

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第4818244号
(P4818244)

(45) 発行日 平成23年11月16日(2011.11.16)

(24) 登録日 平成23年9月9日(2011.9.9)

(51) Int.Cl. F I
B60L 9/24 (2006.01) B60L 9/24 C

請求項の数 14 (全 21 頁)

(21) 出願番号	特願2007-293887 (P2007-293887)	(73) 特許権者	000173784
(22) 出願日	平成19年11月13日(2007.11.13)		公益財団法人鉄道総合技術研究所
(65) 公開番号	特開2009-124810 (P2009-124810A)		東京都国分寺市光町二丁目8番地38
(43) 公開日	平成21年6月4日(2009.6.4)	(74) 代理人	100124682
審査請求日	平成22年5月19日(2010.5.19)		弁理士 黒田 泰
		(74) 代理人	100104710
			弁理士 竹腰 昇
		(74) 代理人	100090479
			弁理士 井上 一
		(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
		(72) 発明者	大江 晋太郎
			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
			最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 電動機制御装置及び再粘着制御方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

軌道を走行する電気車の動輪を駆動する電動機を制御し、前記動輪の空転滑走の発生を検出して当該動輪の再粘着制御を行う電動機制御装置であって、

走行地点から軌道の曲線半径を取得可能な軌道情報から現在の走行地点に対応する曲線半径を取得する、或いは、現在の走行地点に対応する曲線半径を所定の曲線半径判定部から入力することで取得する曲線半径取得手段と、

1) 前記動輪の周速度と前記電気車の進行速度とを判定対象値とする第1の速度差基準条件、及び/又は、2) 前記動輪の周加速度を判定対象値とする第1の周加速度基準条件を少なくとも含む前記再粘着制御の発動条件を満足したことを検出する発動条件合致検出手段と、

前記発動条件合致検出手段の検出に応じて前記再粘着制御を発動させる再粘着制御発動手段と、

を備えるとともに、

前記曲線半径取得手段により取得された曲線半径に基づいて、前記発動条件を可変する発動条件可変手段を更に備えた電動機制御装置。

【請求項2】

前記発動条件可変手段は、前記曲線半径取得手段により取得された曲線半径が小さいほど、より空転滑走の進展を許容する条件内容に前記発動条件を変更する請求項1に記載の電動機制御装置。

【請求項 3】

前記発動条件には、前記第 1 の速度差基準条件が少なくとも含まれ、
 前記第 1 の速度差基準条件には、前記動輪の周速度と前記電気車の進行速度との速度差
 又はすべり率の閾値が条件として定められ、
 前記発動条件可変手段は、前記閾値を大小させることで前記発動条件を可変する請求項
 1 又は 2 に記載の電動機制御装置。

【請求項 4】

前記発動条件可変手段は、前記曲線半径取得手段により取得された曲線半径が小さいほ
 ど前記閾値を大きくする請求項 3 に記載の電動機制御装置。

【請求項 5】

前記発動条件には、前記第 1 の周加速度基準条件が少なくとも含まれ、
 前記第 1 の周加速度基準条件には、前記動輪の周加速度の閾値が条件として定められ、
 前記発動条件可変手段は、前記周加速度の閾値を大小させることで前記発動条件を可変
 する請求項 1 ~ 4 の何れか一項に記載の電動機制御装置。

10

【請求項 6】

前記発動条件可変手段は、前記曲線半径取得手段により取得された曲線半径が小さいほ
 ど、前記周加速度の閾値を大きくする請求項 5 に記載の電動機制御装置。

【請求項 7】

前記動輪の接線力係数相当値を検出する接線力係数相当値検出手段を更に備え、
 前記発動条件可変手段は、更に、前記検出された接線力係数相当値に基づいて前記発動
 条件を可変する請求項 1 ~ 6 の何れか一項に記載の電動機制御装置。

20

【請求項 8】

前記発動条件可変手段は、前記接線力係数相当値検出手段により検出された接線力係数
 相当値が、空転滑走が進展した場合に上昇する可能性のある値の範囲として予め定められ
 た進展許容範囲内に有る場合に、当該進展許容範囲内に無い場合に比べて、空転滑走の進
 展を許容する条件内容に前記発動条件を変更するとともに、前記曲線半径取得手段により
 取得された曲線半径が小さいほど、より空転滑走の進展を許容する条件内容に前記発動条
 件を変更する請求項 7 に記載の電動機制御装置。

【請求項 9】

前記発動条件可変手段は、更に、前記電気車の進行速度に基づいて前記発動条件を可変
 する請求項 1 ~ 8 の何れか一項に記載の電動機制御装置。

30

【請求項 10】

前記動輪の空転滑走の発生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検出から所定時間が経過するまでに前記再粘着制御発動手
 段による前記再粘着制御の発動がなされていないことを検出する非発動検出手段と、
 前記非発動検出手段の検出に応じて前記再粘着制御を強制的に発動させる強制発動手
 段と、
 を更に備えた請求項 1 ~ 9 に記載の電動機制御装置。

【請求項 11】

イ) 前記動輪の周速度と前記電気車の進行速度とを判定対象値とする第 2 の速度差基準
 条件、及び / 又は、ロ) 前記動輪の周加速度を判定対象値とする第 2 の周加速度基準条件
 を少なくとも含む、前記再粘着制御発動手段により発動された再粘着制御の復帰動作を開
 始するための復帰条件を満足したことを検出する復帰条件合致検出手段と、
 前記復帰条件合致検出手段の検出に応じて、前記再粘着制御発動手段により発動された
 再粘着制御の復帰動作を開始させる再粘着制御復帰手段と、
 前記曲線半径取得手段により取得された曲線半径に基づいて、前記復帰条件を可変する
 復帰条件可変手段と、
 を更に備えた請求項 1 ~ 10 の何れか一項に記載の電動機制御装置。

40

【請求項 12】

前記再粘着制御の制御パラメータであるトルク引き下げ速度を前記曲線半径取得手段に

50

より取得された曲線半径に基づいて可変するトルク引き下げ速度可変手段を更に備えた請求項 1 ~ 11 の何れか一項に記載の電動機制御装置。

【請求項 13】

前記再粘着制御の制御パラメータである復帰時間を前記曲線半径取得手段により取得された曲線半径に基づいて可変する復帰時間可変手段を更に備えた請求項 1 ~ 12 の何れか一項に記載の電動機制御装置。

【請求項 14】

軌道を走行する電気車の動輪を駆動する電動機を制御する際に、前記動輪の空転滑走の発生を検出して当該動輪の再粘着制御を行う再粘着制御方法であって、

走行地点から軌道の曲線半径を取得可能な軌道情報から現在の走行地点に対応する曲線半径を取得する曲線判定取得ステップと、

1) 前記動輪の周速度と前記電気車の進行速度とを判定対象値とする第 1 の速度差基準条件、及び/又は、2) 前記動輪の周加速度を判定対象値とする第 1 の周加速度基準条件を少なくとも含む前記再粘着制御の発動条件を満足したことを検出する発動条件合致検出ステップと、

前記発動条件合致検出ステップによる検出に応じて前記再粘着制御を発動する再粘着制御発動ステップと、

を含むとともに、

前記曲線半径取得ステップにより取得された曲線半径に基づいて、前記発動条件を可変する発動条件可変ステップを更に含む再粘着制御方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、軌道を走行する電気車の動輪を駆動する電動機を制御し、前記動輪の空転滑走の発生を検出して当該動輪の再粘着制御を行う電動機制御装置及びその再粘着制御方法に関する。

【背景技術】

【0002】

軌道を走行する電気車として電気機関車や電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。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）。

【0003】

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。

【特許文献 1】特開 2002 - 44804 号公報

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

しかしながら、従来の再粘着制御に関する開発・研究は、空転滑走の発生を速やかに検出する方法や、空転滑走の発生を検出した後の速やかなる再粘着制御の方法に関するものが殆どであった。すなわち、空転滑走が発生した場合には、速やかに再粘着制御を発動することが暗黙の前提となっていた。

【0005】

本発明は、上述した課題に鑑みて為されたものであり、空転滑走の発生の検出と、再粘着制御の発動とを分離した新たな制御方法を提案するものである。

【課題を解決するための手段】

【0006】

10

20

30

40

50

上記課題を解決するための第1の発明は、

軌道を走行する電気車の動輪を駆動する電動機（例えば、図3の電動機10）を制御し、前記動輪の空転滑走の発生を検出して当該動輪の再粘着制御を行う電動機制御装置（例えば、図3の電動機制御装置40）であって、

走行地点から軌道の曲線半径を取得可能な軌道情報から現在の走行地点に対応する曲線半径を取得する、或いは、現在の走行地点に対応する曲線半径を所定の曲線半径判定部（例えば、図3の曲線半径判定部50）から入力することで取得する曲線半径取得手段と、

1)前記動輪の周速度と前記電気車の進行速度とを判定対象値とする第1の速度差基準条件（例えば、図7の速度差 V_s2 ）、及び/又は、2)前記動輪の周加速度を判定対象値とする第1の周加速度基準条件（例えば、図7の加速度 $s2$ ）を少なくとも含む前記再粘着制御の発動条件を満足したことを検出する発動条件合致検出手段（例えば、図5の比較器4243, 4244）と、

