

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第5484215号
(P5484215)

(45) 発行日 平成26年5月7日(2014.5.7)

(24) 登録日 平成26年2月28日(2014.2.28)

(51) Int.Cl.		F I	
B60L 15/20	(2006.01)	B60L 15/20	Y
B60L 9/16	(2006.01)	B60L 9/16	B
B60L 15/42	(2006.01)	B60L 15/42	

請求項の数 3 (全 30 頁)

(21) 出願番号	特願2010-144870 (P2010-144870)	(73) 特許権者	304021288 国立大学法人長岡技術科学大学 新潟県長岡市上富岡町1603-1
(22) 出願日	平成22年6月25日(2010.6.25)	(73) 特許権者	000003115 東洋電機製造株式会社 東京都中央区八重洲一丁目4番16号
(65) 公開番号	特開2012-10505 (P2012-10505A)	(74) 代理人	100100930 弁理士 長澤 俊一郎
(43) 公開日	平成24年1月12日(2012.1.12)	(72) 発明者	大石 潔 新潟県長岡市上富岡町1603-1 国立 大学法人長岡技術科学大学内
審査請求日	平成25年5月14日(2013.5.14)	(72) 発明者	今井 一富 新潟県長岡市上富岡町1603-1 国立 大学法人長岡技術科学大学内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 列車モニタ・データ伝送システムを有する列車制御装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

電車列車の先頭に位置する電動車または先頭車両に最も近い電動車の電気車制御装置 B 1 と、該電動車より進行方向後方に位置する電動車の電気車制御装置 A j (j = 2 ~ n) と、各電動車の各電気車制御装置 B 1 , A j 間でデータを伝送する機能を有する列車モニタ・データ伝送システムとを有する、複数の電動車と付随車で構成される電車列車の列車制御装置であって、

上記電気車制御装置 B 1 は、予め設定された先頭車両の粘着係数に対する進行方向後方に位置する電動車の先頭車両からの位置に対する粘着係数の増加量データ $\Delta \mu_j$ (j = 2 ~ n) と、各電気車制御装置 B 1 , A j が搭載されている電動車の空車質量データ W_{0j} (j = 1 ~ n 、但し j = 1 のときは電気車制御装置 B 1 のデータを意味する、以下同じ) と、電車列車の計画加速性能から算定された期待粘着係数 μ_{z_exp} とを保持した記憶手段と、

上記電気車制御装置 B 1 における空転を検知する空転検知手段と、

上記空転検知手段による空転検知結果に基づき、各電気車制御装置 B 1 , A j の空車時のトルク指令値上限値 $T_{aujmaxz_a}$ (j = 1 ~ n) を求めるトルク指令値上限値演算手段と、

上記演算結果である空車時のトルク指令値上限値 $T_{aujmaxz_a}$ を上記列車モニタ・データ伝送システムを介して、各電気車制御装置 A j に伝送する手段と、

電気車制御装置 B 1 の上記空車時のトルク指令値上限値 $T_{au1maxz_a}$ と、自車

の空車質量データ $W01$ と応荷重信号 $dW1$ から自車のトルク指令値上限値 $Tau1max_act$ を演算し、該 $Tau1max_act$ を目標値として主電動機のトルク制御を行なう手段を備え、

上記各電気車制御装置 Aj は、自車に伝送された上記空車時のトルク指令値上限値 $Taujmaxz_a$ と、自車の空車質量データ $W0j$ と応荷重信号 dWj から自車のトルク指令値上限値 $Taujmax_act$ を演算する手段と、該 $Taujmax_act$ を目標値として主電動機のトルク制御を行なう手段を備え、

上記電気車制御装置 $B1$ に設けられたトルク指令値上限値演算手段は、

上記空転検知手段により空転が検知されないとき、前記期待粘着係数 Muz_expect を、電気車制御装置 $B1$ 、 Aj の接線力係数上限値最終値 $Mujmax_a$ ($j = 1 \sim n$) に設定し、

上記接線力係数上限値最終値 $Mujmax_a$ に対応した空車時のトルク指令値上限値 $Taujmaxz_a$ を求め、

上記空転検知手段により空転が検知されたとき、

空転検知結果に基づき、電気車制御装置 $B1$ の推定接線力係数 $Muj(B1)$ を求め、該推定接線力係数 $Muj(B1)$ から電気車制御装置 $B1$ の接線力係数上限値 $Mu1max$ を求めるとともに、該推定接線力係数 Muj と、前記記憶手段に記憶された各電気車制御装置 Aj の粘着係数増加量データ $DeltaMuj$ により各電気車制御装置 Aj の接線力係数上限値 $Mujmax$ ($j = 2 \sim n$) を求めて、当該電車列車の平均接線力係数上限値 $Mumax_avr$ を演算し、

上記平均接線力係数上限値 $Mumax_avr$ が、前記期待粘着係数 Muz_expect 以下のとき、上記接線力係数上限値 $Mujmax$ ($j = 1 \sim n$) を接線力係数上限値最終値 $Mujmax_a$ ($j = 1 \sim n$) に設定し、

上記接線力係数上限値最終値 $Mujmax_a$ に対応した空車時のトルク指令値上限値 $Taujmaxz_a$ を求め、

上記平均接線力係数上限値 $Mumax_avr$ が、前記期待粘着係数 Muz_expect より大きいとき、

電気車制御装置 $B1$ から走行方向後方の電気車制御装置 Aj の前記接線力係数上限値 $Mujmax$ が前記期待粘着係数 Muz_expect 以上となる直前の電気車制御装置 Aj_expect までの前記期待粘着係数 Muz_expect と電気車制御装置 Aj の前記接線力係数上限値 $Mujmax$ の差分の総和 Sum_Muj_small を演算し、

前記電気車制御装置 Aj_expect より走行方向後方の電気車制御装置 $Aj_expect + 1$ から最後の電気車制御装置 An までの電気車制御装置 Ak の接線力係数上限値 $Mukmax$ と前記期待粘着係数 Muz_expect との差分を順次加算して、各電気車制御装置 Ak について Sum_Muj_large を求め、

上記差分を加算した量 Sum_Muj_large が、前記期待粘着係数 Muz_expect と前記接線力係数上限値 $Mujmax$ の差分の総和 Sum_Muj_small 以上となる最初の電気車制御装置 Ak_max の前記接線力係数上限値 $Mujmax$ を接線力係数最大値 Mu_tr_max として設定し、

電気車制御装置 B 、 Aj の前記接線力係数上限値 $Mujmax$ が前記接線力係数最大値 Mu_tr_max より小さい場合には当該電気車制御装置 $B1$ 、 Aj の前記接線力係数上限値 $Mujmax$ を接線力係数上限値の最終値 $Mujmax_a$ として設定し、また、前記接線力係数上限値 $Mujmax$ が前記接線力係数最大値 Mu_tr_max より大きい場合には前記接線力係数最大値 Mu_tr_max を当該電気車制御装置 Aj の接線力係数上限値の最終値 $Mujmax_a$ として設定して、

上記接線力係数上限値最終値 $Mujmax_a$ に対応した空車時のトルク指令値上限値 $Taujmaxz_a$ を演算する

ことを特徴とする列車モニタ・データ伝送システムを有する列車制御装置。

【請求項 2】

各電気車制御装置 Aj に、空転検知手段と、空転検知結果に基づき当該電動車の推定接

10

20

30

40

50

線力係数 $M u_j_new$ を演算する推定接線力係数演算手段を設け、

また、電気車制御装置 B 1 に前記粘着係数の増加量データ $\Delta M u_j$ を修正する粘着係数増加量修正手段を設け、

電気車制御装置 A j で空転検知した場合、電気車制御装置 A j は、上記推定接線力係数演算手段で上記当該電動車の推定接線力係数 $M u_j_new$ を演算し、

前記列車モニタ・データ伝送システムを介して、前記電車列車の各走行方向の先頭に位置する電動車の電気車制御装置 B 1 に、前記推定接線力係数 $M u_j_new$ を伝送し、

前記電気車制御装置 B 1 は、前記粘着係数増加量修正手段により、伝送されてきた前記推定接線力係数 $M u_j_new$ を用いて前記電気車制御装置 B 1 において保持している前記粘着係数の増加量データ $\Delta M u_j$ を修正する

ことを特徴とする請求項 1 に記載の列車モニタ・データ伝送システムを有する列車制御装置。

10

【請求項 3】

前記各電動車は、電気車制御装置 B 1 , A j が制御する電動車で発生すべき空気ブレーキ力指令値 $F a i r_c_j$ ($j = 1 \sim n$) を発生するブレーキ受量器を備え、

電気車制御装置 B 1 は、ブレーキ中に滑走を検知したとき、上記ブレーキ受量器 B r 1 から空気ブレーキ力指令値 $F a i r_c_1$ を受信し、受信した前記空気ブレーキ力指令値 $F a i r_c_1$ と当該電気車制御装置 B 1 で制御し発生している電気ブレーキ力 $F e l e c_1$ とから当該電動車の推定接線力係数 $M u_j$ (B 1) を演算するブレーキ時接線力係数推定手段と、主電動機のブレーキトルク制御を行うブレーキトルク制御手段を備え、

20

上記各電気車制御装置 A j は、主電動機のブレーキトルク制御を行うブレーキトルク制御手段を備え、

前記トルク指令値上限値演算手段は、ブレーキ時、空気ブレーキ力と電気ブレーキ力の合計値として上記ブレーキ時接線力係数推定手段により推定された推定接線力係数 $M u_j$ (B 1) に基づき、空車時のトルク指令値上限値 $T a u_j m a x z_a$ ($j = 1 \sim n$) を求め、

電気車制御装置 B 1 のブレーキトルク制御手段は、上記空車時のトルク指令値上限値 $T a u_1 m a x z_a$ と、自車の空車質量データ $W 0_1$ と応荷重信号 $d W_1$ から自車のトルク指令値上限値 $T a u_1 m a x_a c t$ を演算し、上記トルク指令値上限値 $T a u_1 m a x_a c t$ から自車空気ブレーキ力指令値 $F a i r_c_1$ を減算し、この減算結果を目標値として主電動機ブレーキトルク制御を行い、

30

上記各電気車制御装置 A j のブレーキトルク制御手段は、ブレーキ時に自車に伝送された上記空車時のトルク指令値上限値 $T a u_j m a x z_a$ と、自車の空車質量データ $W 0_j$ と応荷重信号 $d w_j$ から自車のトルク指令値上限値 $T a u_j m a x_a c t$ を演算し、トルク指令値上限値 $T a u_j m a x_a c t$ から自車空気ブレーキ力指令値 $F a i r_c_j$ を減算し、この減算結果を目標値として主電動機ブレーキトルク制御を行う

ことを特徴とする請求項 1 または請求項 2 に記載の列車モニタ・データ伝送システムを有する列車制御装置。

40

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、電気車の良好な乗り心地を維持しつつ編成列車全体として粘着力の有効利用を図った再粘着制御を実現するための、列車モニタ・データ伝送システムを有する列車制御装置に関する。

【背景技術】

【0002】

電気車、例えば電車は、車輪・レール間の接線力（粘着力ともいう）によって加減速を

50

行っているが、この接線力は、一般にすべり速度に対して図17に示すような特性を有している。図17はすべり速度に対する接線力（接線力係数）を示したものであり、横軸はすべり速度、縦軸は接線力（接線力係数）であり、実線はレール面湿潤時、破線はレール面乾燥時を示している。なお、接線力を軸重（車軸1軸当たりのレールに加わる垂直荷重）で割ったものを接線力係数、接線力係数の最大値を粘着係数という。

図示の如く、接線力の最大値を超えないトルクを主電動機で発生している場合は、空転・滑走は発生せず、接線力の最大値より左側の微小なすべり速度の粘着領域で電気車は走行する。もし最大値より大きなトルクを発生するとすべり速度は増大し、接線力が低下するので、ますます、すべり速度が増大する空転・滑走状態になるが、車輪およびレールが乾燥状態では主電動機で発生するトルクは接線力の最大値を超えないように車両の性能が設定されるので、空転・滑走は発生しない。

【0003】

しかし、実線で示すように、レール面が雨などによって湿潤状態にある場合は粘着係数が低下して、接線力の最大値が車両の設定性能に対応した主電動機の発生トルクより小さくなる。

この場合、すべり速度が増大して空転・滑走状態になり、そのまま放置するとこれに対応して接線力が低下し、車両の加速・減速に必要な加減速力がますます低下してしまうので、迅速に空転・滑走を検出し、主電動機が発生するトルクを低減して再粘着させることが必要になる。このようにトルクの制御を行って再粘着させる場合、小さなすべり速度に維持しつつ、主電動機の発生トルクが極力接線力の最大値近傍の値になるように制御すること、すなわち極力粘着力の有効利用を図ることが、電気車の加減速性能を高める上で必要である。

【0004】

このような再粘着制御の実現を目的とした方法として、主電動機の回転速度を主電動機に印加される電圧・電流から推定し、この推定速度情報と主電動機発生トルクの演算値を入力情報として、最小次元外乱オブザーバを用いて車輪・レール間の接線力に対応した主電動機トルクを制御周期毎に推定して、空転・滑走検知時の推定トルクを用いて主電動機の発生トルクを制御する方式が、提案されている（特許文献1、非特許文献1参照）。

