

(51) Int.Cl. <sup>7</sup>	識別記号	F I	テ-マコード <sup>*</sup> (参考)
B60L 13/03		H02P 5/00	B 5H113
H02P 5/00	101	B60L 13/02	Q 5H540

審査請求 未請求 請求項の数 4 O L (全10頁)

(21)出願番号 特願平11 - 339963

(22)出願日 平成11年11月30日(1999.11.30)

特許法第30条第1項適用申請有り 平成11年 6月 1日  
社団法人電気学会発行の「電気学会論文誌 D - 119巻 6号」に発表

(71)出願人 390021577  
東海旅客鉄道株式会社  
愛知県名古屋市中村区名駅1丁目1番4号

(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

(72)発明者 古賀 俊作  
愛知県名古屋市中村区名駅一丁目1番4号  
東海旅客鉄道株式会社内

(74)代理人 100082500  
弁理士 足立 勉 (外1名)

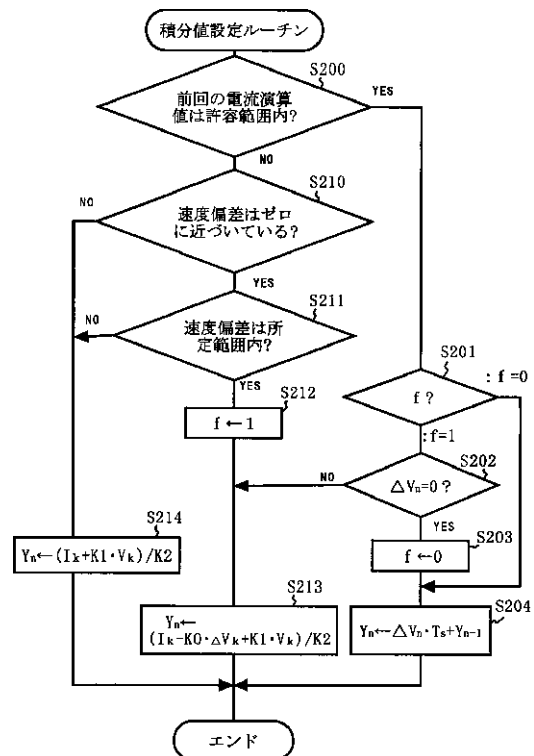
最終頁に続く

(54)【発明の名称】リニアシンクロナスマータ式車両の制御装置

(57)【要約】

【課題】 従来の安定した制御特性を示している制御系を有効に利用してオーバーシュート等を防止すると共に速応性の優れた制御を行う。

【解決手段】 L S M式車両の制御装置は速度制御器を含んで構成されているが、この速度制御器は、前回のタイミングにおいて電流演算値が許容範囲外と判定されていたならば(S200でNO)、今回のタイミングにおける速度偏差が前回に比べてゼロに近づいており、且つ、その速度偏差が所定範囲内にあるという条件を満たすか否かを判定し(S210,S211)、前記条件を満たさないならば、電流演算値を求める際の積分値Ynとして、電流演算値が許容範囲外になる直前の積分値(直前積分値という)から速度偏差の比例項を削除した値を用いるという処理を実行し(S214)、前記条件を満たすならば、上述の積分値Ynとして、直前積分値を用いるという処理(S213)を速度偏差が実質ゼロになるまで実行する。



【特許請求の範囲】

【請求項 1】 推進コイルが地上側の軌道に沿って配置され、界磁コイルが前記推進コイルに対向するように車両側に搭載され、速度制御器が電流指令値を出力し、電力変換器がこの電流指令値に応じた電流を推進コイルへ供給して前記推進コイルに磁界を発生させることにより前記界磁コイルを搭載した車両を推進させるリニアシンクロナスマータ式車両の制御装置において、前記速度制御器は、所定タイミングごとに速度指令値と実速度との速度偏差を比例・積分演算することにより電流演算値を求める電流演算手段と、前記電流演算手段により求められた電流演算値が許容範囲内か否かを判定する電流演算値判定手段と、前記電流演算値判定手段により肯定判定されたならば電流演算値をそのまま電流指令値として出力し、前記電流演算値判定手段により否定判定されたならば所定のリミッタ値を電流指令値として出力する電流指令値出力手段とを備え、前記電流演算手段は、前回のタイミングにおいて前記電流演算値判定手段により否定判定されていたならば、今回のタイミングにおける速度偏差が前回に比べてゼロに近づいており、且つ、その速度偏差が所定範囲内にあるという条件を満たすか否かを判定し、前記条件を満たさないならば、電流演算値を求める際の

$$I_n = K_0 \cdot \Delta V_n + K_2 \cdot Y_n - K_1 \cdot V_n \quad \dots (1)$$

$$Y_n = \Delta V_n \cdot T_s + Y_{n-1} \quad \dots (2)$$

$$Y_n = (I_k + K_1 \cdot V_k) / K_2 \quad \dots (3)$$

$$Y_n = (I_k - K_0 \cdot \Delta V_k + K_1 \cdot V_k) / K_2 \quad \dots (4)$$

但し、n：サンプル番号、I：電流演算値、ΔV：速度偏差、

Y：積分値、V：速度、K0：速度偏差の比例ゲイン、

K1：実速度の比例ゲイン、K2：積分ゲイン、

k：電流演算値が許容範囲外になる直前のサンプル番号

【請求項 3】 前記電流演算手段は、K1をゼロとして演算することを特徴とする請求項 2 記載のリニアシンクロナスマータ式車両の制御装置。

【請求項 4】 速度偏差が所定範囲内にあるという条件を満たすか否かを判定する際の所定範囲につき、速度指令値と実速度とが一致する直前に、電流指令値が前記リミッタ値から所定の電流値に達するように定められていることを特徴とする請求項 1 ~ 3 のいずれかに記載のリニアシンクロナスマータ式車両の制御装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、リニアシンクロナスマータ式車両の制御装置に関する。

【0002】

積分値として、電流演算値が許容範囲外になる直前の積分値（直前積分値という）から速度偏差の比例項を削除した値を用いるという処理を実行し、

前記条件を満たすならば、電流演算値を求める際の積分値として、前記直前積分値を用いるという処理を、速度偏差が実質ゼロになるまで実行することを特徴とするリニアシンクロナスマータ式車両の制御装置。