前記発動条件合致検出手段の検出に応じて前記再粘着制御を発動させる再粘着制御発動手段（例えば、図5の発動指令部424）と、

を備えるとともに、

前記曲線半径取得手段により取得された曲線半径に基づいて、前記発動条件を可変する発動条件可変手段（例えば、図5のパラメータ切替設定器427）を更に備えた電動機制御装置である。

【0007】

他の発明として、

軌道を走行する電気車の動輪を駆動する電動機を制御する際に、前記動輪の空転滑走の発生を検出して当該動輪の再粘着制御を行う再粘着制御方法であって、

走行地点から軌道の曲線半径を取得可能な軌道情報から現在の走行地点に対応する曲線半径を取得する曲線判定取得ステップと、

1)前記動輪の周速度と前記電気車の進行速度とを判定対象値とする第1の速度差基準条件、及び/又は、2)前記動輪の周加速度を判定対象値とする第1の周加速度基準条件を少なくとも含む前記再粘着制御の発動条件を満足したことを検出する発動条件合致検出ステップと、

前記発動条件合致検出ステップによる検出に応じて前記再粘着制御を発動する再粘着制御発動ステップと、

を含むとともに、

前記曲線半径取得ステップにより取得された曲線半径に基づいて、前記発動条件を可変する発動条件可変ステップを更に含む再粘着制御方法を構成してもよい。

【0008】

この第1の発明等によれば、発動条件を満足したことが検出されると再粘着制御が発動されるが、その発動条件は、現在走行中の軌道の曲線半径に基づいて可変される。

再粘着制御は空転滑走時に発動される。空転滑走は、直線区間や曲線区間等に関わらず発生する。ところが、後述する通り、曲線区間における空転滑走を継続させ、進展させた場合には、接線力係数相当値が上昇し得る。しかして、第1の発明等によれば、現在走行中の軌道の曲線半径に基づいて再粘着制御の発動条件が可変されるため、空転滑走の継続が許容され、接線力係数相当値の上昇が促され、再粘着時の粘着力を大きくさせることが可能となる。

【0009】

第2の発明は、第1の発明の電動機制御装置であって、

前記発動条件可変手段は、前記曲線半径取得手段により取得された曲線半径が小さいほど、より空転滑走の進展を許容する条件内容に前記発動条件を変更する電動機制御装置である。

【0010】

この第2の発明によれば、取得された現在走行中の軌道の曲線半径が小さいほど、より空転滑走の進展を許容する内容の発動条件に変更されるため、曲線半径に応じた適確な接線

10

20

30

40

50

力係数相当値の上昇促進による再粘着時の粘着力の向上が期待できる。

【0011】

なお、発動条件の可変の方法には種々の方法が考えられる。

例えば、第3の発明として、第1又は第2の発明の電動機制御装置であって、

前記発動条件には、前記第1の速度差基準条件が少なくとも含まれ、

前記第1の速度差基準条件には、前記動輪の周速度と前記電気車の進行速度との速度差又はすべり率の閾値が条件として定められ、

前記発動条件可変手段は、前記閾値を大小させることで前記発動条件を可変する電動機制御装置を構成することとしてもよい。

【0012】

この場合には、更に第4の発明として、

前記発動条件可変手段は、前記曲線半径取得手段により取得された曲線半径が小さいほど前記閾値を大きくする電動機制御装置を構成することとしてもよい。

【0013】

また、第5の発明として、第1～第4の何れかの発明の電動機制御装置であって、

前記発動条件には、前記第1の周加速度基準条件が少なくとも含まれ、

前記第1の周加速度基準条件には、前記動輪の周加速度の閾値が条件として定められ、

前記発動条件可変手段は、前記周加速度の閾値を大小させることで前記発動条件を可変する電動機制御装置を構成することとしてもよい。

【0014】

この場合には、更に第6の発明として、

前記発動条件可変手段は、前記曲線半径取得手段により取得された曲線半径が小さいほど、前記周加速度の閾値を大きくする電動機制御装置を構成することとしてもよい。

【0015】

第7の発明は、第1～第6の何れかの発明の電動機制御装置であって、

前記動輪の接線力係数相当値を検出する接線力係数相当値検出手段を更に備え、

前記発動条件可変手段は、更に、前記検出された接線力係数相当値に基づいて前記発動条件を可変する電動機制御装置である。

【0016】

ここで、接線力係数相当値とは、接線力係数そのものであることは勿論のこと、接線力や粘着力、電動機の電流値（例えば、トルク電流）等、接線力係数の変動と同様の変動を示す値（接線力係数とほぼニアリティがある値）であって、接線力係数と等価又は略等価に扱える値のことである。

【0017】

空転滑走は、接線力係数相当値の高低に関わらず、比較的低い場合であっても発生する。空転滑走している動輪の接線力係数相当値が比較的低い場合に再粘着制御を行ってしまうと、再粘着制御によるトルク引き下げによって、再粘着時の接線力係数相当値は、その比較的低い接線力係数相当値より更に低い接線力係数相当値になってしまい、再粘着時の粘着力が小さくなってしまう。

【0018】

ところが、後述する通り、比較的低い接線力係数相当値での空転滑走を継続した場合には、接線力係数相当値が上昇し得る。しかして、第7の発明によれば、更に接線力係数相当値に基づいて再粘着制御の発動条件を可変するため、接線力係数相当値が低い場合に再粘着制御の発動のタイミングをより遅らせることが可能となる。これにより、空転滑走の継続を許容し、接線力係数相当値の上昇を促すことで、再粘着時の粘着力をより大きくさせることができる。

【0019】

第8の発明は、第7の発明の電動機制御装置であって、

前記発動条件可変手段は、前記接線力係数相当値検出手段により検出された接線力係数相当値が、空転滑走が進展した場合に上昇する可能性のある値の範囲として予め定められ

10

20

30

40

50

た進展許容範囲内に有る場合に、当該進展許容範囲内に無い場合に比べて、空転滑走の進展を許容する条件内容に前記発動条件を変更するとともに、前記曲線半径取得手段により取得された曲線半径が小さいほど、より空転滑走の進展を許容する条件内容に前記発動条件を変更する電動機制御装置である。

【 0 0 2 0 】

空転滑走が発生した際の接線力係数相当値が、空転滑走を継続した場合に上昇する可能性のある値の範囲として予め定められた継続許容範囲内で有る場合には、空転滑走の継続による接線力係数相当値の上昇の可能性が高い。従って、この第 8 の発明によれば、このような空転滑走の発生が検出された際の接線力係数相当値が継続許容範囲内である場合に、空転滑走の継続を許容することが可能となる。

10

【 0 0 2 1 】

第 9 の発明は、第 1 ~ 第 8 の何れかの発明の電動機制御装置であって、前記発動条件可変手段は、更に、前記電気車の進行速度に基づいて前記発動条件を可変する電動機制御装置である。

【 0 0 2 2 】

この第 9 の発明によれば、更に電気車の進行速度に基づいて発動条件が可変される。このため、電気車の進行速度と走行中の軌道の曲線半径との関係に応じた適切な発動条件の可変を実現することができる。

【 0 0 2 3 】

第 10 の発明は、第 1 ~ 第 9 の何れかの発明の電動機制御装置であって、前記動輪の空転滑走の発生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検出から所定時間が経過するまでに前記再粘着制御発動手段による前記再粘着制御の発動がなされていないことを検出する非発動検出手段と、前記非発動検出手段の検出に応じて前記再粘着制御を強制的に発動させる強制発動手段と、を更に備えた電動機制御装置である。

20

【 0 0 2 4 】

空転滑走の検出から所定時間が経過するまでに再粘着制御の発動がなされない場合には、再粘着制御が強制的に発動される。継続的な空転滑走によるレールとの摩擦・摩耗によって車輪の寿命が短命化するおそれもある。しかし、この第 10 の発明によれば、空転滑走の発生の検出から所定時間が経過するまでに再粘着制御が発動されてない場合には、再粘着制御が強制的に発動されるため、空転滑走の過度の継続を防止することができる。

30

【 0 0 2 5 】

また、上述した各発明の電動機制御装置においては、曲線半径に基づいて再粘着制御の発動を制御することとしたが、発動以外の制御を行うこととしてもよい。

【 0 0 2 6 】

例えば、第 11 の発明として、第 1 ~ 第 10 の何れかの発明の電動機制御装置であって、

イ) 前記動輪の周速度と前記電気車の進行速度とを判定対象値とする第 2 の速度差基準条件 (例えば、図 7 の速度差 V_r)、及び / 又は、ロ) 前記動輪の周加速度を判定対象値とする第 2 の周加速度基準条件 (例えば、図 7 の加速度 r) を少なくとも含む、前記再粘着制御発動手段により発動された再粘着制御の復帰動作を開始するための復帰条件を満足したことを検出する復帰条件合致検出手段 (例えば、図 5 の比較器 4 2 5 1, 4 2 5 2) と、

