

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第5221523号
(P5221523)

(45) 発行日 平成25年6月26日 (2013. 6. 26)

(24) 登録日 平成25年3月15日 (2013. 3. 15)

(51) Int. Cl.

F 1

B 6 1 F 5/44 (2006.01)

B 6 1 F 5/44

B

請求項の数 28 (全 27 頁)

(21) 出願番号	特願2009-512518 (P2009-512518)	(73) 特許権者	508352595
(86) (22) 出願日	平成19年4月16日 (2007. 4. 16)		ボンバルディアー トランスポートーショ
(65) 公表番号	特表2009-538772 (P2009-538772A)		ン ゲゼルシャフト ミット ベシュレン
(43) 公表日	平成21年11月12日 (2009. 11. 12)		クテル ハフツング
(86) 国際出願番号	PCT/EP2007/053688		ドイツ連邦共和国, 1 0 7 8 5 ベルリン
(87) 国際公開番号	W02007/137906		, シェーンベルガー ウーファー 1
(87) 国際公開日	平成19年12月6日 (2007. 12. 6)	(74) 代理人	100099759
審査請求日	平成21年12月22日 (2009. 12. 22)		弁理士 青木 篤
(31) 優先権主張番号	102006025773.1	(74) 代理人	100092624
(32) 優先日	平成18年5月31日 (2006. 5. 31)		弁理士 鶴田 準一
(33) 優先権主張国	ドイツ (DE)	(74) 代理人	100102819
			弁理士 島田 哲郎
		(74) 代理人	100147599
			弁理士 丹羽 匡孝

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 鉄道車両の能動的な走行装置を制御する方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

2つの車輪を備えた少なくとも1つの第1の車輪ユニット(105)を有する鉄道車両の能動的な走行装置(103)を制御する方法であって、前記第1の車輪ユニット(105)と該第1の車輪ユニット(105)上に第1の一次ばね機構(107)を介して支持されている車両構造体(102)との間に作用する少なくとも1つの第1のアクチュエータ(109)を介して、

ー前記車両構造体(102)に対する前記走行装置の鉛直軸線を中心とする前記第1の車輪ユニット(105)の回転角度が第1の周波数領域で軌道の実際の曲率に従って調節されるか、

ー前記車両構造体(102)に対する前記走行装置の鉛直軸線を中心とする前記第1の車輪ユニット(105)の回転角度が、軌道位置の乱れによって、または正弦波状の運動によって生じさせられる少なくとも前記第1の車輪ユニット(105)の横方向運動を相殺するように第2の周波数領域で調節されるか、

の少なくとも一方であり、

ー前記第1の車輪ユニット(105)の回転角度が、理想の制御に対して所定の仕方で調節する制御を行うために、第1の理想目標値に所定の第1の補正係数(K_1)を乗算したものに相当する第1の目標値を用いて前記第1の周波数領域で調節され、この際、

ー前記第1の目標値が前記第1の理想目標値と一致する場合に、軌道の実際の曲率において、前記第1の車輪ユニット(105)が曲線半径に従って調節されるように前記第1

10

20

の理想目標値が選択されるか、

－前記第1の車輪ユニット（105）の回転角度が、理想の制御に対して所定の仕方で調節する制御を行うために、第2の理想目標値に所定の第2の補正係数（ K_2 ）を乗算したものに相当する第2の目標値を用いて前記第2の周波数領域で調節され、この際

－前記第2の理想目標値は、前記第2の目標値が前記第2の理想目標値と一致する場合に、軌道位置の乱れによって、または正弦波状の運動によって生じさせられる、少なくとも前記第1の車輪ユニット（105）の横方向運動が補償されるように選択されるか

の少なくとも一方であることを特徴とする方法。

【請求項2】

前記第1の目標値が前記第1の理想目標値と一致する場合に、軌道の実際の曲率において、

－前記第1の車輪ユニット（105）が、正確に曲線半径に従って調節され、かつ

－前記少なくとも1つの第1のアクチュエータ（109）が、一時的に、実質的に回転モーメントを加える必要がないように、前記第1の一次ばね機構（107）の復帰回転モーメントが、車輪とレールを組み合わせることによって生じさせられる回転モーメントと実質的に釣り合っている、

ことを特徴とする請求項1に記載の方法。

【請求項3】

前記第1の目標値が前記第1の理想目標値と一致する場合に、軌道の実際の曲率において、前記少なくとも1つの第1のアクチュエータ（109）が、一時的に、前記第1の周波数領域で実質的に回転モーメントを加えないようにして、前記少なくとも1つの第1のアクチュエータ（109）が、軌道の曲率の変化によって生じさせられる前記第1の車輪ユニット（105）の回転運動に追従するように前記第1の周波数領域で調節される、ことを特徴とする請求項1または2に記載の方法。

【請求項4】

前記第1の理想目標値が、軌道の曲率に追従するように調節された第1の理想目標回転角度（ ϕ_{z1si} ）であることを特徴とする請求項1から3のいずれか1項に記載の方法。

【請求項5】

前記第1の補正係数（ K_1 ）が、

－少なくとも一時的に1と異なるように選択されるか、

－少なくとも一時的に1に等しく選択されるか、

－所定の様式に従って変化させられるか、

の少なくとも1つであることを特徴とする請求項1から4のいずれか1項に記載の方法。

。

【請求項6】

－前記走行装置（103）が、前記第1の車輪ユニット（105）の後に続き2つの車輪を備えた第2の車輪ユニット（106）を有しており、該第2の車輪ユニット（106）上に第2の一次ばね機構（108）を介して前記車両構造体（102）が支持されており、

－前記第2の車輪ユニット（106）の回転角度が、前記第2の車輪ユニット（106）と前記車両構造体（102）との間に作用する少なくとも1つの第2のアクチュエータ（110）を介して調節され、かつ

－前記第2の車輪ユニット（106）の回転角度が、第3の理想目標値に所定の第3の補正係数（ K_3 ）を乗算したものに相当する第3の目標値を使用して第1の周波数領域で調節され、この際、

－前記第3の目標値が前記第3の理想目標値と一致する場合に、軌道の実際の曲率において車輪とレールを組み合わせることによって生じさせられる前記第1の車輪ユニット（105）における回転モーメントが、軌道の実際の曲率において車輪とレールを組み合わせることによって生じさせられる前記第2の車輪ユニット（106）における回転モーメントと向きが反対で等しいように前記第3の理想目標値が選択されることを特徴とする請

10

20

30

40

50

求項 1 から 5 のいずれか 1 項に記載の方法。

【請求項 7】

前記第 3 の理想目標値が第 3 の理想目標回転角度 (ϕ_{z3si}) であり、該第 3 の理想目標回転角度 (ϕ_{z3si}) は、

－軌道の実際の曲率において車輪とレールを組み合わせることによって生じさせられる前記第 1 の車輪ユニット (105) における回転モーメント (M_{Tx1}) と、

－前記走行装置 (103) のために予め定められた、前記第 2 の車輪ユニット (106) の回転角度 (ϕ_{z3}) に対する前記第 2 の一次ばね機構 (108) の回転モーメント (M_{cx2}) の依存性と、

－前記走行装置 (103) のために予め定められた、前記第 2 の車輪ユニット (106) の回転角度に対する前記第 2 のアクチュエータ (110) の回転モーメントの依存性と、

から計算されることを特徴とする請求項 6 に記載の方法。

【請求項 8】

前記第 3 の補正係数 (K_3) が、

－少なくとも一時的に 1 と異なるように選択されるか、

－少なくとも一時的に 1 に等しく選択されるか、

－所定の様式に従って変化させられるか、

の少なくとも 1 つであることを特徴とする請求項 6 または 7 に記載の方法。

【請求項 9】

前記第 1 の目標値が前記第 1 の理想目標値と一致する場合に、軌道の実際の曲率において、前記少なくとも 1 つの第 1 のアクチュエータ (109) が、前記第 1 の一次ばね機構 (107) の回転モーメントと反対向きで等しい回転モーメントを前記第 1 の周波数領域で一時的に加えるようにして、前記少なくとも 1 つの第 1 のアクチュエータ (109) が、軌道の曲率の変化によって生じさせられる前記第 1 の車輪ユニット (105) の回転運動に追従するように前記第 1 の周波数領域で調節されることを特徴とする請求項 1 に記載の方法。

