幹線電車は台車装架式の電車であるので、式(4)~式(7)を用いて算出した。その算出結果を図3に示す。

【0042】

同図では、横軸を共通な時間軸として、電動機速度 V_1 、 V_2 と、1軸、2軸それぞれについて算出した引張力 F_1 、 F_2 と、この引張力 F_1 、 F_2 から1軸、2軸それぞれについて算出した軸重変動 W_1 、 W_2 と、を示している。

【0043】

そして、これらの算出した引張力 F_1 、 F_2 、軸重変動 W_1 、 W_2 から、式(1)に従って、1軸、2軸それぞれについての接線力係数、即ち軸重変動を考慮した接線力係数 μ を算出した。また、式(1)において、 $W = W_0$ 、とした場合の接線力係数、即ち軸重変動を考慮しない接線力係数 μ' を算出した。その算出結果を図4に示す。

【0044】

同図は、横軸を共通な時間軸として、電動機速度 V_1 、 V_2 と、1軸について算出した軸重変動を考慮した接線力係数 μ_1 、軸重変動を考慮しない接線力係数 μ_1' と、2軸について算出した、軸重変動を考慮した接線力係数 μ_2 、軸重変動を考慮しない接線力係数 μ_2' と、を示している。

【0045】

更に、1軸、2軸それぞれについて、軸重変動を考慮した接線力係数 μ_1 、 μ_2 と、軸重変動を考慮しない接線力係数 μ_1' 、 μ_2' と、の差分 $\mu_1 (= \mu_1' - \mu_1)$ 、 $\mu_2 (= \mu_2' - \mu_2)$ を算出した。その算出結果を図5に示す。

【0046】

同図では、横軸を共通な時間軸として、電動機速度 V_1 、 V_2 と、1軸について算出した軸重変動を考慮した接線力係数 μ_1 と軸重変動を考慮しない接線力係数 μ_1' との差分 μ_1 と、2軸について算出した軸重変動を考慮した μ_2 と軸重変動を考慮しない接線力係数 μ_2' との差分 μ_2 と、を示している。

【0047】

同図に示すように、接線力係数の差分 μ_1 、 μ_2 、即ち軸重変動を考慮した場合としない場合とでは、接線力係数 μ には最大で約0.35%弱の差が生じていることがわかる。また、空転滑走の開始時点から検知時点の間においては、接線力係数の差分 μ_1 、

10

20

30

40

50

$\mu 2$ の変化が大きくなり、空転滑走時にはかなり大きな軸重変動が生じていることがわかる。

【0048】

接線力係数 $\mu 1$ 、 $\mu 2$ は、図4に示したように、約3.0%を中心に変動している。つまり、接線力係数の差分 $\mu 1$ 、 $\mu 2$ はこの接線力係数 $\mu 1$ 、 $\mu 2$ の約1割を占める。従って、このバネ軸変位に基づく接線力係数 μ を用いてこの接線力係数の差分 μ を改善するように電動機のトルク制御を行うことは、特に再粘着制御において有効であるといえる。

【0049】

以下、軸バネ変位 $X R$ 、 $X L$ に基づく接線力係数 μ を用いたトルク制御の具体的な3つの実施例を順に説明する。 10

【0050】

[第1実施例]

図6は、第1実施例における電車の主回路構成の概略を示すブロック図であり、一の駆動軸についての構成要素を示している。同図に示すように、第1実施例では、電車の主回路は、電動機10と、インバータ20と、電流センサ30と、軸バネ変位検出器40と、電動機制御装置50-1と、を備えて構成される。

【0051】

電動機10は、例えば上述したつりかけ式や台車装架式によって、インバータ20から電力が供給されることで車軸を回転駆動する主電動機(メインモータ)であり、例えば3相誘導電動機で実現される。 20

【0052】

インバータ20には、パンタグラフ及びコンバータを介して架線の電力が供給される。そして、インバータ20は、ベクトル制御演算装置61から入力されるU相、V相、W相の電圧指令値 $V u^*$ 、 $V v^*$ 、 $V w^*$ に基づいて出力電圧を調整し、電動機10に印加する。

【0053】

電流センサ30は、電動機10の入力端に設けられ、電動機10に流入するU相、V相の電流値 $I u$ 、 $I v$ を検出する。

【0054】

軸バネ変位検出器40は、車軸の両端部に設けられている各軸バネの変位 $X R$ 、 $X L$ を常時検出する。検出した軸バネ変位 $X R$ 、 $X L$ は軸重演算器53に出力される。 30