40

前記復帰条件合致検出手段の検出に応じて、前記再粘着制御発動手段により発動された再粘着制御の復帰動作を開始させる再粘着制御復帰手段 (例えば、図 5 の復帰指令部 4 2 5) と、

前記曲線半径取得手段により取得された曲線半径に基づいて、前記復帰条件を可変する復帰条件可変手段 (例えば、図 5 のパラメータ切替設定器 4 2 7) と、

を更に備えた電動機制御装置を構成することとしてもよい。

50

【 0 0 2 7 】

この第 1 1 の発明によれば、復帰条件を満足したことが検出されると、発動された再粘着制御の復帰動作が開始される。つまり、現在走行中の軌道の曲線半径に基づいて、再粘着制御の発動の制御のみならず、再粘着制御の復帰動作の開始をも制御することができる。

【 0 0 2 8 】

また、第 1 2 の発明として、第 1 ~ 第 1 1 の何れかの発明の電動機制御装置であって、前記再粘着制御の制御パラメータであるトルク引き下げ速度を前記曲線半径取得手段により取得された曲線半径に基づいて可変するトルク引き下げ速度可変手段を更に備えた電動機制御装置を構成することとしてもよい。

10

【 0 0 2 9 】

この第 1 2 の発明によれば、現在走行中の軌道の曲線半径に基づいて、再粘着制御の制御パラメータであるトルク引き下げ速度を可変することができる。

【 0 0 3 0 】

また、第 1 3 の発明として、第 1 ~ 第 1 2 の何れかの発明の電動機制御装置であって、前記再粘着制御の制御パラメータである復帰時間を前記曲線半径取得手段により取得された曲線半径に基づいて可変する復帰時間可変手段を更に備えた電動機制御装置を構成することとしてもよい。

【 0 0 3 1 】

この第 1 3 の発明によれば、現在走行中の軌道の曲線半径に基づいて、再粘着制御パラメータである復帰時間を可変することができる、

20

【発明の効果】

【 0 0 3 2 】

本発明によれば、現在走行中の軌道の曲線半径に基づいて再粘着制御の発動条件が可変されるため、現在走行中の軌道の曲線半径に応じて空転滑走の継続が許容されて、接線力係数相当値の上昇が促されることとなり、再粘着時の粘着力を大きくさせることができるといった、空転滑走の発生の検出と、再粘着制御の発動とを分離した新たな再粘着制御の制御方法が実現される。

【発明を実施するための最良の形態】

【 0 0 3 3 】

以下、図面を参照して、本発明の好適な実施形態を説明する。尚、以下では、本発明を電気車の一種である電車に適用した場合を説明するが、本発明の適用可能な実施形態がこれに限定されるものではない。

30

【 0 0 3 4 】

〔原理〕

電車では、電動機によって駆動される動輪の空転滑走の発生を検出すると、電動機のトルク（電流）を引き下げて当該動輪を軌道に再粘着させた後、トルクを復帰させる再粘着制御が行われる。上述のように、従来の再粘着制御では、空転滑走の発生を検出すると、直ぐに再粘着制御が発動（開始）される。

【 0 0 3 5 】

これに対して、本実施形態では、空転滑走の発生を検出した場合に、必ずしも直ぐに再粘着制御を発動するのではなく、軌道条件、より詳細には曲線半径 C_r （曲線半径を無限大とした場合が直線であり、本実施形態では直線も曲線の特殊な一例とし、曲線半径 C_r の対象としている。）に応じて、再粘着制御を発動するタイミングを可変する。すなわち、曲線半径 C_r に応じて、再粘着制御を発動するタイミングを遅らせてある程度の時間の空転滑走の進展を許容する制御パターンで再粘着制御を実行する。具体的には、曲線半径 C_r が比較的大きい場合には、早期に再粘着制御を発動させるべく、空転滑走の進展を許容しない発動条件とし、曲線半径 C_r が比較的小さい場合には、空転滑走の進展を許容する発動条件とする。

40

【 0 0 3 6 】

50

図1は、曲線半径4000[m]の軌道上、新幹線電車を約310[km/h]で高速試験走行させた際のすべり速度-接線力係数特性の試験結果を示す図である。試験では、新幹線電車の台車の各軸のうち、試験対象の軸について、空転滑走の発生を検出した場合に直ぐに再粘着制御を発動させずに空転滑走を継続させた。図1は、空転滑走の発生中(継続中)におけるすべり速度に対する接線力係数 μ の特性を示す図である。接線力係数 μ は、車輪周速度及び電動機のトルク電流成分の測定値から、式(1)、(2)を用いて算出した。また、図1には、当該軸について試験走行中に発生した多数の空転滑走のうちの2回分の空転滑走それぞれに対する特性のみを示している。

【0037】

接線力係数 μ は、式(1)により算出される。

10

【数1】

$$\mu = \frac{F - m\alpha}{W_0} \quad \dots(1)$$

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/s²]、 W_0 は静止輪重[N]である。

また、車輪周引張力 F は、式(2)で与えられる。

【数2】

$$F = \frac{G}{R} \tau_e \quad \dots(2)$$

20

ここで、 G は歯車比、 R は車輪半径[m]、 τ_e は電動機の発生トルク[Nm]である。

【0038】

式(1)、(2)において、歯車比 G 、車輪半径 R 、回転慣性質量 m 、及び静止輪重 W_0 は、車両の仕様によって決まる既知の値である。また、車輪周加速度 α は車輪周速度を微分することで求め、発生トルク τ_e は電動機のトルク電流成分 I_q から求まる。従って、試験走行時の車輪加速度及びトルク電流成分 I_q の測定値と、試験走行車両の諸元から接線力係数 μ が求まる。

【0039】

30

図1において、発生した空転滑走を継続させると、時間経過に伴ってすべり速度が徐々に増加して空転滑走が進展する。すべり速度の増加とともに、一時的に接線力係数 μ がそのまま推移、或いは低下するが、その後すべり速度の増加とともに接線力係数 μ が上昇する傾向を示している。簡明化のため図1では3回分の空転滑走の特性のみを示したが、実際には相当数の試験結果が得られ、この傾向が示された。つまり、曲線区間走行時において空転滑走が発生した場合には、空転滑走の進展を許容することで発生時よりも大きな粘着力が得られるといえる。

【0040】

このため、本実施形態では、走行中の軌道条件、より詳細には曲線半径 C_r に応じて再粘着制御の開始タイミングを可変する。すなわち、曲線半径 C_r の大きさに応じて再粘着制御の発動条件を可変し、曲線半径 C_r が小さい程、再粘着制御の発動タイミングをより遅らせることができるような発動条件に変更する。

40

【0041】

図2は、本実施形態の再粘着制御を説明するための図である。図2では、横軸を時間 t として、上側に制御対象の軸の周速度 V を基準速度(目標速度) V_m とともに示し、下側に当該対象軸を駆動する電動機の発生トルク τ_e を示している。同図によれば、空転滑走が発生していない場合、周速度 V は基準速度 V_m にほぼ一致し、電動機トルク τ_e はほぼ一定に保たれている。空転滑走が発生すると、周速度 V が上昇して、基準速度 V_m との差分である速度差 V_d が増加する。そして、時刻 t_1 において、速度差 V_d が予め定められた閾値 V_{s1} に達すると、空転滑走の発生が検出される。続いて、速度差 V_d が更に増加

50

し、時刻 t_2 において、予め定められた閾値 V_{s2} に達すると、再粘着制御が発動される。但し、 $V_{s1} > V_{s2}$ 、である。

【0042】

再粘着制御が発動されると、電動機トルク T_e の引き下げが開始される。このとき、電動機トルク T_e の引き下げは、予め定められた引き下げ速度 W_t で行われる。また、電動機トルク T_e の引き下げは、周速度 V の増加がゼロになった時点、すなわち周速度 V を微分して得られる加速度 a がゼロとなる時点まで継続される。電動機トルク T_e の引き下げにより周速度 V が低下し、速度差 V_d が予め定められた閾値 V_r 以下となった時刻 t_3 において再粘着制御の復帰動作が開始される。すなわち、電動機トルク T_e の引き下げ量を減少させてトルクを復帰させる制御が開始される。そして、電動機トルク T_e が再粘着制御の開始時点（時刻 t_1 ）における値まで復帰した時刻 t_4 において、再粘着制御の終了となる。このとき、電動機トルク T_e は、予め定められた復帰時間 T_t をかけて復帰するように制御される。

10

【0043】

本実施形態では、再粘着制御の発動タイミングを決定する閾値 V_{s2} 、及び再粘着制御の復帰タイミングを決定する閾値 V_r を、走行中の軌道の曲線半径 C_r に応じて可変する。具体的には、曲線半径 C_r が無限大（すなわち直線）に近い場合には、 $V_{s1} = V_{s2}$ として空転滑走の発生を検出すると、直ぐに再粘着制御を発動する。そして、曲線半径 C_r が小さくなるほど、 V_{s2} を V_{s1} よりも大きな値とし、再粘着制御の発動タイミングを遅らせる。