【請求項 10】

前記第 1 の理想目標値が、軌道の曲率に合わせられた第 1 の理想目標回転角度 (ϕ_{z1si}) であることを特徴とする請求項 9 に記載の方法。

【請求項 11】

前記第 1 の補正係数 (K_1) が、

－少なくとも一時的に 1 と異なるように選択されるか、

－少なくとも一時的に 1 に等しく選択されるか、

－所定の様式に従って変化させられるか、

の少なくとも 1 つであることを特徴とする請求項 9 または 10 に記載の方法。

【請求項 12】

－前記走行装置 (103) が、第 1 の車輪ユニット (105) の後に続き 2 つの車輪を備えた第 2 の車輪ユニット (106) を有しており、該第 2 の車輪ユニット (106) 上に第 2 の一次ばね機構 (108) を介して前記車両構造体 (102) が支持されており、

－前記第 2 の車輪ユニット (106) の回転角度が、前記第 2 の車輪ユニット (106) と前記車両構造体 (102) との間に作用する少なくとも 1 つの第 2 のアクチュエータ (110) を介して調節され、かつ

－前記第 2 の車輪ユニット (106) の回転角度が、第 3 の理想目標値に所定の第 3 の補正係数 (K_3) を乗算したものに相当する第 3 の目標値を用いて前記第 1 の周波数領域で調節され、この際、

－前記第 3 の目標値が前記第 3 の理想目標値と一致する場合に、前記少なくとも 1 つの第 2 のアクチュエータ (110) が、軌道の実際の曲率において、前記第 2 の一次ばね機構 (108) の回転モーメントと反対向きで等しい回転モーメントを前記第 1 の周波数領域で一時的に加えるようにして、前記少なくとも 1 つの第 2 のアクチュエータ (110)

が、軌道の曲率の変化によって生じさせられる前記第2の車輪ユニット(106)の回転運動に追従するように前記第1の周波数領域で調節されるように前記第3の理想目標値が選択されることを特徴とする請求項9から11のいずれか1項に記載の方法。

【請求項13】

前記第3の理想目標値が、軌道の曲率に追従するように合わせられた第3の理想目標回転角度(ϕ_{z3si})であることを特徴とする請求項12に記載の方法。

【請求項14】

前記第1の補正係数(K_1)が、

—少なくとも一時的に1と異なるように選択されるか、

—少なくとも一時的に1に等しく選択されるか、

—所定の様式に従って変化させられるか、

の少なくとも1つであることを特徴とする請求項12または13に記載の方法。

【請求項15】

—前記走行装置(103)が、前記第1の車輪ユニット(105)の後に続き2つの車輪を備えた第2の車輪ユニット(106)を有しており、該第2の車輪ユニット(106)上に第2の一次ばね機構(108)を介して前記車両構造体(102)が支持されており、

—前記第2の車輪ユニット(106)の回転角度が、前記第2の車輪ユニット(106)と前記車両構造体(102)との間に作用する少なくとも1つの第2のアクチュエータ(110)を介して調節され、

—前記車両構造体(102)が、前記一次ばね機構(107、108)と二次ばね機構(114)を介して前記第1の車輪ユニット(105)および前記第2の車輪ユニット(106)上に支持されており、かつ

—前記第2の車輪ユニット(106)の回転角度が、第3の理想目標値に所定の第3の補正係数(K_3)を乗算したものに相当する第3の目標値を用いて前記第1の周波数領域で調節され、この際、

—前記第3の目標値が前記第3の理想目標値と一致する場合に、軌道の実際の曲率において、車輪とレールを組み合わせることによって生じさせられる前記第2の車輪ユニット(106)における回転モーメントが、前記二次ばね機構(114)から得られる実際の復帰回転モーメントと走行方向係数(L)の積、および軌道の実際の曲率において車輪とレールを組み合わせることによって生じさせられる前記第1の車輪ユニット(105)における回転モーメントの大きさから得られる回転モーメント差に相当するように、前記第3の理想目標値が選択され、この際、

—前記走行方向係数(L)が、前に位置する走行装置(103)については、1に等しく、後に位置する走行装置(103)については-1に等しい、

ことを特徴とする請求項1から5のいずれか1項または請求項9から11のいずれか1項に記載の方法。

【請求項16】

—前記走行装置(103)が走行装置フレーム(104)を有しており、該走行装置フレーム(104)が、それぞれ前記一次ばね機構(107、108)を介して前記第1の車輪ユニット(105)および前記第2の車輪ユニット(106)上に支持されており、

—前記車両構造体(102)が前記二次ばね機構(114)を介して前記走行装置フレーム(104)上に支持されており、かつ

—二次ばね機構(114)からの復帰回転モーメントを求めるために、前記走行装置フレーム(104)と前記車両構造体(102)との間の回転角度が求められる、

ことを特徴とする請求項15に記載の方法。

【請求項17】

前記第3の理想目標値が、軌道の曲率に追従するように調節された第3の理想目標回転角度(ϕ_{z3si})であることを特徴とする請求項15または16に記載の方法。

【請求項18】

10

20

30

40

50

前記第 3 の補正係数 (K_3) が、
 ー少なくとも一時的に 1 と異なるように選択されるか、
 ー少なくとも一時的に 1 に等しく選択されるか、
 ー所定の様式に従って変化させられるか、
 の少なくとも 1 つであることを特徴とする請求項 15 から 17 のいずれか 1 項に記載の方法。

【請求項 19】

前記第 1 の周波数領域が、0 から 1 Hz であることを特徴とする請求項 1 から 18 のいずれか 1 項に記載の方法。

【請求項 20】

前記第 2 の周波数領域が、少なくとも部分的に、前記第 1 の周波数領域より上にあることを特徴とする請求項 1 から 19 のいずれか 1 項に記載の方法。

【請求項 21】

前記第 2 の周波数領域が、4 から 8 Hz であることを特徴とする請求項 20 に記載の方法。

【請求項 22】

ー前記第 1 の車輪ユニット (105) の現在の横方向速度と前記鉄道車両 (101) の現在の走行速度が求められ、

ー求められた前記第 1 の車輪ユニット (105) の現在の横方向速度と前記鉄道車両 (101) の現在の走行速度から、前記第 2 の周波数領域のために、前記第 2 の理想目標値として第 2 の理想目標回転角度 (ϕ_{z2s}) が計算され、この際

ー前記第 2 の目標値を示す第 2 の目標回転角度が前記第 2 の理想目標回転角度と一致する場合に、求められた前記第 1 の車輪ユニット (105) の横方向速度に対して反対向きで等しい、前記第 1 の車輪ユニット (105) の横方向速度が生じさせられるように前記第 2 の理想目標回転角度 (ϕ_{z2si}) が選択される、

ことを特徴とする請求項 1 から 21 のいずれか 1 項に記載の方法。

【請求項 23】

ー前記第 1 の車輪ユニット (105) の現在の横方向速度が、速度センサを介して検出され、あるいは加速度センサによって検出された前記第 1 の車輪ユニット (105) の現在の横方向加速度が積分されて前記第 1 の車輪ユニット (105) の現在の横方向速度が与えられるか、

ー前記鉄道車両 (101) の現在の走行速度として、上位の列車制御システムから供給される走行速度が用いられるか、

ー前記鉄道車両 (101) の現在の走行速度が、前記鉄道車両 (101) の少なくとも 1 つの車輪の回転数の測定から求められるか、

の少なくとも 1 つであることを特徴とする請求項 22 に記載の方法。

【請求項 24】

前記第 2 の補正係数 (K_2) が、

ー少なくとも一時的に 1 と異なるように選択されるか、

ー少なくとも一時的に 1 に等しく選択されるか、

ー所定の様式に従って変化させられるか、

の少なくとも 1 つであることを特徴とする請求項 1 から 23 のいずれか 1 項に記載の方法。

【請求項 25】

2 つの車輪を備えた少なくとも 1 つの第 1 の車輪ユニット (105) を有する鉄道車両 (101) の能動的な走行装置 (105) を制御する装置であって、