【請求項 2】 前記電流演算手段は、所定タイミングごとに下記式（1）により電流演算値を求めるものであり、

前回のタイミングにおいて前記電流演算値判定手段により肯定判定されていたならば、電流演算値を求める際の積分値を下記式（2）とし、

前回のタイミングにおいて前記電流演算値判定手段により否定判定されていたならば、今回のタイミングにおける速度偏差が前回に比べてゼロに近づいており、且つ、その速度偏差が所定範囲内にあるという条件を満たすか否かを判定し、

前記条件を満たさないならば、電流演算値を求める際の積分値を下記式（3）とする処理を実行し、

前記条件を満たすならば、電流演算値を求める際の積分値を下記式（4）とする処理を速度偏差が実質ゼロになるまで実行することを特徴とする請求項 1 記載のリニアシンクロナスマータ式車両の制御装置。

【数 1】

【従来の技術】従来より、リニアシンクロナスマータ（以下 L S M ともいう）式車両の制御装置として、図 6 に示すように、地上側の軌道に沿って配置された推進コイル 1 0 1 と、この推進コイル 1 0 1 に対向するように車両側に搭載された界磁コイル 1 0 2 と、速度指令値 V<sup>\*</sup> と実速度 V との偏差即ち速度偏差 ΔV を比例・積分演算した電流指令値 I<sup>\*</sup> を出力する速度制御部 1 0 3 と、この電流指令値 I<sup>\*</sup> と位相基準信号とから正弦波状の電流パターンを出力する乗算器 1 0 4 と、この乗算器 1 0 4 から出力された電流パターンに応じた三相交流電流を推進コイル 1 0 1 へ供給する電力変換器 1 0 5 と、推進コイル 1 0 1 と界磁コイル 1 0 2 との相対位置を検出して位置位相信号を出力する位置検出器 1 0 6 と、この位置位相信号を安定化させると共に電力変換器 1 0 5 に指

10

20

40

50

令する位相基準信号や速度制御のための実速度を演算して出力する位相同期制御部 107 とを備えたものが知られている。

【0003】LSM式車両は、超電導コイルである界磁コイル102によって発生する磁界と、電力変換器105から供給される三相交流電流によって推進コイル101に発生する磁界との相互作用により、推進力を得て駆動される。ここで、速度制御部103は速度偏差  $V$  がゼロになるように電流指令値  $I^*$  を出力するが、具体的には図7のブロック図に示すように、速度指令値  $V^*$  と実速度  $V$  との速度偏差  $V$  を求め、この速度偏差  $V$  を比例・積分演算して両者を加算し、更に実速度  $V$  を比例演算した分をそこから減算することにより電流演算値  $I$  を求め、この電流演算値  $I$  を電流リミッタ108に通すことにより、電流演算値  $I$  が電流リミッタ108の範囲内であれば電流演算値  $I$  をそのまま電流指令値  $I^*$  として出力し、電流演算値  $I$  が電流リミッタ108の範囲外であればリミッタ値  $I_{Lm}$  を電流指令値  $I^*$  として出力する。この処理は所定サンプリング時間  $T_s$  ごとに実行され、第  $n$  番目に実行された場合の電流演算値  $I_n$  は下記式(1)で表される。なお、添字の  $n$  は第  $n$  番目のサンプリング時の値を表す。

【0004】

【数2】

$$I_n = K_0 \cdot \Delta V_n + K_2 \cdot Y_n - K_1 \cdot V_n \quad \dots (1)$$

但し、 $K_0 \sim K_2$  はゲイン、

$$Y_n \text{ は積分値であり } Y_n = \Delta V_n \cdot T_s + Y_{n-1}$$

【0005】

【発明が解決しようとする課題】ここで、電流演算値  $I$  が電流リミッタ108の範囲外となり、電流指令値  $I^*$  が所定のリミッタ値に制限されている場合、電流演算値  $I$  と電流指令値  $I^*$  とが不一致となるため速度偏差  $V$  は次第に大きくなり、それに伴って積分器への蓄積量即ち積分値  $Y$  は増加し続ける。これは上記式より明らかである。

【0006】しかしながら、その後速度偏差  $V$  が実質ゼロになったとき、積分器には大きな蓄積量が残っているため瞬時に所定の電流値  $I_p$  まで電流演算値  $I$  を絞り込むことはできず、積分器の蓄積量がキャンセルされるまで電流演算値  $I$  は徐々にその電流値  $I_p$  に絞り込まれていく。

【0007】この結果、絞り込み区間においては推進力となる電流が出力され続けるため、実速度  $V$  が速度指令値  $V^*$  を超えてしまったり、あるいは、停止すべきところを後退してしまったりすることがある。この現象は一般にリセットワインドアップと呼ばれている。このうち前者をオーバーシュート、後者をアンダーシュートという。図8(a)はオーバーシュートの説明図、図8

(b)はアンダーシュートの説明図である。

【0008】このようなオーバーシュートやアンダーシュートを防止する対策として、電流演算値  $I$  と電流指令値  $I^*$  との誤差を検出して積分器の蓄積量を減少させることが提案されている(例えば、坂本哲三著、電気学会論文誌第118巻D、第572頁～第578頁)。この対策は自動整合PI制御と呼ばれるが、この制御方式を採用すると、従来の制御定数を変更したりハードウェアを変更したりするなど大幅な制御系の変更が必要となる。つまり、現在安定した制御特性を示している制御系にこの自動整合PI制御を施すと、制御系設計の大幅なやり直しが必要となる。

【0009】また、オーバーシュートやアンダーシュートを防止できたとしても、実速度  $V$  の速度指令値  $V^*$  への収束度が悪化したのでは制御系全体の速応性が悪化するので、この速応性も良好に保つ必要がある。本発明は上記問題点を解決することを課題とするものであり、LSM式車両の制御装置において、従来の安定した制御特性を示している制御系を有効に利用してオーバーシュートやアンダーシュートを防止すると共に速応性の優れた制御を行うことを目的とする。