20

【0044】

更に、本実施形態では、走行中の軌道の曲線半径 C_r に応じて、再粘着制御の制御パラメータ（再粘着制御パラメータ）である発生トルクの引き下げ速度 W_t 及び復帰時間 T_t 等を可変する。

【0045】

[構成]

図3は、電車の主回路の回路ブロックのうち、本実施形態に係る構成を概略的に示した図であり、一の駆動軸について示している。すなわち、電動機の制御は個別制御（いわゆる1C1M）として以下説明するが、本発明の適用可能な実施形態がこれに限られるものではない。例えば、動輪2軸の台車を2台車分一括して制御する1C4Mに適用することも可能である。図3によれば、本実施形態に関わる電車の主回路としては、電動機10と、速度センサ12と、インバータ20と、電流センサ30と、電動機制御装置40と、曲線半径判定部50とがあり、曲線半径判定部50により判定された曲線判定 C_r が電動機制御装置40に入力されるよう構成されている。

30

【0046】

電動機10は、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。速度センサ12は、電動機10の回転速度（周速度） V を検出する。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相及びV相の電流 I_u 、 I_v を検出する。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、ベクトル演算制御装置43から入力されるU相、V相及びW相それぞれの電圧指令値 V_u^* 、 V_v^* 、 V_w^* に基づいて出力電圧を調整し、電動機10に給電する。

40

【0047】

電動機制御装置40は、電動機10をベクトル制御する。この電動機制御装置40は、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る。また、電動機制御装置40は、再粘着制御装置42と、ベクトル演算制御装置43とを備えている。

【0048】

再粘着制御装置42は、曲線判定部50により判定された現在走行中の軌道の曲線半径

50

C_r 、速度センサ 12 により検出された周速度 V 、及び入力された基準速度 V_m に基づき、電動機 10 の発生トルクを制御して再粘着制御を実行させるためのトルク引き下げ指令信号を生成する。ここで、基準速度 V_m は電車の進行速度であり、例えば運転台から得られる速度信号や、T 車の従軸の周速度から得ることとしてもよいし、車両内の各軸の周速度のうち、力行時であれば最小値、ブレーキ時であれば最大値等として決定してもよい。

【0049】

ベクトル演算制御装置 43 は、電流センサ 30 により検出された I_v 、 I_u を $d-q$ 座標変換することで得られる d 軸成分である励磁電流成分 I_d 及び 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 や、速度センサ 12 により検出された周速度 V 、不図示の電流指令生成装置から入力される電流指令値 I_d^* 、 I_q^* 、再粘着制御装置 42 から入力されるトルク引き下げ指令信号に基づいて、インバータ 20 に対する電圧指令値 V_u^* 、 V_v^* 、 V_w^* を生成する。具体的には、トルク引き下げ指令信号が入力されない間は、電流指令値 I_d^* 、 I_q^* 等に基づく通常の演算処理を行って電圧指令値 V_u^* 、 V_v^* 、 V_w^* を算出し、トルク引き下げ指令信号が入力されると、該信号に応じた分だけ電動機 10 の発生トルクを引き下げるように電圧指令値 V_u^* 、 V_v^* 、 V_w^* を算出する。ここで、電流指令値 I_d^* 、 I_q^* 等に基づき電圧指令値 V_u^* 、 V_v^* 、 V_w^* を算出する演算処理は、公知の演算処理であるため、詳細な説明は省略する。また、速度センサ 12 を用いて車軸の回転速度を直接検出するのではなく、いわゆる速度センサレスベクトル制御で用いられる推定方法（例えば、誘導電動機の電機子電圧や電機子電流を基に回転速度を推定する方法）によって周速度 V を得ることとして、速度センサ 12 を不要としても良いことは勿論である。

【0050】

曲線半径判定部 50 は、例えば運転台等に設置され、現在の走行位置から現在走行中の軌道条件を判定する装置である。具体的には、曲線半径判定部 50 は、図 4 に示すキ口程と当該キ口程における軌道の曲線半径とが対応づけられた軌道情報 52 を有する。キ口程等の地点情報の取得方法は公知であるが、例えば A T S (Automatic Train Stop) システムの通信信号や所定の地上子から現在走行中のキ口程等の地点情報を得ることが可能である。曲線半径判定部 50 は、軌道情報 52 を参照することで現在走行中のキ口程から現在走行中の軌道の曲線半径 C_r を取得して、再粘着制御装置 42 に出力する。なお、曲線半径判定部 50 を電動機制御装置 40 に組み込んで電動機制御装置 40 を構成するとしてもよいのは勿論である。その場合には、現在走行中のキ口程等の地点情報を外部から入力して、電動機制御装置 40 内で曲線半径 C_r を算出することとなる。

【0051】

図 5 は、再粘着制御装置 42 の回路構成を示すブロック図である。同図によれば、再粘着制御装置 42 は、加算器 421 と、微分器 422 と、空転検出部 423 と、発動指令部 424 と、復帰指令部 425 と、パラメータ切替設定器 427 と、再粘着制御器 428 と、リセット信号生成器 429 とを有して構成される。

【0052】

加算器 421 は、周速度 V から、入力された基準速度 V_m を減算演算して速度差 V_d を算出する。微分器 422 は、入力された周速度 V を微分演算して加速度 a を算出する。

【0053】

空転検出部 423 は、空転検出閾値テーブル T B L 1 を有しており、加算器 421 から入力された速度差 V_d が、空転検出閾値テーブル T B L 1 に設定されている閾値 $V_s 1$ を超えたか否かを比較判定し、超えたと判定すると空転滑走が発生したと判定して空転検出信号 $S 1$ を出力する。また、微分器 422 から入力された加速度 a が、空転検出閾値テーブル T B L 1 に設定されている閾値 $a_s 1$ を超えたか否かを比較判定し、超えたと判定した場合にも空転滑走が発生したと判定して空転検出信号 $S 1$ を出力する。すなわち、空転検出部 423 は、速度差 V_d が閾値 $V_s 1$ を超えた場合、或いは加速度 a が閾値 $a_s 1$ を超えた場合に、空転検出信号 $S 1$ を出力する。

【0054】

10

20

30

40

50

図6に、空転検出閾値テーブルTBL1の一例を示す。図6によれば、空転検出閾値テーブルTBL1には、速度差 V_s の空転検出閾値が「1」に、加速度 s_1 の空転検出閾値が「5」に設定されている。

【0055】

発動指令部424は、タイマ4241と、比較器4242, 4243, 4244と、ORゲート4245とを有し、制御対象の動輪に対する再粘着制御の発動を指示(指令)する。タイマ4241は、空転検出部423から空転検出信号S1が入力されたタイミングで計時をリセットして開始する。即ち、タイマ4241による計時時間Tは、空転が検出された時点からの経過時間である。比較器4242は、タイマ4241の計時時間Tが、設定されている閾値 T_s を超えたか否かを比較判定し、超えたと判定すると判定信号を出力する。比較器4243は、加算器421から入力された速度差 V_d が、設定されている閾値 V_s2 を超えたか否かを比較判定し、超えたと判定すると判定信号を出力する。比較器4244は、微分器422から入力された加速度 a が、設定されている閾値 s_2 を超えたか否かを比較判定し、超えたと判定すると判定信号を出力する。

10

【0056】

ORゲート4245は、比較器4242, 4243, 4244それぞれから入力される判定信号の論理和を演算する。このORゲート4245からの出力信号が、発動指令信号S2となる。すなわち、比較器4242, 4243, 4244の少なくとも1つから判定信号が入力された場合、発動指令信号S2が出力される。つまり、発動指令部424は、速度差 V_d が閾値 V_s2 を超えた場合、加速度 a が閾値 s_2 を超えた場合、或いは空転滑走の検出からの経過時間が閾値 T_s に達した場合に、再粘着制御の発動(開始)を指示する発動指令信号S2を出力する。ここで、「速度差 V_d が閾値 V_s2 を超える、或いは加速度 a が閾値 s_2 を超える」ことが、再粘着制御の発動条件である。また、「空転滑走の検出からの経過時間が閾値 T_s に達する」ことが、再粘着制御を強制的に発動するための条件である。

20

【0057】

なお、発動指令信号S2は、発動指令保持部4246によって一時的に保持・出力される。すなわち、発動指令保持部4246には、ORゲート4245によって、比較器4242, 4243, 4244のうちの少なくとも一つから判定信号が出力されるとパルス状の発動指令信号S2が入力されるが、このパルス状の発動指令信号S2が一旦入力されると、パルスの信号レベルが元のレベルに戻った場合であっても信号レベルを保持し、オン信号として発動指令信号S2を保持・出力し続ける。そして、リセット信号生成器429からリセット信号が入力されると、保持している信号レベルをリセットして発動指令信号S2の出力を中止する。