ー制御装置 (113)、および該制御装置 (113) によって制御され前記第 1 の車輪ユニット (105) と該第 1 の車輪ユニット (105) 上に第 1 の一次ばね機構 (107) を介して支持されている車両構造体 (102) との間に作用する少なくとも 1 つの第 1 のアクチュエータ (109) を有し、この際、

—前記制御装置（１１３）が、前記少なくとも１つの第１のアクチュエータ（１０９）を介して、軌道の実際の曲率に従って、前記車両構造体（１０２）に対する前記走行装置の鉛直軸線を中心とする前記第１の車輪ユニット（１０５）の回転角度を第１の周波数領域で調節するか、

—前記制御装置（１１３）が、前記少なくとも１つの第１のアクチュエータ（１０９）を介して、軌道位置の乱れによって、あるいは正弦波状の運動によって生じさせられる、少なくとも第１の車輪ユニット（１０５）の横方向運動を第２の周波数領域で相殺するか、

の少なくとも一方である装置において、

—前記第１の車輪ユニット（１０５）の回転角度が、理想の制御に対して所定の仕方で調節する制御を行うために、第１の理想目標値に所定の補正係数（ K_1 ）を乗算したものに相当する第１の目標値を用いて前記第１の周波数領域で調整されるように前記制御装置（１１３）が構成されており、この際、

—前記第１の目標値が前記第１の理想目標値と一致する場合に、軌道の実際の曲率において、前記第１の車輪ユニット（１０５）が曲線半径に従って調節されるように前記第１の理想目標値が選択されるか、

—前記第１の車輪ユニット（１０５）の回転角度が、理想の制御に対して所定の仕方で調節する制御を行うために、第２の理想目標値に所定の第２の補正係数（ K_2 ）を乗算したものに相当する第２の目標値を用いて前記第２の周波数領域で調節されるように前記制御装置（１１３）が構成されており、この際、

—前記第２の目標値が前記第２の理想目標値と一致する場合に、軌道位置の乱れによって、あるいは正弦波状の運動によって生じさせられる少なくとも前記第１の車輪ユニット（１０５）の横方向運動が補償されるように前記第２の理想目標が選択されるか、

の少なくとも一方であることを特徴とする装置。

【請求項２６】

—前記第１の理想目標値が第１の理想目標回転角度（ ϕ_{z1si} ）であり、かつ

—前記制御装置（１１３）が、前記第１の理想目標回転角度（ ϕ_{z1si} ）を軌道の曲率に追従するように調節するか、

—前記第２の理想目標値が第２の理想目標回転角度（ ϕ_{z2si} ）であるか、

の少なくとも一方であることを特徴とする請求項２５に記載の装置。

【請求項２７】

前記第２の周波数領域が、少なくとも部分的に、前記第１の周波数領域より上にあることを特徴とする請求項２６に記載の装置。

【請求項２８】

２つの車輪を備えた少なくとも１つの第１の車輪ユニット（１０５）を有する能動的な走行装置（１０３）と、請求項２５から２７のいずれか１項に記載の能動的な走行装置を制御する装置とを有する鉄道車両。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【０００１】

本発明は、２つの車輪を備えた少なくとも１つの第１の車輪ユニットを有する、鉄道車両（レール上を走る乗物）の能動的な走行装置を制御する方法に関し、この方法においては、第１の車輪ユニットと、その上に第１の一次ばね機構を介して支持されている車両構造体との間に作用する少なくとも１つの第１のアクチュエータを介して、車両構造体に対する走行装置の鉛直軸線を中心とする第１の車輪ユニットの回転角度が第１の周波数領域で軌道の実際の曲率に従って調節され、および／または、軌道位置の乱れによって、または正弦波状の運動によって生じさせられる、少なくとも１つの第１の車輪ユニットの横方向運動を相殺するように、車両構造体に対する走行装置の鉛直軸線を中心とする第１の車輪ユニットの回転角度が第２の周波数領域で調節される。本発明は、鉄道車両の能動的な走行装置を制御する装置および本発明に基づく装置を搭載した鉄道車両にも関する。

【背景技術】

【0002】

鉄道車両の走行装置は、通常、直線で走行速度が速い場合の走行安定性と曲線での良好な曲線走行挙動との間で目標の対立を生じる。直線で走行速度が高い場合の走行安定性は、車輪ユニット（車輪セットまたは車輪ペア）を縦方向にしっかりと案内することを求め、一方、良好な曲線走行挙動は、車輪ユニットの曲線半径に従った調節を求め、それに伴って縦方向に柔軟な案内を求める。したがって、標準ゲージ鉄道での公知の方策においては、良好な曲線走行挙動を有する鉄道車両は、通常、曲線の少ない区間または極めて大きな曲線半径を有する区間用に構成されている高速列車の場合よりも、ずっと遅い、安定性に基づく最高速度を有している。一方、高速車両の走行装置は曲線になじみにくい。受動的な方策は、もちろん常に、これら2つの矛盾する要求の間の妥協点に達することしかできない。

10

【0003】

例えば市街鉄道網でそうであるように軌道曲線が極めてきつい場合には、さらに、物理的な理由から、車輪ユニットが曲線半径に対して自己調節を行うことはできていない。この欠点を克服するために、例えば、特許文献1においては、車輪セットを曲線半径によって調節する能動的なシステムが提案されているが、もちろんそのシステムは、（市街鉄道ではもともと行われたい）高い走行速度での走行の安定化には何ら寄与することはできない。

【0004】

20

それに対して、上述した目標の対立を解消する方策が特許文献2から知られている。ボギー車フレームに案内可能に取り付けられている車輪セットを有する走行装置について、2つの目的のために最適化された走行挙動を達成する能動的な制御方法と、それに対応する装置が記載されている。したがって、第1の、好ましくは低い周波数領域での制御によって、曲線で生じている軌道の曲率に基づく車輪セットの調節が達成され、一方、第2の、好ましくはより高い周波数領域で、軌道位置の乱れへの反応が補償されて、不安定性が助長されるのが防止される。

【0005】

制御のために用いられる入力量に関しても、車輪セットを調節するアクチュエータの制御およびその作用原理と鉄道車両の走行装置における構成に関しても、特許文献2には、一連の代替的な態様が記載され、それらはすべて設定された課題を満たしている。

30

【0006】

しかし、この制御の欠点は、走行駆動において理想ラインを維持するために、車輪に、場合によっては比較的急速に、極めてはっきりと形成された形態の磨耗が生じ、それによって車輪の寿命が、場合によっては著しく短くなることにある。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0007】

【特許文献1】独国特許出願公開第19861086号明細書

【特許文献2】独国特許出願公開第10137443号明細書

40

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0008】

したがって、本発明の課題は、上述した欠点がなく、あるいは少なくともより少なく、特に簡単かつ信頼性の高いやり方で車輪の磨耗挙動を改善することができる、冒頭で述べた種類の方法と装置を提供することである。

【課題を解決するための手段】

【0009】

本発明は、この課題を、請求項1の前提項に記載の方法に基づいて、請求項1の特徴部に記載の特徴によって解決する。また、本発明は、この課題を、請求項25の前提項に記

50

載の装置に基づいて、請求項 25 の特徴部に記載の特徴によって解決する。

【0010】

本発明は、それぞれの周波数領域で制御のために、理想目標値に所定の補正係数を乗算したものに相当する目標値を用いれば、車輪の磨耗挙動を簡便に高い信頼性で改善することができるという技術的教示に基づいている。この際、補正係数を介して、理想制御の利点を失うことを必要とすることなく、車輪において局所的に磨耗を極めて生じやすい理想制御に対して制御を所定の仕方ですらすることができる。理想制御からの小さい所定のずれによって既に、曲線走行特性が良好でまっすぐな軌道での安定性が良好なまま、車輪走行面上の磨耗の分布を著しく改善することができ、それによって、ずっと好ましい磨耗形態と、それに伴ってより長い寿命が得られることが示されている。

