

(51) Int.Cl. <sup>7</sup>	識別記号	F I	テ-マコード <sup>*</sup> (参考)
B60L 3/04		B60L 3/04	B 5H115
3/00		3/00	C 5H576
9/18		9/18	A
H02P 21/00		H02P 5/408	H

審査請求 未請求 請求項の数11 O L (全18頁)

(21)出願番号	特願2002 - 13366 ( P 2002 - 13366 )	(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14年 1 月22日 (2002.1.22)	(71)出願人	000003078 株式会社東芝 東京都港区芝浦一丁目 1 番 1 号
		(72)発明者	近藤 圭一郎 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
		(74)代理人	100058479 弁理士 鈴江 武彦 (外 6 名)

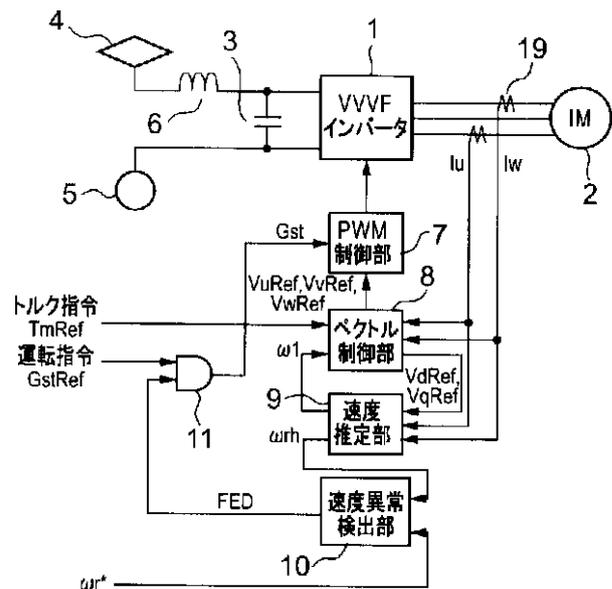
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 電気車の駆動制御方法および制御装置

(57) 【要約】

【課題】 過電流や温度上昇、車両推力の低下を抑制すること。

【解決手段】 直流を任意の周波数の交流に変換する V V V F インバータ1と、 V V V F インバータ1の直流側に接続されたフィルタコンデンサ3と、 V V V F インバータ1の交流側に接続された電気車用の電動機2とから主回路を構成し、 V V V F インバータ1の出力電圧指令と V V V F インバータ1の出力電流とから電動機2の回転速度を推定して速度推定値を得る速度推定手段9を備え、速度推定手段9により得られた速度推定値に基づいて V V V F インバータ1を制御することで、電動機2の駆動制御を行なう電気車の駆動制御装置において、速度推定手段9により得られた速度推定値が異常な値に収束したことを検出する速度異常検出手段10と、速度異常検出手段10により速度推定値が異常な値に収束していると判定された場合に、 V V V F インバータ1を停止させる保護手段11とを備える。



## 【特許請求の範囲】

【請求項 1】 直流を任意の周波数の交流に変換する可変電圧可変周波数インバータ（VVVF インバータ）と、当該 VVVF インバータの直流側に接続されたフィルタコンデンサと、前記 VVVF インバータの交流側に接続されて駆動される電気車用の電動機とから主回路を構成し、

前記 VVVF インバータの出力電圧指令と前記 VVVF インバータの出力電流とから前記電動機の回転速度を推定して速度推定値を得、当該速度推定値に基づいて前記 VVVF インバータを制御することにより、前記電動機の駆動制御を行なう電気車の駆動制御方法において、前記速度推定値が異常な値に収束した場合には、保護動作により前記 VVVF インバータを停止させるようにしたことを特徴とする電気車の駆動制御方法。

【請求項 2】 直流を任意の周波数の交流に変換する可変電圧可変周波数インバータ（VVVF インバータ）と、当該 VVVF インバータの直流側に接続されたフィルタコンデンサと、前記 VVVF インバータの交流側に接続されて駆動される電気車用の電動機とから主回路を構成し、

前記 VVVF インバータの出力電圧指令と前記 VVVF インバータの出力電流とから前記電動機の回転速度を推定して速度推定値を得る速度推定手段を備え、前記速度推定手段により得られた速度推定値に基づいて前記 VVVF インバータを制御することにより、前記電動機の駆動制御を行なう電気車の駆動制御装置において、

前記速度推定手段により得られた速度推定値が異常な値に収束したことを検出する速度異常検出手段と、前記速度異常検出手段により速度推定値が異常な値に収束していると判定された場合に、前記 VVVF インバータを停止させる保護手段と、を備えて成ることを特徴とする電気車の駆動制御装置。

【請求項 3】 前記請求項 2 に記載の電気車の駆動制御装置において、前記速度異常検出手段としては、前記電気車の一編成中に有する外部の速度情報に基づいて、前記速度推定値が異常な値に収束したことを検出する手段を備えたことを特徴とする電気車の駆動制御装置。

【請求項 4】 前記請求項 2 に記載の電気車の駆動制御装置において、前記速度異常検出手段としては、前記電気車以外の他の電気車の駆動制御装置により得られた速度推定値に基づいて、当該速度推定値が異常な値に収束したことを検出する手段を備えたことを特徴とする電気車の駆動制御装置。

【請求項 5】 前記請求項 2 に記載の電気車の駆動制御装置において、

前記速度異常検出手段としては、

前記電動機のインピーダンスを逐次演算するインピーダンス演算手段と、

前記インピーダンス演算手段により演算された電動機のインピーダンスに基づいて、前記速度推定値が異常な値に収束したことを検出する手段と、

を備えたことを特徴とする電気車の駆動制御装置。

【請求項 6】 前記請求項 2 に記載の電気車の駆動制御装置において、

10 前記速度異常検出手段としては、

前記電動機の有効電力を逐次演算する有効電力演算手段と、

前記有効電力演算手段により演算された電動機の有効電力に基づいて、前記速度推定値が異常な値に収束したことを検出する手段と、

を備えたことを特徴とする電気車の駆動制御装置。

【請求項 7】 前記請求項 2 に記載の電気車の駆動制御装置において、

前記速度異常検出手段としては、

20 前記電動機の出力トルクを逐次演算するトルク演算手段と、

前記トルク演算手段により演算された電動機の出力トルクに基づいて、前記速度推定値が異常な値に収束したことを検出する手段と、

を備えたことを特徴とする電気車の駆動制御装置。

【請求項 8】 前記請求項 2 に記載の電気車の駆動制御装置において、

前記速度異常検出手段としては、

30 前記 VVVF インバータへの直流入力側の電流値を検出する電流検出手段と、

前記電流検出手段により検出された電流値に基づいて、前記速度推定値が異常な値に収束したことを検出する手段と、

を備えたことを特徴とする電気車の駆動制御装置。

【請求項 9】 前記請求項 2 に記載の電気車の駆動制御装置において、

前記速度異常検出手段としては、

前記電動機の誘起電圧を演算する誘起電圧演算手段と、前記誘起電圧演算手段により演算された電動機の誘起電圧に基づいて、前記速度推定値が異常な値に収束したことを検出する手段と、

を備えたことを特徴とする電気車の駆動制御装置。

【請求項 10】 前記請求項 2 に記載の電気車の駆動制御装置において、

前記速度異常検出手段としては、

前記電動機の磁束量を演算する磁束演算手段と、前記磁束演算手段により演算された電動機の磁束量に基づいて、前記速度推定値が異常な値に収束したことを検出する手段と、

50 を備えたことを特徴とする電気車の駆動制御装置。

【請求項 1 1】 前記請求項 2 に記載の電気車の駆動制御装置において、

前記速度異常検出手段としては、

前記電動機の 1 次インダクタンスを演算する 1 次インダクタンス演算手段と、

前記 1 次インダクタンス演算手段により演算された電動機の 1 次インダクタンスに基づいて、前記速度推定値が異常な値に収束したことを検出する手段と、

を備えたことを特徴とする電気車の駆動制御装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、速度検出器を用いずに可変電圧可変周波数インバータ（以下、VVVFインバータと称する）により電動機を駆動する電気車の駆動制御方法および制御装置に係り、特に過電流や温度上昇、車両推力の低下を抑制できるようにした電気車の駆動制御方法および制御装置に関するものである。

【0002】

【従来の技術】従来から、電気車の駆動制御装置は、電気車用の電動機の回転速度を検出する速度検出器が備えられ、当該速度検出器により検出された速度に基づいて制御が行なわれている。

【0003】図 10 は、この種の従来の速度検出器を備えた電気車の駆動制御装置の概略構成例を示すブロック図である。

【0004】なお、図 10 は、直流電気車における制御装置の構成例を示している。

【0005】図 10 において、直流の架線から、パンタグラフ 4 で集電される。

【0006】パンタグラフ 4 には、入力フィルタ回路として、フィルタリアクトル 6 およびフィルタコンデンサ 3 が接続されている。

【0007】フィルタコンデンサ 3 には、3 相の VVVF インバータ 1 の直流側が接続されており、また VVVF インバータ 1 の交流側には、電気車用の誘導電動機 2 が接続されて駆動される。

【0008】さらに、VVVF インバータ 1 と誘導電動機 2 との間には、誘導電動機 2 に流れる電流を検出する電流検出器 19 が設けられている。

【0009】一方、VVVF インバータ 1 は、PWM 制御部 7、およびベクトル制御部 8 により制御される。

【0010】なお、ベクトル制御に関しては、周知の技術ではあるが、以下に簡単にその概要について説明する。

$$\begin{cases} VdRef = \frac{Kp \cdot s + Ki}{s} \cdot (IdRef - Id) - \omega 1 \cdot \sigma \cdot L1 \cdot IqRef \\ VqRef = \frac{Kp \cdot s + Ki}{s} \cdot (IqRef - Iq) + \omega 1 \cdot L1 \cdot IdRef \end{cases} \quad (3)$$

【0025】ここに、L1：1 次側自己インダクタンス、 $\sigma$ ：漏れ係数 ( $\sigma = 1 - M \cdot M / L1 / L2$ )、Kp：比例ゲイン、Ki：積分ゲインである。