【0055】

電動機制御装置50-1は、電動機10をベクトル制御するものであり、CPUやROM、RAM等から構成されるコンピュータ等によって実現され、例えば制御ボードとして電動機の制御装置の一部として実装されたり、或いは、インバータ20を含めて一体的にインバータ装置として構成されたりする。また、電動機制御装置50-1は、座標変換器51と、空転滑走検出装置52と、軸重演算器53と、 μ 演算器54と、保持回路55と、復帰トルク演算器56と、ベクトル制御演算装置61と、を備えている。

【0056】

座標変換器51は、電流センサ30によって検出された電流値 $I u$ 、 $I v$ をd-q座標変換し、d軸成分である励磁電流成分 $I d$ と、q軸成分であるトルク電流成分(電動機トルク分電流) $I q$ とに変換する。変換された電流成分 $I d$ 、 $I q$ は、空転滑走検出装置52及び軸重演算器53に出力される。尚、電流値 $I u$ 、 $I v$ から電流成分 $I d$ 、 $I q$ への変換式としては、例えば次式が知られている。 40

【数 8】

$$\begin{bmatrix} Id \\ Iq \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos\theta & \sin\theta \\ -\sin\theta & \cos\theta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \sqrt{\frac{3}{2}} & 0 \\ \frac{1}{\sqrt{2}} & \sqrt{2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Iu \\ Iv \end{bmatrix} \quad \dots(8)$$

ここで、 θ は U 相電流と二次鎖交磁束との成す角である。

【0057】

空転滑走検出装置 52 は、座標変換器 51 から入力された電流成分 I_d 、 I_q に基づいて、電動機 10 が空転或いは滑走しているか否か（詳細には、電動機 10 に駆動される車輪が空転或いは滑走しているか否か）を検出し、空転或いは滑走を検出した場合には空転滑走検出信号を出力する。 10

【0058】

軸重演算器 53 は、軸バネ変位検出器 40 によって検出された軸バネ変位 X_R 、 X_L と、座標変換器 51 から入力されたトルク電流成分 I_q と、に基づいて、常時、軸重 W を算出する。算出した軸重 W は、 μ 演算器 54 及び復帰トルク演算器 56 に出力される。

【0059】

具体的には、「つりかけ式台車」である場合には、不図示の電流指令値演算装置から入力される電流指令値 I_d^* と、座標変換器 51 から入力されたトルク電流成分 I_q とに基づき、式 (5) に従って発生トルク e を算出する。次いで、算出した発生トルク e に基づき、式 (4) に従って引張力 F を算出し、この算出した引張力 F と、軸バネ変位検出器 40 によって検出されたバネ変位 X_R 、 X_L とに基づき、式 (3) に従って軸重変動 W を算出する。そして、算出した軸重変動 W に静止輪重 W_0 を加算して、現在の軸バネ変位 X_R 、 X_L に応じた現在の軸重 W を算出する。 20

【0060】

また、「台車装架式」である場合には、電流指令値 I_d^* と座標変換器 51 から入力されたトルク電流成分 I_q とに基づき、式 (5) に従って発生トルク e を算出する。次いで、算出した発生トルク e に基づき、式 (4) に従って引張力 F を算出し、この算出した引張力 F と、軸バネ変位検出器 40 によって検出されたバネ変位 X_R 、 X_L とに基づき、式 (6)、式 (7) に従って軸重変動 W を算出する。そして、算出した軸重変動 W に静止輪重 W_0 を加算して、現在の軸バネ変位 X_R 、 X_L に応じた現在の軸重 W を算出する。 30

【0061】

μ 演算器 54 は、軸重演算器 53 から入力される軸重 W に基づき、式 (1) に従って、常時、接線力係数 μ を算出する。算出した接線力係数 μ は、保持回路 55 及び復帰トルク演算部 56 に出力される。

【0062】

保持回路 55 は、空転滑走検出装置 52 から空転滑走検出信号が入力された場合に、その時点で μ 演算器 54 から入力されている接線力係数 μ を保持する。即ち、空転滑走が検出された時点での接線力係数 μ を保持する。保持している接線力係数 μ は復帰トルク演算器 56 に出力される。 40