10

【0011】

この際、場合によっては、比較的長い区間にわたってでも、理想制御が実施され、すなわち該当する補正係数が 1 に等しく選択され、一時的にだけ、理想制御に対して制御が所定の仕方ですらされ、すなわち該当する補正係数が 1 とは異なるように選択されることを意図することができる。さらに、補正係数を介して理想制御に対して制御をずらすのを、所定の時間的様式に従って、例えば定常的に変化させることができる。それによって、任意の磨耗分布が得られる。

【0012】

2つの周波数領域における調節動作は、公知のやり方で互いに重ね合わせることができ、この際、それらを、それぞれの車輪ユニットにおいて単一のアクチュエータによって加えることができる。

20

【0013】

したがって、本発明によれば、第 1 の車輪ユニットの回転角度は、第 1 の周波数領域で、第 1 の理想目標値に所定の第 1 の補正係数 (K_1) を乗算したものに相当する第 1 の目標値を用いて調節され、この際、軌道の実際の曲率において、第 1 の目標値が第 1 の理想目標値と一致する場合に (すなわち $K_1 = 1$)、第 1 の車輪ユニットが、少なくともほぼ曲線半径に従って調節されるように、第 1 の理想目標値が選択されることが意図される。それに加えて、あるいはその代わりに、第 1 の車輪ユニットの回転角度が、第 2 の周波数領域で、第 2 の理想目標値に所定の第 2 の補正係数 (K_2) を乗算したものに相当する第 2 の目標値を用いて調節され、この際、第 1 の目標値が第 1 の理想目標値と一致する場合に (すなわち $K_1 = 1$)、軌道位置の乱れによって、あるいは正弦波状の運動によって生じさせられる、少なくとも第 1 の車輪ユニットの横方向運動が実質的に補償されるように第 1 の理想目標値が選択されることが意図される。

30

【0014】

軌道の実際の曲率において、第 1 の目標値が第 1 の理想目標値と一致する場合に、第 1 の車輪ユニットが正確に曲線半径に従って調節され、第 1 の一次ばね機構の復帰回転モーメントが、車輪とレールを組み合わせることによって生じさせられる回転モーメントと実質的に釣り合い、その結果、少なくとも 1 つの第 1 のアクチュエータは、一時的に、回転モーメントを実質的に加える必要がないのが好ましい。

【0015】

40

換言すると、曲線を走行するときに、受動的に曲線になじむ走行装置の場合のように車輪ユニットが、少なくともほぼ曲線半径に従って調節されるまで、第 1 の周波数領域で、アクチュエータが、軌道の曲率によって生じさせられる車輪ユニットの逸脱回転運動に追従することが許されるのが好ましい。それによって、場合によっては、実際の軌道曲率を測定し、あるいは他の方法で求めるのを省くことができ、場合によっては、第 1 の周波数領域でアクチュエータにおいて存在する負荷のみに基づいて、曲線半径に従った調節をすることができ、または、走行装置のパラメータと実際の走行状態 (走行速度、横方向加速度など) に基づいて、正確に曲線半径に従った調節に必要な回転角度を推定することができる。これには、通常、ある程度手間をかけて実際の軌道曲率を求めるのに比較して、調節における時間遅延をずっと短くできるという利点がある。

50

【0016】

ここで注意すべきことは、車輪ユニットの受動的な逸脱回転運動を許容し、またはそれに従うことが、補正係数を用いることに依存しない、独立して保護可能な発明の構想を示しているということである。

【0017】

本発明に基づく方法の好ましいバリエーションにおいては、軌道の実際の曲率において、第1の目標値が第1の理想目標値と一致する場合に、少なくとも1つの第1のアクチュエータが、第1の周波数領域で、一時的に実質的に回転モーメントを加えないようにして、少なくとも1つの第1のアクチュエータが、軌道の曲率の変化によって生じさせられる第1の車輪ユニットの回転運動に追従するように第1の周波数領域で調節されることが意図される。

10

【0018】

第1の周波数領域に関し、すなわち、回転角度を曲線走行に合わせることに關して、制御の構想は、車輪ユニットの曲線半径に従った調節時に、それぞれの車輪ユニットに作用する、走行装置の鉛直軸線を中心とする回転モーメント（または偶力）の釣り合いに基づいている。これは、次のように計算される：

$$M_{Tx} + M_{cxp} + M_{Akt} = 0 \quad (1)$$

この際：

M_{Tx} ：2つの車輪支持点において車輪とレールを組み合わせることによって生じさせられる偶力（例えば縦方向滑り力の偶力）に基づく回転モーメント

20

M_{cxp} ：一次ばね機構の復帰力に基づく回転モーメント

M_{Akt} ：アクチュエータの調節力の第1の周波数領域における成分に基づく回転モーメント

【0019】

したがって、上述したように、第1の理想目標値において第1のアクチュエータを負荷がかからないように（ $M_{Akt} = 0$ ）調節した場合、式（1）から次の式が得られる：

$$M_{Tx} = -M_{cxp} \quad (2)$$

【0020】

本発明に基づく制御のこのバリエーションは、最終的に、（アクチュエータ無しの）受動的に曲線になじむ走行装置においてそうであるように、一次ばね機構の復帰力に基づく回転モーメントによって、車輪とレールを組み合わせることによって生じさせられる回転モーメントが補償されることを意味している。換言すると、この場合、受動的に曲線になじむ走行装置が模擬され、この際、アクチュエータにおいて、それぞれの位置からの逸脱回転運動のために、軌道の曲率に応じて回転角度を能動的に調節する方法の場合とは異なり、好ましいことに、場合によっては最小限のエネルギー消費のみで駆動が行われる。場合によっては、アクチュエータは、それぞれの位置で近似的にのみ負荷がかからないようにして動かされる。しかし、受動的に曲線になじむ走行装置は、車輪セットのリンク結合の縦方向の硬さが弱められているために、安定性を制限されており、この欠点は、本発明に基づく能動的な制御によって除去されている。

30

【0021】

第1の補正係数 K_1 を介して、第1の理想目標値に対して、制御において用いられる第1の目標値をずらすことができる。それによって、既述したように、補償を過剰にし、または補償を不足させることができるが、それはエネルギーの消費につながり、結果として $M_{Akt} \neq 0$ となる。例えば、 $K_1 = 0$ の場合、従来の受動的な車両におけるように、車輪セットの動かないリンク結合も実現することができる。

40

【0022】

その場合、アクチュエータに、達成すべきように負荷がかからないようにする逸脱動作をさせるための新しい理想目標値を間欠的または連続的に与えることができ、それによって、負荷がかからないようにすることができる。換言すると、理想目標値を間欠的または連続的に、逸脱回転運動に、したがって実際の軌道曲率に追従するように調節することが

50

できる。理想目標値を調節するための指針量として、アクチュエータに負荷がかからなくなったのを示す任意の量を用いることができる。したがって、これらの量は、アクチュエータの負荷を求める測定方式に応じて選択するのが好ましい。

【0023】

第1の理想目標値は、任意の適当な方法で軌道の曲率に従って調節することができる。第1の車輪ユニットの回転角度とアクチュエータにおける負荷を示す量（例えば力の値、モーメントの値、圧力値、電流値など）を検出するのが好ましい。アクチュエータにおける負荷がゼロからずれている場合には、それに応じた新しい第1の理想目標値が設定される。これは間欠的に、または連続的に行うことができ、この際、例えば、アクチュエータにおける負荷を示す量の時間的積分を介して、第1の周波数領域におけるアクチュエータの負荷状況のみが検出されることを保証することができる。

10

【0024】

第1の理想目標値は、車輪ユニットの所望の調節を得ることができる任意の適当な量とすることができる。特に、場合によっては、アクチュエータに負荷がかからなくなるのを示す量を直接使用することができる。第1の理想目標値は、軌道の曲率に合わせられる第1の理想目標回転角度（ ϕ_{z1si} ）であるのが好ましい。