【0010】

【課題を解決するための手段及び発明の効果】上記課題を解決するため、本発明は、推進コイルが地上側の軌道に沿って配置され、界磁コイルが前記推進コイルに対向するように車両側に搭載され、速度制御器が電流指令値を出力し、電力変換器がこの電流指令値に応じた電流を推進コイルへ供給して前記推進コイルに磁界を発生させることにより前記界磁コイルを搭載した車両を推進させるLSM式車両の制御装置に関するものである。

【0011】本発明のLSM式車両の制御装置は速度制御器を含んで構成されているが、この速度制御器は、電流演算手段、電流演算値判定手段、電流指令値出力手段を備えている。そして、電流演算手段は、所定タイミングごとに速度指令値と実速度との速度偏差を比例・積分演算することにより電流演算値を求め、電流演算値判定手段は、前記電流演算手段により求められた電流演算値が許容範囲内か否かを判定し、電流指令値判定手段は、前記電流演算値判定手段により肯定判定されたならば電流演算値をそのまま電流指令値として出力し、前記電流演算値判定手段により否定判定されたならば所定のリミッタ値を電流指令値として出力する。

【0012】このうち、電流演算手段は、前回のタイミングにおいて前記電流演算値判定手段により否定判定されていたならば、“今回のタイミングにおける速度偏差が前回に比べてゼロに近づいており、且つ、その速度偏差が所定範囲内にある”という条件を満たすか否かを判定し、前記条件を満たさないならば、“電流演算値を求める際の積分値として、電流演算値が許容範囲外になる直前の積分値(直前積分値という)から速度偏差の比例項を削除した値を用いる”という処理(代替処理とい

う) を実行し、前記条件を満たすならば、“電流演算値を求める際の積分値として、直前積分値を用いる” という処理 (リセットウィンドアップ対策処理又は RW 処理という) を速度偏差が実質ゼロになるまで実行するものであり、本発明はこの点を特徴とするものである。

【0013】本発明では、速度制御器の電流演算手段の構成自体は従来と同様、速度偏差を比例・積分演算することにより電流演算値を求めるものであるため、既に安定な制御特性が得られることがわかっている制御定数をそのまま有効に利用できる。また、本発明では、前回のタイミングにおいて所定のリミッタ値を電流指令値として出力した場合において、前記条件を満たした時点で初めて、RW 処理を開始することとした。これは、リセットウィンドアップによるオーバーシュートやアンダーシュートを防止するためには上記条件を満たした時点で RW 処理を開始すれば十分であり、それ以前に RW 処理を開始したとしてもオーバーシュートやアンダーシュートは防止できるが制御系全体の速応性が悪くなるので好ましくなく、それ以後に RW 処理を開始したのではオーバーシュートやアンダーシュートを確実に防止することができないので好ましくない。

【0014】一方、前回のタイミングにおいて所定のリミッタ値を電流指令値として出力した場合において、前記条件を満たさないならば、RW 処理を開始すると速応性が悪くなるため、この RW 処理に代わる代替処理を開始することとした。電流演算値は速度偏差を比例・積分演算したものであり、これを積分値について解くと積分値は電流演算値から速度偏差の比例項を差し引いた形となる。このため、直前積分値を用いて電流演算値を演算すると速度偏差の比例項が現れにくくなり、速応性が劣化する。一方、積分値に速度偏差が蓄積され続けるのは

$$I_n = K_0 \cdot \Delta V_n + K_2 \cdot Y_n - K_1 \cdot V_n \quad \dots (1)$$

$$Y_n = \Delta V_n \cdot T_s + Y_{n-1} \quad \dots (2)$$

$$Y_n = (I_k + K_1 \cdot V_k) / K_2 \quad \dots (3)$$

$$Y_n = (I_k - K_0 \cdot \Delta V_k + K_1 \cdot V_k) / K_2 \quad \dots (4)$$

但し、n : サンプル番号、I : 電流演算値、 $\Delta V$  : 速度偏差、

Y : 積分値、V : 速度、 $K_0$  : 速度偏差の比例ゲイン、

$K_1$  : 実速度の比例ゲイン、 $K_2$  : 積分ゲイン、

k : 電流演算値が許容範囲外になる直前のサンプル番号

【0018】式 (1) からわかるように、 $I_n$  はいわゆる I-P 制御により算出される値であるが、 $K_1$  をゼロとすれば PI 制御により算出される値となる。また、式 (3) は、式 (4) の速度偏差の比例項を削除したものである。ここで、式 (1) 中、 $K_1 \cdot V_n$  ( $K_1 = 0$ ) の項が存在するとオーバーシュートの速度偏差を小さく抑えられるものの速応性が悪くなるため、速応性を重視する場合には  $K_1$  をゼロとして演算するのが好ましい。

リセットウィンドアップによるオーバーシュートやアンダーシュートが生じるため好ましくない。そこで、代替処理では、これらを考慮して、電流演算値を求める際の積分値として、直前積分値から速度偏差の比例項を削除した値を用いることにより、速度偏差が蓄積され続けるのを防止すると共に電流演算値に速度偏差の比例項が現れやすくし、良好な速応性が得られるようにしたのである。

【0015】以上のように、本発明によれば、LSM 式車両の制御装置において、従来の安定した制御特性を示している制御系を有効に利用してオーバーシュートやアンダーシュートを防止すると共に速応性の優れた制御を行うことができるという効果が得られる。

【0016】本発明の LSM 式車両の制御装置において、前記電流演算手段は、所定タイミングごとに下記式 (1) により電流演算値を求めるものであり、前回のタイミングにおいて前記電流演算値判定手段により肯定判定されていたならば、電流演算値を求める際の積分値を下記式 (2) とし、前回のタイミングにおいて前記電流演算値判定手段により否定判定されていたならば、“今回のタイミングにおける速度偏差が前回に比べてゼロに近づいており、且つ、その速度偏差が所定範囲内にある” という条件を満たすか否かを判定し、前記条件を満たさないならば、電流演算値を求める際の積分値を下記式 (3) とする処理を実行し、前記条件を満たすならば、電流演算値を求める際の積分値を下記式 (4) とする処理を速度偏差が実質ゼロになるまで実行することが好ましい。