【0063】

復帰トルク演算器 56 は、軸重演算器 53 から入力される軸重 W と、保持回路 55 から入力される接線力係数 μ とに基づいて、復帰トルク指令信号を生成する。生成した復帰トルク指令信号はベクトル制御演算装置 61 に出力される。

【0064】

具体的には、軸重演算器 53 から入力される軸重 W と、保持回路 55 から入力される接線力係数 μ とに基づき、式 (1) を満たす引張力 F を算出する。次いで、算出した引張力 F に基づき、式 (4) を満たす発生トルク e を算出し、この算出した発生トルク e に 50

基づき、式(5)を満たすトルク電流成分 I_q を算出する。

【0065】

即ち、ここで算出されるトルク電流成分 I_q は、現在の軸重 W で粘着走行し得る限界のトルク電流成分 I_q に相当する。従って、復帰トルク演算器56は、算出したトルク電流成分 I_q より若干小さい値を、復帰トルク指令信号としてベクトル制御演算装置61に出力する。

【0066】

ベクトル制御演算装置61は、空転滑走検出装置52から入力される空転滑走検出信号と、復帰トルク演算器56から入力される復帰トルク指令信号と、不図示の電流指令演算装置から入力される電流指令値 I_d^* 、 I_q^* と、に基づいて、インバータ20に対する電圧指令値 V_u^* 、 V_v^* 、 V_w^* を算出する。算出した電圧指令値 V_u^* 、 V_v^* 、 V_w^* は、インバータ20に出力される。

【0067】

具体的には、空転滑走検出装置から空転滑走検出信号が入力されない間は、電流指令値 I_d^* 、 I_q^* に基づいて電圧指令値を算出する。そして、空転滑走指令信号が入力された場合、即ち空転滑走の発生時には、電動機10の発生トルクを引き下げないように電圧指令値 V_u^* 、 V_v^* 、 V_w^* を生成した後、復帰トルク指令信号に基づく発生トルクに引き上げる(復帰させる)ように電圧指令値 V_u^* 、 V_v^* 、 V_w^* を生成する再粘着制御を行う。

【0068】

このように、電動機制御装置50-1は、常時、軸バネ変位検出器40によって検出される現在の軸バネ変位 X_R 、 X_L に基づいて現在の接線力係数 μ を算出し、この算出した現在の接線力係数 μ に基づいて空転滑走検出時の再粘着制御を行っている。即ち、リアルタイムに変動する軸重変動を動的に考慮した電動機10のトルク制御を行っている。

【0069】

[第2実施例]

図7は、第2実施例における電車の主回路構成の概略を示すブロック図である。尚、第2実施例において、第1実施例と同一の構成要素については同符合を付し、詳細な説明を省略する。

【0070】

同図によれば、第2実施例では、電動機制御装置50-2は、座標変換器51と、軸重演算器53と、 μ 演算器54と、トルク指令信号補正装置57と、ベクトル制御演算装置62と、を備えている。

【0071】

トルク指令信号補正装置57は、 μ 演算器54から入力される接線力係数 μ に基づいて、不図示の電流指令値演算装置から入力されるトルク分電流指令値 I_q^* を補正し、補正トルク指令信号として出力する。

【0072】

具体的には、 μ 演算器54から入力される接線力係数 μ に対応する最大トルク指令信号とトルク分電流指令値 I_q^* とを比較する。そして、トルク分電流指令値 I_q^* が最大トルク指令信号以下であれば、このトルク分電流指令値 I_q^* をそのまま補正トルク信号として出力し、トルク分電流指令値 I_q^* が最大トルク指令信号を超える場合には、この最大トルク指令信号を補正トルク指令信号として出力する。

【0073】

ここで、「最大トルク指令信号」は、接線力係数 μ と対応付けられており、対応する接線力係数 μ において空転滑走が生じないトルク指令信号の最大値である。この最大トルク指令信号は、例えば接線力係数 μ と対応付けたデータテーブルや、接線力係数 μ を変数とする関数式として予め用意されている。

【0074】

ベクトル制御演算装置62は、トルク指令信号補正装置57から入力される補正トルク

10

20

30

40

50

指令信号及び入力される磁束分電流指令値 I_d^* に基づいて、インバータ 20 に対する電圧指令値 V_u^* 、 V_v^* 、 V_w^* を算出する。算出した電圧指令値 V_u^* 、 V_v^* 、 V_w^* はインバータ 20 に出力される。