【0011】図 11 は、本例にて用いる各座標系の関係を示す図である。

【0012】なお、図 11 は、UVW 相静止座標系、a b 軸静止座標系、d q 軸回転座標系と出力電圧の関係を示している。

【0013】図 11 において、静止座標系 a 軸から回転座標系 d 軸までの位相角が  $\theta_{dq}$  であり、静止座標系 a 軸から出力電圧までの位相角が  $\theta_{uv}$  である。

【0014】ベクトル制御の目標とする動作点は、d 軸と 2 次磁束が一致する状態である。

【0015】ベクトル制御部 8 への入力であるトルク指令  $TmRef$  に基づいて、d 軸（励磁）電流指令  $IdRef$  と q 軸（トルク）電流指令  $IqRef$  とが算出される。

【0016】

【数 1】

$$\begin{cases} IdRef = \frac{\phi 2Ref}{M} \\ IqRef = \frac{L2}{p \cdot M} \cdot \frac{TmRef}{\phi 2Ref} \end{cases} \quad (1)$$

【0017】ここに、M：相互インダクタンス、L2：2 次側自己インダクタンス、p：極対数、 $\phi 2Ref$ ：2 次磁束指令である。

【0018】誘導電動機 2 の U 相電流  $Iu$  と W 相電流  $Iw$  は、電流検出器 19 によりそれぞれ検出されて、ベクトル制御部 8 に入力される。

【0019】後述する a 軸から d 軸までの位相角  $\theta_{dq}$  に基づいて、d 軸（励磁）電流  $Id$  と q 軸（トルク）電流  $Iq$  とが分離生成される。

【0020】

【数 2】

$$\begin{cases} Id = \frac{2}{\sqrt{3}} \cdot \left( \sin(\theta_{dq} + \frac{2\pi}{3}) \cdot Iu - \sin(\theta_{dq}) \cdot Iw \right) \\ Iq = \frac{2}{\sqrt{3}} \cdot \left( \cos(\theta_{dq} + \frac{2\pi}{3}) \cdot Iu - \cos(\theta_{dq}) \cdot Iw \right) \end{cases} \quad (2)$$

【0021】d 軸電流指令  $IdRef$  と d 軸電流  $Id$  とが一致するように、PI 制御器により、d 軸電圧指令  $VdRef$  が補正される。

【0022】q 軸電流指令  $IqRef$  と q 軸電流  $Iq$  とが一致するように、PI 制御器により、q 軸電圧指令  $VqRef$  が補正される。

【0023】(3) 式の右辺第 2 項は、誘導電動機 2 の誘起電圧を補償するフィードフォワード項である。

【0024】

【数 3】

【0026】d q 軸電圧指令  $VdRef, VqRef$  は、3 相電圧指令  $VuRef, VvRef, VwRef$  へと変換されて、ベクトル制御部 8 から出力される。

【 0 0 2 7 】

【 数 4 】

$$\begin{cases} V_u\text{Ref} = \sqrt{\frac{2}{3}} \cdot \sqrt{V_d\text{Ref}^2 + V_q\text{Ref}^2} \cdot \cos(\theta_{dq} + \tan^{-1}(\frac{V_q\text{Ref}}{V_d\text{Ref}})) \\ V_v\text{Ref} = \sqrt{\frac{2}{3}} \cdot \sqrt{V_d\text{Ref}^2 + V_q\text{Ref}^2} \cdot \cos(\theta_{dq} + \tan^{-1}(\frac{V_q\text{Ref}}{V_d\text{Ref}}) - \frac{2\pi}{3}) \\ V_w\text{Ref} = \sqrt{\frac{2}{3}} \cdot \sqrt{V_d\text{Ref}^2 + V_q\text{Ref}^2} \cdot \cos(\theta_{dq} + \tan^{-1}(\frac{V_q\text{Ref}}{V_d\text{Ref}}) + \frac{2\pi}{3}) \end{cases} \quad (4)$$

【 0 0 2 8 】 PWM制御部 7 では、3 相電圧指令  $V_u\text{Ref}$ 、 $V_v\text{Ref}$ 、 $V_w\text{Ref}$  を入力とし、VVVF インバータ 1 内のスイッチング素子へのゲート指令が生成出力される。

【 0 0 2 9 】 この PWM 制御は周知の技術であるので、個々ではその詳細な説明については省略する。

【 0 0 3 0 】 PWM 制御部 7 には、運転指令  $G_sT$  が入力される。

【 0 0 3 1 】  $G_sT = 1$  である場合には、3 相電圧指令に応じて然るべきゲート指令が出力される。

$$\omega_s^* = \frac{R_2}{L_2} \cdot \frac{I_q\text{Ref}}{I_d\text{Ref}} \quad (5)$$

【 0 0 3 6 】 ここに、 $R_2$  : 2 次抵抗、 $L_2$  : 2 次側自己インダクタンスである。

【 0 0 3 7 】 VVVF インバータ 1 の出力周波数  $\omega_1$  は、次式で演算される。

【 0 0 3 8 】

$$\omega_1 = \omega_r + \omega_s^* \quad (6)$$

【 0 0 3 9 】 VVVF インバータ 1 の出力周波数  $\omega_1$  を積分することで、静止座標系の a 軸から回転座標系の d 軸までの位相角  $\theta_{dq}$  が算出される。

【 0 0 4 0 】

$$\theta_{dq} = \frac{1}{s} \cdot \omega_1 \quad (7)$$

【 0 0 4 1 】 以上は、すべり周波数形ベクトル制御の一例であり、良好な過渡応答と高精度な定常特性を得ることができる。

【 0 0 4 2 】

【 発明が解決しようとする課題 】 ところで、上述したような従来の電気車の駆動制御装置においては、速度検出器 2 2 は、誘導電動機 2 の回転軸上に備えられている。

【 0 0 4 3 】 従って、この速度検出器 2 2 の存在が、誘導電動機 2 の大きさに制約を与えるため、大出力な誘導電動機 2 を備えることが困難である。

【 0 0 4 4 】 また、速度検出器 2 2 の信号線が、主回路線と共に機器内を引き回されることで、ノイズ等の重畳に起因する検出速度の擾乱が生じ、出力トルクに悪影響を及ぼす。

【 0 0 4 5 】 さらに、車両の保守検修時にも、信号線の取り扱いが作業効率を低下させる等の課題がある。

【 0 0 4 6 】 一方、これに対して、速度検出器により検出された速度を用いずに、速度を推定する電気車の駆動制御装置の出現が望まれている。

【 0 0 3 2 】  $G_sT = 0$  である場合には、全ゲート指令をオフとし、スイッチング素子が閉とされる。

【 0 0 3 3 】 誘導電動機 2 には、速度検出器 2 2 が備えられ、ロータ回転速度  $F_r$  が検出される。

【 0 0 3 4 】 すべり周波数基準  $s^*$  は、d 軸 (励磁) 電流指令  $I_d\text{Ref}$  と q 軸 (トルク) 電流指令  $I_q\text{Ref}$  とに基づいて算出される。

【 0 0 3 5 】

【 数 5 】

【 0 0 4 7 】 しかしながら、このような速度を推定する電気車の駆動制御装置においては、推定された速度が真の速度とほぼ一致することが不可欠である。そして、この推定された速度値が真値より大きく異なる値に収束している場合には、すべり周波数が過大となり、主磁束量の低下が生じる。

【 0 0 4 8 】 また、制御方式にもよるが、主磁束量が所定の値よりも低下した状態で動作継続を行なう場合には、過電流やそれに伴う温度上昇等が生じることがある。

【 0 0 4 9 】 さらに、誘導電動機 2 の出力トルクが低下して、車両の加減速度が減少することもある。

【 0 0 5 0 】 そして、仮に、そのような状態を放置する場合、目標とする動作点へ引き込まれることもあるが、この場合、過渡的に大きなトルク変動が生じて乗り心地が劣化する等、電気車の駆動制御装置としては望ましいものではない。

【 0 0 5 1 】 本発明の目的は、速度検出器を用いずに VVVF インバータにより電動機を駆動する電気車の駆動制御方法および駆動制御装置において、速度推定値が異常な値に収束した場合に、過電流や温度上昇を抑制し、計画した車両の加減速度と実際の加減速度との差異を低減して車両推力の低下を抑制することで所定の車両加速性能を確保することが可能な電気車の駆動制御方法および制御装置を提供することにある。

【 0 0 5 2 】

【 課題を解決するための手段 】 上記の目的を達成するために、請求項 1 に対応する発明では、直流を任意の周波数の交流に変換する VVVF インバータと、VVVF インバータの直流側に接続されたフィルタコンデンサと、VVVF インバータの交流側に接続されて駆動される電気車用の電動機とから主回路を構成し、VVVF インバータの出力電圧指令と VVVF インバータの出力電流と

から電動機の回転速度を推定して速度推定値を得、当該速度推定値に基づいてVVVFインバータを制御することにより、電動機の駆動制御を行なう電気車の駆動制御方法において、速度推定値が異常な値に収束した場合には、保護動作によりVVVFインバータを停止させるようにしている。

【0053】従って、請求項1に対応する発明の電気車の駆動制御方法においては、速度推定値が異常な値に収束した場合に、保護動作によってVVVFインバータを停止させることにより、平均トルクの低下や過電流、温度上昇、トルク急変等の問題を回避することができる。

【0054】また、請求項2に対応する発明では、直流を任意の周波数の交流に変換するVVVFインバータと、VVVFインバータの直流側に接続されたフィルタコンデンサと、VVVFインバータの交流側に接続されて駆動される電気車用の電動機とから主回路を構成し、VVVFインバータの出力電圧指令とVVVFインバータの出力電流とから電動機の回転速度を推定して速度推定値を得る速度推定手段を備え、速度推定手段により得られた速度推定値に基づいてVVVFインバータを制御することにより、電動機の駆動制御を行なう電気車の駆動制御装置において、速度推定手段により得られた速度推定値が異常な値に収束したことを検出する速度異常検出手段と、速度異常検出手段により速度推定値が異常な値に収束していると判定された場合に、VVVFインバータを停止させる保護手段とを備えている。

【0055】従って、請求項2に対応する発明の電気車の駆動制御装置においては、速度推定値が異常な値に収束していることを判定し、異常な収束を示した場合に、保護動作によってVVVFインバータを停止させることにより、平均トルクの低下や過電流、温度上昇、トルク急変等の問題を回避することができる。