【0017】

【数 3】

【0019】本発明の LSM 式車両の制御装置において、速度偏差が所定範囲内にあるという条件を満たすか否かを判定する際の所定範囲につき、速度指令値と実速度とが一致する直前に、電流指令値が所定のリミッタ値から所定の電流値に達するように定められていることが好ましい。このように速度指令値と実速度とが一致する直前に電流指令値が所定のリミッタ値から所定の電流値に絞り込まれれば、速度指令値と実速度とが一致した後

に過剰の電流が推進コイルに付与されることがないため、オーバーシュートやアンダーシュートが発生するのを確実に防止できるし、速応性が悪くなることもない。

【0020】例えば、上述の所定範囲は、電流指令値が所定のリミッタ値から所定の電流値に達する時刻を  $t_1$ 、電流指令値が所定のリミッタ値から所定の電流値に達するまでの時間を  $t_2$  としたとき、時刻  $t_1$  における速度偏差がゼロとなるように時刻  $(t_1 - t_2)$  における速度偏差を求め、この速度偏差を超えない範囲を所定範囲としてもよい。

【0021】

【発明の実施の形態】以下に、本発明の好適な実施形態を図面に基いて説明する。図1は、LSM式車両の制御装置のシミュレーションシステムを表す概略ブロック図である。このシミュレーションシステムは、速度制御部3、変換器模擬部5、車両模擬部10、位置検知模擬部6、位相同期制御部7から構成されている。

【0022】速度制御部3は、所定時間の周期で速度指令値  $V^*$  に対する追従制御を行うため、速度指令値  $V^*$  と実速度  $V$  との偏差即ち速度偏差  $V_e$  を比例・積分演算することにより電流演算値  $I$  を求め、これを電流指令値  $I^*$  として出力する。具体的には、加減算器31にて速度指令値  $V^*$  と実速度  $V$  との速度偏差  $V_e$  を求め、この速度偏差  $V_e$  を比例器32、積分器33にて比例・積分演算して両者を加減算器34にて加算し、更に実速度  $V$  を比例器35にて比例演算した分を加減算器34にて減算することにより電流演算値  $I$  を求める。そして、この電流演算値  $I$  を電流リミッタ38に通すことにより、電流演算値  $I$  が電流リミッタ38の許容範囲内であれば電流演算値  $I$  をそのまま電流指令値  $I^*$  として出力し、電流演算値  $I$  が電流リミッタ38の許容範囲外であれば所定のリミッタ値  $I_{Lm}$  を電流指令値  $I^*$  として出力する。なお、リミッタ値  $I_{Lm}$  には正のリミッタ値と負のリミッタ値の二つがあり、電流演算値  $I$  がリミッタ値  $I_{Lm}$  を越えるとは、電流演算値  $I$  が正のリミッタ値を上回るか、負のリミッタ値を下回ることをいう。

【0023】変換器模擬部5は、速度制御部3から出力された電流指令値  $I^*$  に電流推力変換係数  $K_f$  を乗じて推力  $F$  を出力する。車両模擬部10は、変換器模擬部5から出力された推力  $F$  から走行抵抗（つまり走行抵抗係数  $K_d$  に速度  $V$  を乗じた値  $K_d \cdot V$ ）を減じ、これを車両重量  $M$  で除して加速度  $a$  を求め、この加速度  $a$  を積分

$$I_n = K_0 \cdot \Delta V_n + K_2 \cdot Y_n - K_1 \cdot V_n \quad \dots \quad (1)$$

但し、 $n$ ：サンプル番号、 $I$ ：電流演算値、 $\Delta V$ ：速度偏差、  
 $Y$ ：積分値、 $V$ ：実速度、 $K_0$ ：速度偏差の比例ゲイン、  
 $K_1$ ：実速度の比例ゲイン、 $K_2$ ：積分ゲイン

【0029】続く  $S105$  では、電流演算値  $I_n$  が許容範囲内か否かを判定し、電流演算値  $I_n$  が許容範囲内な

して速度  $V$  を求め、この速度  $V$  を積分して変位  $X$  を求めて出力する。

【0024】位置検知模擬部6は、車両模擬部10から出力された変位  $X$  を、位相基準と移動距離との関係（ここでは位相基準  $360$  度は移動距離  $2.7$  mに当たるという関係）に基づいて位相  $\theta$  に変換し、これを出力する。位相同期制御部7は、所定時間の周期で位置検知模擬部6から出力された位相  $\theta$  を車両の実位置として取り込み、入力位相と位相基準との位相偏差から補償演算を行い、実速度  $V$  を演算してこれを出力する。この位相同期制御部7は、二次のPI制御系であり、一定加減速度時に位相の定常偏差をゼロとする制御系となっている。この位相同期制御部7で演算された実速度  $V$  が、速度制御部3で速度偏差を演算するために利用される。

【0025】次に、本実施形態の速度制御部3について詳細に説明する。速度制御部3は、CPU、ROM、RAM等からなるマイクロコンピュータとして構成されており、その機能は既に述べたとおりであるが、具体的な動作については図2の電流指令値出力処理のフローチャートに基づいて説明する。この電流指令値出力処理のプログラムは速度制御部3のROMに記憶されており、所定サンプリング時間  $T$  おきに速度制御部3のCPUがROMから読み出して実行するものである。

【0026】速度制御部3は、この処理が開始されると、今回が初回か否かを判断し ( $S100$ )、今回が初回ならばサンプリング番号  $n$  に「1」をセットすると共にフラグ  $f$  をリセットし ( $S101$ )、 $S103$  へ進む。このフラグ  $f$  は後述するリセットウィンドアップ対策処理 ( $RW$  処理という) の実行中に「1」にセットされるフラグである。一方、 $S100$  において今回が初回でなければサンプリング番号  $n$  をインクリメントし ( $S102$ )、 $S103$  へ進む。

【0027】 $S103$  では、後述の積分値設定ルーチンを行う。この積分値設定ルーチンにより積分値  $Y_n$  を決定する。続く  $S104$  では、速度指令値  $V_n^*$  と実速度  $V_n$  から速度偏差  $V_{en}$  を求め、下記式 (1) により電流演算値  $I_n$  を算出する。なお、本実施形態では、 $K_1 \cdot V_n$  ( $K_1 = 0$ ) の項が存在するとオーバーシュートの速度偏差を小さく抑えられる反面、速応性が悪くなることから、 $K_1$  はゼロとしている。