【0075】

このように、電動機制御装置 50 - 2 は、常時、軸バネ変位検出器 40 によって検出される現在の軸バネ変位 X_R 、 X_L に基づいて現在の接線力係数 μ を算出し、この算出した現在の接線力係数 μ に基づいて空転滑走を生じさせないようなトルク制御を行っている。即ち、リアルタイムに変動する軸重変動を動的に考慮した電動機 10 のトルク制御を行っている。

【0076】

10

[第3実施例]

図 8 は、第 3 実施例における電車の主回路構成の概略を示すブロック図である。尚、第 3 実施例において、上述した第 1 及び第 2 実施例と同一の構成要素については同符合を付し、詳細な説明を省略する。第 3 実施例では、1 つの電動機制御装置が 2 つの駆動軸（寄り詳細には、各軸を駆動するそれぞれの電動機）を制御する点で第 1、第 2 実施例と異なる。

【0077】

同図によれば、第 3 実施例では、電車の主回路は、1 軸用インバータ 20 a と、2 軸用インバータ 20 b と、軸バネ変位検出器 40 a、40 b と、電動機制御装置 50 - 3 と、を備えて構成される。

20

【0078】

1 軸用インバータ 20 a、2 軸用インバータ 20 b は、それぞれ、1 軸用ベクトル制御演算装置 63 a、2 軸用ベクトル制御演算装置 63 b から入力される電圧指令値 V_u^* 、 V_v^* 、 V_w^* に従って、不図示の 1 軸、2 軸それぞれを駆動する 1 軸用電動機、2 軸用電動機に電力を印加する。

【0079】

軸バネ変位検出器 40 a、40 b は、それぞれ、1 軸についての軸バネ変位 X_{R1} 、 X_{L1} 、2 軸についての軸バネ変位 X_{R2} 、 X_{L2} を検出する。検出した軸バネ変位 X_{R1} 、 X_{L1} は軸重演算器 53 a に出力され、軸バネ変位 X_{R2} 、 X_{L2} は、軸重演算器 53 b に出力される。

30

【0080】

電動機制御装置 50 - 3 は、1 軸用電動機及び 2 軸用電動機をベクトル制御するものであり、座標変換器 51 a、51 b と、軸重演算器 53 a、53 b と、 μ 演算器 54 a、54 b と、トルク配分演算装置 58 と、1 軸用ベクトル制御演算装置 63 と、2 軸用ベクトル制御演算装置 63 b と、を備えている。

【0081】

座標変換器 51 a、51 b は、それぞれ、不図示の電流センサによって検出される、1 軸用インバータ 20 a から 1 軸用電動機に印加される電流値 I_{u1} 、 I_{v1} 、2 軸用インバータ 20 b から 2 軸用電動機に印加される電流値 I_{u2} 、 I_{v2} を、d 軸、q 軸の電流成分 I_{d1} 、 I_{q1} 、 I_{d2} 、 I_{q2} に変換する。変換された電流成分 I_{d1} 、 I_{q1} は軸重演算器 53 a に出力され、電流成分 I_{d2} 、 I_{q2} は軸重演算部 53 b に出力される。

40

【0082】

軸重演算器 53 a、53 b は、それぞれ、軸バネ変位検出器 40 a から入力された軸バネ変位 X_{R1} 、 X_{L1} 、軸バネ変位検出器 40 b から入力された X_{R2} 、 X_{L2} に基づいて、1 軸、2 軸についての軸重 W_1 、 W_2 を算出する。算出された軸重 W_1 は μ 演算器 54 a に出力され、軸重 W_2 は μ 演算器 54 b に出力される。

【0083】

μ 演算器 54 a、54 b は、それぞれ、軸重演算器 53 a、53 b から入力される軸重 W_1 、 W_2 に基づいて、1 軸についての接線力係数 μ_1 、2 軸についての接線力係数 μ_2