30

【0058】

復帰指令部425は、比較器4251, 4252と、ANDゲート4253とを有し、発動した再粘着制御の復帰動作を指示(指令)する。比較器4251は、加算器421から入力された速度差 V_d が、設定されている閾値 V_r を下回ったか否かを比較判定し、下回ったと判定すると判定信号を出力する。比較器4252は、微分器422から入力された加速度 a が、設定されている閾値 r を下回ったか否かを比較判定し、下回ったと判定すると判定信号を出力する。

40

【0059】

ANDゲート4253は、比較器4251, 4252それぞれから入力される判定信号の論理積を演算する。このANDゲート4253からの出力信号が、復帰指令信号S3となる。すなわち、比較器4251, 4252の両方から判定信号が入力された場合、復帰指令信号S3が出力される。つまり、復帰指令部425は、加速度 a が閾値 r を下回り、且つ速度差 V_d が閾値 V_r を下回った場合に、電動機10の発生トルクの復帰を指示する復帰指令信号S3を出力する。ここで、「加速度 a が閾値 r を下回り、且つ速度差 V_d が閾値 V_r を下回る」ことが、再粘着制御の復帰動作を開始するための復帰条件である。

50

【 0 0 6 0 】

なお、復帰指令信号 S 3 は、復帰指令保持部 4 2 5 4 によって一時的に保持・出力される。この保持・出力動作は発動指令保持部 4 2 4 6 と同様である。すなわち、復帰指令保持部 4 2 5 4 には、ANDゲート 4 2 5 3 によって、比較器 4 2 5 1 , 4 2 5 2 の両方から判定信号が出力されるとパルス状の復帰指令信号 S 3 が入力されるが、このパルス状の復帰指令信号 S 3 が一旦入力されると、パルスの信号レベルが元のレベルに戻った場合であっても信号レベルを保持し、オン信号として復帰指令信号 S 3 を保持・出力し続ける。そして、リセット信号生成器 4 2 9 からリセット信号が入力されると、保持している信号レベルをリセットして復帰指令信号 S 3 の出力を中止する。

【 0 0 6 1 】

再粘着制御器 4 2 8 は、発動指令部 4 2 4 から入力される発動指令信号 S 2、復帰指令部 4 2 5 から入力される復帰指令信号 S 3、及び設定されている再粘着制御パラメータに基づき、電動機 1 0 の発生トルクを制御して再粘着を実現するためのトルク引き下げ指令信号を生成して出力する。具体的には、発動指令部 4 2 4 から発動指令信号 S 2 が入力されると、電動機 1 0 の発生トルクを、設定されているトルク引き下げ速度 W_t で引き下げる（低下させる）ようにトルク引き下げ指令信号を生成し、空転滑走した車輪を軌道に再粘着させる。その後、復帰指令部 4 2 5 から復帰指令信号 S 3 が入力されると、引き下げた発生トルクを設定されている復帰時間 T_t で復帰させるようにトルク引き下げ指令信号を生成する。

【 0 0 6 2 】

リセット信号生成器 4 2 9 は、再粘着制御器 4 2 8 から入力されるトルク引き下げ指令信号を基に、リセット信号を生成して出力する。具体的には、再粘着制御が終了した時点、すなわち、トルク引下げ量がゼロを示す指令信号（図 2 における再粘着制御の終了時点である時刻 t_4 の状態）をもって、リセット信号を生成して出力する。

【 0 0 6 3 】

パラメータ切替設定器 4 2 7 は、曲線半径判定部 5 0 から入力される曲線半径 C_r を基に、発動指令部 4 2 4 の比較器 4 2 4 2 , 4 2 4 3 , 4 2 4 4 それぞれに設定される閾値 T_s , V_{s2} , s_2 （以下、「発動指令閾値」という）、復帰指令部 4 2 5 の比較器 4 2 5 1 , 4 2 5 2 それぞれに設定される閾値 r , V_r （以下、「復帰指令閾値」という）、及び再粘着制御器 4 2 8 に設定されるトルク引き下げ速度 W_t 及び復帰時間 T_t （以下、「再粘着制御パラメータ」という）を切り替える。具体的には、パラメータテーブル T B L 2 に従って、入力された曲線半径 C_r に対応する発動指令閾値を算出して発動指令部 4 2 4 の比較器 4 2 4 2 , 4 2 4 3 , 4 2 4 4 それぞれに設定するとともに、復帰指令閾値を算出して復帰指令部 4 2 5 の比較器 4 2 5 1 , 4 2 5 2 それぞれに設定し、再粘着制御パラメータそれぞれを算出して再粘着制御器 4 2 8 に設定する。

【 0 0 6 4 】

すなわち、発動指令部 4 2 4 の比較器 4 2 4 2 , 4 2 4 3 , 4 2 4 4 それぞれに設定されている発動指令閾値、復帰指令部 4 2 5 の比較器 4 2 5 1 , 4 2 5 2 それぞれに設定されている復帰指令閾値、及び再粘着制御器 4 2 8 に設定されている再粘着制御パラメータは、現在走行中の軌道の曲線半径 C_r に応じた値となっている。

【 0 0 6 5 】

図 7 に、パラメータテーブル T B L 2 の一例を示す。パラメータテーブル T B L 2 には、発動指令閾値、復帰指令閾値及び再粘着制御パラメータそれぞれの値が、曲線半径 C_r として取り得る最大値（無限大。すなわち直線）～最小値までの各値に応じて設定されている。発動指令閾値は、発動指令部 4 2 4 の比較器 4 2 4 3 に閾値として設定される速度差 V_{s2} 、比較器 4 2 4 4 に閾値として設定される加速度 s_2 、及び比較器 4 2 4 2 に閾値として設定される強制発動時間 T_s である。また、復帰指令閾値は、復帰指令部 4 2 5 の比較器 4 2 5 1 に閾値として設定される速度差 V_r 、及び比較器 4 2 5 2 に閾値として設定される加速度 r である。また、再粘着制御パラメータは、電動機 1 0 の発生トルク T_e の引き下げ速度 W_t 及び復帰時間 T_t である。

10

20

30

40

50

【 0 0 6 6 】

パラメータテーブル T B L 2 によれば、曲線半径 C_r が取り得る最大値である無限大（直線）である場合には、発動指令閾値の速度差 V_{s2} 及び加速度 s_2 は、それぞれ空転検出閾値テーブル T B L 1（図 6 参照）の速度差 V_{s1} 及び加速度 s_1 と同じ値である。このため、曲線半径 C_r が無限大である、すなわち直線区間を走行中は、空転滑走の発生が検出されると即時に再粘着制御が開始（発動）されることとなる。

なお、強制発動時間 T_s も「0」に設定されているため、同様の作用効果を奏する。すなわち、空転検出部 4 2 3 によって空転滑走の発生の検出がなされた場合には、比較器 4 2 4 2 が即時に判定信号を出力して、O R ゲート 4 2 4 5 から発動指令信号 S_2 が出力されることとなり、即時に再粘着制御が開始されることとなる。

10

【 0 0 6 7 】

また、曲線半径 C_r が取り得る最小値であるほど、発動指令閾値の速度差 V_{s2} 、加速度 s_2 及び強制発動時間 T_s が漸次大きな値に設定される。この結果、現在走行中の軌道の曲線半径 C_r が小さいほど、空転滑走の発生の検出後の空転滑走の進展が一層許容されることとなる。空転滑走の進展が許容されることによって、接線力係数 μ の上昇が期待できる。

【 0 0 6 8 】

なお、空転滑走の進展を許容するとはいえ、一定時間以上の空転滑走の継続は車輪やレールに大きな損耗を与えるため、空転滑走の発生の検出時点からの経過時間が強制発動時間 T_s に達した場合には、再粘着制御が強制的に開始されることとなる。

20

【 0 0 6 9 】

復帰指令においては、曲線半径 C_r が小さいほど、復帰指令閾値（図 7 では速度差 V_r のみ設定されている）が大きな値に設定されている。復帰指令閾値が大きいほど、より早期にトルク復帰動作を開始させる作用効果を奏する（図 2 参照）。このため、曲線半径 C_r が小さいほど、早期にトルク復帰動作を開始させることが可能となる。

【 0 0 7 0 】

また、曲線半径 C_r が小さいほど、トルク引下げ速度 W_t が小さく、また復帰時間 T_t が大きく設定されている。この結果、曲線半径 C_r が小さいほど電動機トルク T_e の引き下げ量の減少速度を低下させて徐々にトルクを復帰させる制御がなされる。

【 0 0 7 1 】

図 7 のパラメータテーブル T B L 2 においては、曲線半径 C_r が取り得る最大値（無限大。すなわち直線）と最小値とについて具体的な数値を記載していないが、好適には、最大値については無限大とみなせる曲線半径の値及びその値以上という一定の範囲を曲線半径 C_r の最大値とし、最小値については急カーブとみなせる一定の曲線半径の値及びその値以下という一定の範囲を曲線半径 C_r の最小値とするとよい。