この制御方式によって、良好な乗り心地を保ちつつ、主電動機の発生トルクを極力接線力の最大値近傍に、すなわち粘着限界値に近い値に維持することができつつある。

【0005】

しかしながら、上記の制御が実現しているのは個々の電動車などを独立に制御する場合についてである。

ところで、複数の電動車と付随車で構成された電車列車で、列車長が長い場合などにおいては、先頭車両や先頭車両に近い車両では空転・滑走が頻発する場合でも、後方の車両では殆ど空転・滑走が発生しない事象がしばしば経験される場所である。この事象は、進行方向前方に位置する車両の車輪でレール面上の水分を排除するなどの理由によって、後方の車両の粘着係数が高くなるためであると一般的に解釈されている。

【0006】

この場合について、現状では、前方の車両で空転・滑走を検知した場合に、この車両では前述のような粘着限界値に近いトルクを発生する再粘着制御が行われる場合があるが、粘着係数が高くなって空転・滑走の発生がない後方の車両では、車両の計画性能で設定されたトルクの上限值までのトルクを指令するとどまっている場合が多い。

実際には、後方の空転・滑走を検知していない車両では、車両の計画性能で設定されたトルクの上限值以上にトルクを発生させて、車両の計画性能に近い加減速性能を維持する余力がある場合が多い。すなわち編成列車全体として粘着力の利用率を向上させることのできる余地があるのに、一部の新幹線電車の例があるのみで、それがなされていない。これは、どれだけ後方の車両でトルクを発生させれば良いのか明確な指針が得られていないからである。

【0007】

10

20

30

40

50

このような編成全体として粘着力の有効利用を図るための試みとして、特許文献2に記載されている技術が知られている。

この例では、前方車両の空転・滑走を予め想定し、車両編成全体として一定のトルクが得られるように、想定した空転・滑走で低減される前方車両のトルクを後方の車両で分配するもので、トルクの配分を予め想定している。

これに対して、特許文献3に記載されているように、トルクの配分を予め想定するのではなく、状態に応じて柔軟にトルクを分配する試みもなされている。この例の場合、車上通信ネットワークを介して収集した各車両駆動装置の状態に応じて、それぞれの車両駆動装置のトルク指令値を決定する。

第一の車両駆動装置のトルク指令値を低減する場合に、当該低減されたトルク量が第一の車両駆動装置とは異なる第二の車両駆動装置に分配されるようにそれぞれの車両駆動装置のトルク指令値を決定するとともに、決定したトルク指令値を車上通信ネットワーク経由で車両駆動装置に伝達するとしている。

【0008】

特許文献2に記載されている技術の場合、予め想定した空転・滑走が発生した場合には編成車両全体として必要とするトルクが得られことがあるかもしれないが、画一的にトルク配分を決めても、殆どの場合編成列車全体として想定したとおりの性能が得られないといえる。

すなわち、粘着係数は列車速度、レール面に付着している水膜の厚さ（言い換えると、単位時間あたりの降雨量が多いか少ないかなど）、水膜の温度（言い換えると外気温が高い夏季か外気温が低い冬季なのか）などによって、さまざまに、あるいは時々刻々変化するもので、画一的なトルク配分制御では殆ど対応できない。

例えば、列車速度による粘着係数の変化を考慮の対象外としたとしても、粘着係数が高くなる夏季における空転・滑走を想定してトルク配分を設定した場合、夏季においては編成全体として計画性能を維持できることが比較的多いかもしれないが、このような設定では、外気温が低い冬季の粘着係数が非常に低下した場合については全く対応できなくなる。今度は、冬季の粘着係数が非常に低下した場合を想定してトルク配分を設定すると、夏季においては編成全体としてもっと加減速性能を高めることができるのに、それが実現できないことになる。

【0009】

また、特許文献3に記載されている技術では、予めトルク配分を設定するのではなく、編成内の各車両の空転・滑走の発生状況に応じて動的に各車両のトルク指令値を変化させ、ある程度制御時間が経過すると制御状態変化がなくなり、各車両のトルク指令値がほぼ適正な値に収斂し、天候や状況に応じた柔軟な制御が可能であるとしている。

しかしながら、この制御方式では、仮にある制御状態に収斂するとしても、収斂するまでの間各車両のトルク指令値が動的に変動するので、乗り心地が悪くなることが先ず考えられる。また、どのような再粘着制御方式が用いられるかによっても異なるが、ある制御状態に収斂しても、再粘着制御方式の性能が悪ければ、粘着力の利用率が悪い状態に収斂してしまう可能性が高く、結果として編成全体として粘着力の有効利用が図れないことになる。

【0010】

16両編成の新幹線電車のように、車両の計画トルク特性に対応した粘着係数すなわち期待粘着係数が低く設定されていて、列車長が長く後方の車両の粘着係数向上効果がより得られる車両の場合は、粘着限界に近いトルクを指令する制御が行われていなくても、編成全体として計画加減速性能が得られる可能性があるかもしれない。

しかし、加速・減速時間が新幹線よりも短く相対的に上記の動的にトルクが変動している時間の割合が大きくなる10両以下の列車長である場合が多い在来鉄道車両の場合は、ある制御状態に収斂するまでの期間において粘着力の有効利用が図れないと、加減速性能に大きく影響することになる。特に粘着係数が大きく低下する冬季においては、制御終了まで空転・滑走が編成内のどの車両でも発生していて、適正値に各車両のトルクが収斂す

10

20

30

40

50

ることがなくなることが容易に想定される

このように、編成列車の粘着条件は四季を通じて多様に変化するが、どのような粘着条件のときであろうとも、編成列車全体として、加減速制御開始時から常に粘着限界に近いトルクの発生によって加減速性能を極力高める、すなわち粘着力の有効利用が図られることが望まれるが、現状では前述のようにこのような要求に対して十分応えられているとは言えない。

【0011】

編成列車における先頭軸からの各車軸の軸位別粘着係数の測定例は、たとえば非特許文献2, 3, 4などに開示されている。例えば、非特許文献2には、在来線電車、新幹線電車における粘着係数の測定例が示されており、非特許文献3には、新幹線の営業電車における、滑走頻度データを、棒グラフで表したものが示されており、非特許文献4には、上記各車軸の軸位別粘着係数を用いた編成列車におけるシミュレーションについて記載されている。

10

【先行技術文献】

【特許文献】

【0012】

【特許文献1】特開平11-252716号公報

【特許文献2】特開平5-276606号公報

【特許文献3】特許第4225233号公報

【非特許文献】

20

【0013】

【非特許文献1】門脇悟志、畑正、廣瀬寛、大石潔、飯田哲史、高木正志、佐野孝、保川忍：「速度センサレスペクトル制御・外乱オブザーバによる空転再粘着制御の実車両への適用とその評価 - 205系5000番代電車における実例 -」、電気学会論文誌D、平成16年9月号、pp909-915

【非特許文献2】大山忠夫：「鉄道車両のブレーキ技術(2) ブレーキにおける粘着理論(その1)」、機械の研究、第48巻、10号(1996)

【非特許文献3】大山忠夫：「鉄道車両のブレーキ技術(3) ブレーキにおける粘着理論(その2)」、機械の研究、第48巻、11号(1996)

【非特許文献4】今井一富、大石潔、佐野孝、牧島信吾、保川忍：「電車編成における軸別粘着係数分布のモデル化と空転再粘着制御」、電気学会交通・フィジカルセンサ合同研究会、TER-09-1(PHS-09-1)、平成21年2月4日、pp1-6

30

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0014】

上述したように、編成列車の粘着条件は四季を通じて多様に変化するが、どのような粘着条件のときであろうとも、編成列車全体として、加減速制御開始時から常に粘着限界に近いトルクの発生によって加減速性能を極力高める、すなわち粘着力の有効利用が図られることが望まれる。

しかし、現状では前述のようにこのような要求に対して十分応えられているとは言えない。すなわち、予め想定した配分パターンによってトルク配分する方式の場合、想定した空転・滑走を上回る空転・滑走が発生したときは車両全体として必要とするトルクが得られず加減速性能の向上があまり期待できないことである。

40

【0015】

また、編成内の各車両の空転・滑走の発生状況に応じて動的に各車両のトルク指令値を変化させる方式の場合、ある制御状態に収束するとしても収束するまでの間各車両のトルク指令値が動的に変動するので、乗り心地が悪くなることが想定され、収束するまでの間および収束した制御状態が必ずしも粘着力の有効利用が図られた状態になることが保証されないことである。

本発明は上述した点に鑑み創案されたもので、その目的とするところは、常に編成全体

50

として粘着限界値に近いトルクを発生させて粘着力の有効利用を図ることができる列車モニタ・データ伝送システムを有する列車制御装置を提供することである。

【課題を解決するための手段】

【0016】

上述した課題を解決するため、本発明は、新幹線の営業電車列車におけるATCブレーキ作動時の各車両の各車軸位置における滑走頻度分布の冬季を含む長期間に亘るデータから、先頭車両を基準にした各車両・各軸位の粘着係数増分データを作成し、先頭電動車あるいは先頭車に最も近い電動車で空転・滑走を検知した場合にそのときの接線力係数を推定して、この推定接線力係数と各車両の粘着係数増分データから各車両の接線力係数の上限値を設定し、接線力係数の上限値に対応したトルク指令値上限値を演算して各車両に割り当て、編成全体で計画性能が確保できると推定された場合は、後方の車両のトルク指令値を増大させることで前方の車両のトルク低減分を補う。

10

また、冬季の粘着係数が大きく低下したときのように計画性能が確保できない場合は、各車両に割り当てられた粘着係数の推定値に対応したトルク指令値どおりのトルクを発生するようにして、常に編成全体として粘着限界値に近いトルクを発生させて粘着力の有効利用を図る。

【0017】

すなわち、本発明においては、次のようにして上記課題を解決する。

(1) 電車列車の先頭に位置する電動車または先頭車両に最も近い電動車の電気車制御装置B1と、該電動車より進行方向後方に位置する電動車の電気車制御装置A_j (j = 2 ~ n) と、各電動車の各電気車制御装置B1, A_j間でデータを伝送する機能を有する列車モニタ・データ伝送システムとを有する、複数の電動車と付随車で構成される電車列車の列車制御装置において、以下のようにして主電動機のトルク制御を行なう。

20

上記電気車制御装置B1は、予め設定された先頭車両の粘着係数に対する進行方向後方に位置する電動車の先頭車両からの位置に対する粘着係数の増加量データ $\Delta \mu_j$ (j = 2 ~ n) と、A_jが搭載されている電動車の空車質量データ W_{0j} と、電車列車の計画加速性能から算定された期待粘着係数 μ_{z_exp} とを保持した記憶手段と、上記電気車制御装置B1における空転を検知する空転検知手段と、上記空転検知手段による空転検知結果に基づき、各電気車制御装置B1, A_jの空車時のトルク指令値上限値 $T_{aujmaxz_a}$ (j = 1 ~ n) を求めるトルク指令値上限値演算手段と、上記演算結果である空車時のトルク指令値上限値 $T_{aujmaxz_a}$ を上記列車モニタ・データ伝送システムを介して、各電気車制御装置A_jに伝送する手段と、電気車制御装置B1の上記空車時のトルク指令値上限値 $T_{au1maxz_a}$ と、自車の空車質量データ W_{01} と応荷重信号 dW_1 から自車の実際に発生すべきトルク指令値上限値 T_{au1max_act} を演算し、該実際に発生すべきトルク指令値上限値 T_{au1max_act} を目標値として主電動機のトルク制御を行なう手段を備える。

30

上記各電気車制御装置A_jは、自車に伝送された上記空車時のトルク指令値上限値 $T_{aujmaxz_a}$ と、自車の空車質量データ W_{0j} と応荷重信号 dW_j から自車の実際に発生すべきトルク指令値上限値 T_{aujmax_act} を演算する手段と、該実際に発生すべき T_{aujmax_act} を目標値として主電動機のトルク制御を行なう手段を備える。

40

上記電気車制御装置B1に設けられたトルク指令値上限値演算手段は、上記空転検知手段により空転が検知されないとき、前記期待粘着係数 μ_{z_exp} を、電気車制御装置B1, A_jの接線力係数上限値最終値 μ_{jmax_a} (j = 1 ~ n) に設定し、上記接線力係数上限値最終値 μ_{jmax_a} に対応した空車時のトルク指令値上限値 $T_{aujmaxz_a}$ を求め、また、上記空転検知手段により空転が検知されたとき、空転検知結果に基づき、電気車制御装置B1の推定接線力係数 $\mu_j(B1)$ を求め、該推定接線力係数 $\mu_j(B1)$ から電気車制御装置B1の接線力係数上限値 μ_{1max} を求めるとともに、該推定接線力係数 $\mu_j(B1)$ と、前記記憶手段に記憶された各電気車制御装置A_jの粘着係数増加量データ $\Delta \mu_j$ により各電気車制御装置A_jの接線力

50

係数上限値 M_{ujmax} ($j = 2 \sim n$) を求めて、当該電車列車の平均接線力係数上限値 M_{umax_avr} を演算し、上記平均接線力係数上限値 M_{umax_avr} が、前記期待粘着係数 M_{uz_expt} 以下のとき、上記接線力係数上限値 M_{ujmax} ($j = 1 \sim n$) を接線力係数上限値最終値 M_{ujmax_a} ($j = 1 \sim n$) に設定し、上記接線力係数上限値最終値 M_{ujmax_a} に対応した空車時のトルク指令値上限値 $T_{aujmax_z_a}$ を求める。

上記平均接線力係数上限値 M_{umax_avr} が、前記期待粘着係数 M_{uz_expt} より大きいとき、電気車制御装置 B1 から走行方向後方の電気車制御装置 A_j の前記接線力係数上限値 M_{ujmax} が前記期待粘着係数 M_{uz_expt} 以上となる直前の電気車制御装置 A_{j_{expt}} までの前記期待粘着係数 M_{uz_expt} と電気車制御装置 A_j の前記接線力係数上限値 M_{ujmax} の差分の総和 $Sum_M_{uj_small}$ を演算する。