【0056】一方、請求項3に対応する発明では、上記請求項2に対応する発明の電気車の駆動制御装置において、速度異常検出手段としては、電気車の一編成中に有する外部の速度情報に基づいて、速度推定値が異常な値に収束したことを検出する手段を備えている。

【0057】従って、請求項3に対応する発明の電気車の駆動制御装置においては、電気車の駆動制御装置のために備える速度検出器でなく、その他の電気車制御に必要であり、そのために備える速度情報を取り込んで速度推定値と比較することで、速度推定値が異常な値に収束していることを判定し、異常な収束を示した場合に、保護動作によってVVVFインバータを停止させることにより、平均トルクの低下や過電流、温度上昇、トルク急変等の問題を回避することができる。さらに、電気車編成中に存在する速度検出器の速度情報と比較することにより、異常検出精度が向上し、システムの信頼性を向上することができる。

【0058】また、請求項4に対応する発明では、上記

請求項2に対応する発明の電気車の駆動制御装置において、速度異常検出手段としては、電気車以外の他の電気車の駆動制御装置により得られた速度推定値に基づいて、当該速度推定値が異常な値に収束したことを検出する手段を備えている。

【0059】従って、請求項4に対応する発明の電気車の駆動制御装置においては、他の1つ以上の電気車の駆動制御装置と速度推定値を比較することで、自身で推定した速度値が異常な値に収束したことを判定し、異常な収束を示した場合に、保護動作によってVVVFインバータを停止させることにより、平均トルクの低下や過電流、温度上昇、トルク急変等の問題を回避することができる。この場合、通常、同一の制御ユニット内部での実現が可能であり、特別なハードやソフトを付加することなく、容易に実現することができる。

【0060】さらに、請求項5に対応する発明では、上記請求項2に対応する発明の電気車の駆動制御装置において、速度異常検出手段としては、電動機のインピーダンスを逐次演算するインピーダンス演算手段と、インピーダンス演算手段により演算された電動機のインピーダンスに基づいて、速度推定値が異常な値に収束したことを検出する手段とを備えている。

【0061】従って、請求項5に対応する発明の電気車の駆動制御装置においては、逐次演算される電動機のインピーダンスを、健全時のインピーダンスである電動機のインピーダンス基準と比較し、その誤差率が大きい場合に、速度推定値が異常な値に収束したことを判定し、異常な収束を示した場合に、保護動作によってVVVFインバータを停止させることにより、平均トルクの低下や過電流、温度上昇、トルク急変等の問題を回避することができる。

【0062】一方、請求項6に対応する発明では、上記請求項2に対応する発明の電気車の駆動制御装置において、速度異常検出手段としては、電動機の有効電力を逐次演算する有効電力演算手段と、有効電力演算手段により演算された電動機の有効電力に基づいて、速度推定値が異常な値に収束したことを検出する手段とを備えている。

【0063】従って、請求項6に対応する発明の電気車の駆動制御装置においては、逐次演算される電動機の有効電力を、健全状態を想定した電動機の有効電力基準と比較し、その誤差が大きい場合に、速度推定値が異常な値に収束したことを判定し、異常な収束を示した場合に、保護動作によってVVVFインバータを停止させることにより、平均トルクの低下や過電流、温度上昇、トルク急変等の問題を回避することができる。

【0064】また、請求項7に対応する発明では、上記請求項2に対応する発明の電気車の駆動制御装置において、速度異常検出手段としては、電動機の出力トルクを逐次演算するトルク演算手段と、トルク演算手段により

演算された電動機の出力トルクに基づいて、速度推定値が異常な値に収束したことを検出する手段とを備えている。

【0065】従って、請求項7に対応する発明の電気車の駆動制御装置においては、逐次演算される電動機の出力トルクをトルク指令と比較し、その誤差が大きい場合に、速度推定値が異常な値に収束したことを判定し、異常な収束を示した場合に、保護動作によってVVVFインバータを停止させることにより、平均トルクの低下や過電流、温度上昇、トルク急変等の問題を回避することができる。

【0066】さらに、請求項8に対応する発明では、上記請求項2に対応する発明の電気車の駆動制御装置において、速度異常検出手段としては、VVVFインバータへの直流入力側の電流値を検出する電流検出手段と、電流検出手段により検出された電流値に基づいて、速度推定値が異常な値に収束したことを検出する手段とを備えている。

【0067】従って、請求項8に対応する発明の電気車の駆動制御装置においては、検出されたVVVFインバータへの直流入力側の電流値を、健全状態を想定した電流基準値と比較し、その誤差が大きい場合に、速度推定値が異常な値に収束したことを判定し、異常な収束を示した場合に、保護動作によってVVVFインバータを停止させることにより、平均トルクの低下や過電流、温度上昇、トルク急変等の問題を回避することができる。

【0068】一方、請求項9に対応する発明では、上記請求項2に対応する発明の電気車の駆動制御装置において、速度異常検出手段としては、電動機の誘起電圧を演算する誘起電圧演算手段と、誘起電圧演算手段により演算された電動機の誘起電圧に基づいて、速度推定値が異常な値に収束したことを検出する手段とを備えている。

【0069】従って、請求項9に対応する発明の電気車の駆動制御装置においては、逐次演算される電動機の誘起電圧の大きさを、健全状態を想定した電動機の誘起電圧基準と比較し、その誤差率が大きい場合に、速度推定値が異常な値に収束したことを判定し、異常な収束を示した場合に、保護動作によってVVVFインバータを停止させることにより、平均トルクの低下や過電流、温度上昇、トルク急変等の問題を回避することができる。

【0070】また、請求項10に対応する発明では、上記請求項2に対応する発明の電気車の駆動制御装置において、速度異常検出手段としては、電動機の磁束量を演算する磁束演算手段と、磁束演算手段により演算された電動機の磁束量に基づいて、速度推定値が異常な値に収束したことを検出する手段とを備えている。

【0071】従って、請求項10に対応する発明の電気車の駆動制御装置においては、逐次演算される2電動機の次磁束の大きさを2次磁束指令と比較し、その誤差が大きい場合に、速度推定値が異常な値に収束したことを

判定し、異常な収束を示した場合に、保護動作によってVVVFインバータを停止させることにより、平均トルクの低下や過電流、温度上昇、トルク急変等の問題を回避することができる。

【0072】さらに、請求項11に対応する発明では、上記請求項2に対応する発明の電気車の駆動制御装置において、速度異常検出手段としては、電動機の1次インダクタンスを演算する1次インダクタンス演算手段と、1次インダクタンス演算手段により演算された電動機の1次インダクタンスに基づいて、速度推定値が異常な値に収束したことを検出する手段とを備えている。

【0073】従って、請求項11に対応する発明の電気車の駆動制御装置においては、逐次演算される電動機の1次インダクタンスの大きさを1次インダクタンス基準と比較し、その誤差が大きい場合に、速度推定値が異常な値に収束したことを判定し、異常な収束を示した場合に、保護動作によってVVVFインバータを停止させることにより、平均トルクの低下や過電流、温度上昇、トルク急変等の問題を回避することができる。

【0074】

【発明の実施の形態】以下、本発明の実施の形態について図面を参照して詳細に説明する。

【0075】(第1の実施の形態)図1は、本実施の形態による電気車の駆動制御装置の概略構成例を示すブロック図であり、図10と同一部分には同一符号を付してその説明を省略し、ここでは異なる部分についてのみ述べる。

【0076】すなわち、本実施の形態による電気車の駆動制御装置は、図1に示すように、前記図10に、速度推定部9と、速度異常検出部10と、保護手段であるアンド回路11とを付加した構成としている。

【0077】速度推定部9は、前記VVVFインバータ1の出力電圧指令と、前記電流検出器19により検出されるVVVFインバータ1の出力電流とから、前記誘導電動機2の回転速度を推定して速度推定値を得る。

【0078】速度異常検出部10は、速度推定部9により得られた速度推定値が異常な値に収束したことを検出する。

【0079】この速度異常検出部10は、電気車の一編成中に有する外部の速度情報に基づいて、上記速度推定値が異常な値に収束したことを検出する。

【0080】アンド回路11は、速度異常検出部10により速度推定値が異常な値に収束していると判定された場合に、VVVFインバータ1を停止させる。

【0081】次に、以上のように構成した本実施の形態による電気車の駆動制御装置の作用について説明する。

【0082】なお、本実施の形態にて用いる座標系は、前記図11にて説明した従来技術と同一である。

【0083】図1において、ベクトル制御部8では、トルク指令 $T_{MRef}$ に基づき、d軸(励磁)電流指令 $I_{dRef}$ 、

q 軸 (トルク) 電流指令 IqRef、d 軸 (励磁) 電流 Id、q 軸 (トルク) 電流 Iq、d 軸電圧指令 VdRef、q 軸電圧指令 VqRef、3 相電圧指令 VuRef、VvRef、VwRef を演算する。

【0084】速度推定部 9 では、インバータ出力周波数 1 の演算、およびロータ速度の推定を行なう。

【0085】この速度推定部 9 で、誘導電動機 2 のロータ速度を推定する方式としては、各種の方式があるが、一例として、ここでは誘起電圧に基づく方式について説明する。

$$\begin{cases} E_d = V_d\text{Ref} - R_1 \cdot I_d + \omega_1 \cdot \sigma \cdot L_1 \cdot I_q \\ E_q = V_q\text{Ref} - R_1 \cdot I_q - \omega_1 \cdot \sigma \cdot L_1 \cdot I_d \end{cases}$$

【0089】ベクトル制御の目標動作点は、d 軸と 2 次磁束が一致する状態であり、この時、d 軸誘起電圧 Ed は零となる。

【0090】よって、d 軸誘起電圧が零でないことは、d 軸と 2 次磁束が一致していない軸ずれ状態を表わしている。

$$\omega_1 = \frac{L_2}{M} \cdot \frac{E_q}{\phi_{2\text{Ref}}} \cdot \frac{K_p \cdot s + K_i}{s} \cdot E_d$$