【0025】

既に上述したように、車輪走行面にわたる磨耗を分散させるために、第1の補正係数（ K_1 ）を少なくとも一時的に1とは異なるように選択することを意図することができる。それに加えて、あるいはその代わりに、第1の補正係数（ K_1 ）を少なくとも一時的に、その期間に、理想ラインに少なくとも近い走行挙動が得られるようにするために、1に等しく選択することを意図することができる。同様に、付加的に、あるいは代替的に、第1の補正係数（ K_1 ）を、所定の様式に従って変化させることができ、その場合、特に、好ましい磨耗分布を得るために、定常的な変化が可能である。

20

【0026】

上述した制御は、本発明に基づく方法の好ましい第1のバリエーションにおいて、走行装置の全ての車輪ユニットのために行うことができ、それによって、全ての車輪ユニットについて、最終的に、受動的に曲線になじむ走行装置の場合におけるような曲線走行挙動を模擬することができる。特に式（1）から明らかなように、この制御では、 $M_{Tx} = 0$ （すなわち車輪とレールを組み合わせることによって生じさせられる回転モーメントが無い）であり、曲線半径に従った軌道力が釣り合わされた、曲線走行の理想形態は得られないが、高い走行安定性を達成し、エネルギー消費を極めて小さくしながら、非常に良好な曲線走行特性および磨耗特性が得られる。

30

【0027】

例えば、車体が、2つの車輪ユニットをそれぞれ有する2つの走行装置上にそれぞれ二次ばね機構を介して支持されている典型的な鉄道車両の場合、曲線半径に応じた横方向の軌道力の合計は、走行方向に見て前に位置する走行装置について、それぞれ次のように計算され：

【数1】

40

$$\sum Y_1 = \frac{F_{aq}}{2} + \frac{M_{cxy}}{2a} - \frac{(M_{Tx1} + M_{Tx2})}{2a} \quad (3)$$

$$\sum Y_2 = \frac{F_{aq}}{2} - \frac{M_{cxy}}{2a} + \frac{(M_{Tx1} + M_{Tx2})}{2a} \quad (4)$$

走行方向に見て後に位置する走行装置について、それぞれ次のように計算され：

【数 2】

$$\sum Y_1 = \frac{F_{aq}}{2} - \frac{M_{cxy}}{2a} - \frac{(M_{Tx1} + M_{Tx2})}{2a} \quad (5)$$

$$\sum Y_2 = \frac{F_{aq}}{2} + \frac{M_{cxs}}{2a} + \frac{(M_{Tx1} + M_{Tx2})}{2a} \quad (6)$$

この際：

10

$\sum Y_1$ ：それぞれ走行方向に見て前に位置する車輪ユニットにおける横方向の軌道力の合計；

$\sum Y_2$ ：それぞれ走行方向に見て後に位置する車輪ユニットにおける横方向の軌道力の合計；

F_{aq} ：鉄道車両に作用する遠心力；

M_{Tx1} ：それぞれ走行方向に見て前に位置する車輪ユニットにおいて車輪とレールを組み合わせることによって生じさせられる回転モーメント；

M_{Tx2} ：それぞれ走行方向に見て後に位置する車輪ユニットにおいて車輪とレールを組み合わせることによって生じさせられる回転モーメント；

M_{cxs} ：それぞれの二次ばね機構の復帰力に基づく回転モーメント；

20

$2a$ ：それぞれの走行装置における車輪ユニットの軸間隔。

【0028】

曲線走行の理想形態 ($M_{Tx} = 0$ および $\sum Y_1 = \sum Y_2$) に近づけるためには、アクチュエータにおいてある程度多量のエネルギーを消費 ($M_{Akt} > 0$) してのみ、受動的に径方向に調節可能な曲線走行 ($M_{Akt} = 0$ および $M_{Tx} = -M_{cxp}$) に対して改良が可能であることが分かっている。しかし、以下で説明する本発明に基づく方法のバリエーションによって、エネルギーの消費を然るべく減少しながら、理想的な曲線走行に良好に近づけることが可能である。

【0029】

すなわち、本発明に基づく方法の好ましい第2のバリエーションにおいては、走行装置は、第1の車輪ユニットの後に続き2つの車輪を備えた第2の車輪ユニットを有しており、その上に車両構造体が第2の一次ばね機構を介して支持されている。第2の車輪ユニットの回転角度は、第2の車輪ユニットと車両構造体との間に作用する少なくとも1つの第2のアクチュエータを介して調節される。第1の車輪ユニットの回転角度は、上述の第1のバリエーションに従って調節されるが（すなわち $M_{Akt} = 0$ ）、第2の車輪ユニットの回転角度は、第3の理想目標値に所定の第3の補正係数 (K_3) を乗算したものに相当する第3の目標値を用いて第2の周波数領域において調節される。この際、第3の目標値が第3の理想目標値と一致する場合に（すなわち $K_3 = 1$ ）、軌道の実際の曲率において車輪とレールを組み合わせることによって生じさせられる第1の車輪ユニットにおける回転モーメントが、軌道の実際の曲率において車輪とレールを組み合わせることによって生じさせられる第2の車輪ユニットにおける回転モーメントと反対向きで等しくなるように（すなわち $M_{Tx1} = -M_{Tx2}$ ）、第3の理想目標値が選択される。

30

40

【0030】

したがって、式（3）から（6）から、以下ようになる：

【数 3】

$$\sum Y_1 = \frac{F_{aq}}{2} \pm \frac{M_{cxs}}{2a} \quad (7)$$

$$\sum Y_2 = \frac{F_{aq}}{2} \mp \frac{M_{cxs}}{2a} \quad (8)$$

【0031】

10

換言すると、それによって、横方向の軌道力の合計 $\sum Y_1$ と $\sum Y_2$ が、それぞれの二次ばね機構の復帰力の分を除いて釣り合わされる。

【0032】

第3の理想目標値は、ここでも、車輪ユニットの所望の調節を得ることができる任意の適当な量とすることができる。第3の理想目標値は第3の理想目標回転角度 (ϕ_{z3si}) であるのが好ましく、第3の理想目標回転角度 (ϕ_{z3si}) は、軌道の実際の曲率において車輪とレールを組み合わせることによって生じさせられる、第1の車輪ユニットにおける回転モーメント (M_{Tx1})、走行装置について設定された、第2の車輪ユニットの回転角度 (ϕ_{z3}) に対する第2の一次ばね機構の回転モーメント (M_{cxp2}) の依存性、および走行装置について設定された、第2の車輪ユニットの回転角度 (ϕ_{z3}) に対する第2のアクチュエータの回転モーメント (M_{Akt2}) の依存性から計算するのが好ましい。第2の車輪ユニットの回転角度 (ϕ_{z3}) に対する第2のアクチュエータの回転モーメント (M_{Akt2}) のこのような依存性は、任意の方法で、例えば、車両について前もって定められた式、特性曲線、またはマップなどによって設定することができる。

20

【0033】

ここでも、第3の補正係数 (K_3) を介して、使用される第3の目標値を第3の理想目標値に対して任意に、場合によっては時間に依存させてずらすことができる。したがって、第3の補正係数 (K_3) は、第1の補正係数 (K_1) と同様に、少なくとも一時的に、1と異なるように選択することができ、および／または少なくとも一時的に、1に等しく選択することができ、および／または所定の様式に従って変化させることができる。

30

【0034】

本発明に基づく方法の好ましい第3のバリエーションにおいては、軌道の実際の曲率において、第1の目標値が第1の理想目標値と一致する場合に、第1のアクチュエータが、第1の一次ばね機構の回転モーメントと反対向きで等しい (すなわち $M_{Akt1} = -M_{cxp1}$) 回転モーメントを第1の周波数領域で一時的に加えるようにして、軌道の曲率の変化によって生じさせられる第1の車輪ユニットの回転運動に追従するように、少なくとも1つの第1のアクチュエータが第1の周波数領域で調節されることが意図される。