10

また、前記電気車制御装置 A_{j_{expt}} より走行方向後方の電気車制御装置 A_{j_{expt}+1} から最後の電気車制御装置 A_n までの電気車制御装置 A_k の接線力係数上限値 M_{ukmax} と前記期待粘着係数 M_{uz_expt} との差分を順次加算して、各電気車制御装置 A_k について $Sum_M_{uj_large}$ を求め、上記差分を加算した量 $Sum_M_{uj_large}$ が、前記期待粘着係数 M_{uz_expt} と前記接線力係数上限値 M_{ujmax} の差分の総和 $Sum_M_{uj_small}$ 以上となる最初の電気車制御装置 A_{k_{max}} の前記接線力係数上限値 M_{ujmax} を接線力係数最大値 $M_{u_tr_max}$ として設定し、電気車制御装置 B, A_j の前記接線力係数上限値 M_{ujmax} が前記接線力係数最大値 $M_{u_tr_max}$ より小さい場合には当該電気車制御装置 B1, A_j の前記接線力係数上限値 M_{ujmax} を接線力係数上限値最終値 M_{ujmax_a} として設定する。

20

また、前記接線力係数上限値 M_{ujmax} が前記接線力係数最大値 $M_{u_tr_max}$ より大きい場合には前記接線力係数最大値 $M_{u_tr_max}$ を当該電気車制御装置 A_j の接線力係数上限値最終値 M_{ujmax_a} として設定して、上記接線力係数上限値最終値 M_{ujmax_a} に対応した空車時のトルク指令値上限値 $T_{aujmax_z_a}$ を演算する。

【0018】

(2) 上記(1)の電気車制御装置および列車モニタ・データ伝送システムにおいて、各電気車制御装置 A_j に、空転検知手段と、空転検知結果に基づき当該電動車の推定接線力係数 M_{uj_new} を演算する推定接線力係数演算手段を設け、また、電気車制御装置 B1 に前記粘着係数の増加量データ $DeltaM_{uj}$ を修正する粘着係数増加量修正手段を設ける。

30

そして、電気車制御装置 A_j で空転検知した場合、電気車制御装置 A_j は、上記推定接線力係数演算手段で上記当該電動車の推定接線力係数 M_{uj_new} を演算し、前記列車モニタ・データ伝送システムを介して、前記電車列車の各走行方向の先頭に位置する電動車の電気車制御装置 B1 に、前記推定接線力係数 M_{uj_new} を伝送し、前記電気車制御装置 B1 は、前記粘着係数増加量修正手段により、伝送されてきた前記推定接線力係数 M_{uj_new} を用いて前記電気車制御装置 B1 において保持している前記粘着係数の増加量データ $DeltaM_{uj}$ を修正する。

40

【0019】

(3) 上記(1)または(2)の電気車制御装置および列車モニタ・データ伝送システムにおいて、前記各電動車は、電気車制御装置 B1, A_j が制御する電動車で発生すべき空気ブレーキ力指令値 $F_{air_c_j}$ ($j = 1 \sim n$) を発生するブレーキ受量器 B_{r_j} を備え、電気車制御装置 B1 は、ブレーキ中に滑走を検知したとき、上記ブレーキ受量器 B_{r_1} から空気ブレーキ力指令値 $F_{air_c_1}$ を受信し、受信した前記空気ブレーキ力指令値 $F_{air_c_1}$ と当該電気車制御装置 B1 で制御し発生している電気ブレーキ力 F_{elec_1} とから当該電動車の推定接線力係数 M_{uj} (B1) を演算するブレーキ時接線力係数推定手段と、主電動機のブレーキトルク制御を行うブレーキトルク制御手段を備え、上

50

記各電気車制御装置 A_j は、主電動機のブレーキトルク制御を行うブレーキトルク制御手段を備える。

前記トルク指令値上限値演算手段は、ブレーキ時、空気ブレーキ力と電気ブレーキ力の合計値として上記ブレーキ時接線力係数推定手段により推定された推定接線力係数 M_{uj} (B_1) に基づき、空車時のトルク指令値上限値 $T_{aujmaxz_a}$ ($j = 1 \sim n$) を求め、電気車制御装置 B_1 のブレーキトルク制御手段は、上記空車時のトルク指令値上限値 $T_{au1maxz_a}$ と、自車の空車質量データ W_01 と応荷重信号 dW_1 から自車の実際に発生すべきトルク指令値上限値 T_{au1max_act} を演算し、上記実際に発生すべきトルク指令値上限値 T_{au1max_act} から自車空気ブレーキ力指令値 F_{air_c1} を減算し、この減算結果を目標値として主電動機ブレーキトルク制御を行う。 10

また、上記各電気車制御装置 A_j のブレーキトルク制御手段は、ブレーキ時に自車に伝送された上記空車時のトルク指令値上限値 $T_{aujmaxz_a}$ と、自車の空車質量データ W_0j と応荷重信号 dW_j から自車の実際に発生すべきトルク指令値上限値 T_{au1max_act} を演算し、実際に発生すべきトルク指令値上限値 T_{aujmax_act} から自車空気ブレーキ力指令値 F_{air_cj} を減算し、この減算結果を目標値として主電動機ブレーキトルク制御を行う。

【発明の効果】

【0020】

本発明においては、以下の効果を得ることができる。

(1) 先頭電動車あるいは先頭車に最も近い電動車の電気車制御装置において、空転あるいは滑走を最初に検知した時点から、営業電車列車で長期間に亘って計測された各車軸別滑走頻度データを基に算出した先頭車から後方の車両における粘着係数の増大量データと、先頭電動車あるいは先頭車に最も近い電動車の接線力係数の推定結果を基に、編成列車内の各電動車で発生すべきトルク指令値を演算して各電動車に指令するようにしたので、編成全体として、良好な乗り心地を保ちつつ粘着力の有効利用が可能となり、電車列車の加減速性能のさらなる向上を図ることができる。 20

(2) 各電気車制御装置に空転検知手段と、空転検知結果に基づき当該電動車の推定接線力係数を演算する推定接線力係数演算手段を設け、また、先頭電動車あるいは先頭車に最も近い電動車の電気車制御装置に粘着係数の増大量データを修正する粘着係数増大量修正手段を設け、各電気車制御装置で検知した空転検知結果を、先頭電動車あるいは先頭車に最も近い電動車の電気車制御装置に伝送し、粘着係数の増大量データを修正するようにしたので、粘着係数の増大量データを空転検知結果に応じて、適切な値に修正することが可能となる。 30

(3) ブレーキ時、推定接線力係数に基づき、各電気車制御装置で実際に発生すべきトルク指令値上限値を求め、各電気車制御装置で、主電動機ブレーキトルク制御を行うようにしたので、ブレーキ時にも、編成全体として良好な乗り心地を保ちつつ粘着力の有効利用が可能となり、電車列車の減速性能の向上を図ることができる。

【図面の簡単な説明】

【0021】

【図1】本発明の第1の実施例の電気車制御装置と列車モニタ・データ伝送システムのデータ伝送路の概要を示すブロック図である。 40

【図2】電気車制御装置が搭載されている電動車における駆動・ブレーキ制御系の概略構成を示すブロック図である。

【図3】本発明の第1の実施例における電車列車の先頭の電動車に搭載されている電気車制御装置 B_1 の詳細ブロック図である。

【図4】本発明の第1の実施例における電気車制御装置 A_j の詳細ブロック図である。

【図5】空転検知手段の機能を示すブロック図である。

【図6】本発明の第1の実施例における各電気車制御装置で実際に発生すべきトルク指令値上限値 T_{aujmax_act} の決定方法を示す図である。

【図7】本発明の第1の実施例における各電気車制御装置の制御動作のフローチャート (50

1) である。

【図8】本発明の第1の実施例における各電気車制御装置の制御動作のフローチャート(2)である。

【図9】本発明の第1の実施例における各電気車制御装置の制御動作のフローチャート(3)である。

【図10】粘着係数の測定例を示す図である。

【図11】新幹線電車の編成内車軸別滑走件数データの例を示す図である。

【図12】(13)(14)式から数値解析によって求めた車軸毎の k_j を示した図である。

【図13】電車列車の走行方向の先頭車の粘着係数(4軸分の平均値)に対する進行方向後方に位置する電動車の先頭車両からの位置に対する粘着係数(4軸分の平均値)の増大量データ $\Delta \mu_j$ である。

10

【図14】本発明の第2の実施例の電気車制御装置と列車モニタ・データ伝送システムのデータ伝送路の概要を示すブロック図である。

【図15】本発明の第3の実施例の電気車制御装置と列車モニタ・データ伝送システムのデータ伝送路の概要を示すブロック図である。

【図16】ブレーキ指令とブレーキパターン、電気ブレーキ力、空気ブレーキ指令の関係を示す図である。

【図17】接線力係数あるいは接線力のすべり速度に対する一般的な特性を示す図である。

20

【発明を実施するための形態】

【0022】

本発明は、後述の営業電車列車で長期間に亘って計測された各車軸別滑走頻度データを基に算出した先頭車から後方の車両における粘着係数の増大量データを用意し、先頭電動車あるいは先頭車に最も近い電動車の電気車制御装置において、空転あるいは滑走を最初に検知した時点から、先頭電動車あるいは先頭車に最も近い電動車の電気車制御装置において空転あるいは滑走を検知したときの接線力係数の推定値をもとに、上記増大量データに基づき、各電気車制御装置におけるトルク指令値上限値を求め、列車モニタ・データ伝送システムのデータ伝送回線を介して各電気車制御装置に対して、トルク指令値上限値を伝送する。

30

そして、各電気車制御装置で、伝送されてきたトルク指令値上限値を目標値として各電気車制御装置の制御対象範囲の電動機で発生するように制御することで、編成電車列車全体として極力粘着力の有効利用を図って電車列車の加減速性能を向上させる。

【実施例1】

【0023】

図1は本発明の第1の実施例を実現する電気車制御装置と列車モニタ・データ伝送システムのデータ伝送路の概要を示すブロック図、図2は電動車の力行・ブレーキ制御系の概略構成を示すブロック図、図3は本発明の第1の実施例における電車列車の先頭の電動車に搭載されている電気車制御装置B1の機能ブロック図である。

なお、ここで、図3では電車列車の先頭の電動車に搭載されている電気車制御装置を電気車制御装置B1として示しているが、先頭列車が電動車でない場合には、該電車列車の先頭車両に最も近い電動車の電気車制御装置が電気車制御装置B1となる。

40

また、図4は本発明の第1の実施例における、上記先頭の電動車に続く後続の電動車の電気車制御装置A $_j$ の機能ブロック図である。

図5は空転検知手段の動作を説明する図、図6は本発明の第1の実施例における各電気車制御装置で実際に発生すべきトルク指令値上限値 $T_{a_j \max_act}$ の決定方法を説明する図、図7~図9は本発明の第1の実施例における各電気車制御装置の制御動作のフローチャート、図10は粘着係数の測定例、図11は新幹線電車の編成内車軸別滑走件数データの例、図12は新幹線電車の先頭軸からの軸位別粘着係数分布の計算値、図13は電車列車の走行方向の先頭車の粘着係数(4軸分の平均値)に対する進行方向後方に位

50

置する電動車の先頭車両からの位置に対する粘着係数（４軸分の平均値）の増加量データ $\Delta \mu_j$ を示す図である。

【 0 0 2 4 】

図 1 は本発明の第 1 の実施例を実現する電気車制御装置と列車モニタ・データ伝送システムのデータ伝送路の概要を示すブロック図であり、図 1 は、先頭車が電動車である場合を示しており電気車制御装置 B 1 が先頭車両として示され、それより後方の電気車制御装置 A 2 から最後尾の電気車制御装置 A n がその後に示されている。先頭車が電動車ではない場合は先頭車に最も近い電動車の電気車制御装置が B 1 となって表示されるが、システムの動作は図 1 の場合と変わらない。

図 1 に示すように、本発明の電車列車は、各電動車間で情報を伝送するための列車モニタ・データ伝送システム 1 を備え、また、先頭の電動車である電気車制御装置 B 1 と後続の電気車制御装置 A 2 ~ A n はそれぞれ電気車制御装置 B 1 の伝送手段 1 1、電気車制御装置 A j の伝送手段 2 1 を備えており、これにより、電気車制御装置 B 1 と電気車制御装置 A 2 ~ A n は相互にデータ伝送が可能である。

【 0 0 2 5 】

電気車制御装置 B 1 は、自車および A j が搭載されている電動車の空車質量データ W_{0j} ($j = 1 \sim n$)、自車の応荷重信号データ dW_1 と、前述の粘着係数の増加量データ $\Delta \mu_j$ ($j = 2 \sim n$) を保有し、空転検知したときに得られた推定接線力係数 M_{μ_j} (B 1) に基づき、CPU 等で構成される演算手段 1 0 により、後述するように各種の演算を行い、空車時のトルク指令値上限値 $T_{aujmaxz_a}$ を演算する。

そして、上記伝送手段 1 1 から列車モニタ・データ伝送システム 1 を介して、空車時のトルク指令値上限値 $T_{aujmaxz_a}$ を後続の各電気車制御装置 A j に伝送する。なお、ここで、 $j = 1$ は先頭の電動車である電気車制御装置 B 1 を指し、 $j = 2 \sim n$ は後続の電気車制御装置 A j を指すこととする。