【0028】

【数4】

$$I_n = K_0 \cdot \Delta V_n + K_2 \cdot Y_n - K_1 \cdot V_n \quad \dots \quad (1)$$

但し、 $n$ ：サンプル番号、 $I$ ：電流演算値、 $\Delta V$ ：速度偏差、  
 $Y$ ：積分値、 $V$ ：実速度、 $K_0$ ：速度偏差の比例ゲイン、  
 $K_1$ ：実速度の比例ゲイン、 $K_2$ ：積分ゲイン

【0029】続く  $S105$  では、電流演算値  $I_n$  が許容範囲内か否かを判定し、電流演算値  $I_n$  が許容範囲内な

らば ( $S105$  で  $YES$ )、電流演算値  $I_n$  をそのまま電流指令値  $I_n^*$  として出力し ( $S106$ )、この電流指

令値出力処理を終了する。一方、電流演算値  $I_n$  が許容範囲を越えているならば (S105でNO)、即ち電流演算値  $I_n$  が正のリミッタ値を上回るか又は負のリミッタ値を下回るならば、電流リミッタ値  $I_{Ln}$  を電流指令値  $I_n^*$  として出力し (S107)、この電流指令値出力処理を終了する。即ち、S107では、電流演算値  $I_n$  が正のリミッタ値を上回る場合にはその正のリミッタ値を電流指令値  $I_n^*$  とし、電流演算値  $I_n$  が負のリミッタ値を下回る場合にはその負のリミッタ値を電流指令値  $I_n^*$  として出力し、この電流指令値出力処理を終了する。

【0030】次に、積分値設定ルーチンについて図3のフローチャートに基づいて説明する。まず、S200では、前回の電流演算値  $I_{n-1}$  が許容範囲内だったか否かを判断し、前回の電流演算値  $I_{n-1}$  が許容範囲内だったならば (S200でYES)、S201においてフラグ  $f$  が「0」か「1」かを判断し、フラグ  $f$  が「0」ならば、通常走行であるので、S204に進んで積分値  $Y_n$  を式(2)により算出し、このルーチンを抜ける。

【0031】

【数5】

$$Y_n = \Delta V_n \cdot T_s + Y_{n-1} \quad \dots (2)$$

【0032】一方、S201においてフラグ  $f$  が「1」ならば、RW処理を実行中であるので、S202に進んで速度偏差  $V_n$  が実質ゼロであるか否かを判断し、速度偏差  $V_n$  が実質ゼロであれば (S202でYES)、RW処理の終点であるため、S203においてフラグ  $f$  を「0」にリセットしたあと、S204に進んで積分値  $Y_n$  を前出の式(2)により算出し、このルーチンを抜ける。S202において速度偏差  $V_n$  が実質ゼロでなければ (S202でNO)、RW処理の終点に達

$$Y_k = (I_k - K0 \cdot \Delta V_k + K1 \cdot V_k) / K2 \quad \dots (4)$$

但し、 $k$  : 電流演算値が許容範囲外になる直前のサンプル番号

【0036】但し、 $k$  : 電流演算値が許容範囲外になる直前のサンプル番号

一方、S210において速度偏差  $V_n$  がゼロから離れたつある (S210でNO) か、あるいは、S211において今回の速度偏差  $V_n$  が所定範囲を超えている (S211でNO) ならば、RW処理を実行するとオーバーシュートやアンダーシュートは防止できるものの速

【0038】ところで、電流演算値が許容範囲外になっている全域にわたってRW処理を行う、つまりS200で否定判定されたときに直ちにS212、S213の処理を行うことも考えられる。しかし、この場合には、オーバーシュートやアンダーシュートによる制御特性の悪化は改善されるものの、実速度の目標速度パターン (速度指令値) への収束度が悪化し、制御系全体の速応性が悪くなるという問題が発生する。このような速応性悪化

していないため、RW処理を続行すべく、後述のS213に進む。

【0033】さて、S200において前回の電流演算値  $I_{n-1}$  が許容範囲外だったならば (S200でNO)、積分器33への蓄積量が貯まり続けるのを防止するためにS210以降の処理を実行する。まずS210では、速度偏差  $V_n$  がゼロに近づきつつあるか否か、つまり実速度  $V$  が速度指令値  $V^*$  に近づきつつあるか否か、具体的には偏差  $V_n$  が正のときには今回の速度偏差  $V_n$  が前回の速度偏差  $V_{n-1}$  より小さいか否か、また、速度偏差  $V_n$  が負のときには今回の速度偏差  $V_n$  が前回の速度偏差  $V_{n-1}$  より大きいか否かを判断する。

【0034】そして、速度偏差  $V_n$  がゼロに近づきつつあるならば (S210でYES)、今回の速度偏差  $V_n$  が所定範囲内になったか否か、つまり速度偏差  $V_n$  が正のときには今回の速度偏差  $V_n$  が所定偏差  $V0$  ( $>0$ ) より小さくなったか否か、また、速度偏差  $V_n$  が負の時には今回の速度偏差  $V_n$  が所定偏差  $Vb$  ( $<0$ ) より大きくなったか否かを判断する (S211)。

そして、今回の速度偏差  $V_n$  が所定範囲内になったならば (S211でYES)、S212に進んでRW処理の実行中を表すためにフラグ  $f$  に「1」をセットし、続くS213において、積分値  $Y_n$  として所定の積分値  $Y_k$  をセットし、このルーチンを抜ける。ここで、所定の積分値  $Y_k$  は、電流演算値が許容範囲外になる直前の積分値 (直前積分値) であり、式(4)で表される。なお、このS213の処理がRW処理である。

【0035】

【数6】

てRW処理のときは異なる所定の積分値  $Y'_k$  をセットし、このルーチンを抜ける。ここで、所定の積分値  $Y'_k$  は、電流指令値  $I_n$  の速応性を高める比例演算系  $K0 \cdot V_n$  の応答が現れるように、式(4)における速度偏差の比例項である  $-K0 \cdot V_k$  を削除したものであり、式(3)で表される。