【0094】誘導電動機 2 のロータ速度の推定値 Rh は、次式で演算される。

【0095】ただし、すべり周波数基準 s\* は、前記

$$\omega_{rh} = \omega_1 - \omega s^*$$

【0097】速度異常検出部 10 では、本電気車の駆動制御装置以外の機器に必要とされる外部の速度信号を速度基準 R\* として入力し、これを速度推定値 Rh と比較することで、速度推定値 Rh が異常な値に収束していることを検出する。

【0098】一例として、速度基準 R\* と速度推定値 Rh との偏差の絶対値が所定値 を超過した場合には、速

$$\begin{cases} FED = 1 & \text{if } |\omega R^* - \omega_{rh}| < \alpha & (\text{正常と判断}) \\ FED = 0 & \text{if } |\omega R^* - \omega_{rh}| \geq \alpha & (\text{異常と判断}) \end{cases}$$

【0102】異常判定をした場合 (FED=0) には、保護動作となる。

【0103】すなわち、アンド回路 11 への入力 FED=0 となり、ゲート指令 GsT=0 となる。

【0104】すると、PWM 制御部 7 の作用により、VVVF インバータ 1 の全スイッチング素子へのゲートがオフとなる。

【0105】以上の作用により、以下のような効果を得ることができる。

【0106】すなわち、推定した速度に基づいて VVVF インバータ 1 の周波数を調整する本実施の形態の構成では、推定した速度が異常な値に収束する可能性がある。

【0107】この場合、本来与えるべきすべり周波数に比べて、過大なすべり周波数を与えることとなり、トルクの低下や過電流、温度上昇等の問題が生じる。

【0108】仮に、その状態を放置する場合には、前記

10

【0086】すなわち、誘導電動機 2 の U 相電流 Iu と W 相電流 Iw は、電流検出器 19 によりそれぞれ検出され、前記 (2) 式により、d 軸 (励磁) 電流 Id と q 軸 (トルク) 電流 Iq とが演算される。

【0087】d 軸電流 Id と q 軸電流 Iq と、ベクトル制御部 8 からの出力である d 軸電圧指令 VdRef と q 軸電圧指令 VqRef に基づき、d 軸誘起電圧 Ed と q 軸誘起電圧 Eq が算出される。

【0088】

【数 8】

(8)

【0091】VVVF インバータ 1 の出力周波数 1 は、次式で決定される。

【0092】右辺第 1 項は基準項であり、右辺第 2 項は軸ずれ補正項である。

【0093】

【数 9】

(9)

(5) 式で演算される。

【0096】

【数 10】

(10)

度推定異常と判定する。

【0099】この速度推定異常は、フラグ FED として出力される。

【0100】すなわち、正常と判定した場合には、FED = 1 であり、異常と判定した場合には、FED=0 とする。

【0101】

【数 11】

(11)

(9) 式の軸ずれ補償項の作用により、目標とする動作点へ引き込まれる場合もあるが、この場合、過渡的に大きな推力変動が生じて乗り心地が劣化する等、電気車の駆動制御装置としては望ましくない。

【0109】この点、本実施の形態の構成では、外部の速度信号を速度基準として取り込み、速度推定値と比較することで、速度推定値が異常な値に収束していることを判定することができる。

【0110】異常な収束を示した場合には、VVVF インバータ 1 を保護動作により停止させることで、トルクの低下や過電流、温度上昇、トルク急変等の問題を回避することが可能である。

【0111】速度情報として、精度のよいものは特に必要とされない。

【0112】電気車編成中に存在する速度検出器の速度信号と比較するため、異常検知精度が向上し、システムの信頼性を向上することができる。

50

【0113】なお、本実施の形態で挙げる外部の速度情報とは、本来、電気車の駆動制御装置に使用する目的ではなく、他の機器で必要とされるために備わる速度情報の全てを含むものである。

【0114】すなわち、例えばブレーキ制御器、運転台の速度メータやモニタ機器、閉じ込め保安装置のために備えられる速度検出器、あるいは自動列車制御装置 A T C、自動列車停止装置 A T S、自動列車運転装置 A T O、速度段リレー回路等から得られる速度情報等により構成することが可能である。

【0115】また、本実施の形態では、誘導電動機の駆動制御装置を例として示しているが、同様に、他の電動機に適用した場合も同様の作用効果を得ることができる。

【0116】ここで、他の電動機としては、例えば永久磁石同期電動機 ( P M S M )、永久磁石リラクタンス電動機 ( P R M )、シンクロナスリラクタンス電動機 ( S y R M ) 等がある。

【0117】なお、速度異常を検出して、保護動作によりゲートを停止した場合、電気的な推力は得られないこともある。すなわち、力行中の場合、加速しない。ブレーキ中では、電気ブレーキが出力されない分、機械的ブレーキが動作し、所定の減速度は確保されるが、エネルギー効率やブレーキシューの磨耗等の点より望ましいものとは言い難い。

【0118】そこで、保護動作によりゲートを停止した場合、再度、V V V F インバータ 1 の再起動を行なう方が望ましい場合も多い。

【0119】上述したように、本実施の形態による電気車の駆動制御装置では、速度推定値が異常な値に収束していることを判定し、異常な収束を示した場合に、保護動作によって V V V F インバータ 1 を停止させることに

$$\alpha^* = \frac{\omega r h + \omega r h 2 + \omega r h 3 + \omega r h 4}{4}$$

【0129】この速度基準 R\* に基づき速度推定値 Rh の収束値の異常を判定する基準は、前記 ( 1 1 ) 式と同様である。

【0130】以上の作用により、他の 1 つ以上の電気車の駆動制御装置と速度推定値を比較することで、自身で推定した速度が、異常な値に収束したことを判定する。各誘導電動機の回転速度は、車輪径の差や空転・滑走といった条件で若干の差異を示すが、概ね車両速度 ( を各電動機の回転速度に換算したもの ) に一致している。

【0131】よって、他の電気車の駆動制御装置で推定された速度に比べて大きな差異がある場合には、速度推定値の異常であると判定できる。

【0132】これにより、前記第 1 の実施の形態と同様の効果を得ることができる。

【0133】一般に、電気車の 1 両には 4 つの誘導電動機が備えられており、各誘導電動機を 1 台の V V V F

より、平均トルクの低下や過電流、温度上昇、トルク急変等の問題を回避することが可能となる。

【0120】( 第 2 の実施の形態 ) 図 2 は、本実施の形態による電気車の駆動制御装置の概略要部構成例を示すブロック図であり、図 1 と同一部分には同一符号を付してその説明を省略し、ここでは異なる部分についてのみ述べる。

【0121】すなわち、本実施の形態による電気車の駆動制御装置は、図 2 に示すように、前記図 1 における速度異常検出部 10 として、本電気車以外の他の電気車の駆動制御装置により得られた速度推定値に基づいて、速度推定値が異常な値に収束したことを検出する構成としている。

【0122】次に、以上のように構成した本実施の形態による電気車の駆動制御装置の作用について説明する。

【0123】なお、図 1 と同一部分の作用についてはその説明を省略し、ここでは異なる部分の作用についてのみ述べる。

【0124】図 2 において、速度異常検出部 10 には、速度推定部 9 で推定された誘導電動機 2 の回転速度 Rh が入力される。

【0125】また、同一電車内の他の電気車の駆動制御装置から同様に推定される別の誘導電動機 3 の速度推定値 Rh2、Rh3、Rh4 が入力される。

【0126】速度異常検出部 10 では、4 つの速度推定値 Rh、Rh2、Rh3、Rh4 に基づき、自身の速度推定値 Rh が異常であるか否かを判定する。

【0127】例えば、4 台の平均値を速度基準 R\* として算出する。

【0128】

【数 1 2】

$$( 1 2 )$$

ンバータで駆動制御する個別制御方式という駆動方式がある。この個別駆動方式の場合、各々の誘導電動機を駆動する 4 つの駆動制御装置を合わせて、1 つの制御ユニットとして構成することが通例である。

【0134】よって、これら 4 つの駆動制御装置内で、各々の速度推定値をやりとりすることは、特別なハードやソフトを付加することなく、容易に実現することが可能である。

【0135】なお、本実施の形態では、個々の電気車の駆動制御装置が自身の速度推定異常を判定するようにしているが、速度異常検出部 10 は、複数の電気車の駆動制御装置で共有し、いずれかの電気車の駆動制御装置が速度推定異常であることを判定するように構成してもよい。

【0136】上述したように、本実施の形態による電気車の駆動制御装置でも、平均トルクの低下や過電流、温

度上昇、トルク急変等の問題を回避することが可能となる。

【 0 1 3 7 】 ( 第 3 の実施の形態 ) 図 3 は、本実施の形態による電気車の駆動制御装置の概略構成例を示すブロック図であり、図 1 と同一部分には同一符号を付してその説明を省略し、ここでは異なる部分についてのみ述べる。

【 0 1 3 8 】 すなわち、本実施の形態による電気車の駆動制御装置は、図 3 に示すように、前記図 1 に、インピーダンス演算部 1 2 と、インピーダンス基準演算部 1 3 とを付加した構成としている。

【 0 1 3 9 】 インピーダンス演算部 1 2 は、誘導電動機 2 のインピーダンスを逐次演算する。

【 0 1 4 0 】 インピーダンス基準演算部 1 3 は、速度推定値が正常に収束している健全状態での誘導電動機 2 のインピーダンス基準を演算する。

【 0 1 4 1 】 速度異常検出部 1 0 は、インピーダンス演算部 1 2 により演算された誘導電動機 2 のインピーダンスと、インピーダンス基準演算部 1 3 により演算された

$$I1 = \sqrt{Id^2 + Iq^2}$$

【 0 1 4 8 】 同様に、d q 軸座標系上の電圧指令ベクトルの大きさ V1Ref は、次式で演算される。

$$V1Ref = \sqrt{VdRef^2 + VqRef^2}$$

【 0 1 5 0 】 誘導電動機 2 のインピーダンスは、d q 軸座標系上の電流ベクトルの大きさ I1 と電圧指令ベクトルの大きさ V1Ref とから、次式で算出される。

【 0 1 5 1 】

$$Z = \frac{V1Ref}{I1}$$

( 1 5 )

【 0 1 5 2 】 インピーダンス基準演算部 1 3 には、速度

$$Z^* = f(\alpha rh)$$

( 1 3 )