電気車制御装置 B 1 の演算手段 1 0 および各電気車制御装置 A j の演算手段 2 0 は上記空車時のトルク指令値上限値 $T_{aujmaxz_a}$ と、自車の空車質量データ W_{0j} ($j = 1 \sim n$) と応荷重信号データ dW_j ($j = 1 \sim n$) から自車のトルク指令値上限値 T_{aujmax_act} を演算し、該 T_{aujmax_act} に応じて、各電動車の PWM インバータを制御する。

なお、上記粘着係数の増加量データ $\Delta \mu_j$ がどのように算出されたものであるかは、後に詳しく述べる。

【 0 0 2 6 】

以下、図 2、図 3、図 4 により、本実施例について詳細に説明する。

図 2 は電動車の力行・ブレーキ制御系の概略構成を示すブロック図である。

同図に示すように、本実施例の各電動車は、運転士の力行指令と、応荷重信号 dW_j に応じてトルク指令値を出力する前記電気車制御装置 B 1, A j を備え、力行時、ベクトルコントローラ 3 1 はこのトルク指令を受けて PWM インバータ 3 2 を制御して、電動車の主電動機 3 3 のトルク制御等を行う。

【 0 0 2 7 】

また、ブレーキ指令に応じて電気ブレーキ力と空気ブレーキ力を制御するブレーキ制御装置 4 0 を備える。

ブレーキ制御装置 4 0 は、ブレーキ指令を受信するブレーキ受量器 Br_j を備え、運転士のブレーキ操作が行われると、ブレーキ受量器 Br_j は、電気ブレーキ力に対応したブレーキパターン Br_pat を発生して、電気車制御装置 B 1, A j に送信する。

電気車制御装置 B 1, A j では受信したブレーキパターン Br_pat に対応した電気ブレーキ力を発生すべく PWM インバータ 3 2 を制御するとともに、制御の結果発生した電気ブレーキ力 F_{elec_j} をブレーキ受量器 Br_j に送信する。

ブレーキ受量器 Br_j では、上記電気ブレーキ力 F_{elec_j} とブレーキ指令から、空気ブレーキで発生すべき空気ブレーキ力指令値 $F_{air_c_j}$ を演算して（空気ブレーキ力指令値 $F_{air_c_j} =$ ブレーキ指令に対応したブレーキ力 - 電気ブレーキ力 F_{elec_j} ）

10

20

30

40

50

c j となるように演算する)、空気ブレーキ力発生装置 4 1 に送信するとともに、電気車制御装置 A j にも送信する。

空気ブレーキ力発生装置 4 1 では、空気ブレーキ力指令値 F_{air_cj} に対応した空気ブレーキ力を発生すべく圧縮空気ブレーキを制御してこれをブレーキシリンダ 4 2 に送り込み、その結果ブレーキシュー 4 3 が動輪 4 4 の踏面に押し当てられることによって空気ブレーキ力が発生する。

なお、以下に説明する第 1、第 2 の実施例では、力行時における各電気車制御装置の再粘着制御について説明し、ブレーキ時を含む各電気車制御装置における再粘着制御については、第 3 の実施例で説明する。

【 0 0 2 8 】

図 3 は電気車制御装置 B 1 の機能構成を示すブロック図、図 4 は電気車制御装置 B 1 に後続する電気車制御装置 A j (j = 2 ~ n) の機能構成を示すブロック図である。

図 3 に示すように、電気車制御装置 B 1 は記憶手段 1 2 を備え、記憶手段 1 2 には、予め、前記した電気車制御装置 A j の粘着係数の増加量データ $\Delta \mu_j$ 、A j が搭載されている電動車の空車質量データ W_{0j} 、期待粘着係数 μ_{z_expect} が保持され、また、自車の応荷重信号データ dW_1 、空車質量データ W_{01} を記憶する。

また、上記記憶手段 1 2 に記憶されたデータと、空転検知手段 1 4 により検出された空転検知結果等に基づき、空車時のトルク指令値上限値 $T_{aujmaxz_a}$ を演算するトルク指令値上限値演算手段 1 3 を備える。トルク指令値上限値演算手段 1 3 は前記演算手段 1 0 の一部を構成する。

トルク指令値上限値演算手段 1 3 により求めた空車時のトルク指令値上限値 $T_{aujmaxz_a}$ は、伝送手段 1 1 から列車モニタ・データ伝送システム 1 を介して後続の電気車制御装置 A j に送信される。また、自車において、自車の応荷重信号データ dW_1 、空車質量データ W_{01} とから、実際に発生すべきトルク指令値上限値 T_{au1max_act} が求められ、自車のベクトルコントローラ 3 1 に送信される。

【 0 0 2 9 】

また、図 4 に示すように、電気車制御装置 A j は、空車質量データ W_{0j} と自車の応荷重信号 dW_j を記憶する記憶手段 2 2 と演算手段 2 0 を備え、電気車制御装置 B 1 から列車モニタ・データ伝送システム 1 を介して送信される空車時のトルク指令値上限値 $T_{aujmaxz_a}$ を伝送手段 2 1 で受信して、各車において、上記演算手段 2 0 により実際に発生すべきトルク指令値上限値 T_{aujmax_act} を演算し自車のベクトルコントローラ 3 1 に送信する。

【 0 0 3 0 】

図 3 において、電気車制御装置 B 1 は、運転士の図示しない主幹制御器 (マスコン) の操作によって発生した力行指令を受信すると、受信したこの力行指令に対応した記憶手段 1 2 に記憶されている期待粘着係数 μ_{z_expect} 等を取り出す。

電気車制御装置 B 1 において、空転検知しない場合には、この期待粘着係数 μ_{z_expect} と前述の粘着係数の増加量データ $\Delta \mu_j$ (j = 2 ~ n) とから空車時のトルク指令値上限値 $T_{aujmaxz_a}$ を演算して、この空車時のトルク指令値上限値 $T_{aujmaxz_a}$ を各電気車制御装置 A j に対して指令する。

図 4 に示す各電気車制御装置 A j は、空車時のトルク指令値上限値 $T_{aujmaxz_a}$ を受信し、このトルク指令値上限値 $T_{aujmaxz_a}$ と、各車の記憶手段 2 2 に保持されている応荷重信号データ dW_j 、空車質量データ W_{0j} とを用いて、実際に発生すべきトルク指令値上限値 T_{aujmax_act} が求められる。この実際に発生すべきトルク指令値上限値 T_{aujmax_act} は、ベクトルコントローラ 3 1 に渡され、ベクトルコントローラ 3 1 はこの実際に発生すべきトルク指令値上限値 T_{aujmax_act} を発生すべく、PWMインバータ 3 2 を制御する。

なお、電気車制御装置 B 1 および A j では、電動車 1 両分の 4 台の主電動機を一括制御 (1 C 4 M) する PWMインバータを想定している。

【 0 0 3 1 】

10

20

30

40

50

図5は上記空転検知手段14の動作を説明する図である。同図に示すように、四つの動輪軸のそれぞれの演算軸加速度の平均値を表す平均演算軸加速度が、ある設定された第1の閾値 a を超えた場合に上記した空転検知が行われ、この平均演算軸加速度が、第2の閾値 b (ただし $b < a$) 以下である場合には、空転状態にないものと判断する。

またブレーキ時については、四つの動輪軸のそれぞれの演算軸減速度の平均値を表す平均演算軸減速度が、ある設定された第1の閾値 a を超えた場合に滑走検知が行われ、この平均演算軸減速度が、第2の閾値 b 以下である場合には、滑走状態にないものと判断する。

【0032】

電気車制御装置B1において空転が検知されると、空転が検知される度に、空転検知結果に基づき、その時の接線力係数 $\mu_j (B1)$ を推定する。

上記接線力係数 $\mu_j (B1)$ は、例えば前記特許文献1、非特許文献1に記載される外乱オブザーバの手法を用いて、制御周期毎に車輪・レール間の接線力に対応した主電動機軸で見たトルクおよび接線力係数を推定することができる。

以下簡単に、接線力係数 $\mu_j (B1)$ を求める方法について説明する。

電動車1両には、通常4軸の主電動機で駆動される動軸があり、本実施例では4台の誘導電動機を用いた主電動機を1台のインバータで一括制御することを想定している。しかし、接線力係数の推定には、1動軸モデルを用いる。この1動軸についての運動方程式は、以下の(1)、(2)式で表される。

ここで、 J_m : 主電動機軸から見た駆動系全体(動輪、車軸、大歯車、ピニオン、主電動機等)の慣性モーメント、 \dot{m} : 主電動機の回転角速度、 m : 主電動機トルク、 c : 主電動機への負荷トルク、 R_g : 歯車比、 $\mu(v_s)$: すべり速度 v_s のときの接線力係数、 W : 動軸の軸重、 g : 重力加速度、 r : 動輪半径である。

そして、特許文献1の図1のブロック図で示す外乱オブザーバによって、上記負荷トルク c を、以下の(3)式のように推定する。ここに、 \hat{c} : 推定負荷トルク、 s : ラプラス演算子、 a : 外乱オブザーバの極(時定数の逆数)である。

(3)式で負荷トルクが推定されたら、以下の(4)式で接線力係数の推定値を求める。以上のように、主電動機トルク m と主電動機の回転角速度 \dot{m} を外乱オブザーバへ入力して、推定接線力係数を演算することができる。

【0033】

【数1】

$$J_m \frac{d}{dt} \omega_m = \tau_m - \tau_c \quad \dots\dots(1)$$

$$\tau_c = \frac{1}{R_g} \mu(v_s) W \cdot g \cdot r \quad \dots\dots(2)$$

$$\hat{\tau}_c = \frac{a}{s+a} (\tau_m - J_m s \omega_m) \quad \dots\dots(3)$$

$$\hat{\mu}(v_s) = \frac{R_g}{W \cdot g \cdot r} \hat{\tau}_c \quad \dots\dots(4)$$

【0034】

図5に示す空転検知手段14によって空転・滑走を検知され、空転(滑走)検知信号がオンになると、上記のように接線力係数 $\mu_j (B1)$ を推定して記憶する。

そして、この推定接線力係数 $\mu_j (B1)$ と、記憶手段12に記憶された粘着係数の増加量データ $\Delta \mu_j$ を用いて、次の(5)式により各電気車制御装置 A_j が搭載されている電動車の接線力係数がこの値を超えることがない値であることを意味する接線力係数上限値 μ_{jmax} を算出する。

10

20

30

40

50

$$M u j m a x = M u j (B 1) + d M u j (j = 1 , 2 , \dots , j , \dots n) \dots (5)$$

ここで、 $d M u j$ $D e l t a M u j$ である。

そして、この値を用いて各電気車制御装置 $A j$ における空車時のトルク指令値上限値 $T a u j m a x z _ a$ を演算する。

なお、この値の算出方法については、図 6 ~ 図 9 を用いて後で詳述する。

そして、この空車時のトルク指令値上限値 $T a u j m a x z _ a$ を電気車制御装置 $B 1$ から $A j$ に伝送し、図 4 に示すように、各電気車制御装置 $A j$ はこの $T a u j m a x z _ a$ と応荷重信号データ $d W j$ 、空車質量データ $W 0 j$ により、実際に発生すべきトルク指令値上限値 $T a u j m a x _ a c t$ を演算し、このトルク指令値上限値 $T a u j m a x _ a c t$ を目標値として主電動機のトルク制御を行う。

10

【 0 0 3 5 】

次に、図 6 と図 7 ~ 図 9 を用いて、実際に発生すべきトルク指令値上限値 $T a u j m a x _ a c t$ の算出方法について詳述する。なお、図 6 は前述の通り、各電気車制御装置で実際に発生すべきトルク指令値上限値 $T a u j m a x _ a c t$ の決定方法を説明する図、図 7 ~ 図 9 は、電気車制御装置 $B 1$ とその他の電気車制御装置 $A j$ の制御動作を示すフローチャートである。

図 7 ~ 図 9 において、電気車制御装置 $B 1$ では、[ステップ 2 0 1] に示すように記憶手段 1 2 に、前述の粘着係数増加量データ $D e l t a M u j$ と、編成列車内の電気車制御装置 $B 1$ が搭載されている電動車の空車質量データ $W 0 1$ を保有している。

[ステップ S 2 0 2] で、電気車制御装置 $B 1$ であるのか否かの判定を行い、電気車制御装置 $B 1$ でない場合には処理を終了する。また、電気車制御装置 $B 1$ である場合には、[ステップ S 2 0 3] で、空転検知をしたか否かの判定を行う。

20

【 0 0 3 6 】

(1) 空転検知をしない場合

全く空転検知しないか前回の空転検知した時点からある時間以上経過した場合には空転検知がないと判断して、[ステップ S 2 1 6] の処理を行う。

すなわち、計画加速性能で想定されている期待粘着係数 $M u z _ e x p t$ を、各電気車制御装置 $A j$ の接線力係数上限値最終値 $M u j m a x _ a$ に設定し、この $M u j m a x _ a$ に対応した空車時のトルク指令値上限値 $T a u j m a x z _ a$ を演算する。

空車時におけるトルク指令値上限値 $T a u j m a x z _ a$ が求まったら、算出されたトルク指令値上限値 $T a u j m a x z _ a$ を、各電気車制御装置 $A j$ に伝送する。

30

【 0 0 3 7 】

ここで、各電気車制御装置 $A j$ に伝送されてくる空車時のトルク指令値上限値 $T a u j m a x z _ a$ は、接線力係数上限値 $M u j m a x$ と空車質量 $W 0 j$ から、(2) 式を用いて、(6) 式により求める。

$$T a u j m a x z _ a = M u j m a x \times \text{空車質量 } W 0 j \times g \times r / R g \dots (6)$$