50

を算出する。算出した接線力係数 μ_1 、 μ_2 は、トルク配分演算装置 58 に出力される。

【0084】

トルク配分演算装置 58 は、 μ 演算器 54a、54b から入力される接線力係数 μ_1 、 μ_2 と、不図示の電流指令値演算装置から入力される 2 軸一括トルク指令信号 I_q^* に基づいて、1 軸に対する 1 軸トルク指令信号、2 軸に対する 2 軸トルク指令信号を生成する。具体的には、例えば入力される接線力係数 μ_1 、 μ_2 に応じた比率で 1 軸用電動機、2 軸用電動機にトルクを発生させるように、1 軸トルク指令信号、2 軸トルク信号を生成する。また、電流指令値演算装置から 2 軸一括磁束指令信号 I_d^* を入力し、先に生成した 1 軸トルク指令信号、2 軸トルク指令信号を考慮して、1 軸に対する 1 軸磁束指令信号、2 軸に対する 2 軸磁束指令信号を生成する。生成された 1 軸トルク指令信号及び 1 軸磁束指令信号は 1 軸用ベクトル制御演算装置 63a に出力され、2 軸トルク指令信号及び 2 軸磁束指令信号は 2 軸用ベクトル制御演算装置 63b に出力される。

10

【0085】

1 軸用ベクトル制御演算装置 63a は、トルク配分演算装置 58 から入力される 1 軸トルク指令信号及び 1 軸トルク指令信号に基づいて、1 軸用インバータ 20a に対する電圧指令値 V_u^* 、 V_v^* 、 V_w^* を生成する。生成された電圧指令信号 V_u^* 、 V_v^* 、 V_w^* は 1 軸用インバータ 20a に出力される。

【0086】

2 軸用ベクトル制御演算装置 63b は、トルク配分演算装置 58 から入力される 2 軸トルク指令信号及び 2 軸磁束指令信号に基づいて、2 軸用インバータ 20b に対する電圧指令値 V_u^* 、 V_v^* 、 V_w^* を生成する。生成された電圧指令信号 V_u^* 、 V_v^* 、 V_w^* は 2 軸用インバータ 20b に出力される。

20

【0087】

このように、電動機制御装置 50-3 は、常時、軸バネ変位検出器 40 によって検出される現在の軸バネ変位 X_R 、 X_L に基づいて現在の接線力係数 μ を算出し、この算出した現在の接線力係数 μ に基づいて各軸のトルク配分を制御している。即ち、リアルタイムに変動する軸重変動を動的に考慮した電動機のトルク制御を行っている。また、この第 3 実施例の電動機制御装置 50-3 が一の動力源を用いて 1 軸用電動機及び 2 軸用電動機を駆動する場合には、合計の電力量が限られているため、接線力係数 μ_1 、 μ_2 に応じた各電動機のトルク制御は極めて有効である。

30

【0088】

[変形例]

尚、本発明の適用は、上述した実施形態に限定されることなく、本発明の趣旨を逸脱しない範囲で適宜変更可能である。

【0089】

(A) 軸バネの数

上述した各実施例では、各車軸に左右両端部に 1 つずつの軸バネが設けられた台車の場合について図示・説明したが、それぞれに複数の軸バネが設けられた場合にも同様に適用可能である。この場合、式(3)又は式(6)において、バネ係数 K_b を、これら複数の軸バネを仮想的に 1 つの軸バネとみなした場合のバネ係数とするとともに、代表する 1 つの軸バネの変位を測定し、測定した変位を軸バネ変位 X_R 、 X_L として接線力係数 μ を求めれば良い。

40

【0090】

(B) インバータから電動機への給電

また、上述した各実施例では、インバータ 20 は、それぞれ、一の軸に対して印加することとしたが、二以上の軸(電動機)に一括して印加することとしても良い。

【0091】

(C) 適用する電気車

また、上述した実施形態では、本発明を電車に適用した場合を説明したが、他の電気車、例えば電気自動車にも適用可能である。この場合、サスペンションが軸バネに相当し、

50

このサスペンションの変位を検出することで接線力係数 μ を検出する。

【0092】

[付言]

電動機による引張力の他に輪軸に作用するモーメントとして、軸バネを通じた車体及び台車のモーメントがあるとして実施形態を説明したが、台車と輪軸とを接続する部材としては、軸バネの他に軸ダンパがあるため、より精確な制御を行うためには、この軸ダンパを通じたモーメントをも考慮する必要がある。しかし、軸バネは変位に比例した力を発生するのに対して、軸ダンパは変位速度に比例した力を発生する。そのため、実際に軸ダンパが機能する（実際に輪軸に作用する）のは、大きな振動（例えば、レールの継ぎ目からの大きな振動）が発生したな場合と考えられる。従って、通常走行においてトルク制御に用いる軸重変動は、軸バネの変位のみを基にすることで十分であると考えられる。