【0037】

【数7】

の原因として、S213を行う式(4)において、 $K0 \cdot V_k$  の項が引かれているために、式(1)における電流指令値  $I^*$  に比例演算系  $K0 \cdot V_n$  の応答が現れにくく、電流指令値  $I^*$  が許容範囲外になった後の変化が緩やかになったことが考えられる。

【0039】そこで、電流指令値  $I^*$  としてリミッタ値  $I_{Ln}$  が出力されている期間の全域にわたってRW処理を行うのではなく、オーバーシュートやアンダーシュート

を防止可能な最小限の速度偏差の範囲でのみRW処理を行い、それ以外の範囲では、速応性を悪化させない式(3)を適用し、速応性悪化の影響を最小限に限定したのである。なお、式(3)の代わりに通常走行時の式(2)を適用するとすれば、積分器33への蓄積量が貯まり続けることになるため好ましくない。

【0040】以上のことから、本実施形態では、オーバーシュートやアンダーシュートを防止可能な最小限の速度偏差  $V_0$ 、 $V_b$  を求めて、速度偏差  $V$  が所定範囲内つまり  $V_b$  以上  $V_0$  以下の範囲になったときに初めてRW処理を実行するようにし、このRW処理を速度偏差が実質ゼロになるまで実行し続けているのである。

【0041】さて、RW処理を開始する限界タイミング(速度偏差  $V_0$ 、 $V_b$ )は、実加減速度変化点  $t_1$  つまり速度指令値  $V^*$  と実速度  $V$  との一致点の直前に、電流指令値  $I^*$  の絞り込みが終了するように選択すればよい。ここで、電流指令値  $I^*$  の絞り込みが終了すると、電流指令値  $I^*$  がリミッタ値  $I_{Lm}$  から所定の電流変化率で絞り込まれて所定電流値に至ることを意味する。限界タイミングより前でRW処理を開始すると、オーバーシュートやアンダーシュートは発生しないが速応性が悪化するため好ましくなく、限界タイミングより後でRW処理を開始するとオーバーシュートやアンダーシュートが発生するため好ましくない。

【0042】ここで、所定の速度偏差  $V_0$  について図4に基づいて説明する。電流指令値  $I^*$  の絞り込みが終了するのに要する時間  $t_2$  (電流絞り込み時間という)は、リミッタ値  $I_{Lm}$  と所定電流値  $I_p$  との差  $I_m$  を電流変化率(定数)で除した値である。つまり、 $t_2 = I_m /$  となる。したがって、実加減速度変化点  $t_1$  から時間  $t_2$  だけ遡った時点  $t_0 (= t_1 - t_2)$  が限界タイミングである。この限界タイミング時の速度偏差  $V_0$  は、加速度(電流指令値  $I^*$  が正のリミッタ値のときの加速度であり、最大実加速度)に時間  $t_2$  を乗じた値となる。つまり、 $V_0 =$   $\cdot t_2$  となる。速度偏差  $V$  がこの  $V_0$  以下になったときにRW処理を開始すれば、リセットウィンドアップによるオーバーシュートを防止でき、しかも速応性を損なうこともないという効果が得られる。なお、リセットウィンドアップによるアンダーシュートを防止する場合には、上述の所定偏差  $V_0$  と同様にして所定偏差  $V_b (< 0)$  を求めればよい。

【0043】次に、上述の電流指令値出力処理について具体的な一例を図5のタイムチャートを用いて説明する。まず、時間領域Aについて説明する。この時間領域Aは、電流演算値  $I_n$  が許容範囲内であり、その電流演算値  $I_n$  をそのまま電流指令値  $I_n^*$  として出力する領域である。この領域では、積分値設定ルーチンにおいて、S200でYES S201で  $f = 0$  S204と進

み、このS204で積分値  $Y_n$  を得る。そして、電流指令値出力処理において、S104でこの積分値  $Y_n$  を用いて電流演算値  $I_n$  を演算し、S105でYES S106と進み、このS106で電流指令値  $I_n^*$  として電流演算値  $I_n$  をそのまま出力する。この時間領域Aでは良好な追従制御が行われる。

【0044】続いて、時間領域Bについて説明する。この時間領域Bは、電流演算値  $I_n$  が許容範囲外であり、速度偏差  $V$  は徐々に増加しており、電流指令値  $I_n^*$  としてリミッタ値  $I_{Lm}$  (正のリミッタ値)を出力する領域である。この領域では、積分値設定ルーチンにおいて、S200でNO S210でNO S214と進み、このS214で積分値  $Y_n (= Y_k')$  を得る。そして、電流指令値出力処理において、S104でこの積分値  $Y_n (= Y_k')$  を用いて電流演算値  $I_n$  を演算し、S105でNO S107と進み、このS107で電流指令値  $I_n^*$  として正のリミッタ値を出力する。なお、時間領域AからBへ変移するときのサンプル番号  $k$  の積分値  $Y_k$  およびこの積分値  $Y_k$  から速度偏差の比例項を削除した積分値  $Y_k'$  が速度制御部3のRAMに記憶される。

【0045】続いて、時間領域Cについて説明する。この時間領域Cは、電流演算値  $I_n$  が許容範囲外であり、速度偏差  $V$  は徐々にゼロに近づいているが  $V_0$  より大であり、電流指令値  $I_n^*$  としてリミッタ値  $I_{Lm}$  (正のリミッタ値)を出力する領域である。この領域では、積分値設定ルーチンにおいて、S200でNO S210でYES S211でNO S214と進み、このS214で積分値  $Y_n (= Y_k')$  を得る。そして、電流指令値出力処理において、S104でこの積分値  $Y_n (= Y_k')$  を用いて電流演算値  $I_n$  を演算し、S105でNO S107と進み、このS107で電流指令値  $I_n^*$  として正のリミッタ値を出力する。つまり、時間領域B及びCでは代替処理が実行される。