そして、各電気車制御装置 $A j$ では、伝送されてきた空車時のトルク指令値上限値 $T a u j m a x z _ a$ と自車の空車質量 $W 0 j$ 、応荷重信号 $d W j$ を用いて、以下の(6') 式によって、実際に発生すべきトルク指令値上限値 $T a u j m a x _ a c t$ を算出する。

$$T a u j m a x _ a c t = T a u j m a x z _ a \times (1 + (\text{応荷重信号 } d W j / \text{空車質量 } W 0 j)) \dots (6')$$

40

各電気車制御装置 $A j$ では、このようにして求められる実際に発生すべきトルク指令値上限値 $T a u j m a x _ a c t$ を各電動機で発生することを目標として、電動機制御を行う。

【 0 0 3 8 】

(2) 空転検知をした場合

[ステップ S 2 0 3] において電気車制御装置 $B 1$ が空転検知した場合には、[ステップ S 2 0 4] で推定接線力係数 $M u j (B 1)$ を演算して[ステップ S 2 0 5] にいき、空転検知結果に基づき演算した推定接線力係数 $M u j (B 1)$ を自車の接線力係数上限値 $M u 1 m a x$ として設定する。

50

また、この推定接線力係数 $Mu_j(B1)$ と粘着係数の増加量データ $Delta Mu_j$ のうち電気車制御装置 A_j に対応する粘着係数の増加量データ $d Mu_j$ を加算して、各電気車制御装置 A_j の接線力係数上限値 $Mu_j max$ を算出する(ここで $j = 2 \sim n$)。

つぎに[ステップ S206]で、各電気車制御装置 A_j (ただし $j = 1, 2, \dots, j, \dots, n$) の接線力係数上限値 $Mu_j max$ から、(7)式によって当該列車の平均接線力係数上限値 $Mu max_avr$ を求める。

【0039】

【数2】

$$Mu max_avr = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n Mu_j max \quad \dots\dots (7)$$

10

【0040】

そして、[ステップ S207]では、この平均接線力係数上限値 $Mu max_avr$ と車両の計画加速性能で想定している期待粘着係数 Muz_expt との大小比較を行う。そして、平均接線力係数上限値 $Mu max_avr$ が期待粘着係数 Muz_expt 以下である場合(Case A: 粘着係数が低い場合) [ステップ S208]において接線力係数上限値 $Mu_j max$ を各電気車制御装置 A_j の接線力係数上限値最終値 $Mu_j max_a$ に設定し、この $Mu_j max_a$ に対応した空車時のトルク指令値上限値 $Tau_j max_z_a$ を演算して、各電気車制御装置 A_j に伝送する。また、電気車制御装置 B1 の空車時のトルク指令値上限値 $Tau1 max_z_a$ も求める。

20

【0041】

また、平均接線力係数上限値 $Mu max_avr$ が期待粘着係数 Muz_expt より大きい場合(Case B: 粘着係数が高い場合) [ステップ S209]においては、電気車制御装置 B1 より後方の各電気車制御装置 A_j のうち、 $Mu_j max < Muz_expt$ となる直前の電気車制御装置 A_{j_expt} までについて、以下の(8)式に示される $(Muz_expt - Mu_j max)$ の総和 $Sum_Mu_j_small$ を演算する。

また、[ステップ S210]において、電気車制御装置 A_{j_expt} の後方の電気車制御装置 A_{j_expt+1} から最後の電気車制御装置 A_n までの各電気車制御装置 A_j について、 $Mu_j max$ を上限値とする $Muk max$ に対して $(Muk max - Muz_expt)$ の総和 $Sum_Mu_j_large$ を(9)式によって演算する。ここに、 k は j_expt+1 から n までの値をとる。ただし、上式において $Muk max > Mu_j max$ となる場合は、 $Muk max = Mu_j max$ とする。

30

【0042】

【数3】

$$Sum_Mu_j_small = \sum_{j=1}^{j_expt} (Muz_expt - Mu_j max) \quad \dots\dots (8)$$

40

$$Sum_Mu_j_large = \sum_{k=j_expt+1}^n (Muk max - Muz_expt) \quad \dots\dots (9)$$

【0043】

そして、[ステップ S211]において、 $Sum_Mu_j_large > Sum_Mu_j_small$ となる最初の j を j_max とし、 j_max に対応した電気車制御装置 A_{j_max} の接線力係数上限値 $Mu_j max$ を接線力係数最大値 Mu_tr_max として設定する。

つぎに、[ステップ S212]において、電気車制御装置 B1 より走行方向後方の電気車制御装置 A_j について、接線力係数上限値 $Mu_j max$ と接線力係数最大値 Mu_tr

50

__maxとの大小比較を行う。そして、 $Mu_jmax < Mu_tr_max$ である場合 (Case C) には、[ステップS213]において、(10)式によって接線力係数上限値最終値 Mu_jmax_a を設定する。

$$Mu_jmax_a = Mu_jmax \quad (10)$$

さらに、 $Mu_jmax \geq Mu_tr_max$ となる場合 (Case D) には、[ステップS214]において、(11)式によって接線力係数上限値の最終値 Mu_jmax_a を設定する。

$$Mu_jmax_a = Mu_tr_max \quad (11)$$

【0044】

つぎに、[ステップS215]において、このようにして設定した接線力係数上限値最終値 Mu_jmax_a に対応した空車時のトルク指令値上限値 Tau_jmaxz_a を演算して、この Tau_jmaxz_a を電気車制御装置 A_j に対して伝送する。

そして、[ステップS217]において、空車時のトルク指令値上限値 Tau_jmaxz_a を受信した各電気車制御装置 A_j では、自車の空車質量 $W0_j$ と応荷重信号 dW_j を用いて、実際に発生すべきトルク指令値上限値 Tau_jmax_act を演算し、この実際に発生すべきトルク指令値上限値 Tau_jmax_act を目標値として、当該電気車制御装置 A_j の制御対象範囲の主電動機 (4台の主電動機) のトルク制御を行う。

【0045】

先頭車 (電気車制御装置 B1) の粘着係数は、季節によって大きく変化する。夏季のように外気温が高い場合は粘着係数が高く、冬季のように外気温が低い場合は、大きく粘着係数が低下する。

図6(a)(b)は、このような粘着係数の変化に対して、実際に発生すべきトルク指令値上限値 Tau_jmax_act (接線力係数上限値最終値 Mu_jmax_a) の割り当て状況を示したものであり、図6(a)は粘着係数が高い場合を示し、図6(b)は粘着係数が低い場合を示す。

なお、同図は説明を簡略にするために、先頭の1号車から全ての車両が電動車の場合を表している。実際には、先頭車が電動車ではない場合や、途中の車両にも付随車が混在する場合の方が多いが、同様の考え方で説明することができる。

【0046】

前述したように、先頭車 (電気車制御装置 B1) が空転検知すると、トルク指令値上限値演算手段13は、そのときの推定接線力係数 $Mu_j(B1)$ を演算し、この $Mu_j(B1)$ をもとに、先頭車からの位置に対する粘着係数の増加量データ $DeltaMu_j$ を基に、電気車制御装置 B1 を含む電気車制御装置 A_j の接線力係数上限値 $Mu_jmax(j = 1, 2, \dots, n)$ を演算する。

図6(a)の B1 は、上記先頭車の推定接線力係数 $Mu_j(B1)$ に対応したトルク指令値上限値 (空車質量、応荷重信号を考慮した値) を示し、同図の曲線 A (一点鎖線) は、上記各電気車制御装置 A_j の上記接線力係数上限値 Mu_jmax に対応した実際に発生すべきトルク指令値上限値 Tau_jmax_act (空車質量、応荷重信号を考慮した値) をプロットした曲線を示したものである。

【0047】

図6(b)に示されているように、粘着係数が低い場合には、各電気車制御装置 A_j の接線力係数上限値の平均値である平均接線力係数上限値 $Mumax_avr$ は、期待粘着係数 Muz_exp より小さくなる。そのため、電気車制御装置 B1 では各電気車制御装置 A_j に対して、接線力係数上限値 Mu_jmax に対応した空車時のトルク指令値上限値 Tau_jmaxz_a を割り当てるしかないことになる。これに基づき各電気車制御装置 A_j は、実際に発生すべきトルク指令値上限値 Tau_jmax_act を演算し、主電動機のトルク制御をおこなう。

すなわち、前記したように先頭車 (電気車制御装置 B1) が空転検知すると、電気車制御装置 B1 を含む電気車制御装置 A_j の接線力係数上限値 $Mu_jmax(j = 1, 2, \dots, n)$ を演算する。そして、各電気車制御装置 A_j の接線力係数上限値の平均値である

10

20

30

40

50

平均接線力係数上限値 Mu_{max_avr} を求める。この値が期待粘着係数 Mu_{z_exp} より小さければ、接線力係数上限値 Mu_{j_max} を接線力係数上限値最終値 $Mu_{j_max_a}$ として、空車時のトルク指令値上限値 $Tau_{j_max_z_a}$ を演算し、各電気車制御装置 A_j に割り当てる。

各電気車制御装置 A_j では、電気車制御装置 B_1 から伝送されてくる空車時のトルク指令値上限値 $Tau_{j_max_z_a}$ から、実際に発生すべきトルク指令値上限値 $Tau_{j_max_a_act}$ を求め、主電動機のトルク制御をおこなう。

【0048】

これに対し、粘着係数が高い場合には、次のようになる。

この場合、平均接線力係数上限値 Mu_{max_avr} は期待粘着係数 Mu_{z_exp} より大きくなる。図6(a)はこの場合について表している。

この場合には、接線力係数上限値が期待粘着係数 Mu_{z_exp} より大きくなる直前の電気車制御装置 A_{j_exp} までの各電気車制御装置について、接線力係数上限値 Mu_{j_max} が期待粘着係数 Mu_{z_exp} より不足する量 ($Mu_{z_exp} - Mu_{j_max}$) の総和 $Sum_Mu_{j_small}$ を前記(8)式により計算する。

【0049】

そして、つぎに電気車制御装置 A_{j_exp} の次の電気車制御装置 A_{j_exp+1} から最後の電気車制御装置 A_n までの各電気車制御装置 A_j について、接線力係数上限値 Mu_{j_max} を最大値とする Mu_{k_max} について、前記(9)式によって、($Mu_{k_max} - Mu_{z_exp}$) の総和 $Sum_Mu_{j_large}$ を $k=j_exp+1 \sim n$ について求める。そして、最初に $Sum_Mu_{j_large} - Sum_Mu_{j_small}$ となる最初の j を j_max とし、 j_max に対応した電気車制御装置 A_{j_max} の接線力係数上限値 Mu_{j_max} を接線力係数最大値 Mu_tr_max として設定する。

図6(a)においては、接線力係数上限値が期待粘着係数 Mu_{z_exp} より大きくなる直前の電気車制御装置 A_{j_exp} は、2号車の電気車制御装置 A_2 であり、また、 A_{j_exp+1} は3号車の電気車制御装置 A_3 であり、この電気車制御装置 A_3 の接線力係数上限値 Mu_{j_max} を接線力係数最大値 Mu_tr_max として設定している。

【0050】

なお、接線力係数上限値 Mu_{j_max} が期待粘着係数 Mu_{z_exp} より不足する量 ($Mu_{z_exp} - Mu_{j_max}$) の総和 $Sum_Mu_{j_small}$ は 厳密には接線力係数上限値 Mu_{j_max} が期待粘着係数 Mu_{z_exp} より不足する部分の面積とし、この不足分の面積と接線力係数上限値 Mu_{j_max} を最大値とする Mu_{k_max} について接線力係数上限値 Mu_{k_max} が期待粘着係数 Mu_{z_exp} より大きくなる部分の面積が等しくなる値を接線力係数最大値 Mu_tr_max とすべきであるが、上記のような簡略計算としている。そして、以上のようにして求めた接線力係数最大値 Mu_tr_max を最大値として、各電気車制御装置 A_j の接線力係数上限値最終値 $Mu_{j_max_a}$ を割り当てる。

【0051】

そして、図6(a)に示すように各電気車制御装置 A_j の接線力係数上限値 Mu_{j_max} が接線力係数最大値 Mu_tr_max に達しない場合には、接線力係数上限値の最終値 $Mu_{j_max_a}$ に接線力係数上限値 Mu_{j_max} を割り当てる。また、接線力係数上限値 Mu_{j_max} が接線力係数最大値 Mu_tr_max 以上となる場合については、接線力係数上限値の最終値 $Mu_{j_max_a}$ に接線力係数最大値 Mu_tr_max を割り当てる。

つぎに、このように割り当てられた各電気車制御装置 A_j の接線力係数上限値最終値 $Mu_{j_max_a}$ に対応した空車時のトルク指令値上限値 $Tau_{j_max_z_a}$ を演算して、これを各電気車制御装置 A_j に伝送する。

そして、この空車時のトルク指令値上限値 $Tau_{j_max_z_a}$ を受信した各電気車制

10

20

30

40

50

御装置 A j では、前記したように自車の空車質量データ W 0 j と応荷重信号 d W j を用いて、実際に発生すべきトルク指令値上限値 T a u j m a x _ a c t を算出して、この実際に発生すべき T a u j m a x _ a c t を目標値として主電動機のトルク制御を行う。

【 0 0 5 2 】

つぎに、前述の、電車列車の先頭車両の粘着係数に対する進行方向後方に位置する電動車の先頭車両からの位置に対する粘着係数の増加量データ D e l t a M u j (図 1 3 参照) の、算出方法について述べる。