【0035】

本発明に基づく方法の第3のバリエーションの好ましい態様においては、走行装置は、第1の車輪ユニットの後に続き2つの車輪を備えた第2の車輪ユニットを有しており、その上に車両構造体が第2の一次ばね機構を介して支持されており、第2の車輪ユニットの回転角度が、第2の車輪ユニットと車両構造体との間に作用する少なくとも1つの第2のアクチュエータを介して調節される。その場合、第2の車輪ユニットも、この第3のバリエーションに従って制御される。したがって、第2の車輪ユニットの回転角度は、第3の理想目標値に所定の第3の補正係数 (K_3) を乗算したものに相当する第3の目標値を用いて第1の周波数領域で調節される。ここでも、第3の目標値が第3の理想目標値と一致する場合に (すなわち $K_3 = 1$)、軌道の実際の曲率において、少なくとも1つの第2のアクチュエータが一時的に第1の周波数領域内で、第2の一次ばね機構の回転モーメントと反対向きで等しい (すなわち $M_{Akt2} = -M_{cxp2}$) 回転モーメントを加えるようにして、少なくとも1つの第2のアクチュエータが、軌道の曲率の変化によって生じさせられる第

40

50

2の車輪ユニットの回転運動に追従するように第1の周波数領域で調節されるように、第3の理想目標値が選択される。

【0036】

したがって、ここで、式(1)から、第1の車輪ユニットを曲線半径に従って調節すると、車輪とレールを組み合わせることによって生じさせられる回転モーメントが消滅し(すなわち $M_{Tx2}=0$)、そして、式(3)から(6)から、ここでも次式が生じる：

【数4】

$$\sum Y_1 = \frac{F_{aq}}{2} \pm \frac{M_{cxs}}{2a} \quad (7)$$

10

$$\sum Y_2 = \frac{F_{aq}}{2} \mp \frac{M_{cxs}}{2a} \quad (8)$$

【0037】

換言すると、これによっても、横方向の軌道力の合計 $\sum Y_1$ と $\sum Y_2$ が、それぞれの二次ばね機構の復帰力の分を除いて釣り合わされる。

【0038】

第1および／または第3の理想目標値は、ここでも、該当する車輪ユニットの所望の調節を達成することができる任意の適当な量とすることができる。ここでも、第1および／または第3の理想目標値は、軌道の曲率に追従するように調節された第1および／または第3の理想目標回転角度(ϕ_{z1si} , ϕ_{z3si})であるのが好ましい。

20

【0039】

第1の理想目標値または第1の理想目標回転角度(ϕ_{z1i})は、任意の方法で軌道の曲率に追従させるように調節することができる。第1の車輪ユニットの回転角度とアクチュエータにおける負荷を示す量(例えば力の値、モーメントの値、圧力値、電流値など)を検出するのが好ましい。アクチュエータにおける負荷が、この回転角度において一次ばね機構の復帰モーメントによって生じさせられる負荷からずれている場合、新しい第1の理想目標値または理想目標回転角度(ϕ_{z1i})が設定される。

30

【0040】

ここでも、上述したように、第1の補正係数(K_1)を介して、使用される第1の目標値を第1の理想目標値に対して任意に、場合によっては時間に依存させて、走行状況に依存させて、および／または軌道の状況に依存させてずらすことができる。したがって、第1の補正係数(K_1)は、少なくとも一時的に、1と異なるように選択することができ、および／または少なくとも一時的に、1に等しく選択することができ、および／または所定の様式に従って変化させることができる。

【0041】

本発明に基づく方法の好ましい第4または第5のバリエーションにおいては、走行装置は、第1の車輪ユニットの後に続き2つの車輪を備えた第2の車輪ユニットを有しており、その上に車両構造体が第2の一次ばね機構を介して支持されており、第2の車輪ユニットの回転角度が、第2の車輪ユニットと車両構造体との間に作用する少なくとも1つの第2のアクチュエータを介して調節される。さらに、車両構造体が、二次ばね機構を介して第1の車輪ユニットおよび第2の車輪ユニット上に支持されている。その場合、第1の車輪ユニットは、上述の第1のバリエーション($M_{Akt}=0$)または第3のバリエーション($M_{Akt1}=-M_{cxp1}$)に従って制御され、第2の車輪ユニットの回転角度は、第3の理想目標値に所定の第3の補正係数(K_3)を乗算したものに相当する第3の目標値を用いて第1の周波数領域で調節される。この際、第3の目標値が第3の理想目標値に一致する場合に(すなわち $K_3=1$)、軌道の実際の曲率において車輪とレールを組み合わせることによって生じさせられる第2の車輪ユニットにおける回転モーメントが、二次ばね機構に

40

50

基づく実際の復帰回転モーメントと走行方向（L）の積、および軌道の実際の曲率において車輪とレールを組み合わせることによって生じさせられる第1の車輪ユニットにおける回転モーメントの大きさから得られる回転モーメント差に相当するように、第3の理想目標値が選択され、この際、走行方向係数（L）は、前に位置する走行装置については1に等しく、後に位置する走行装置については-1に等しい（すなわち前に位置する走行装置については、 $M_{Tx2} = M_{cxs} - M_{Tx1}$ 、または後に位置する走行装置については、 $M_{Tx2} = -M_{cxs} - M_{Tx1}$ ）。

【0042】

第4のバリエーション（ $M_{Akt1} = 0$ かつ $M_{Tx2} = \pm M_{cxs} - M_{Tx1}$ ）において、および第5のバリエーション（ $M_{Akt1} = -M_{cxp1}$ かつ $M_{Tx2} = \pm M_{cxs} - M_{Tx1}$ ）において、式（3）から（6）からそれぞれ以下の式が生じる：

10

【数5】

$$\sum Y_1 = \frac{F_{aq}}{2} \pm \frac{M_{cxs}}{2a} \mp \frac{M_{cxs}}{2a} = \frac{F_{aq}}{2} \quad (9)$$

$$\sum Y_2 = \frac{F_{aq}}{2} \mp \frac{M_{cxs}}{2a} \pm \frac{M_{cxs}}{2a} = \frac{F_{aq}}{2} \quad (10)$$

20

【0043】

換言すると、これによっても、横方向の軌道力の合計 $\sum Y_1$ と $\sum Y_2$ が釣り合わされる（すなわち $\sum Y_1 = \sum Y_2$ ）。

【0044】

この際、走行装置は走行装置フレームを有しており、その走行装置フレームは、第1の車輪ユニットおよび第2の車輪ユニット上にそれぞれ一次ばね機構を介して支持されており、この際、車両構造体が二次ばね機構を介して走行装置フレーム上に支持されているのが好ましい。二次ばね機構に基づく復帰回転モーメントを求めるために、走行装置フレームと車両構造体の間の回転角度が求められる。

【0045】

30

第3の理想目標値は、ここでも、第2の車輪ユニットの所望の調節を達成することができる任意の適当な量とすることができる。ここでも、第3の理想目標値は、軌道の曲率に追従するように調節される第3の理想目標回転角度（ ϕ_{z3si} ）であるのが好ましい。

【0046】

ここでも、上述したように、第3の補正係数（ K_3 ）を介して、使用される第3の目標値を第3の理想目標値に対して任意に、場合によっては時間に依存させてずらすことができる。したがって、第3の補正係数（ K_3 ）は、少なくとも一時的に、1と異なるように選択することができ、および／または少なくとも一時的に、1に等しく選択することができ、および／または所定の様式に従って変化させることができる。

【0047】

40

第1の周波数領域は、原則的に、車輪ユニットの曲線半径に従った調節に適した任意の低い水準にすることができる。第1の周波数領域は、0から1 Hz、特に0から0.5 Hzであるのが好ましい。

【0048】

第2の周波数領域は、原則的に、まっすぐな軌道で、そして曲線軌道でも車輪ユニットの安定化制御に適した任意の水準にすることができる。2つの周波数領域を簡単に分離できるようにするために、第2の周波数領域は、少なくとも部分的に第1の周波数領域より上にあるのが好ましい。第2の周波数領域は、4から8 Hzであるのが好ましい。