【0046】続いて、時間領域Dについて説明する。この時間領域Dは、電流演算値  $I_n$  が許容範囲内であり、速度偏差  $V$  は徐々にゼロに近づいており、且つ、 $V_0$  以下であり、電流指令値  $I_n^*$  として電流演算値  $I_n$  をそのまま出力する領域である。この領域に入った直後では、積分値設定ルーチンにおいて、S200でNO S210でYES S211でYES S212 S213と進み、このS213で積分値  $Y_n (= Y_k)$  を得る。そして、電流指令値出力処理において、S104でこの積分値  $Y_n (= Y_k')$  を用いて電流演算値  $I_n$  を演算し、S105でYES S106と進み、このS106で電流指令値  $I_n^*$  として電流演算値  $I_n$  をそのまま出力する。そして、次回以降では、積分値設定ルーチンにおいて、S200でYES S201で  $f = 1$  S202でNO S213と進み、その後は先ほどと同様の処理を行い、電流指令値  $I_n^*$  として電流演算値  $I_n$  をそのまま出力する。そして、最終的に速度偏差  $V_n$  が実質ゼ

口になったとき、積分値設定ルーチンにおいて、S 2 0 0 で YES S 2 0 1 で  $f = 1$  S 2 0 2 で YES S 2 0 3 S 2 0 4 と進み、この S 2 0 4 で積分値  $Y_n$  を得、電流指令値出力処理の S 1 0 4 でこの積分値  $Y_n$  を用いて電流演算値  $I_n$  を演算し、S 1 0 5 で YES S 1 0 6 と進み、この S 1 0 6 で電流指令値  $I_n^*$  として電流演算値  $I_n$  をそのまま出力する。これが RW 処理の終点である。つまり、時間領域 D では RW 処理が実行される。

【0047】この図5のタイムチャートと図8(a)のタイムチャートを比較すると、実速度と速度指令値とが一致した時点を見たとき、前者では電流の絞り込みが終了しているのに対して、後者では電流の絞り込みがはじまっている。換言すれば、電流指令値がリミッタ値(正のリミッタ値)から解除されるタイミングは、後者よりも前者の方が早められている。この結果、前者では実速度と速度指令値とが一致した後は過剰な電流が流れることはないため、リセットウィンドアップによるオーバーシュートが防止されるが、後者では実速度と速度指令値とが一致した後に過剰な電流が流れるため、リセットウィンドアップによるオーバーシュートが発生する。

【0048】ここで、本実施形態の構成要素と本発明の構成要素の対応関係を明らかにする。本実施形態の変換器模擬部5が本発明の電力変換器、推進コイル、界磁コイルに相当し、本実施形態の速度制御部3が本発明の速度制御器に相当する。また図1の速度制御部3における比例器32、35、積分器33、加減算器31、34が本発明の電流演算手段に相当し、電流リミッタ38が本発明の電流演算値判定手段及び電流指令値出力手段に相当する。更に、図2のS100~S104が電流演算手段の処理に相当し、S105が電流演算値判定手段の処理に相当し、S106及びS107が電流指令値出力手

段の処理に相当する。

【0049】尚、本発明の実施の形態は、上記実施形態に何ら限定されるものではなく、本発明の技術的範囲に属する限り種々の形態を採り得ることはいうまでもない。例えば、上記実施形態では LSM 式車両の制御装置のシミュレーションシステムについて説明したが、速度制御部3を図6の速度制御部103の代わりに適用してもよい。

【図面の簡単な説明】

10 【図1】 LSM 式車両の制御装置のシミュレーションシステムを表す概略ブロック図である。

【図2】 電流指令値出力処理のフローチャートである。

【図3】 積分値設定ルーチンのフローチャートである。

【図4】 所定偏差  $V_0$  の求め方を表す説明図である。

【図5】 本実施形態の一具体例を表すタイムチャートである。

20 【図6】 LSM 式車両の制御装置の概略ブロック図である。

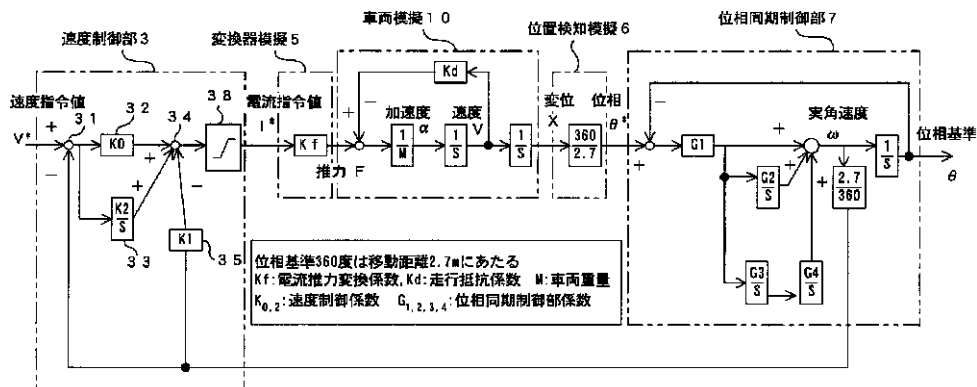
【図7】 速度制御部の機能を表す概略ブロック図である。

【図8】 オーバーシュート及びアンダーシュートの説明図であり、(a)はオーバーシュート、(b)はアンダーシュートの説明図である。

【符号の説明】

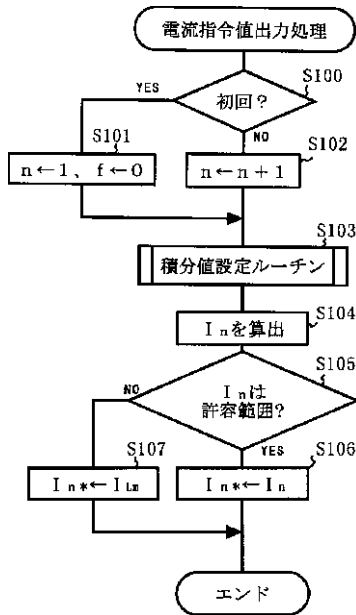
3・・・速度制御部、5・・・変換器模擬部、6・・・位置検知模擬部、7・・・位相同期制御部、10・・・車両模擬部、31・・・加減算器、32・・・比例器、33・・・積分器、34・・・加減算器、35・・・比例器、38・・・電流リミッタ。