30

【 0 0 7 2 】

また、図 7 には、曲線半径 C_r の最大値と最小値との間における発動指令閾値、復帰指令閾値及び再粘着制御パラメータそれぞれの値が示されていないが、この間の値は、線形（連続的）に漸次変化する値が設定されればよく、例えば図 8 にその一例を示す。図 8 において（1）が速度差 V_{s2} 、（2）が加速度 s_2 、（3）が強制発動時間 T_s 、（4）が速度差 V_r 、（5）がトルク引き下げ速度 W_t 、（6）が復帰時間 T_t を示す。何れも曲線半径 C_r が最大値付近及び最小値付近の一定範囲である場合には一定に設定され、最大値付近と最小値付近との間においては曲線半径 C_r に応じて比例して変化するように設定されている。

40

【 0 0 7 3 】

〔変形例〕

尚、本発明の適用は上述の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なのは勿論である。

【 0 0 7 4 】

（A）更に走行速度に応じて発動指令閾値、復帰指令閾値及び再粘着制御パラメータを可

50

変する。

上述の実施形態では、発動指令閾値、復帰指令閾値及び再粘着制御パラメータを、曲線半径 C_r に応じて可変することとして説明したが、さらに走行速度を加味して可変することとしてもよい。

【 0 0 7 5 】

具体的には、図 9 に示すようにパラメータテーブル T B L 2 を、高速域、中速域、低速域といった速度域毎に設定しておき、パラメータ切替設定器 4 2 7 が基準速度 V_m を入力して、基準速度 V_m が含まれる速度域に対応するパラメータテーブルを選択し、その選択したパラメータテーブルを用いて発動指令閾値、復帰指令閾値及び再粘着制御パラメータの各値を設定する。これにより、曲線区間を走行する際の速度をも加味したより適切な再粘着制御の実現を図ることができる。

10

【 0 0 7 6 】

(B) 更に接線力係数に応じて発動指令閾値、復帰指令閾値及び再粘着制御パラメータを可変する。

上述の実施形態では、発動指令閾値、復帰指令閾値及び再粘着制御パラメータを、曲線半径 C_r に応じて可変することとして説明したが、接線力係数及び曲線半径 C_r に基づいて可変することとしてもよい。

図 1 0 は、新幹線電車を約 3 4 0 [k m / h] で高速試験走行させた際の試験結果を示す図である。試験では、新幹線電車の台車の各軸のうち、試験対象の軸について、空転滑走の発生を検出した場合に直ぐに再粘着制御を発動させずに空転滑走を継続させた。図 1 0 は、空転滑走の発生中(継続中)におけるすべり速度に対する接線力係数 μ の特性を示す図である。接線力係数 μ は、電動機のトルク電流成分の測定値から、式(1) , (2) を用いて算出した。また、当該軸について、試験走行中に発生した多数の空転滑走のうちの 7 回分の空転滑走それぞれに対する特性(1) ~ (7) のみを示している。

20

【 0 0 7 7 】

発生した空転滑走を継続させると、時間経過に伴ってすべり速度が徐々に増加する。大部分の空転滑走では、すべり速度の増加とともに、接線力係数 μ がそのまま推移、或いは低下する(図 1 0 の(1) ~ (6) が該当する)。しかし、空転滑走の発生時の接線力係数 μ が小さい場合には、すべり速度の増加とともに接線力係数 μ が上昇している(図 1 0 の(7) が該当する)。尚、図 1 0 では 7 回分の空転滑走の特性のみを示したが、実際には相当数の試験結果が得られ、この傾向が示されている。つまり、空転滑走の発生時の接線力係数 μ が比較的小さい場合には、空転滑走の継続を許容することで、発生時より大きな粘着力が得られるといえる。

30

【 0 0 7 8 】

そこで、空転発生の検出時の接線力係数 μ を更に加味して再粘着制御の開始タイミングを可変する。すなわち、接線力係数 μ が比較的大きい(具体的には、所定値を超える)場合には、早期に再粘着制御を発動し、接線力係数 μ が小さい(具体的には、所定値以下)場合には、再粘着制御の発動タイミングを遅らせ、空転滑走の継続を許容した後、再粘着制御を発動するような制御方法とする。

【 0 0 7 9 】

具体的に説明する。図 1 1 は、本変形例における電車の主回路の回路ブロックを示す図である。図 1 1 において、図 3 の回路ブロックと同一の構成要素については同符号を付している。図 3 に示した主回路に比べて、電動機制御装置 4 0 A 内に μ 算出装置 4 1 が具備された点が異なる。 μ 算出装置 4 1 は、電流センサ 3 0 により検出された電流 I_v , I_u や、速度センサ 1 2 により検出された周速度 V に基づき、式(1) に従って制御対象の動輪の接線力係数 μ を算出して再粘着制御装置 4 2 A に出力する。なお、車軸の回転速度を直接検出するのではなく、いわゆる速度センサレスベクトル制御で用いられる推定方法(例えば、誘導電動機の電機子電圧や電機子電流を基に回転速度を推定する方法)によって周速度 V を得ることとして、速度センサ 1 2 を不要としても良いことは上述した実施形態と同様である。

40

50

【 0 0 8 0 】

図 1 2 は、本変形例の再粘着制御装置 4 2 A の回路構成を示すブロック図である。但し、図 1 2 において、図 5 の再粘着制御装置 4 2 と同一の構成要素については同符号を付している。図 1 2 によれば、再粘着制御装置 4 2 A は、図 5 に示した再粘着制御装置 4 2 に保持回路 4 2 6 を加えた構成となっている。

【 0 0 8 1 】

保持回路 4 2 6 は、入力される基準速度 V_m 及び接線力係数 μ を、空転検出部 4 2 3 から空転検出信号 S_1 が入力されるタイミングで保持する。すなわち、保持回路 4 2 6 は、最新（今回）の空転滑走が検出された時点での基準速度 V_m 及び接線力係数 μ を保持する。そして、保持している基準速度 V_m 及び接線力係数 μ をパラメータ切替設定器 4 2 7 A 10 10

【 0 0 8 2 】

パラメータ切替設定器 4 2 7 A は、保持回路 4 2 6 から入力される基準速度 V_m 及び接線力係数 μ を基に、発動指令閾値、復帰指令閾値及び再粘着制御パラメータの基礎パラメータ値を切り替える。具体的には、先ず基準速度 V_m を基に速度域を判断する。次いで、判断した速度域のパラメータ基礎テーブル T B L 3 に従って、接線力係数 μ に該当する発動指令閾値、復帰指令閾値及び再粘着制御パラメータの基礎パラメータ値を決定する。また、曲線半径係数テーブル T B L 4 を参照して、曲線半径判定部 5 0 から入力された現在走行中の軌道の曲線半径 C_r に対応する発動指令閾値、復帰指令閾値及び再粘着制御パラメータの係数を決定する。そして、決定した基礎パラメータ値に決定した係数を乗算すること 20 20

【 0 0 8 3 】

図 1 3 は、パラメータ切替設定器 4 2 7 A が有するパラメータ基礎テーブル T B L 3 の一例を示す図である。パラメータ基礎テーブル T B L 3 は、「高速域」、「中速域」及び「低速域」の 3 種類の速度域毎に用意されている。図 1 3 (a) は、「高速域」のパラメータ基礎テーブル T B L 3 であり、図 1 3 (b) は、「中速域」のパラメータ基礎テーブル T B L 3 であり、図 1 3 (c) は、「低速域」のパラメータ基礎テーブル T B L 3 である。パラメータ基礎テーブル T B L 3 には、発動指令閾値、復帰指令閾値及び再粘着制御パラメータそれぞれの基礎値が、接線力係数 μ 毎に設定されている。発動指令閾値の基礎 30 30

値としては、比較器 4 2 4 3 に閾値として設定される速度差 V_{s2} の基礎速度差 S_{vs2} 、比較器 4 2 4 4 に閾値として設定される加速度 s_2 の基礎加速度 S_{s2} 、及び比較器 4 2 4 2 に閾値として設定される強制発動時間 T_s の基礎強制発動時間 S_{Ts} がある。また、復帰指令閾値の基礎値としては、比較器 4 2 5 1 に閾値として設定される速度差 V_r の基礎速度差 S_{Vr} 、及び比較器 4 2 5 2 に閾値として設定される加速度 r の基礎加速度 S_r がある。また、再粘着制御パラメータの基礎値としては、電動機 1 0 の発生トルク e の引き下げ速度 W_t の基礎引き下げ速度 S_{Wt} 、及び復帰時間 T_t の基礎復帰時間 S_{Tt} がある。

【 0 0 8 4 】

パラメータ基礎テーブル T B L 3 によれば、接線力係数 μ が 0 . 1 以上である場合には、何れの速度域においても基礎強制発動時間 S_{Ts} が「0」に設定されている。このため、空転検出部 4 2 3 によって空転滑走の発生の検出がなされた場合には、基礎強制発動時間 T_s に乗算する強制発動時間係数 K_{Ts} が何れの値になろうとも、比較器 4 2 4 2 に設定される強制発動時間 T_s は必ず「0」となる。この結果、比較器 4 2 4 2 が即時に判定信号を出力して、OR ゲート 4 2 4 5 から発動指令信号 S_2 が再粘着制御器 4 2 8 に出力され、即時に再粘着制御が開始されることとなる。 40 40