【 0 1 5 5 】 速度異常検出部 1 0 には、演算されたインピーダンス Z とインピーダンス基準 Z\* とが入力され、双方を比較することで、速度推定値が異常な値に収束していることが検出される。

【 0 1 5 6 】 一例として、インピーダンス基準 Z\* に対するインピーダンス Z の比率を演算し、この比率が下限

$$\begin{cases} FED=1 & \text{if } \alpha \leq \frac{Z}{Z^*} \leq \beta \\ FED=0 & \text{if } \frac{Z}{Z^*} < \alpha \text{ or } \frac{Z}{Z^*} > \beta \end{cases}$$

( 正常判断 )

( 異常判断 )

( 1 7 )

【 0 1 5 9 】 すなわち、正常と判定した場合には、FED = 1 であり、異常と判定した場合には、FED=0 とする。

【 0 1 6 0 】 速度推定値が真値近傍に収束している健全状態での誘導電動機 2 のインピーダンスは、出力トルクに応じて数倍の変化を示す。

誘導電動機 2 のインピーダンス基準とに基づいて、前記速度推定値が異常な値に収束したことを検出する。

【 0 1 4 2 】 次に、以上のように構成した本実施の形態による電気車の駆動制御装置の作用について説明する。

【 0 1 4 3 】 なお、図 1 と同一部分の作用についてはその説明を省略し、ここでは異なる部分の作用についてのみ述べる。

【 0 1 4 4 】 図 3 において、インピーダンス演算部 1 2 には、電流検出器 1 9 により検出された相電流 Iu, Iw と、ベクトル制御部 8 からの出力である d q 軸電圧指令 VdRef, VqRef とが入力され、誘導電動機 2 のインピーダンス Z が算出される。

【 0 1 4 5 】 相電流 Iu, Iw に基づき、d q 軸電流値 Id, Iq は、前記 ( 2 ) 式で演算される。

【 0 1 4 6 】 d q 軸座標系上の電流ベクトルの大きさ I1 は、次式で演算される。

【 0 1 4 7 】

【 数 1 3 】

【 0 1 4 9 】

【 数 1 4 】

( 1 4 )

推定値 Rh が入力される。

【 0 1 5 3 】 インピーダンス基準値 Z\* は、速度推定値 Rh が正常に収束している健全状態での誘導電動機 2 のインピーダンスを表わすものとして、あらかじめ関数化しておくことが望ましい。

【 0 1 5 4 】

【 数 1 6 】

( 1 6 )

値 と上限 との間に無い場合には、速度推定値異常と判定される。

【 0 1 5 7 】 この速度推定値異常は、フラグ FED として出力される。

【 0 1 5 8 】

【 数 1 7 】

【 0 1 6 1 】 速度推定値の異常収束の保護検知を精度よく行なう場合、( 1 6 ) 式に示したインピーダンス基準は、速度推定値のみならず、トルク指令 TmRef ( あるいはそれに準ずるトルク電流指令 IqRef やトルク電流 Iq ) の関数として与えることが望ましい。

【0162】

$$Z^* = f(\omega_{rh}, T_{mRef})$$

【0163】なお、あらかじめ関数化するのではなく、モータパラメータと各指令値に基づき、インピーダンス基準  $Z^*$  を逐次演算することも可能である。

【0164】以上の作用により、逐次演算される誘導電動機 2 のインピーダンスを、健全時のインピーダンスであるインピーダンス基準と比較し、その誤差率が大きい場合に、速度推定値異常 (FED = 0) と判定する。

【0165】速度推定値が異常であることは、すべりが過大となっていることと等価である。

【0166】誘導電動機 2 のインピーダンスは、1 次周波数とロータ周波数とが一致している状態で極大となる。このため、すべりが過大である状態では、インピーダンスが低下する。

【0167】よって、上記の作用により、速度推定値が異常な値に収束したことを判定することができる。

【0168】これにより、前記第 1 の実施の形態と同様の効果を得ることができる。

【0169】上述したように、本実施の形態による電気車の駆動制御装置でも、平均トルクの低下や過電流、温度上昇、トルク急変等の問題を回避することが可能となる。

【0170】(第 4 の実施の形態) 図 4 は、本実施の形態による電気車の駆動制御装置の概略構成例を示すブロック図であり、図 1 と同一部分には同一符号を付してその説明を省略し、ここでは異なる部分についてのみ述べる。

【0171】すなわち、本実施の形態による電気車の駆動制御装置は、図 4 に示すように、前記図 1 に、有効電

$$P = V_{dRef} \cdot I_d + V_{qRef} \cdot I_q$$

【0181】有効電力基準演算部 15 には、VVVF インバータ 1 の 1 次周波数  $\omega_1$  が入力される。

【0182】誘導電動機 2 のモータ定数を用いて、 $dq$

$$\begin{cases} V_{d^*} = R_1 \cdot I_{dRef} - \omega_1 \cdot \sigma \cdot L_1 \cdot I_{qRef} \\ V_{q^*} = R_1 \cdot I_{qRef} + \omega_1 \cdot L_1 \cdot I_{dRef} \end{cases}$$

【0184】ここに、 $R_1$ : 1 次抵抗、 $L_1$ : 1 次側自己インダクタンス、 $\sigma$ : 漏れ係数 ( $= 1 - M \times M / L_1 / L_2$ )、ただし、 $M$ : 相互インダクタンス、 $L_2$ : 2 次側自己インダクタンスである。

$$P^* = V_{d^*} \cdot I_{dRef} + V_{q^*} \cdot I_{qRef}$$

【0187】なお、有効電力基準  $P^*$  は、上記 (21) 式により逐次演算するのでなく、あらかじめ 1 次周波数  $\omega_1$  とトルク指令  $T_{mRef}$  (あるいはそれに準ずるトルク電流指令  $I_{qRef}$  やトルク電流) の関数として、次式により

$$P^* = f(\omega_1, T_{mRef})$$

【0189】速度異常検出部 10 には、演算された有効電力  $P$  と有効電力基準  $P^*$  とが入力され、双方を比較することで、速度推定値が異常な値に収束していることが

【数 18】

$$(18)$$

力演算部 14 と、有効電力基準演算部 15 とを付加した構成としている。

【0172】有効電力演算部 14 は、誘導電動機 2 の有効電力を逐次演算する。

【0173】有効電力基準演算部 15 は、速度推定値が正常に収束している健全状態での誘導電動機 2 の有効電力基準を演算する。

【0174】速度異常検出部 10 は、有効電力演算部 14 により演算された誘導電動機 2 の有効電力と、有効電力基準演算部 15 により演算された誘導電動機 2 の有効電力基準とに基づいて、前記速度推定値が異常な値に収束したことを検出する。

【0175】次に、以上のように構成した本実施の形態による電気車の駆動制御装置の作用について説明する。

【0176】なお、図 1 と同一部分の作用についてはその説明を省略し、ここでは異なる部分の作用についてのみ述べる。

【0177】図 4 において、有効電力演算部 14 には、電流検出器 19 により検出された相電流  $I_u, I_w$  と、ベクトル制御部 8 からの出力である  $dq$  軸電圧指令  $V_{dRef}, V_{qRef}$  とが入力され、VVVF インバータ 1 から出力される有効電力  $P$  が算出される。

【0178】相電流  $I_u, I_w$  に基づき、 $dq$  軸電流値  $I_d, I_q$  は、前記 (2) 式により演算される。

【0179】有効電力  $P$  は、次式により演算される。

【0180】

【数 19】

$$(19)$$

軸電圧基準  $V_{d^*}, V_{q^*}$  が、次式により算出される。

【0183】

【数 20】

$$(20)$$

【0185】有効電力基準  $P^*$  は、次式により演算される。

【0186】

【数 21】

$$(21)$$

定義するようにしておいてもよい。

【0188】

【数 22】

$$(22)$$

検出される。

【0190】一例として、有効電力基準  $P^*$  と有効電力  $P$  との偏差を演算し、この偏差が下限値  $P_{min}$  と上限  $P_{max}$  との

10

40

50

間がない場合には、速度推定値異常と判定される。

【0191】この速度推定値異常は、フラグFEDとして出力される。

【0192】すなわち、正常と判定した場合には、FED

$$\begin{cases} FED=1 & \text{if } \alpha \leq (P^* - P) \leq \beta & \text{(正常判断)} \\ FED=0 & \text{if } (P^* - P) < \alpha \text{ or } (P^* - P) > \beta & \text{(異常判断)} \end{cases} \quad (23)$$

【0194】以上の作用により、逐次演算される誘導電動機2の有効電力を、健全状態を想定した有効電力基準と比較し、その偏差が大きい場合に、速度推定値異常 (FED = 0) と判定する。

【0195】速度推定値が異常であることは、すべりが過大となっていることと等価であるが、この場合、主磁束が低下した状態となる。このため、所望なトルクが出力されず、有効電力の低下となって現われる。

【0196】よって、上記の作用により、速度推定値が異常な値に収束したことを判定することができる。

【0197】これにより、前記第1の実施の形態と同様の効果を得ることができる。

【0198】上述したように、本実施の形態による電気車の駆動制御装置でも、平均トルクの低下や過電流、温度上昇、トルク急変等の問題を回避することが可能となる。

【0199】(第5の実施の形態) 図5は、本実施の形態による電気車の駆動制御装置の概略構成例を示すブロック図であり、図1と同一部分には同一符号を付してその説明を省略し、ここでは異なる部分についてのみ述べる。

【0200】すなわち、本実施の形態による電気車の駆動制御装置は、図5に示すように、前記図1に、トルク演算部16を付加した構成としている。

$$P_m = P - R_1 \cdot (I_d^2 + I_q^2) - \frac{M^2}{L^2} \cdot R_2 \cdot I_q^2 \quad (24)$$

【0210】誘導電動機2の出力トルクの推定値T Mhは、速度推定値 Rhを用いて、次式により演算される。

$$T_{mh} = \frac{p \cdot P_m}{\alpha r_h} \quad (25)$$

【0212】ただし、p：極対数を表わす。

【0213】速度異常検出部10には、演算された推定トルクT Mhとトルク指令T MRefとが入力され、双方を比較することで、速度推定値が異常な値に収束していることが検出される。