10

【図面の簡単な説明】

【0093】

【図1】軸バネの変位の検出を説明するための図。

【図2】測定した軸バネ変位 X_R 、 X_L を示す図。

【図3】図2から算出した引張力 F 、軸重変動 W を示す図。

【図4】図3から算出した接線力係数 μ を示す図。

【図5】図4接線力係数の差分 μ を示す図。

【図6】第1実施例における電車の主回路構成図。

【図7】第2実施例における電車の主回路構成図。

【図8】第3実施例における電車の主回路構成図。

20

【符号の説明】

【0094】

10 電動機

20 インバータ

30 電流センサ

40 軸バネ変位検出器

50 - 1、50 - 2、50 - 3 電動機制御装置

51 (51 a、51 b) 座標変換器

52 空転滑走検出装置

53 (53 a、53 b) 軸重演算器

54 (54 a、54 b) μ 演算器

55 保持回路

56 復帰トルク演算器

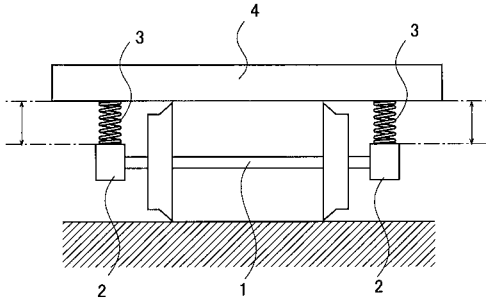
57 トルク指令信号補正装置

58 トルク配分演算装置

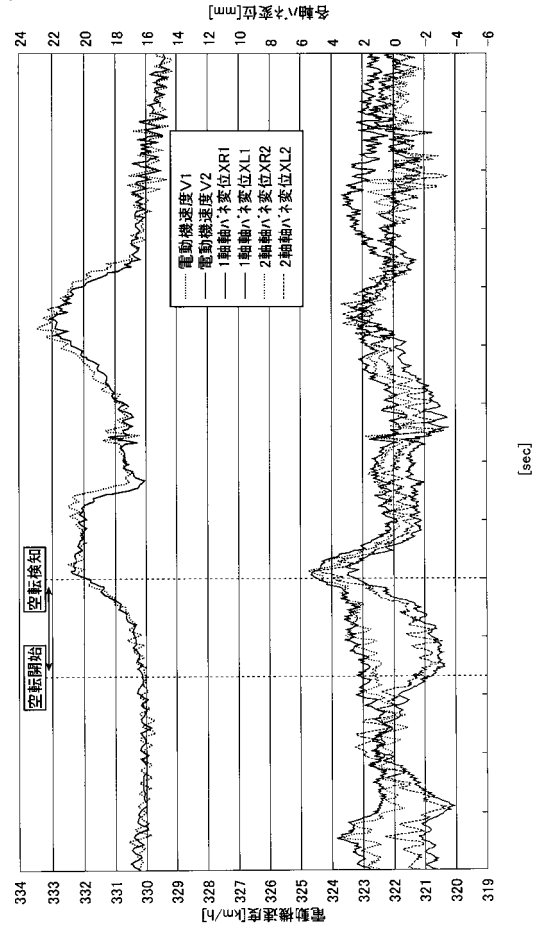
61、62、63 a、63 b ベクトル制御演算装置

30

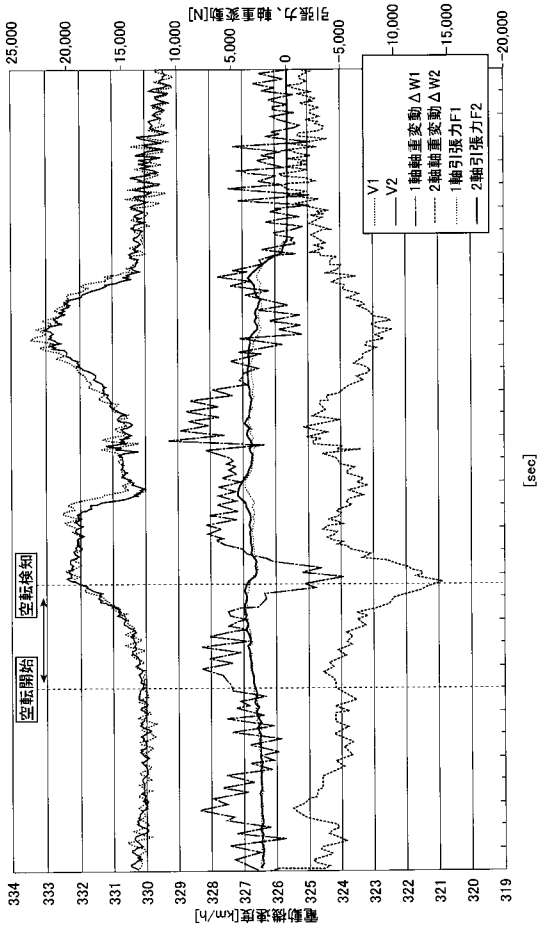
【 図 1 】



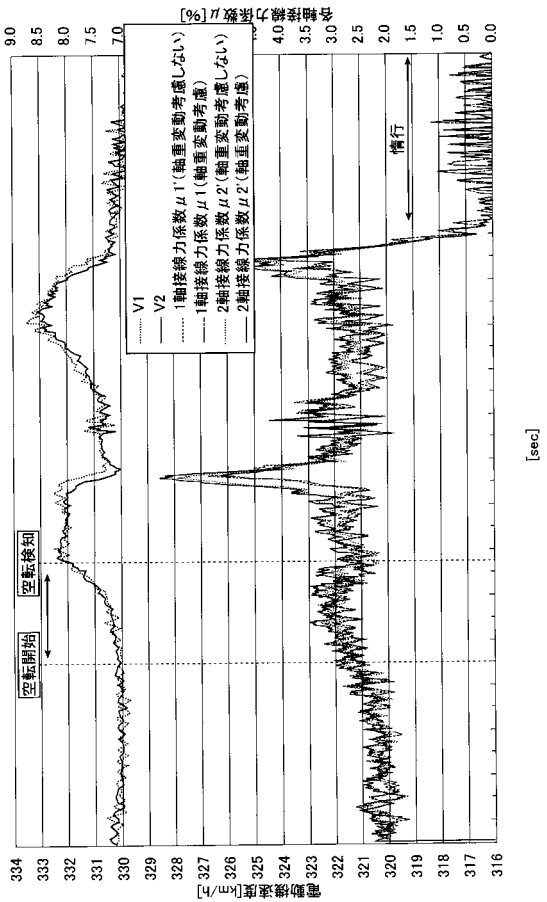
【 図 2 】



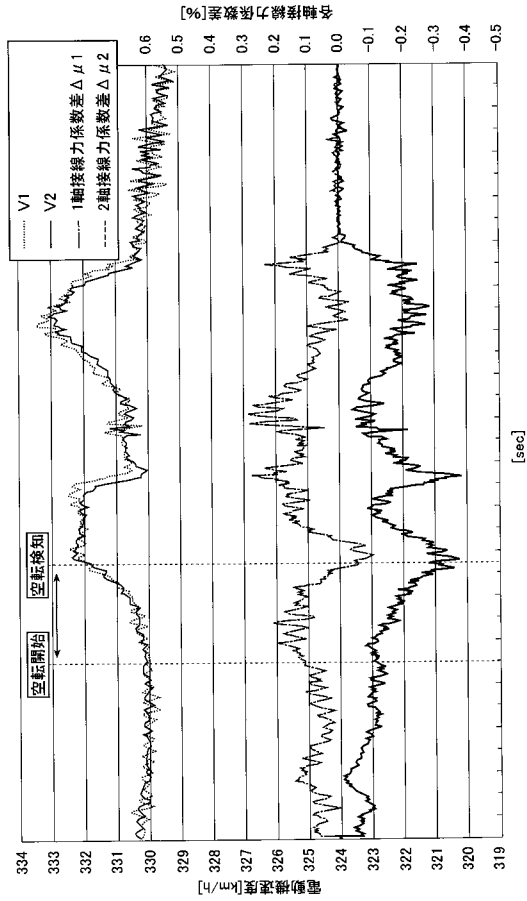
【 図 3 】