【0049】

まっすぐな軌道で、また、曲線軌道でも車輪ユニットを安定化制御するために、第1の

50

車輪ユニットの現在の横方向速度と鉄道車両の現在の走行速度が求められることが意図されるのが好ましい。求められた第1の車輪ユニットの現在の横方向速度と求められた鉄道車両の現在の走行速度から、第2の周波数領域のために第2の理想目標値として、第2の理想目標回転角度 (ϕ_{z2s}) が計算される。この際、第2の目標値を示す第2の目標回転角度が第2の理想目標回転角度と一致する場合に (すなわち $K_2=1$)、第1の車輪ユニットの求められた横方向の速度と反対向きで等しい第1の車輪ユニットの横方向速度が生じさせられるように、第2の理想目標回転角度が選択される。換言すると、それによって、車輪ユニットの結果として得られる横方向速度をゼロに制御することができる。

【0050】

この際、第1の車輪ユニットの現在の横方向速度が、速度センサを介して検出され、あるいは加速度センサによって検出された第1の車輪ユニットの現在の横方向加速度が積分されて車輪ユニットの現在の横方向速度が得られるのが好ましい。付加的に、あるいは代替的に、鉄道車両の現在の走行速度として、上位の列車制御システムから提供される走行速度が用いられる。付加的に、あるいは代替的に、鉄道車両の現在の走行速度が、鉄道車両の少なくとも1つの車輪の回転数の測定によって求められる。

【0051】

曲線半径に従った調節について上述したように、ここでも、第2の補正係数 (K_2) を介して、安定化制御のために、使用される第2の目標値を第2の理想目標値に対して任意に、場合によっては時間に依存させてずらすことができる。したがって、第2の補正係数 (K_2) は、少なくとも一時的に、1と異なるように選択することができ、および/またはは少なくとも一時的に、1に等しく選択することができ、および/または所定の様式に従って変化させることができる。

【0052】

本発明は、さらに、2つの車輪を備えた少なくとも1つの車輪ユニットを有する鉄道車両の能動的な走行装置を制御する装置であって、制御装置と、制御装置によって制御される、第1の車輪ユニットとその上に第1の一次ばね機構を介して支持された車両構造体との間に作用する少なくとも1つの第1のアクチュエータとを有する装置に関する。この際、軌道の実際の曲率に従って、車両構造体に対する走行装置の鉛直軸線を中心とする第1の車輪ユニットの回転角度を少なくとも1つの第1のアクチュエータを介して第1の周波数領域で制御装置が調節する。付加的に、あるいは代替的に、軌道位置の乱れによって、あるいは正弦波状の運動によって生じさせられる少なくとも第1の車輪ユニットの横方向運動を少なくとも1つの第1のアクチュエータを介して第2の周波数領域で制御装置が相殺する。本発明によれば、制御装置は、第1の車輪ユニットの回転角度が、第1の理想目標値に所定の第1の補正係数 (K_1) を乗算したものに相当する第1の目標値を用いて第1の周波数領域で調節されるように構成されており、この際、第1の目標値が第1の理想目標値と一致する場合に (すなわち $K_1=1$)、軌道の実際の曲率において、第1の車輪ユニットが、少なくともほぼ曲線半径に従って調節されるように、第1の理想目標値が選択される。付加的に、あるいは代替的に、本発明によれば、制御装置は、第2の理想目標値に所定の第2の補正係数 (K_2) を乗算したものに相当する第2の目標値を用いて第1の車輪ユニットの回転角度が第2の周波数領域で調節されるように構成されており、この際、第2の目標値が第2の理想目標値と一致する場合に (すなわち $K_2=1$)、軌道位置の乱れによって、あるいは正弦波状の運動によって生じさせられる少なくとも第1の車輪ユニットの横方向運動が実質的に補償されるように、第2の理想目標値が選択される。

【0053】

本発明に基づく装置は、本発明に基づく方法を実施するのに適している。本発明に基づく装置によって、上述した本発明に基づく方法のバリエーションおよび利点が、同様に実現され、したがって、ここでは上の説明を参照する。

【0054】

本発明は、さらに、2つの車輪を備えた少なくとも1つの第1の車輪ユニットを含む能動的な走行装置と、能動的な走行装置を制御する本発明に基づく装置とを備えた鉄道車両

に関する。本発明に基づく鉄道車両によっても、本発明に基づく方法の上述したバリエーションおよび利点が同様に実現され、したがって、ここでは同様に上述した説明を参照する。

【図面の簡単な説明】

【0055】

【図1】本発明に基づく好ましい実施形態の鉄道車両の一部を下から模式的に示す図である。

【図2】第1の周波数領域における曲線走行制御を説明するために、図1に基づく鉄道車両の詳細を模式的に示す図である。

【図3】第2の周波数領域における安定化制御を説明するために、鉄道車両の詳細を模式的に示す図である。

【発明を実施するための形態】

【0056】

本発明の他の好ましい形態が、下位請求項ないし、添付の図面を参照する、好ましい実施形態についての以下の説明から明らかにされる。

【0057】

以下、それぞれ図1から3に示す鉄道車両において使用することができる、本発明に基づく方法の幾つかの実施形態を用いて本発明を説明する。

【0058】

図1は、ボギー車103の形態の能動的な走行装置上に支持されている車体102を備えた本発明に基づく鉄道車両101の一部を（下から、すなわち軌道床から見て）示している。ボギー車103は、ボギー車フレーム104、第1の車輪セット105の形態の第1の車輪ユニットおよび第2の車輪セット106の形態の第2の車輪ユニットを有している。この際、ボギー車フレーム104は、第1の一次ばね機構107を介して第1の車輪セット105上に支持され、第2の一次ばね機構108を介して第2の車輪セット106上に支持されている。

【0059】

ボギー車103の走行挙動に能動的に影響を与えるために、第1の車輪セット105とボギー車フレーム104との間に第1のアクチュエータ109が作用し、第2の車輪セット106とボギー車フレーム104との間に第2のアクチュエータ110が作用する。そのために、それぞれのアクチュエータ109、110は、一方でボギー車フレーム104に、他方では、付属の車輪セット105、106の車輪軸受ハウジングの1つにリンク結合されている。

【0060】

2つのアクチュエータ109、110によって、図1の図面平面に対して垂直に延びる、鉄道車両101の垂直軸線を中心とした付属の車輪セット105、106の回転運動が能動的に発生させられる。換言すると、2つのアクチュエータ109、110は、図1の図面平面に対して垂直に延びる、鉄道車両101の垂直軸を中心とした付属の車輪セット105、106の回転角度に能動的に影響を与える。

【0061】

そのために、それぞれのアクチュエータ109、110は、付属の車輪セット105、106に対して、鉄道車両101の垂直軸線を中心とする回転モーメントを発生する。この際、車輪セット105、106のそれぞれについて1つのアクチュエータ109、110のみを有する図示の例では、ボギー車フレーム104のそれぞれ反対側の車輪軸受ハウジングの、対応するリンク結合点（ストッパなど）に作用する支持力によって、それぞれの車輪セット105、106に、偶力の第2の成分が加えられる。

【0062】

なお、この場合に、本発明に基づく他の変形例においては、図1に破線の輪郭111、112で示すように、車輪セットのそれぞれに対して複数のアクチュエータを設けることもできる。アクチュエータ109、110は、図1においては、簡単にするために、リニ

10

20

30

40

50

アクチュエータとして示している。しかし、車輪セットとボギー車フレームとの間に、任意の他のリニアアクチュエータまたは回転アクチュエータや任意の他のリンク機構またはトランスミッションを設けることもできる。そのための可能な複数の例が、例えば、冒頭で引用した特許文献2に見られる。さらに、アクチュエータ109, 110は、任意の作用原理に基づくものとすることができる。すなわち、流体圧や、電気機械的な作用原理またはそれらの任意の組合せを用いることができる。

【0063】

ボギー車は、それぞれのアクチュエータ109, 110と接続されそれらをそれぞれ適切に制御する制御装置113によって制御される。この際、本発明に基づく様々なバリエーションの制御が可能であり、それについては、以下で例を挙げて説明する。