【0214】一例として、トルク指令T MRefと推定トルクT Mhとの偏差を演算し、この偏差が下限値 と上限との間がない場合には、速度推定値異常と判定され

$$\begin{cases} FED=1 & \text{if } \alpha \leq (T_{mRef} - T_{mh}) \leq \beta & \text{(正常判断)} \\ FED=0 & \text{if } (T_{mRef} - T_{mh}) < \alpha \text{ or } (T_{mRef} - T_{mh}) > \beta & \text{(異常判断)} \end{cases} \quad (26)$$

【0218】以上の作用により、逐次演算される推定トルクを、トルク指令と比較し、その偏差が大きい場合に、速度推定値異常 (FED = 0) と判定する。

【0219】速度推定値が異常であることは、すべりが

= 1であり、異常と判定した場合には、FED=0とする。

【0193】

【数23】

【0201】トルク演算部16は、誘導電動機2の出力トルクを逐次演算する。

10 【0202】速度異常検出部10は、トルク演算部16により演算された誘導電動機2の出力トルクとトルク指令とに基づいて、速度推定値が異常な値に収束したことを検出する。

【0203】次に、以上のように構成した本実施の形態による電気車の駆動制御装置の作用について説明する。

【0204】なお、図1と同一部分の作用についてはその説明を省略し、ここでは異なる部分の作用についてのみ述べる。

20 【0205】図5において、トルク演算部16には、電流検出器19により検出された相電流 Iu, Iwと、ベクトル制御部8からの出力であるd q軸電圧指令VdRef, Vq Refとが入力される。

【0206】誘導電動機2の入力端子における有効電力Pは、前記(19)式により演算される。

【0207】誘導電動機2の機械出力PMは、1次抵抗R1と2次抵抗R2で消費される電力を差し引くことで、その概算を求めることができる。

【0208】速度推定値が真の回転速度と一致する場合には、次式により算出することができる。

【0209】

30 【数24】

【0211】

【数25】

る。

【0215】この速度推定値異常は、フラグFEDとして出力される。

40 【0216】すなわち、正常と判定した場合には、FED = 1であり、異常と判定した場合には、FED=0とする。

【0217】

【数26】

過大となっていることと等価であり、主磁束が低下した状態である。このため、所望なトルクが出力されない。

【0220】よって、上記の作用により、速度推定値が異常な値に収束したことを判定することができる。

50

【0221】これにより、前記第1の実施の形態と同様の効果を得ることができる。

【0222】なお、本実施の形態では、トルクを推定するようにしているが、トルクメータを誘導電動機2に備えて、このトルクメータで検出された値に基づいて、速度推定値の異常を判定するようにしても、同様の作用効果を得ることができる。

【0223】上述したように、本実施の形態による電気車の駆動制御装置でも、平均トルクの低下や過電流、温度上昇、トルク急変等の問題を回避することが可能となる。

【0224】(第6の実施の形態)図6は、本実施の形態による電気車の駆動制御装置の概略構成例を示すブロック図であり、図1と同一部分には同一符号を付してその説明を省略し、ここでは異なる部分についてのみ述べる。

【0225】すなわち、本実施の形態による電気車の駆動制御装置は、図6に示すように、前記図1に、FL電流基準演算部17と、電流検出器18とを付加した構成としている。

【0226】電流検出器18は、前記VVVFインバータ1への直流入力側の電流値、すなわちフィルタリアクトル6の電流値を検出する。

【0227】FL電流基準演算部17は、定常的なフィルタリアクトル6の電流基準を演算する。

【0228】速度異常検出部10は、電流検出器18により検出された電流値と、FL電流基準演算部17により演算されたフィルタリアクトル電流基準とに基づいて、前記速度推定値が異常な値に収束したことを検出する。

$$\begin{cases} FED=1 & \text{if } \alpha \leq (IL^* - IL) \leq \beta & \text{(正常判断)} \\ FED=0 & \text{if } (IL^* - IL) < \alpha \text{ or } (IL^* - IL) > \beta & \text{(異常判断)} \end{cases} \quad (28)$$

【0239】以上の作用により、検出されたフィルタリアクトル電流ILを、健全状態を想定したフィルタリアクトル電流基準と比較し、その偏差が大きい場合に、速度推定値異常(FED=0)と判定する。

【0240】速度推定値が異常であることは、すべりが過大となっていることと等価であり、主磁束が低下した状態である。このため、所望なトルクが出力されず、有効電力の低下、すなわちVVVFインバータ1への直流入力電流の低下として現われる。

【0241】よって、上記の作用により、速度推定値が異常な値に収束したことを判定することができる。

【0242】これにより、前記第1の実施の形態と同様の効果を得ることができる。

【0243】なお、本実施の形態では、フィルタコンデンサ3より架線側のフィルタリアクトル6の電流を検出するようにしているが、フィルタコンデンサ3からVVVFインバータ1への入力直流電流を検出するようにしても、同様の作用効果を得ることができる。

【0229】次に、以上のように構成した本実施の形態による電気車の駆動制御装置の作用について説明する。

【0230】なお、図1と同一部分の作用についてはその説明を省略し、ここでは異なる部分の作用についてのみ述べる。

【0231】図6において、フィルタリアクトル6を流れる電流を検出する電流検出器18が設けられる。

【0232】FL電流基準演算部17には、VVVFインバータ1の1次周波数1が入力される。

【0233】例えば、定常的なフィルタリアクトル6の電流基準IL\*は、前記(21)式の有効電力基準P\*と直流電圧Vdcとを用いて、次式により演算される。

$$\begin{aligned} & \text{【0234】} \\ & \text{【数27】} \\ & IL^* = \frac{P^*}{V_{dc}} \quad (27) \end{aligned}$$

【0235】速度異常検出部10には、フィルタリアクトル6電流基準IL\*と検出されたフィルタリアクトル6電流ILとが入力され、双方を比較することで、速度推定値が異常な値に収束していることが検出される。

【0236】一例として、フィルタリアクトル6電流基準IL\*とフィルタリアクトル6電流ILとの偏差を演算し、この偏差が下限値と上限との間にない場合には、速度推定値異常と判定される。

【0237】この速度推定値異常は、フラグFEDとして出力される。正常と判定した場合には、FED=1であり、異常と判定した場合には、FED=0とする。

【0238】  
【数28】

【0244】すなわち、交流電気車への適用を図る上では、VVVFインバータ1への入力直流電流を直接検出する構成が極めて有効である。

【0245】上述したように、本実施の形態による電気車の駆動制御装置でも、平均トルクの低下や過電流、温度上昇、トルク急変等の問題を回避することが可能となる。

【0246】(第7の実施の形態)図7は、本実施の形態による電気車の駆動制御装置の概略構成例を示すブロック図であり、図1と同一部分には同一符号を付してその説明を省略し、ここでは異なる部分についてのみ述べる。

【0247】すなわち、本実施の形態による電気車の駆動制御装置は、図7に示すように、前記図1に、誘起電圧演算部20と、誘起電圧基準演算部21とを付加した構成としている。

【0248】誘起電圧演算部20は、誘導電動機2の誘起電圧を演算する。

30

40

50

【0249】誘起電圧基準演算部21は、速度推定値が正常に収束している健全状態での誘導電動機2の誘起電圧基準を演算する。

【0250】速度異常検出部10は、誘起電圧演算部20により演算された誘導電動機2の誘起電圧と、誘起電圧基準演算部21により演算された誘導電動機2の誘起電圧基準とに基づいて、前記速度推定値が異常な値に収束したことを検出する。

【0251】次に、以上のように構成した本実施の形態による電気車の駆動制御装置の作用について説明する。

【0252】なお、図1と同一部分の作用についてはそ

$$E = \sqrt{E_d^2 + E_q^2}$$

【0256】誘起電圧基準演算部21では、VVVFインバータ1の周波数 1に基づき、次式のようにして誘起電圧基準E\*が演算される。

$$E^* = \frac{M}{L} \cdot \omega_1 \cdot \phi_{2Ref}$$

【0258】速度異常検出部10には、演算された誘起電圧の大きさEと誘起電圧基準E\*とが入力され、双方を比較することで、速度推定値が異常な値に収束していることが検出される。

【0259】一例として、誘起電圧の大きさEと誘起電圧基準E\*との偏差を演算し、この偏差が下限値 と上限 との間でない場合には、速度推定値異常と判定され

$$\begin{cases} FED=1 & \text{if } \alpha \leq (E^* - E) \leq \beta \\ FED=0 & \text{if } (E^* - E) < \alpha \text{ or } (E^* - E) > \beta \end{cases}$$

【0263】以上の作用により、逐次演算される誘起電圧の大きさを、健全状態を想定した誘起電圧基準と比較し、その偏差が大きい場合に、速度推定値異常(FED=0)と判定する。

【0264】速度推定値が異常であることは、すべりが過大となっていることと等価であり、主磁束が低下した状態である。このため、健全状態で生じる誘起電圧基準に比べて、小さい誘起電圧しか生じない。

【0265】よって、上記の作用により、速度推定値が異常な値に収束したことを判定することができる。

【0266】これにより、前記第1の実施の形態と同様の効果を得ることができる。

【0267】なお、本実施の形態では、誘導電動機2の誘起電圧の大きさをその基準と比較するようにしているが、誘導電動機2の誘起電圧は、健全状態でq軸方向にしか生じないため、前記(8)式により演算されたq軸誘起電圧Eqと誘起電圧基準E\*とを比較して、速度推定値の異常を判定するようにしてもよい。

【0268】また、誘導電動機2の誘起電圧でなく、VVVFインバータ1の出力電圧の大きさやq軸電圧に基づいて、速度推定値の異常を判定するようにしても、同様の作用効果を得ることができる。

【0269】上述したように、本実施の形態による電気

の説明を省略し、ここでは異なる部分の作用についてのみ述べる。

【0253】図7において、誘起電圧演算部20では、電流検出器19により検出された相電流I<sub>u</sub>、I<sub>w</sub>と、ベクトル制御部8からの出力であるdq軸電圧指令V<sub>dRef</sub>、V<sub>qRef</sub>とが入力され、dq軸座標系上の誘起電圧E<sub>d</sub>、E<sub>q</sub>が、前記(8)式により演算される。