図 1 0 は前記非特許文献 2 に記載されている、在来線電車、新幹線電車における粘着係数の測定例を示している。

前述のごとく、粘着係数はレール面上に存在する水膜の温度によって大きく変化することが知られている。外気温が高い夏季などにおいては水膜の温度が高いため、粘着係数は高くなる。これに対して、外気温が非常に低くなる冬季においては、粘着係数が非常に低くなることはしばしば経験するところである。

図 1 0 の新幹線 9 5 1 型試験電車の測定例は、外気温が低い時期に測定されたものと考えられ、新幹線電車の粘着係数測定例の中で、ほぼ下限値に対応しているものと思われる。この図中に記載されている新幹線の計画粘着係数 $\mu_0(Vt)$ は、(1 2) 式で表されるが、新幹線において列車を A T C (自動列車制御) システムによって減速させるときに使用される常用最大ブレーキ (A T C ブレーキと称されている) において、ブレーキ力は基本的にはこの計画粘着係数に対応したブレーキ力となるように制御されている。ここに、列車速度 V t は (k m / h) で表されている。

【 0 0 5 3 】

【 数 4 】

$$\mu_0(Vt) = \frac{13.6}{Vt + 85} \dots\dots(12)$$

【 0 0 5 4 】

図 1 1 は前記非特許文献 3 に記載されている、新幹線の営業電車における、冬季を含む長期間に亘って測定された滑走頻度データを、先頭軸からの各車軸の位置、先頭車両から後方の車両の位置に対して整理して、頻度データとして棒グラフで表したものである。

図 1 0 の新幹線電車の粘着係数データを見ると、計画粘着係数を平均値としてこれの上下に測定値がバラついていると見なすことができる。そこで、この分布を正規分布とみなして、標準偏差 を求めると、0 . 0 1 2 程度となる。

つぎに、図 1 1 の新幹線電車の車軸別滑走件数のデータにおいて、先頭車両 (1 号車) 4 軸の滑走件数の平均値 f r a v g は、(1 3) 式の関係で表されると仮定し、先頭車両 1 軸目から j 番目の車軸の滑走件数の平均値 f r j は、(1 4) 式の関係で表すことができるかと仮定する。

なお、粘着係数はマイナスになることはないので、積分範囲は x = 0 からとすべきであるが、正規分布と仮定している関係で、x を - からとしている。x = 0 からと値は殆ど変わらない。

【 0 0 5 5 】

【 数 5 】

$$fr_{avg} \propto \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \int_{-\infty}^{\mu_0(Vt)} \exp\left(-\frac{(x - \mu_0(Vt))^2}{2\sigma^2}\right) dx = \frac{1}{2} \dots\dots(13)$$

$$\begin{aligned} fr_j &\propto \Psi(x \leq \mu_0(Vt) - k_j \sigma) \\ &= \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \int_{-\infty}^{\mu_0(Vt) - k_j \sigma} \exp\left(-\frac{(x - \mu_0(Vt))^2}{2\sigma^2}\right) dx \dots\dots(14) \end{aligned}$$

10

20

30

40

50

【 0 0 5 6 】

ここで、 k_j は、先頭から j 番目の軸の平均粘着係数が先頭車両の平均粘着係数 μ_0 (V_t) に対して、プラス側に標準偏差 σ の k_j 倍だけシフトしているとみなすときの係数である。以上のように仮定するのは、前述のように新幹線電車の A T C ブレーキ力が計画粘着係数に対応したブレーキ力に制御されていることから来ている。

これらの式から数値解析によって求めた車軸毎の k_j を図にしたものが図 1 2 である。ばらつきがあるため平滑化を行い、先頭車両 4 軸の k_j の平均値が零になるように補正したものが、(1 5) 式であり、図 1 2 中の近似値 (計算値) はこの式で軸位ごとに計算したものである。

$$k_j = 0.0083 \ln(j) - 0.0066 \dots \quad (15)$$

10

【 0 0 5 7 】

図 1 2 および (1 5) 式は新幹線電車についてのものであるが、在来線電車の場合には、過去に測定された粘着係数データでは、速度の増大とともに新幹線電車の粘着係数との差が大きくなっていくので (新幹線電車の方が低くなる)、(1 5) 式をその分補正して、電車列車の先頭車両の粘着係数に対する進行方向後方に位置する電動車の先頭車両からの位置に対する粘着係数の増加量データ $\Delta \mu_j$ として使用する。

図 1 3 は、このようにして求められる粘着係数の増加量データ $\Delta \mu_j$ の一例である (新幹線のデータをもとに作成した、補正前のものである)。

【 0 0 5 8 】

以上に述べた方法で求められた、電車列車の先頭車両の粘着係数に対する進行方向後方に位置する電動車の先頭車両からの位置に対する粘着係数の増加量データ $\Delta \mu_j$ を用いて、先頭車の電気車制御装置 B 1 で空転検知したときに推定接線力係数 μ_j (B 1) を演算して、この推定接線力係数 μ_j (B 1) をもとに、後続の電気車制御装置 A 2 から A n において発生すべきトルクの上限值 (当該電動車で発生すべき最適値に相当している) が、実際に発生すべきトルク指令値上限値 $T_{a_j \max_act}$ として各電気車制御装置 A j に送信されてくる。そのため、各電気車制御装置 A j ではこの実際に発生すべきトルク指令値上限値 $T_{a_j \max_act}$ を目標値として、主電動機のトルク制御を行うことによって、時々刻々粘着係数も変化しても、常にそのときの各電気車制御装置が搭載されている電動車の粘着係数に非常に近い接線力係数に対応したトルクを当該電動車で発生することができるので、制御開始時から、常に編成全体として粘着力の有効利用が図れることになる。

20

30

【 0 0 5 9 】

実際には以上のように制御される場合であっても、粘着係数の増加量データ $\Delta \mu_j$ 作成のもととなった、新幹線電車の粘着係数や滑走件数の実測値には、バラツキが存在するので、上記のように演算された実際に発生すべきトルク指令値上限値 $T_{a_j \max_act}$ を指令しても、そのときの実際の粘着係数が $T_{a_j \max_act}$ に対応した接線力係数より小さいために空転が発生することが想定されるが、その場合であっても、前述の非特許文献 1 に記載の再粘着制御機能を各電気車制御装置が搭載していることによって再粘着制御を行えば、良好な乗り心地を維持しつつ、各電気車制御装置では 9 5 (%) 程度の粘着力の利用率を実現することは可能である。

40

また、そのときの実際の粘着係数が実際に発生すべきトルク指令値上限値 $T_{a_j \max_act}$ に対応した接線力係数より空転検知しない程度に小さい場合は、空転検知した場合の再粘着させるためのトルクの引き下げが行われないため、9 5 (%) よりさらに高い粘着力の利用率が実現できる。

【 0 0 6 0 】

これに対して、そのときの実際の粘着係数が実際に発生すべきトルク指令値上限値 $T_{a_j \max_act}$ に対応した接線力係数より大きい場合については、その差があまり大きくない場合には、空転が発生しないので同様に、高い粘着力の利用率が得られる。

しかしその差が非常に大きいと空転の発生はないものの、粘着力の利用率が低下することになるが、粘着係数の増加量データ $\Delta \mu_j$ の作成時に、このような状態にな

50

らないようにデータ作成で配慮可能であるので、そのような事態は殆ど発生することはないと考えている。

【0061】

以上に述べたように、本発明の第1の実施例によって、主電動機のトルク制御開始時点から、粘着係数が時々刻々変化しても、良好な乗り心地を維持しつつ、常に編成全体として粘着力の有効利用が図れることになる。

なお、以上の説明では、先頭車両が電動車である場合について述べたが、電動車が編成列車の中間にある場合でも、同様の作用と効果が期待できるのはいうまでもない。また、各電気車制御装置が4台の主電動機を一括制御する場合について説明を行ったが、このような駆動システムに限定される必要はなく、前述の粘着係数の増加量データ $\Delta \mu_j$ は軸位別のデータをもとに作成しているので、1台のインバータで1台の主電動機を駆動する1C1M（個別制御）の駆動方式の場合や、1台のインバータで2台の主電動機を駆動する1C2M（台車制御）の駆動方式の場合にも、同様に適用することが可能である。

【実施例2】

【0062】

図14は本発明の第2の実施例を実現する電気車制御装置と列車モニタ・データ伝送システムのデータ伝送路の概要を示すブロック図である。同図は、前記図1と異なる箇所についてのみ示したものである。

本実施例においては、電気車制御装置B1のすぐ後ろにある電気車制御装置A2から最後の電気車制御装置Anにそれぞれ空転検知手段25と、推定接線力係数演算手段23を有する演算手段20を設け、各電気車制御装置Ajで空転検知した場合、各電気車の推定接線力係数演算手段20で推定接線力係数 μ_{j_new} を演算して、電気車制御装置B1に伝送し、電気車制御装置B1に設けた粘着係数増加量データ修正手段15で、前記粘着係数の増加量データ $\Delta \mu_j$ を修正するようにしたものである。

その他の構成、動作は前記第1の実施例と同様であり、電動車の力行・ブレーキ制御系、電気車制御装置B1、先頭の電動車に続く後続の電動車の電気車制御装置Ajの構成等は、図2 - 図4に示したものと同様である。

したがって、ここでは、上記粘着係数の増加量データ $\Delta \mu_j$ の修正についてのみ説明する。

【0063】

各電気車制御装置Ajの空転検知手段25で空転検知されると、各電気車制御装置Ajの推定接線力係数演算手段23は、推定接線力係数 μ_{j_new} を演算する。この新たに演算した推定接線力係数 μ_{j_new} は、伝送手段21から列車モニタ・データ伝送システム1を介して電気車制御装置B1に伝送される。

各電気車制御装置Ajから、新たに演算した推定接線力係数 μ_{j_new} を受信した電気車制御装置B1では、この推定接線力係数 μ_{j_new} を用いて、粘着係数増加量データ修正手段15により、保有している粘着係数の増加量データ $\Delta \mu_j$ を修正する。

【0064】

この粘着係数の増加量データ $\Delta \mu_j$ の修正は、以下の方法で行う。

各電気車制御装置Ajにおいて、図5で説明したように空転検知する毎に、前記したように推定接線力係数 μ_{j_new} を演算して、電気車制御装置B1に列車モニタ・データ伝送システムのデータ伝送路1を介して伝送する。

電気車制御装置B1では、 μ_{j_new} を受信した時点における先頭車B1の推定接線力係数 $\mu_j(B1)$ を求め、この推定接線力係数 $\mu_j(B1)$ と伝送されてきた μ_{j_new} と電気車制御装置Ajの位置から、電気車制御装置Ajが属する車両の先頭車からの号車番号jに対応した粘着係数増加量データ $\Delta \mu_{j_new}(N_ntr_j)$ を演算して蓄積する。

ここに N_ntr_j は、号車番号jに対応した新たに蓄積された粘着係数増加量デー

10

20

30

40

50

タの数を表している。

【0065】

そして、数駅間走行後の上記粘着係数増加量データ $\Delta \mu_{j_new}(N_{trn_j})$ のデータ数 N_{trn_j} がある最小値 N_{min} 以上となったときに、新たに得られた先頭車からの号車番号 j の粘着係数増加量データの平均値 $\Delta \mu_{j_avr}$ を、以下の(16)式によって演算する。

そして、この新たに得られた先頭車からの号車番号 j の粘着係数増加量データの平均値 $\Delta \mu_{j_avr}$ と電気車制御装置 B1 で保有している粘着係数増加量データ $\Delta \mu_j$ とから、以下の(17)式で与えられる $\Delta \mu_{j_mod}$ を新たな $\Delta \mu_j$ に設定する。

【0066】

【数6】

$$\Delta \mu_{j_avr} = \frac{1}{N_{trn_j}} \sum_{m=1}^{N_{trn_j}} \Delta \mu_{j_new}(m) \quad \dots\dots(16)$$

$$\Delta \mu_{j_mod} = (\Delta \mu_j \times N_{z_j} + \Delta \mu_{j_avr} \times N_{trn_j}) / (N_{z_j} + N_{trn_j}) \quad \dots\dots(17)$$

【0067】

ここに、 N_{z_j} は、元の粘着係数の増加量データ $\Delta \mu_j$ の作成に用いられたデータ数である。

そして、このように修正した粘着係数の増加量データ $\Delta \mu_j$ を用いて前記第1の実施例で説明した制御を行うことによって、粘着係数の増加量データ $\Delta \mu_j$ がそのときの車両の状態により適合したものとなることで、編成全体として粘着力の有効利用を図るための制御性能がより向上することが期待できる。

なお、上記の粘着係数増加量データ $\Delta \mu_j$ の修正は、数駅間走行後に新しく作成された粘着係数増加量データ $\Delta \mu_{j_new}(Car_j)$ のデータ数が最小値 N_{min} 以上となった時点から、粘着係数増加量データが新たに作成される毎に行ってもよいが、このための計算負荷の著しい増大を抑制するために、データ数が例えばある数 N_{arg} 増える毎に行うようにしてもよい。

【実施例3】

【0068】

以上説明した第1、第2の実施例では、力行時における各電気車制御装置の再粘着制御について説明したが、以下に説明する第3の実施例では、ブレーキ時を含む各電気車制御装置における再粘着制御について説明する。

ここで、電車のブレーキシステムでは、実際に発生している電気ブレーキ力と空気ブレーキ力を合計したブレーキ力が、運転士の指令したブレーキ指令に対応したブレーキ力になるように制御が行われる。最近のインバータ制御電車では、電力回生ブレーキが用いられているが、この電力回生ブレーキは、電動車で発生した電力回生エネルギーを当該電車の近くに在線する力行している電車で消費することを前提としており、実際に発生する電気ブレーキ力は、絶えず変動する。