【 0 0 8 5 】

一方、接線力係数 μ が 0 . 1 未満である場合には、基礎強制発動時間 S_{Ts} に「0」より大きい値が設定されているとともに、発動指令閾値の基礎値であると基礎速度差 S_{Vs2} や基礎加速度 S_{s2} して、図 6 に示した空転検出閾値の速度差 V_{s1} 及び加速度 s 50 50

1 それぞれよりも大きい値が設定される。この結果、空転滑走の発生の検出がなされた際の接線力係数 μ の値が比較的小さい値であった場合には、曲線半径 C_r に応じて決定される係数にも依存するが、空転滑走の発生後直ぐに再粘着制御を開始するのではなく、空転滑走の進展が一時的に許容されることとなる。空転滑走の進展を許容することによって、接線力係数 μ の上昇が期待できる。

【 0 0 8 6 】

また、空転滑走の発生時点での接線力係数 μ が低い程、空転滑走の継続に伴う上昇が期待できることから、空転滑走の発生時点での接線力係数 μ が小さいほど、発動指令閾値の基礎値が高い値に設定されている。また、速度域が高速である程、車輪の周速度や加速度の単位時間に対する変化量が大きくなることから、より高速な速度域ほど、発動指令閾値の基礎値が高い値に設定されている。

10

【 0 0 8 7 】

復帰指令においては、接線力係数 μ が低いほど、復帰指令閾値の基礎値（図 1 3 では基礎速度差 $S V r$ のみ設定されている）が大きく、また、速度域が高速であるほど、大きな値に設定されている。復帰指令閾値が大きいほど、より早期にトルク復帰動作を開始させる作用効果を奏する（図 2 参照）。このため、曲線半径 C_r に応じて決定される係数にも依存するが、接線力係数 μ が低い、或いはより高速域であるほど、早期にトルク復帰動作を開始させることが可能となる。

【 0 0 8 8 】

また、接線力係数 μ が 0 . 1 未満であるか否かによって、基礎トルク引下げ速度 $S W t$ 及び基礎復帰時間 $S T t$ が可変される。具体的には、接線力係数 μ が、空転滑走の継続による上昇が期待される値（0 . 1 未満）である場合には、基礎トルク引下げ速度 $S W t$ が小さな値に、基礎復帰時間 $S T t$ が大きな値に切り替えられる。

20

【 0 0 8 9 】

図 1 4 は、パラメータ切替設定器 4 2 7 A が有する曲線半径係数テーブル T B L 4 の一例を示す図である。曲線半径係数テーブル T B L 4 は、曲線半径判定部 5 0 によって判定された曲線半径 C_r に応じて、発動指令閾値、復帰指令閾値及び再粘着制御パラメータのそれぞれの基礎値に乘算する係数が定められたテーブルである。なお発動指令閾値、復帰指令閾値及び再粘着制御パラメータの各値は、例えば、発動指令閾値の速度差 $V s 2$ であれば、基礎速度差 $S V s 2$ と速度差係数 $K v s 2$ との乗算によって求められた値が設定される。

30

【 0 0 9 0 】

図 1 4 によれば、各係数の値は、曲線半径が直線とみなせる最大値にあっては、何れも「1」である。また、曲線半径が小さくなる程、速度差係数 $K V s 2$ 、加速度係数 $K s 2$ 、強制発動時間係数 $K T s$ 、速度差係数 $K V r$ 、加速度係数 $K r$ 、及び復帰時間係数 $K T t$ が徐々に高い値に設定され、トルク引き下げ速度係数 $K W t$ が徐々に低い値に設定されている。この結果、直線とみなせる軌道上を走行中は、接線力係数 μ に従って決定された基礎値に従った再粘着制御が行われ、曲線係数 C_r がより小さいほど、空転滑走の進展をより許容する再粘着制御がなされることが分かる。

【 0 0 9 1 】

なお、本変形例において接線力係数 μ そのものを用いることとしたが、接線力係数の変動と同様の変動を示す値（接線力係数とほぼリニアリティがある値）であって、接線力係数 μ と等価又は略等価に扱える値であれば、代替して用いてよいことは勿論である。

40

【 0 0 9 2 】

(C) 電動機制御の形態

また、上述の実施形態では、1つの電動機制御装置 4 0 によって1つの電動機 1 0 を制御する、いわゆる 1 C 1 M としたが、他の制御方法、例えば1つの電動機制御装置によって4つの電動機を制御する 1 C 4 M の場合であっても同様に適用可能である。

【 0 0 9 3 】

(D) 速度差の代わりにすべり率を利用する

50

また、上述の実施形態では、発動指令閾値や復帰指令閾値として速度差を用いたが、これをすべり率としてもよい。

【図面の簡単な説明】

【0094】

【図1】試験結果の一例。

【図2】再粘着制御の説明図。

【図3】電車の主回路構成図。

【図4】軌道情報の一例。

【図5】再粘着制御装置の回路構成図。

【図6】空転検出閾値テーブルの一例。

10

【図7】パラメータテーブルの一例。

【図8】パラメータの設定の一例。

【図9】パラメータテーブルの他の例。

【図10】他の試験結果の例。

【図11】変形例における電車の主回路構成図。

【図12】変形例における再粘着制御装置の回路構成図。

【図13】変形例におけるパラメータ基礎テーブルの一例。

【図14】変形例における曲線半径係数テーブルの一例。

【符号の説明】

【0095】

20

10 主電動機

20 インバータ

40 電動機制御装置

42 再粘着制御装置

423 空転検出部

424 発動指令部

425 復帰指令部

428 再粘着制御器

429 リセット信号生成器

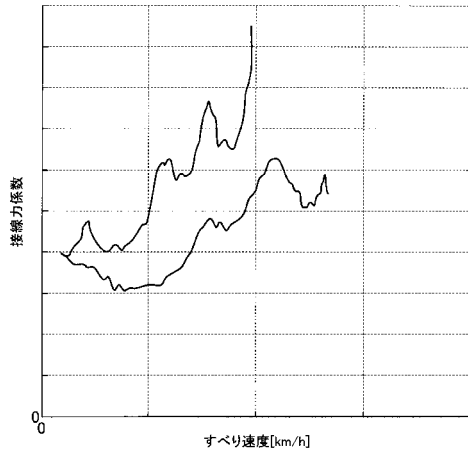
43 ベクトル演算制御装置

30

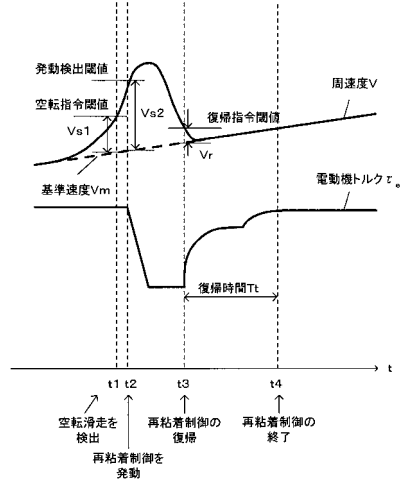
50 曲線半径判定部

S1 空転検出信号、S2 発動指令信号、S3 復帰指令信号

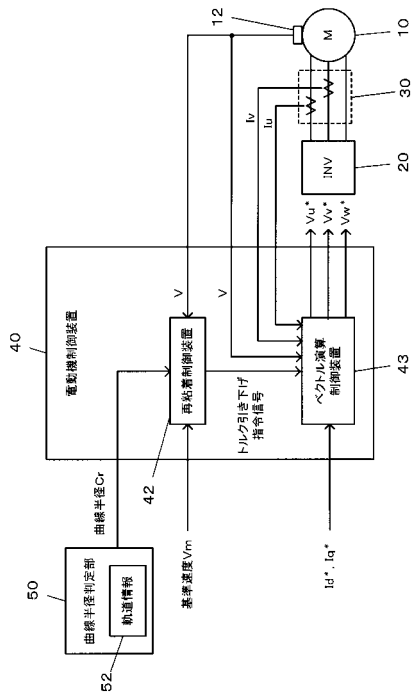
【図1】



【図2】



【図3】

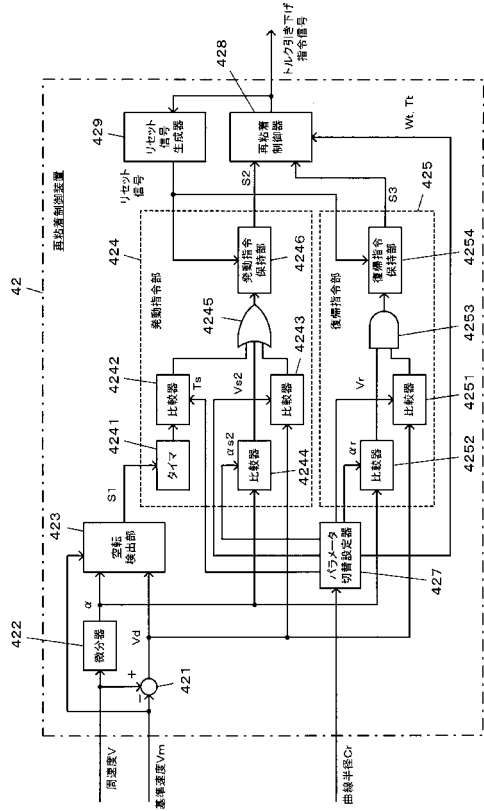


【図4】

52

キ口程	曲線半径(m)
0.0	∞
.	.
40.0	4000
40.2	4200
.	.
.	.