【0254】誘起電圧の大きさEは、次式により算出される。

【0255】  
【数29】

$$(29)$$

【0257】  
【数30】

$$(30)$$

る。  
【0260】この速度推定値異常は、フラグFEDとして出力される。

【0261】すなわち、正常と判定した場合には、FED=1であり、異常と判定した場合には、FED=0とする。

【0262】  
【数31】

$$\begin{cases} \text{(正常判断)} \\ \text{(異常判断)} \end{cases} (31)$$

車の駆動制御装置でも、平均トルクの低下や過電流、温度上昇、トルク急変等の問題を回避することが可能となる。

【0270】(第8の実施の形態)図8は、本実施の形態による電気車の駆動制御装置の概略構成例を示すブロック図であり、図1と同一部分には同一符号を付してその説明を省略し、ここでは異なる部分についてのみ述べる。

【0271】すなわち、本実施の形態による電気車の駆動制御装置は、図8に示すように、前記図1に、磁束演算部23を付加した構成としている。

【0272】磁束演算部23は、誘導電動機2の磁束量を演算する。

【0273】速度異常検出部10は、磁束演算部23により演算された誘導電動機2の磁束量と磁束指令とに基づいて、前記速度推定値が異常な値に収束したことを検出する。

【0274】次に、以上のように構成した本実施の形態による電気車の駆動制御装置の作用について説明する。

【0275】なお、図1と同一部分の作用についてはその説明を省略し、ここでは異なる部分の作用についてのみ述べる。

【0276】図8において、磁束演算部23には、電流

10

20

30

40

50

検出器 19 により検出された相電流  $I_u, I_w$  と、ベクトル制御部 8 からの出力である  $d$   $q$  軸電圧指令  $V_dRef, V_qRef$  とが入力され、誘導電動機 2 の主磁束が演算される。

【0277】すなわち、まず、相電流  $I_u, I_w$  に基づい

$$\begin{bmatrix} I_a \\ I_b \end{bmatrix} = \frac{\sqrt{2}}{\sqrt{3}} \cdot \begin{bmatrix} 1 & -\frac{1}{2} & -\frac{1}{2} \\ 0 & \frac{\sqrt{3}}{2} & -\frac{\sqrt{3}}{2} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} I_u \\ -I_u - I_w \\ I_w \end{bmatrix} \quad (32)$$

【0279】 $a$   $b$  軸静止座標系上での電圧指令  $V_aRef, V_bRef$  は、次式により演算される。

$$\begin{bmatrix} V_aRef \\ V_bRef \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos(\theta_{dq}) & -\sin(\theta_{dq}) \\ \sin(\theta_{dq}) & \cos(\theta_{dq}) \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} V_dRef \\ V_qRef \end{bmatrix} \quad (33)$$

【0281】 $a$   $b$  軸静止座標系上での 2 次磁束量  $\phi_{2a}, \phi_{2b}$  は、次式により推定演算される。

$$\begin{cases} \phi_{2a} = \int (V_a - R_1 \cdot I_a - \sigma \cdot L_1 \cdot p(I_a)) dt \\ \phi_{2b} = \int (V_b - R_1 \cdot I_b - \sigma \cdot L_1 \cdot p(I_b)) dt \end{cases} \quad (34)$$

【0283】ただし、 $p()$  : 微分演算子である。

【0284】 $a$   $b$  軸 2 次磁束  $\phi_{2a}, \phi_{2b}$  は、次式により、 $d$   $q$  軸座標系上の 2 次磁束  $\phi_{2d}, \phi_{2q}$  に変換され

$$\begin{bmatrix} \phi_{2d} \\ \phi_{2q} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos(\theta_{dq}) & \sin(\theta_{dq}) \\ -\sin(\theta_{dq}) & \cos(\theta_{dq}) \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \phi_{2a} \\ \phi_{2b} \end{bmatrix} \quad (35)$$

【0286】2 次磁束の大きさ  $\phi_2$  は、次式により演算される。

$$\phi_2 = \sqrt{\phi_{2d}^2 + \phi_{2q}^2} \quad (36)$$

【0288】速度異常検出部 10 には、演算された 2 次磁束の大きさ  $\phi_2$  と 2 次磁束指令  $\phi_{2Ref}$  とが入力され、双方を比較することで、速度推定値が異常な値に収束していることが検出される。

【0289】一例として、2 次磁束の大きさ  $\phi_2$  と 2 次磁束指令  $\phi_{2Ref}$  との偏差を演算し、この偏差が下限値と上限  $\alpha$  との間がない場合には、速度推定値異常と判定

$$\begin{cases} FED = 1 & \text{if } \alpha \leq (\phi_{2Ref} - \phi_2) \leq \beta & \text{(正常判断)} \\ FED = 0 & \text{if } (\phi_{2Ref} - \phi_2) < \alpha \text{ or } (\phi_{2Ref} - \phi_2) > \beta & \text{(異常判断)} \end{cases} \quad (37)$$

【0293】以上の作用により、逐次演算される 2 次磁束の大きさを、2 次磁束指令と比較し、その偏差が大きい場合に、速度推定値異常 ( $FED = 0$ ) と判定する。

【0294】速度推定値が異常であることは、すべりが過大となっていることと等価であり、2 次磁束が低下した状態である。

【0295】よって、上記の作用により、速度推定値が異常な値に収束したことを判定することができる。

【0296】これにより、前記第 1 の実施の形態と同様の効果を得ることができる。

【0297】なお、本実施の形態では、2 次磁束の大きさをその基準と比較するようにしているが、2 次磁束は、健全状態で  $d$  軸方向にしか生じないため、前記 (35) 式により演算された  $d$  軸 2 次磁束  $\phi_{2d}$  と 2 次磁束指令  $\phi_{2Ref}$  とを比較して、速度推定値の異常を判定するよ

て、 $a$   $b$  軸静止座標系上での電流値  $I_a, I_b$  が演算される。

【0278】

【数 32】

【0280】

【数 33】

【0282】

【数 34】

る。

【0285】

【数 35】

【0287】

【数 36】

される。

【0290】この速度推定異常は、フラグ  $FED$  として出力される。

【0291】すなわち、正常と判定した場合には、 $FED = 1$  であり、異常と判定した場合には、 $FED = 0$  とする。

【0292】

【数 37】

うにしてもよい。

【0298】また、誘導電動機 2 の主磁束として、2 次磁束に基づく構成を示しているが、1 次磁束やギャップ磁束に基づく構成とするようにしても、同様の作用効果を得ることができる。

【0299】上述したように、本実施の形態による電気車の駆動制御装置でも、平均トルクの低下や過電流、温度上昇、トルク急変等の問題を回避することが可能となる。

【0300】(第 9 の実施の形態) 図 9 は、本実施の形態による電気車の駆動制御装置の概略構成例を示すブロック図であり、図 1 と同一部分には同一符号を付してその説明を省略し、ここでは異なる部分についてのみ述べる。

【0301】すなわち、本実施の形態による電気車の駆

動制御装置は、図9に示すように、前記図1に、1次インダクタンス演算部24を付加した構成としている。

【0302】1次インダクタンス演算部24は、誘導電動機2の1次インダクタンスを演算する。

【0303】速度異常検出部10は、1次インダクタンス演算部24により演算された誘導電動機2の1次インダクタンスと1次インダクタンス基準とに基づいて、速度推定値が異常な値に収束したことを検出する。

【0304】次に、以上のように構成した本実施の形態 
$$Vq = R1 \cdot Iq + L1 \cdot \omega \cdot Id$$

【0308】1次インダクタンス演算部24では、上記(38)式の関係に基づき、次式のように、1次インダクタンスL1が推定演算される。

【0309】ただし、dq軸電流Id, Iqは、前記 
$$L1 = \frac{VqRef - R1 \cdot Iq}{\omega \cdot Id}$$

【0311】速度異常検出部10には、演算された1次インダクタンスL1と1次インダクタンス基準L1\*とが入力され、双方を比較することで、速度推定値が異常な値に収束していることが検出される。

【0312】一例として、1次インダクタンスL1とその基準L1\*との偏差を演算し、この偏差が下限値 と上限 との間がない場合には、速度推定値異常と判定され

$$\begin{cases} FED=1 & \text{if } \alpha \leq (L1^* - L1) \leq \beta & \text{(正常判断)} \\ FED=0 & \text{if } (L1^* - L1) < \alpha \text{ or } (L1^* - L1) > \beta & \text{(異常判断)} \end{cases} \quad (40)$$

【0316】以上の作用により、逐次演算される1次インダクタンスを、1次インダクタンス基準と比較し、その偏差が大きい場合に、速度推定値異常(FED=0)と判定する。

【0317】速度推定値が異常であることは、すべりが過大となっていることと等価であり、2次磁束が低下した状態である。この場合、q軸誘起電圧が低下するため、q軸電圧自体が小さくなる。この結果、前記(39)式により演算される1次インダクタンスは、正確な値を推定することができない。

【0318】よって、上記の作用により、速度推定値が異常な値に収束したことを判定することができる。

【0319】これにより、前記第1の実施の形態と同様の効果を得ることができる。

【0320】なお、本実施の形態では、1次インダクタンスを推定する構成を示しているが、ギャップ磁束や2次磁束を推定する構成とするようにしても、同様の作用効果を得ることができる。

【0321】上述したように、本実施の形態による電気車の駆動制御装置でも、平均トルクの低下や過電流、温度上昇、トルク急変等の問題を回避することが可能となる。

【0322】(その他の実施の形態)尚、本発明は、上記各実施の形態に限定されるものではなく、実施段階ではその要旨を逸脱しない範囲で、種々に変形して実施す

による電気車の駆動制御装置の作用について説明する。

【0305】なお、図1と同一部分の作用についてはその説明を省略し、ここでは異なる部分の作用についてのみ述べる。

【0306】図9において、誘導電動機2をベクトル制御で駆動した場合、定常状態において、q軸電圧Vqは、次式により表わされる。

【0307】  
【数38】 
$$(38)$$

(2)式により求める。

【0310】  
【数39】

$$(39)$$

る。

【0313】この速度推定値異常は、フラグFEDとして出力される。

20 【0314】すなわち、正常と判定した場合には、FED=1であり、異常と判定した場合には、FED=0とする。

【0315】  
【数40】

ることが可能である。また、各実施の形態は可能な限り適宜組合わせて実施してもよく、その場合には組合わせた作用効果を得ることができる。さらに、上記各実施の形態には種々の段階の発明が含まれており、開示される複数の構成要件における適宜な組合わせにより、種々の発明を抽出することができる。例えば、実施の形態に示される全構成要件から幾つかの構成要件が削除されても、発明が解決しようとする課題の欄で述べた課題(の少なくとも一つ)が解決でき、発明の効果の欄で述べられている効果(の少なくとも一つ)が得られる場合には、この構成要件が削除された構成を発明として抽出することができる。