そのため、実際に発生する電気ブレーキ力を常に把握しながら、不足するブレーキ力を空気ブレーキ力で補足している。

このようなブレーキシステムにおいて、ブレーキ時に滑走した場合は、力行時の再粘着制御と同様に、主電動機で発生するブレーキトルクの制御によって再粘着させる。これは、空気ブレーキの応答速度が電気ブレーキ力の応答速度に比べて非常に遅いく、空気ブレーキでは、良好な制御性能がえられないためである。

【0069】

図15は本発明の第3の実施例を実現する電気車制御装置と列車モニタ・データ伝送シ

10

20

30

40

50

システムのデータ伝送路の概要を示すブロック図である。

本実施例において、各電気車制御装置 B 1, A j では、第 1 の実施例で説明した力行時の再粘着制御を行うほかに、ブレーキ時についても力行時と同様の制御を行う。

なお、力行時の再粘着制御についての構成、動作は前記第 1 の実施例と同様であり、電動車の力行・ブレーキ制御系、電気車制御装置 B 1、先頭の電動車に続く後続の電動車の電気車制御装置 A j の構成等は、基本的に図 2 - 図 4 に示したものと同様である。

【 0 0 7 0 】

本実施例においては、図 1 5 に示すように、電気車制御装置 B 1 の演算手段 1 0 にブレーキトルク制御手段 1 6 を設けるとともに、電気車制御装置 A j の演算手段 2 0 に、ブレーキトルク制御手段 2 4 を設け、ブレーキ受量器 B r j から与えられる空気ブレーキ力指令値 F a i r _ c j を電気車制御装置 A j の上記ブレーキトルク制御手段 2 4 に送信するように構成し、ブレーキトルクを制御するように構成したものである。

10

電気車制御装置 B 1 では、上記ブレーキトルク制御手段 1 6 に当該電気車制御装置 B 1 に搭載されているブレーキ受量器 B r 1 から、空気ブレーキ装置で発生すべきブレーキ力の指令値を意味する空気ブレーキ力指令値 F a i r _ c 1 を常時入力し、滑走が検知されたとき、演算手段 1 0 は、この時の空気ブレーキ力指令値 F a i r _ c 1 と、電気車制御装置 B 1 で制御し発生している電気ブレーキ力 F e l e c 1 とから、当該電動車の推定接線力係数 M u j (B 1) を演算する。

【 0 0 7 1 】

すなわち、滑走検知したとき、この時点において実際に発生している電気ブレーキ力と空気ブレーキ力を用いて電気車制御装置 B 1 での接線力を推定することができる。

20

ここで、電気車制御装置 B 1 では電気ブレーキ力 F e l e c 1 は把握できるが、この時点の実際に発生している空気ブレーキ力については把握することができない。そこで、図 1 5 に示すように、ブレーキ受量器 B r 1 から入力される空気ブレーキ力指令値 F a i r _ c 1 を用いる。そして、電気ブレーキ力 F e l e c 1 と空気ブレーキ力指令値 F a i r _ c 1 が動輪周上のブレーキ力を表している場合、以下の (1 8) 式を用いて推定接線力係数 M u j (B 1) を演算する。ここで、W 0 1 : 電気車制御装置 B 1 が搭載されている電動車の空車質量 (1 軸当たり)、d W 1 : 電気車制御装置 B 1 が搭載されている電動車の応荷重信号 (1 軸当たり) である。

【 0 0 7 2 】

30

【数 7】

$$M_{uj}(B1) = \frac{(F_{elec1} + Fair_{c1})}{(W01 + dW1) \cdot g} \dots\dots (18)$$

【 0 0 7 3 】

上記推定接線力係数 M u j (B 1) に基づき、前記第 1 の実施例で説明したように、各電気車制御装置 A j (j = 1 ~ n) の前述の空車時のトルク指令値上限値 T a u j m a x z _ a を演算し、このトルク指令値上限値 T a u j m a x z _ a を空気ブレーキ力と電気ブレーキ力の合計値として、各電気車制御装置 A j に伝送する。

40

電気車制御装置 B 1 から空車時のトルク指令値上限値 T a u j m a x z _ a を受信した各電気車制御装置 A j のブレーキトルク制御手段 2 4 は、空車時のトルク指令値上限値 T a u j m a x z _ a と、空車質量 W 0 j、応荷重信号 d W j から、実際に発生すべきトルク指令値上限値 T a u j m a x _ a c t を求め、このトルク指令値上限値 T a u j m a x _ a c t から、自車のブレーキ受量器 B r j から入力した空気ブレーキ力指令値 F a i r _ c j を減算し、これを実際に発生すべきトルク指令値上限値 T a u j m a x _ a c t に設定しなおす。

【 0 0 7 4 】

そしてこの設定しなおした実際に発生すべきトルク指令値上限値 T a u j m a x _ a c t を目標値として主電動機のブレーキトルク制御を行う。

50

電気車制御装置 B 1 においても、同様に、ブレーキトルク制御手段 1 6 により、実際に発生すべきトルク指令値上限値 $T a u 1 m a x _ a c t$ から自車のブレーキ受量器 B r 1 から入力した空気ブレーキ力指令値 $F a i r _ c 1$ を減算し、これを実際に発生すべきトルク指令値上限値 $T a u 1 m a x _ a c t$ に設定しなおす。

以上の制御によって、ブレーキ時においても、力行時と同様に編成列車全体として、粘着力の有効利用を図った再粘着制御が実現できることになる。

【 0 0 7 5 】

以下、上記ブレーキ時の再粘着制御についてさらに詳述する。

図 1 6 に示すように、運転士のブレーキ操作に対応したブレーキ指令を、電気車制御装置 A j に搭載されている電動車のブレーキ制御装置の中のブレーキ受量器 B r j が受信する。なお、これは、ブレーキ受量器 B r 1、... B r j、... B r n の全てのブレーキ受量器において、同じ動作をする。

10

ブレーキ指令を受信したブレーキ受量器 B r j では、前述した図 2 で説明したように、ブレーキ指令に対応したブレーキパターン B r _ p a t を発生し、これを電気車制御装置 A j に伝送する。

図 1 6 (b) に示すブレーキパターン B r _ p a t は、電気ブレーキと空気ブレーキによるトータルの発生すべきブレーキ力を表している。電気車制御装置 A j では、このブレーキパターン B r _ p a t を目標値として主電動機のトルク制御を行うが、前述したように電力回生ブレーキによる電気ブレーキ力は絶えず変動し、図 1 6 (c) に示すように、目標値を下回ることがよく発生する。

20

【 0 0 7 6 】

そのため電気車制御装置 B 1 は実際に発生している電気ブレーキ力 $F e l e c 1$ をブレーキ受量器 B r 1 に送信して、不足するブレーキ力を空気ブレーキで補足するように促す。ブレーキ受量器 B r 1 では、ブレーキパターン B r _ p a t が示すトータルの発生すべきブレーキ力から実際に発生している電気ブレーキ力 $F e l e c 1$ を減算したブレーキ力を、空気ブレーキ指令として空気ブレーキ力発生装置 4 1 に送信する。

空気ブレーキ力発生装置 4 1 では、この空気ブレーキ指令に対応した空気ブレーキ力を発生すべく、圧縮空気をブレーキシリンダに送り込んで、必要な空気ブレーキ力を発生する。そのため、図 1 6 (d) に示すように、電気ブレーキ力の不足分の空気ブレーキ力が発生する。また、上記の空気ブレーキ指令は、前述したように接線力係数を推定する目的のために電気車制御装置 B 1 にも送信される。

30

【 0 0 7 7 】

以上のように、不足するブレーキ力をブレーキ受量器 B r 1 で演算するために、電気ブレーキ力 $F e l e c 1$ がブレーキ受量器 B r 1 に送信され、ブレーキ受量器 B r 1 で演算した補足すべき空気ブレーキ力である空気ブレーキ力指令値 $F a i r _ c 1$ を電気車制御装置 B 1 で受信する。

そして、電気車制御装置 B 1 では、推定接線力係数 $M u j (B 1)$ を演算し、この $M u j (B 1)$ と粘着係数の増加量データ $D e l t a M u j$ をもとに、各電気車制御装置 A j が搭載されている電動車での接線力係数の上限値である接線力係数上限値 $M u j m a x$ を演算する。

40

そして、この接線力係数上限値 $M u j m a x$ を基に、電気車制御装置 B 1 では、第 1 の実施例で説明したように、空車時のトルク指令値上限値 $T a u j m a x z _ a$ を演算する。この空車時のトルク指令値上限値 $T a u j m a x z _ a$ から求めた、実際に発生すべきトルク指令値上限値 $T a u j m a x _ a c t$ は、電気車制御装置 A j が搭載されている電動車で電気ブレーキと空気ブレーキを用いて発生すべきブレーキトルクを表している。

電気車制御装置 B 1 では、この実際に発生すべきトルク指令値上限値 $T a u 1 m a x _ a c t$ から、空気ブレーキ力指令値 $F a i r _ c 1$ を減算したものを新たに実際に発生すべきトルク指令値上限値 $T a u 1 m a x _ a c t$ として設定し直して、この新たに設定した実際に発生すべき $T a u 1 m a x _ a c t$ を目標値として電動機のブレーキトルク制御を行う。

50

また、上記空車時のトルク指令値上限値 $T_{aujmaxz_a}$ は、電気車制御装置 B 1 から各電気車制御装置 A j に送信される。

【0078】

電気車制御装置 A 2 ~ A n では、電気車制御装置 B 1 から上記空車時のトルク指令値上限値 $T_{aujmaxz_a}$ を受信すると、電気ブレーキと空気ブレーキを合算したトータルの発生すべきブレーキトルクの意味合いを持つ実際に発生すべきトルク指令値上限値 T_{aujmax_act} を求め、この信号を受信した電気車制御装置 A j が搭載されている電動車での空気ブレーキ力指令値 F_{air_cj} をブレーキ受量器 B r j から受信して、上記実際に発生すべきトルク指令値上限値 T_{aujmax_act} から、空気ブレーキ力指令値 F_{air_cj} を減算したものを新たに実際に発生すべきトルク指令値上限値 T_{aujmax_act} として設定し直して、この新たに設定した実際に発生すべき T_{aujmax_act} を目標値として電動機のブレーキトルク制御を行う。

10

なお、電気車制御装置 B 1 以外の各電気車制御装置 A 2 ~ A n においても、電気車制御装置 B 1 と同様、ブレーキ受量器 B r 2 ~ B r n から電気車制御装置 A 2 ~ A n に対してブレーキパターン B r _pat が送信されるが、電気車制御装置 B 1 から空車時のトルク指令値上限値 $T_{aujmaxz_a}$ を受信していることを条件として、この通常動作は抑制される。

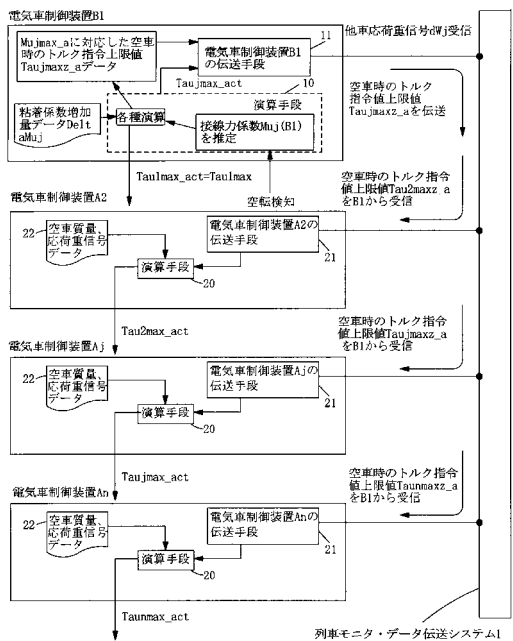
【符号の説明】

【0079】

1	列車モニタ・データ伝送システム	20
10, 20	演算手段	
11, 21	伝送手段	
12, 22	記憶手段	
13	トルク指令値上限値演算手段	
14, 25	空転検知手段	
15	粘着係数増加量データ修正手段	
16, 24	ブレーキトルク制御手段	
23	推定接線力係数演算手段	
31	ベクトルコントローラ	
32	PWMインバータ	30
33	主電動機	
40	ブレーキ制御装置	
41	空気ブレーキ力発生装置	
42	ブレーキシリンダ	
43	ブレーキシュー	
44	動輪	
B1, A2 ~ An (Aj)	電気車制御装置	
B r j	ブレーキ受量器	