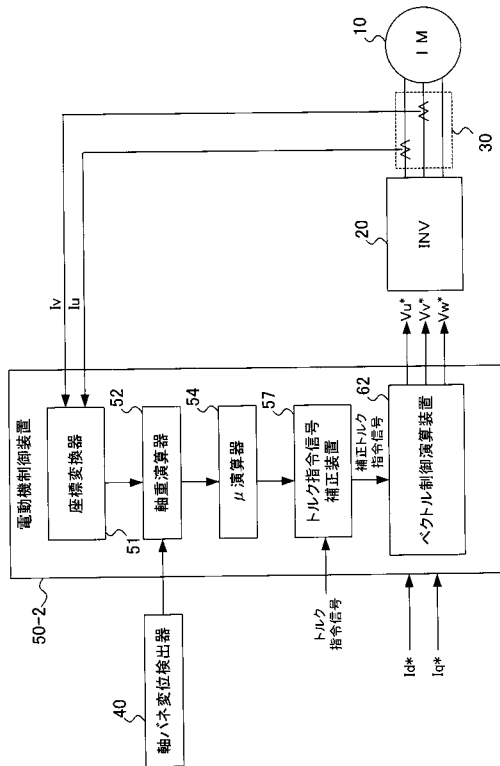
【 図 4 】



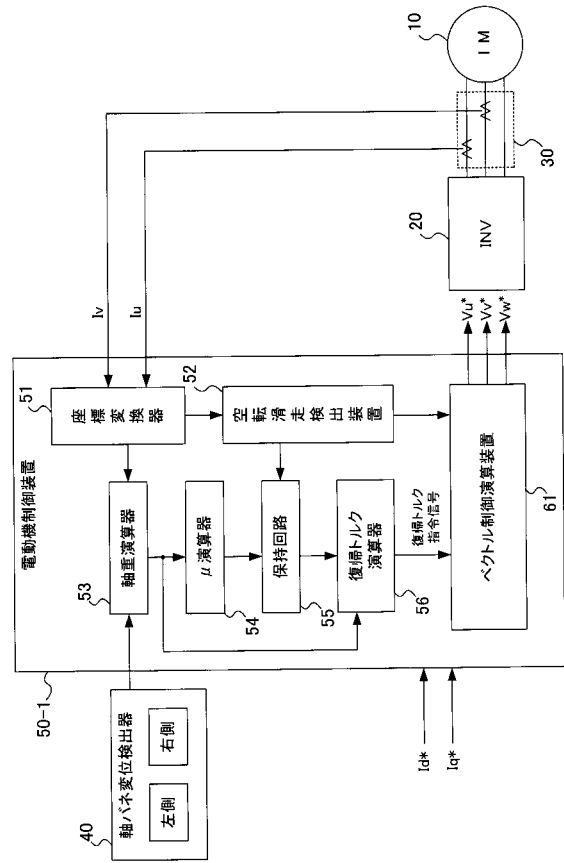
【図5】



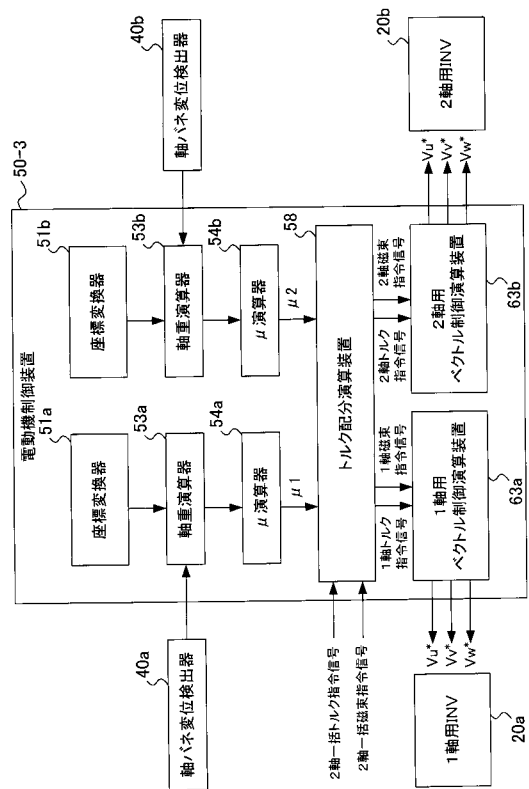
【図7】



【図6】



【図8】



フロントページの続き

(72)発明者 南 秀樹

東京都国分寺市光町二丁目 8 番地 3 8 財団法人鉄道総合技術研究所内

(72)発明者 秦 広

東京都国分寺市光町二丁目 8 番地 3 8 財団法人鉄道総合技術研究所内

Fターム(参考) 5H115 PA01 PC02 PG01 PI02 PI29 PU09 PV09 QE14 QN03 QN09
RB26 SE03 T012 T030