【0323】

40 【発明の効果】以上説明したように本発明によれば、速度検出器を用いずにVVVFインバータにより電動機を駆動する電気車の駆動制御方法および制御装置において、速度推定値が異常な値に収束した場合に、保護動作によりVVVFインバータを停止させるようにしているので、速度推定値が異常な値に収束した場合に、過電流や温度上昇を抑制し、計画した車両の加減速度と実際の加減速度との差異を低減して車両推力の低下を抑制することで所定の車両加速性能を確保することが可能となる。

【図面の簡単な説明】

50 【図1】本発明による電気車の駆動制御装置の第1の実

施の形態を示すブロック図。

【図2】本発明による電気車の駆動制御装置の第2の実施の形態を示すブロック図。

【図3】本発明による電気車の駆動制御装置の第3の実施の形態を示すブロック図。

【図4】本発明による電気車の駆動制御装置の第4の実施の形態を示すブロック図。

【図5】本発明による電気車の駆動制御装置の第5の実施の形態を示すブロック図。

【図6】本発明による電気車の駆動制御装置の第6の実施の形態を示すブロック図。

【図7】本発明による電気車の駆動制御装置の第7の実施の形態を示すブロック図。

【図8】本発明による電気車の駆動制御装置の第8の実施の形態を示すブロック図。

【図9】本発明による電気車の駆動制御装置の第9の実施の形態を示すブロック図。

【図10】従来の速度検出器を備えた電気車の駆動制御装置の概略構成例を示すブロック図。

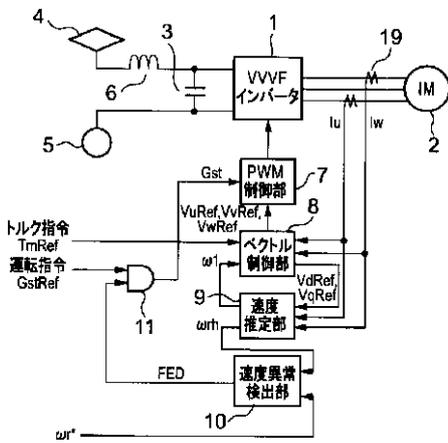
【図11】各座標系の関係を示す図。

【符号の説明】

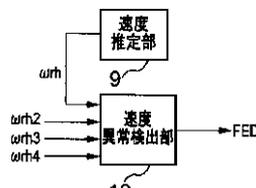
- 1...VVVFインバータ
- 2...誘導電動機

- 3...フィルタコンデンサ
- 4...パンタグラフ
- 5...車輪
- 6...フィルタリアクトル
- 7...PWM制御部
- 8...ベクトル制御部
- 9...速度推定部
- 10...速度異常検出部
- 11...アンド回路
- 12...インピーダンス演算部
- 13...インピーダンス基準演算部
- 14...有効電力演算部
- 15...有効電力基準演算部
- 16...トルク演算部
- 17...FL電流基準演算部
- 18...電流検出器
- 19...電流検出器
- 20...誘起電圧演算部
- 21...誘起電圧基準演算部
- 22...速度検出器
- 23...磁束演算部
- 24...1次インダクタンス演算部。

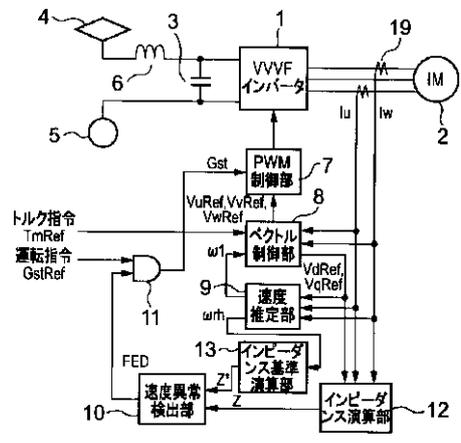
【図1】



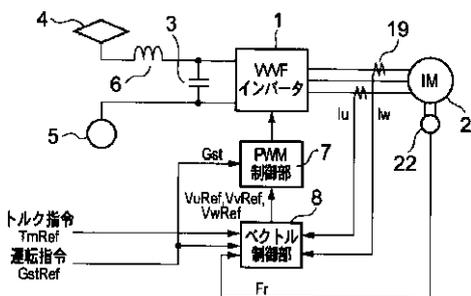
【図2】



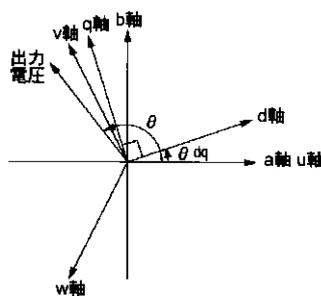
【図3】



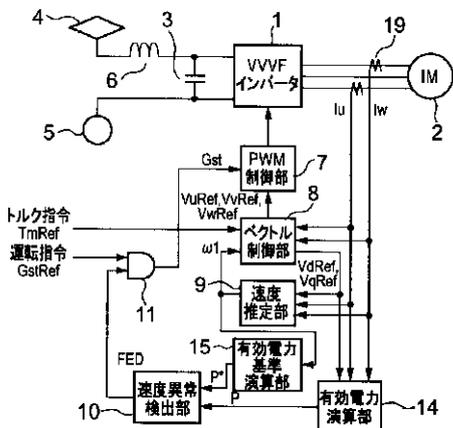
【図10】



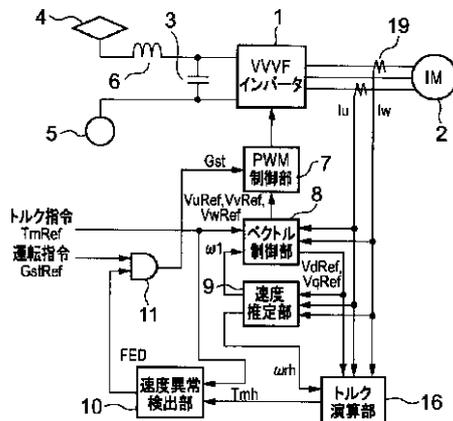
【図11】



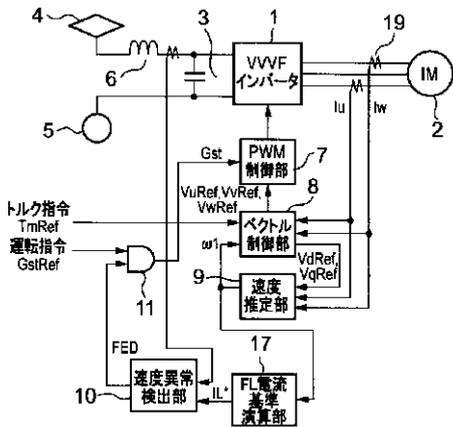
【図 4】



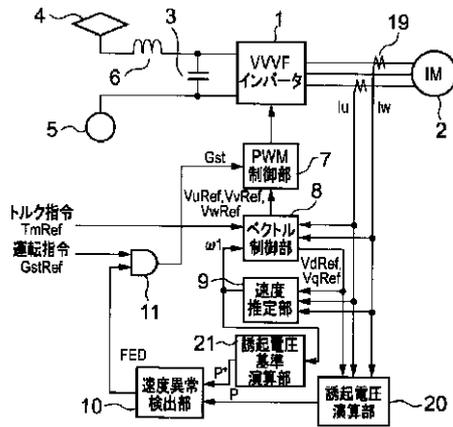
【図 5】



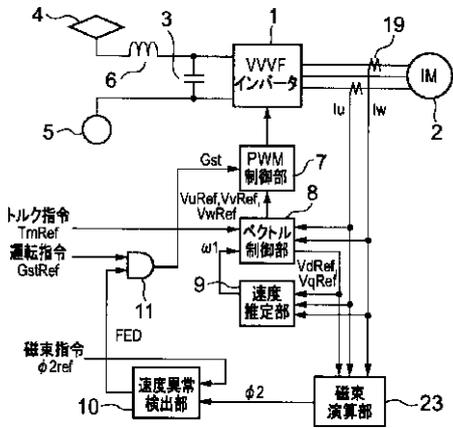
【図 6】



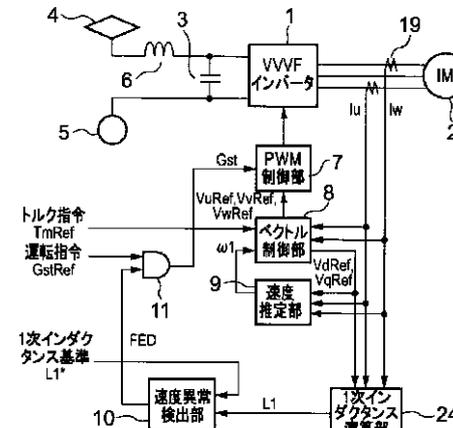
【図 7】



【図 8】



【図 9】



## フロントページの続き

(72)発明者	松岡 孝一	F ターム(参考)	5H115 PA08 PC01 PG01 PI02 PI29
	東京都国分寺市光町二丁目 8 番地38 財団		PU09 PV09 PV23 QN06 QN09
	法人鉄道総合技術研究所内		RB22 RB25 RB26 TB10 T002
(72)発明者	結城 和明		T012 T013 T016 TU02 TU12
	東京都府中市東芝町 1 番地 株式会社東芝	5H576	AA01 CC01 DD02 DD04 EE01
	府中事業所内		EE11 FF08 GG04 HB02 JJ03
(72)発明者	恩田 昇治		LL13 LL22 LL54 MM02 MM04
	東京都府中市東芝町 1 番地 株式会社東芝		MM05 MM06
	府中事業所内		