【図1】

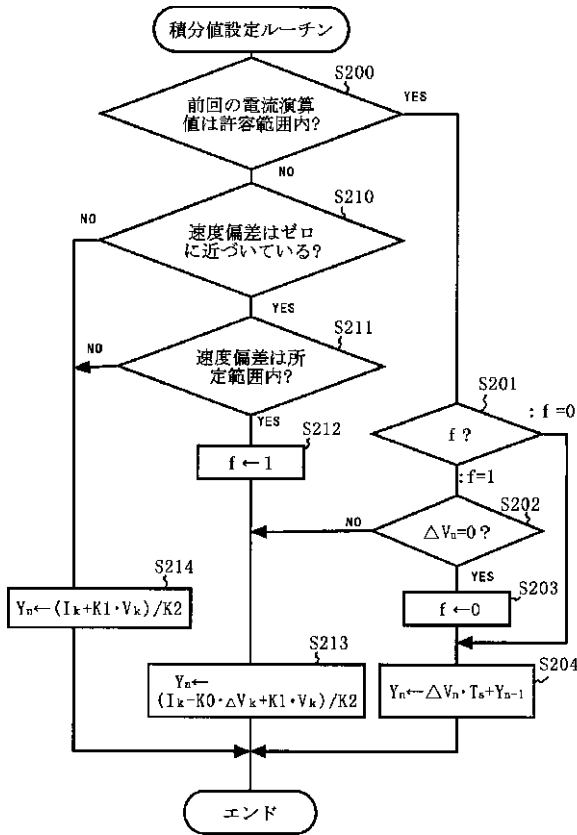




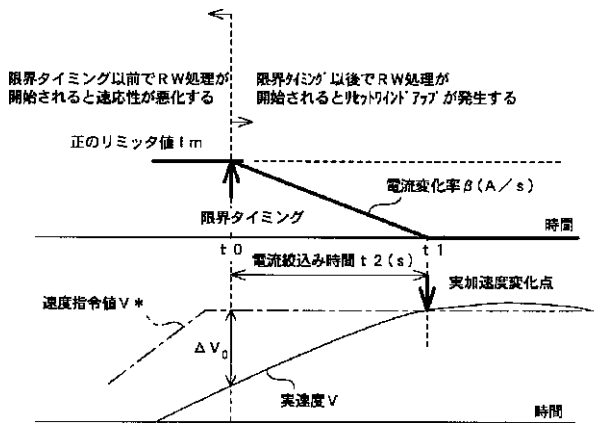
【図 2】



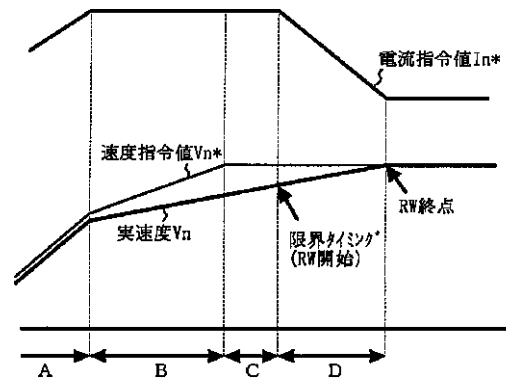
【図 3】



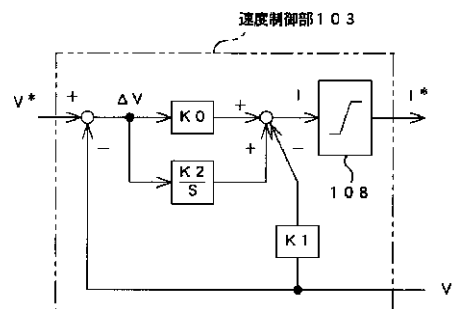
【図 4】



【図 5】

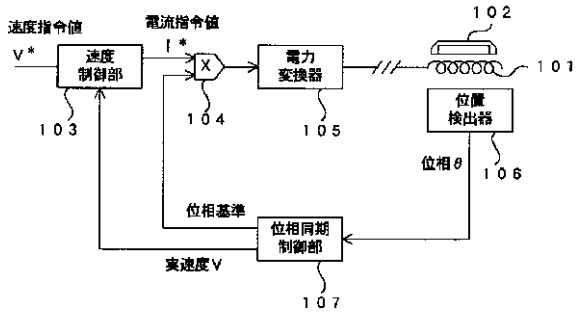


【図 7】



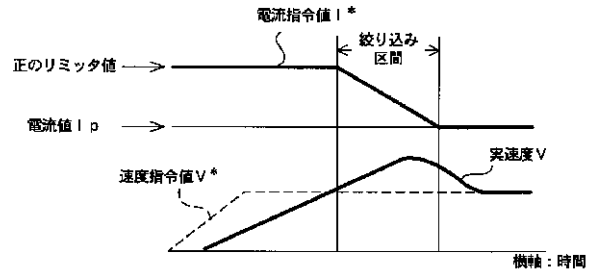
【 図 6 】

< L S M 式車両の制御装置 >

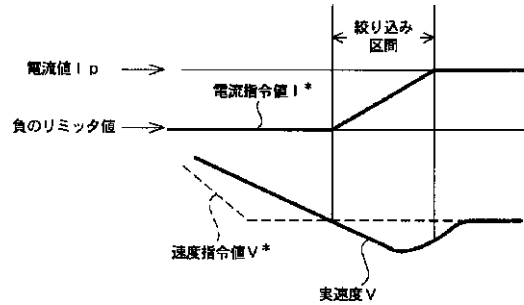


【 図 8 】

( a ) オーバーシュート



( b ) アンダーシュート



フロントページの続き

(72)発明者 北野 淳一  
 愛知県名古屋市中村区名駅一丁目1番4号  
 東海旅客鉄道株式会社内

Fターム(参考) 5H113 CC04 CC08 CD02 CD12 DB03  
 DB14 GG03 GG08 GG12 HH02  
 HH04 HH06 HH07 HH08 HH11  
 HH13 HH14 HH18  
 5H540 AA03 BA03 BB09 EE02 EE05  
 EE06 EE07 EE08 EE11 EE14  
 EE15 EE19 FA11 FB04 FC02