【図5】



【図6】

空転検出閾値テーブル

TBL1

速度差 $Vs1$ [km/h]	1
加速度 $\alpha s1$ [km/h/s]	5

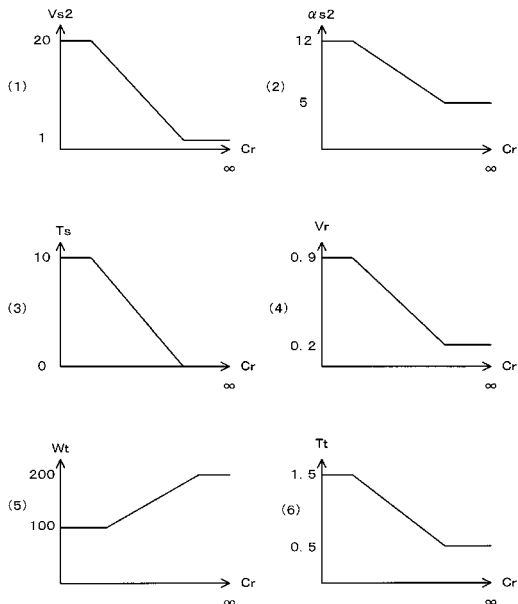
【図7】

パラメータテーブル

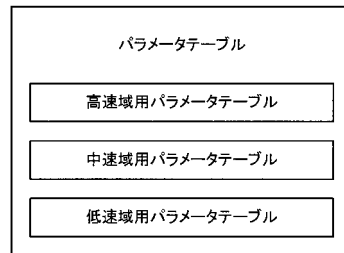
TBL2

パラメータ	曲線半径		
	∞ (直線)	大	最小
発動指令閾値			
速度差 $Vs2$ [km/h]	1	~	20
加速度 $\alpha s2$ [km/h/s]	5	~	12
強制発動時間 Ts [s]	0	~	10
復帰指令閾値			
速度差 Vr [km/h]	0.2	~	0.9
加速度 αr [km/h/s]	0	~	0
再粘着制御パラメータ			
トルク引き下げ速度 Wt [N/s] [(A/s)]	200(100)	~	100(50)
復帰時間 Tt [s]	0.5	~	1.5

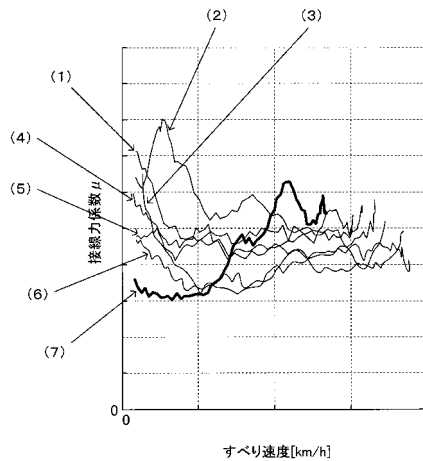
【図8】



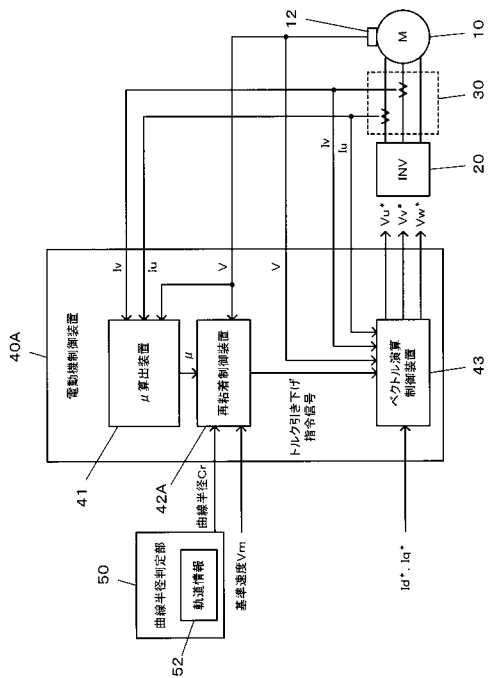
【図9】



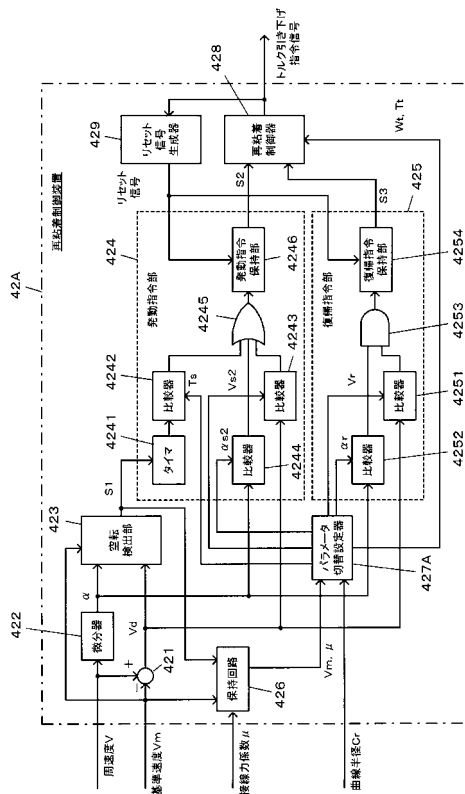
【図10】



【図11】



【図12】



【図13】

パラメータ基礎テーブル

TBL3

<高速域>

パラメータ	接続力係数 μ			
	$\mu \geq 0.1$	$0.05 \leq \mu < 0.1$	$\mu < 0.05$	
発動指令閾値	基礎速度差 SVs2 [km/h]	1	15	20
	基礎加速度 S α s2 [km/h/s]	5	11	12
	基礎強制発動時間 STs [s]	0	5	10
復帰指令閾値	基礎速度差 SVr [km/h]	0.2	0.8	0.9
	基礎加速度 S α r [km/h/s]	0	0	0
再粘着制御パラメータ	基礎トルク引き下げ速度 SWt [N/s] ([A/s])	200(100)	100(50)	100(50)
	基礎復帰時間 STt [s]	0.5	1.5	1.5

TBL3

<中速域>

パラメータ	接続力係数 μ			
	$\mu \geq 0.1$	$0.05 \leq \mu < 0.1$	$\mu < 0.05$	
発動指令閾値	基礎速度差 SVs2 [km/h]	1	10	15
	基礎加速度 S α s2 [km/h/s]	5	10	11
	基礎強制発動時間 STs [s]	0	4	8
復帰指令閾値	基礎速度差 SVr [km/h]	0.2	0.7	0.8
	基礎加速度 S α r [km/h/s]	0	0	0
再粘着制御パラメータ	基礎トルク引き下げ速度 SWt [N/s] ([A/s])	200(100)	100(50)	100(50)
	基礎復帰時間 STt [s]	0.5	1.5	1.5

TBL3

<低速域>

パラメータ	接続力係数 μ			
	$\mu \geq 0.1$	$0.05 \leq \mu < 0.1$	$\mu < 0.05$	
発動指令閾値	基礎速度差 SVs2 [km/h]	0.5	5	10
	基礎加速度 S α s2 [km/h/s]	5	9	10
	基礎強制発動時間 STs [s]	0	3	5
復帰指令閾値	基礎速度差 SVr [km/h]	0.2	0.6	0.7
	基礎加速度 S α r [km/h/s]	0	0	0
再粘着制御パラメータ	基礎トルク引き下げ速度 SWt [N/s] ([A/s])	500(250)	200(100)	200(100)
	基礎復帰時間 STt [s]	0.5	1.5	1.5

【図14】

曲線半径係数テーブル

TBL4

係数	曲線半径	
	∞ (直線)	最小
発動指令閾値	速度差係数 KV s2	$\times 1$ ~ $\times 1.5$
	加速度係数 K α s2	$\times 1$ ~ $\times 1.2$
復帰指令閾値	強制発動時間係数 KTs	$\times 1$ ~ $\times 1.5$
	速度差係数 K Vr	$\times 1$ ~ $\times 1.2$
再粘着制御パラメータ	加速度係数 K α r	$\times 1$ ~ $\times 1$
	トルク引き下げ速度係数 KWt	$\times 1$ ~ $\times 0.8$
	復帰時間係数 K Tt	$\times 1$ ~ $\times 1.1$

フロントページの続き

(72)発明者 小笠 正道

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

審査官 竹下 晋司

(56)参考文献 特開2002-325307(JP,A)

特開平10-257611(JP,A)

特開平07-131907(JP,A)

特開平03-107306(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

B60L 1/00 - 15/42