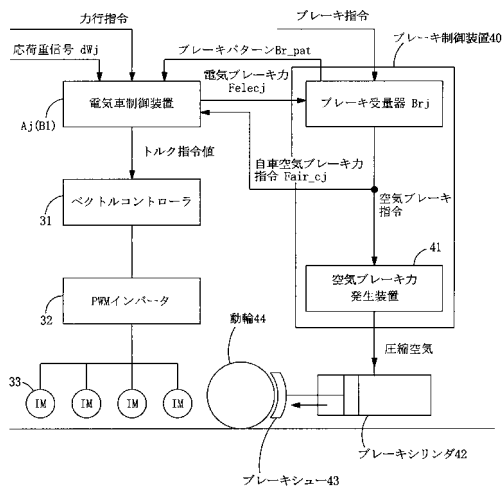
【図1】

本発明の第1の実施例の電気車制御装置と列車モニタ・データ伝送システムのデータ伝送路の概要を示すブロック図



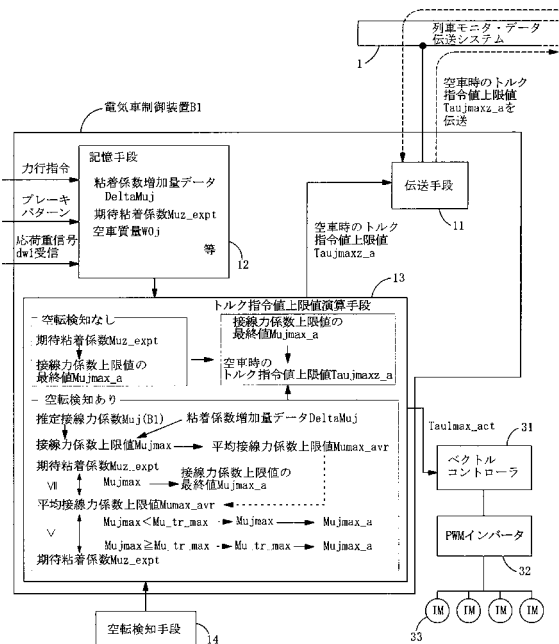
【図2】

電気車制御装置が搭載されている電動車における駆動・ブレーキ制御系の概略構成を示すブロック図



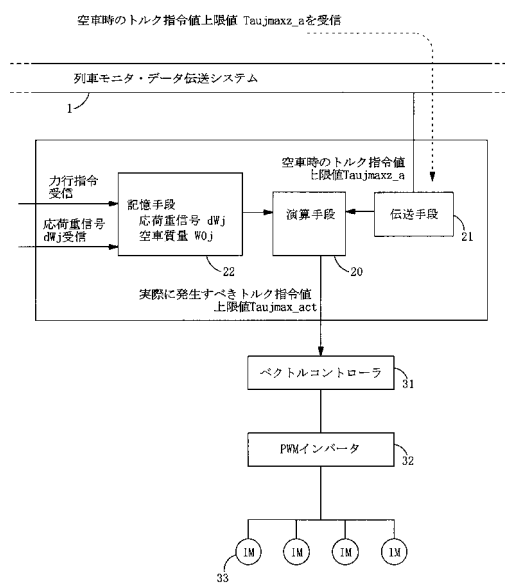
【図3】

本発明の第1の実施例における電車列車の先頭の電動車に搭載されている電気車制御装置B1の詳細ブロック図



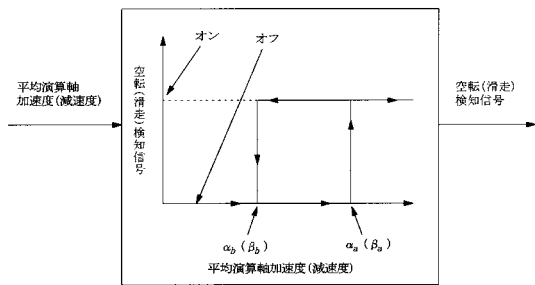
【図4】

本発明の第1の実施例における電気車制御装置Ajの詳細ブロック図



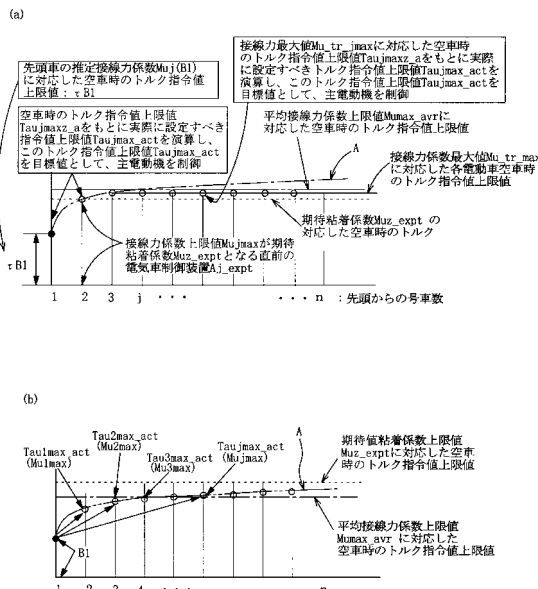
【図5】

空転検知手段の機能を示すブロック図



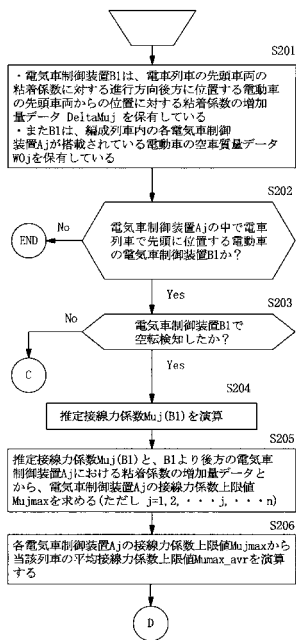
【図6】

本発明の第1の実施例における各電気車制御装置で実際に発生すべきトルク指令値上限値 Tau_{jmax_act} の決定方法を示す図



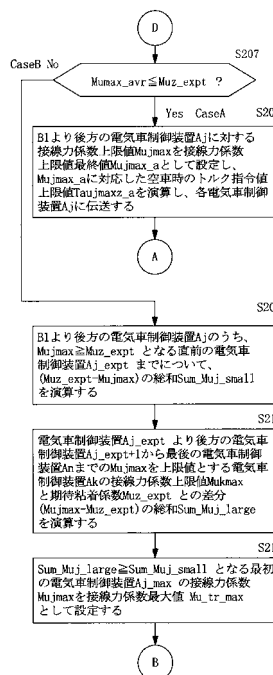
【図7】

本発明の第1の実施例における各電気車制御装置の制御動作のフローチャート(1)



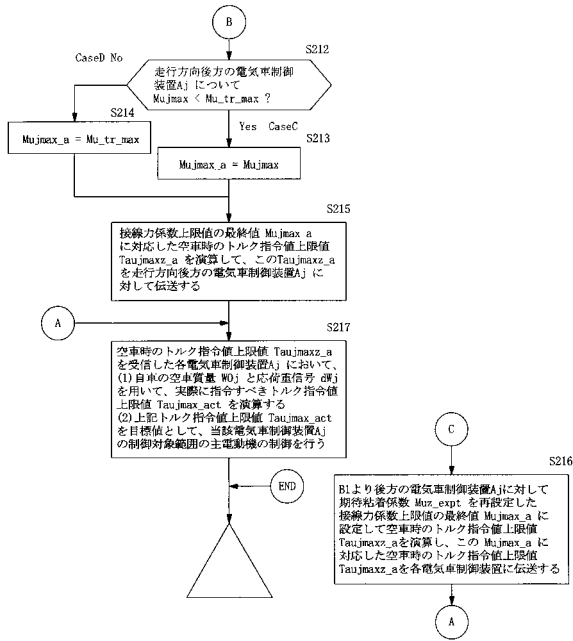
【図8】

本発明の第1の実施例における各電気車制御装置の制御動作のフローチャート(2)



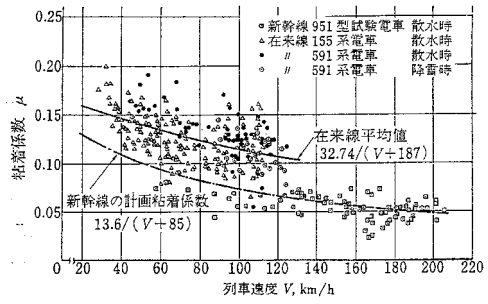
【図 9】

本発明の第1の実施例における各電気車制御装置の制動動作のフローチャート(3)



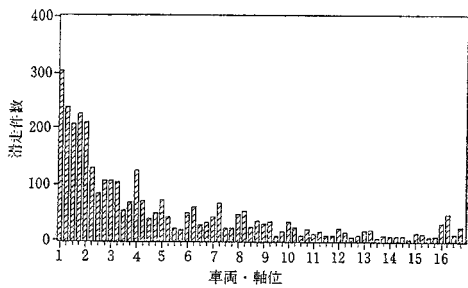
【図 10】

粘着係数の測定例を示す図



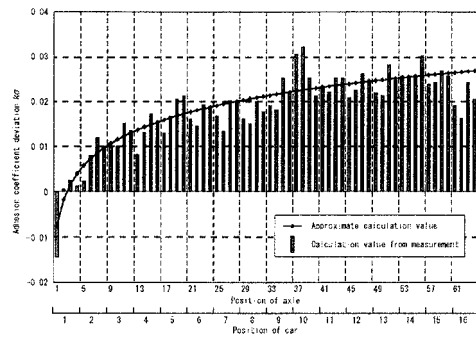
【図 11】

新幹線電車の編成内車軸別滑走件数データの例を示す図



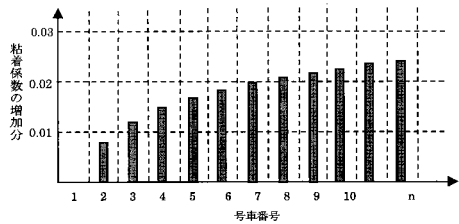
【図 12】

式(13)、(14)から数値解析によって求めた車軸毎の $k_j \sigma$ を示した図



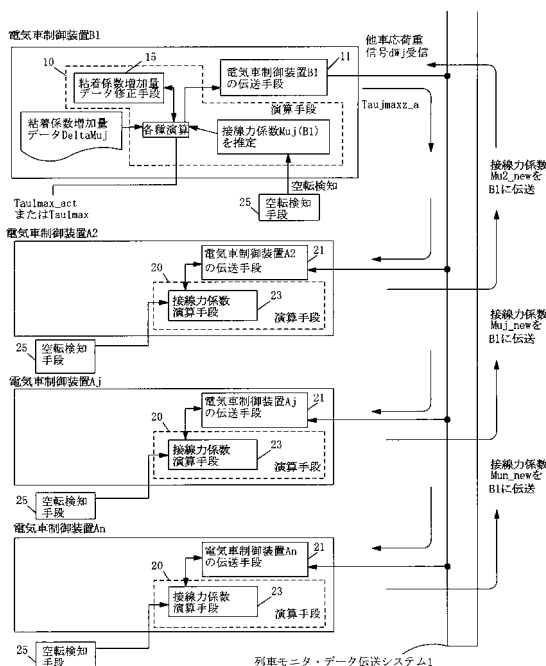
【図13】

電列車の走行方向の先頭車の粘着係数（4軸分の平均値）に対する進行方向後方に位置する電動車の先頭車両からの位置に対する粘着係数（4軸分の平均値）の増加量データDeltaMu_j



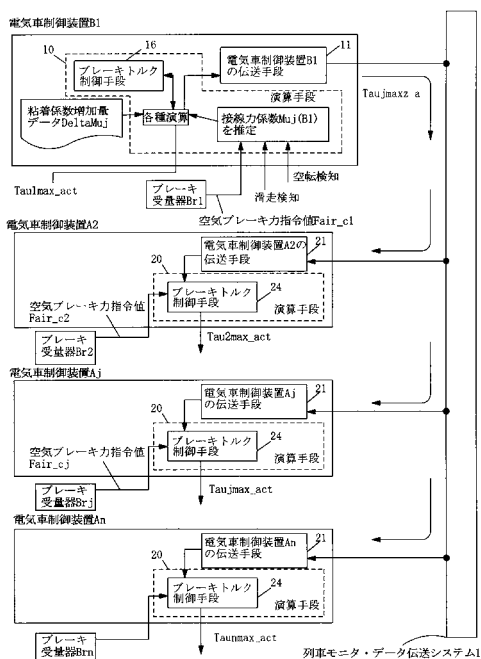
【図14】

本発明の第2の実施例の電気車制御装置と列車モニタ・データ伝送システムのデータ伝送路の概要を示すブロック図



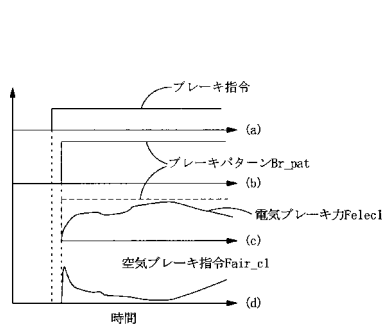
【図15】

本発明の第3の実施例の電気車制御装置と列車モニタ・データ伝送システムのデータ伝送路の概要を示すブロック図



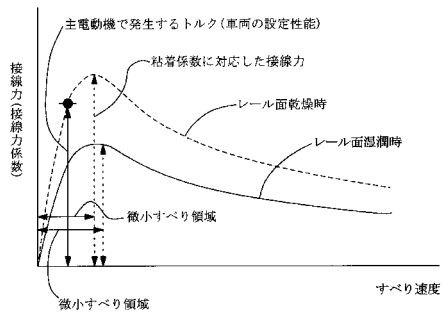
【図16】

ブレーキ指令とブレーキパターン、電気ブレーキ力、空気ブレーキ指令の関係を示す図



【図 17】

接線係数あるいは接線力のすべり速度に対する一般的な特性を示す図



フロントページの続き

- (72)発明者 佐野 孝
神奈川県横浜市金沢区福浦三丁目8番地 東洋電機製造株式会社 横浜製作所内
- (72)発明者 野村 英児
神奈川県横浜市金沢区福浦三丁目8番地 東洋電機製造株式会社 横浜製作所内
- (72)発明者 牧島 信吾
神奈川県横浜市金沢区福浦三丁目8番地 東洋電機製造株式会社 横浜製作所内
- (72)発明者 保川 忍
神奈川県横浜市金沢区福浦三丁目8番地 東洋電機製造株式会社 横浜製作所内

審査官 永石 哲也

- (56)参考文献 特開2005-168177(JP,A)
特開2002-325307(JP,A)
特開2011-151871(JP,A)
特開2012-10504(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

B60L 1/00 - 3/12
B60L 7/00 - 13/00
B60L 15/00 - 15/42