10

【0064】

そのような全てのバリエーションに共通なのは、第1の周波数領域において、軌道の実際の曲率に従ってそれぞれの車輪セット105, 106の回転角度の調節が行われ、第2の周波数領域において、それぞれの車輪セット105, 106の回転角度の、重ね合わされた調節が、軌道の位置の変動により、または正弦波状の運動により生じさせられる横方向運動を相殺するように行われることである。

【0065】

したがって換言すると、第1の周波数領域において曲線走行制御が行われ、第2の周波数領域において重ね合わされた安定化制御が行われる。この際、第1の周波数領域は0から1.5 Hzの範囲であり、第2の周波数領域は4から8 Hzの範囲である。それによって、ボギー車の、したがって鉄道車両の走行挙動を曲線軌道においても、まっすぐな軌道で高速の時に最適化することが可能である。

20

【0066】

(第1の実施形態)

本発明に基づく好ましい第1の制御のバリエーションでは、曲線走行制御、したがって第1の周波数領域における第1の車輪セット105の回転角度の調節が、第1の目標回転角度 ϕ_{z1s} を用いて制御装置113によって行われ、その第1の目標回転角度 ϕ_{z1s} は、第1の理想目標回転角度 ϕ_{z1si} に所定の第1の補正係数 K_1 を乗算した値に相当し、すなわち次の式が成立する：

$$\phi_{z1s} = K_1 \cdot \phi_{z1si} \quad (11)$$

30

【0067】

この際、第1の理想目標回転角度 ϕ_{z1si} は、 $K_1 = 1$ の場合、すなわち第1の目標回転角度 ϕ_{z1s} が第1の理想目標回転角度 ϕ_{z1si} と一致する場合に、第1の車輪セット105が、軌道の実際の曲率での曲線半径に調節されるように選択される。

【0068】

さらに、制御は、第1のアクチュエータ109によって第1の周波数領域において、回転モーメントを実質的に時々刻々と加える必要がないように、すなわち $M_{Akti} = 0$ であるように行われる。したがって、受動的に曲線になじむ走行装置の場合にそうであり、図2で第1の車輪セット105の所に示す回転モーメントと、式(1)によるモーメントの釣り合いから得られるように、第1の一次ばね機構107の復帰回転モーメント M_{cxp1} が、第1の車輪セット105で車輪とレールを組み合わせることによって生じさせられる回転モーメント M_{Tx1} と実質的に均衡していると言え、すなわち次の式が成立する：

40

$$M_{Tx1} = -M_{cxp1} \quad (2)$$

【0069】

換言すると、このバリエーションでは、曲線走行の場合に、第1の周波数領域において、受動的に曲線になじむ走行装置の場合のように、第1の車輪セット105が、少なくともほぼ曲線半径に従うように調節されるまで、第1のアクチュエータ109が第1の車輪セット105の、軌道の曲率によって生じさせられる逸脱回転運動に従うことが許容される。

【0070】

50

第1の車輪セット105が実際の位置から逸脱して回転する場合に、第1のアクチュエータ109における実際の負荷にかんがみて、負荷の、達成すべき解消が期待される新しい第1の理想目標回転角度 ϕ_{z1si} が、第1のアクチュエータ109のために、間欠的あるいは連続的に予め決められる。換言すると、逸脱回転運動に追従し、したがって実際の軌道曲率に追従するように第1の理想目標回転角度 ϕ_{z1si} を間欠的または連続的に調節することができる。第1の理想目標回転角度 ϕ_{z1si} を調節するための指針量として、アクチュエータの負荷の解消を示す任意の量を使用することができる。したがって、この量は、好ましくは、アクチュエータの負荷を求める測定方式に応じて選択するのが好ましい。

【0071】

第1の車輪セット105の実際の回転角度と第1のアクチュエータ109における実際の負荷を示す量（例えば、力の値、モーメントの値、圧力の値、電流値など）を適切なセンサによって検出するのが好ましい。そして、それに応じた新しい第1の理想目標回転角度 ϕ_{z1si} が、第1のアクチュエータ109における負荷がゼロではない場合に予め決められる。これは、間欠的または連続的に行うことができ、この際、例えば、アクチュエータ109における負荷を示す量の時間的な積分によって、アクチュエータ109における負荷状態のみが、第1の周波数領域において検出されることを保証することができる。

【0072】

それによって、実際の軌道の曲率を測定し、または他の方法で求めることを省くことができ、場合によって第1の周波数領域において生じる第1のアクチュエータ109における負荷のみに基づいて、曲線半径に従った調節を行うことができ、または、ボギー車103のパラメータと実際の走行状態（走行速度、横方向加速度など）に基づいて正確に曲線半径に従った調節に必要な回転角度を推定することができる。これには、通常ある程度手間のかかる実際の軌道曲率の算出に比較して、調節における時間の遅延を著しく小さくすることができるという利点がある。

【0073】

第1の補正係数 K_1 によって、制御の際に使用される第1の目標回転角度 ϕ_{z1s} を第1の理想目標回転角度 ϕ_{z1si} から所定の仕方でずらすことができる。それによって、補償を過剰にし、または補償を不足させることができるが、それは、エネルギーの消費につながり、また、結果として $M_{Akt} \neq 0$ となる。例えば、 $K_1 = 0$ によって、車輪セットの、従来の受動的な車両におけるような固定されたリンク結合を実現することができる。

【0074】

それによって、理想制御の利点を失うことなく、車輪における局所的な磨耗の可能性の極めて高い第1の理想目標回転角度 ϕ_{z1si} による理想制御に対して、制御を所定の仕方でずらすことが可能である。曲線走行挙動を良好とし、直線的な軌道における安定性を良好としたまま、理想制御からのわずかな所定のずれによって既に、車輪の走行面の磨耗の分布の大幅な改善を得ることができ、それによって、より好ましい磨耗形態が得られ、したがってより長い寿命が得られることが分かっている。

【0075】

この際、場合によっては、比較的長い区間にわたっても、理想制御を実施することができ、すなわち補正係数 $K_1 = 1$ を選択し、一時的にのみ理想制御に対して制御を所定の仕方でずらすことができ、すなわち該当する $K_1 \neq 1$ を選択することができる。さらに、予め定められた時間経過に従って、例えば連続的に、補正係数 K_1 を介して理想制御に対する制御のずれを変化させることができる。同様に、実際の、あるいは予測される走行状態（速度など）、または実際の、あるいは予測される軌道の状態（軌道の外形など）に従って補正係数 K_1 を変化させることもできるのももちろんである。それによって、任意の磨耗分布が得られる。

【0076】

上述した制御が、第1の制御のバリエーションにおいて、ボギー車103の第2の車輪セット106についても行われ、その結果、全ての車輪セットで、最終的に、受動的に曲線になじむ走行装置の場合のような曲線走行挙動を模擬することができる。特に上の式（

10

20

30

40

50

1) から明らかなように、この制御によって、 $M_{Tx} = 0$ (すなわち車輪とレールを組み合わせることによって生じさせられる回転モーメントがない) とし、曲線の半径方向の、軌道に対する横方向の力を均衡させても理想形の曲線走行は得られないが、高い走行安定性を得ることを可能とし、エネルギー消費をずっと少なくしながら、良好な曲線走行特性および磨耗特性を得ることができる。

【0077】

走行する鉄道車両101の第1の車輪セット105は、軌道の横方向の不均衡箇所を通過する際に、その中央が軌道の中央の位置から横にずれ、それによって横方向の加速度を受け、それが、軌道に対する第1の車輪セット105の横方向の速度を生じさせる。車輪とレールが相応の外形の組み合わせになっている場合、緩衝が弱い場合に、両車輪を結合する車軸上に動かないように取り付けられた2つの車輪の回転数が一致する結果として、車輪セット105の(ここでボギー車103に用いられているように、車輪セット105, 106の場合、走行装置全体についても)正弦波状の横および回転運動がその中心位置を中心に生じさせられる。この横および回転運動は、安定限界を超える速度で、ますます助長され、不安定性をもたらす。同じことが、偶発的な横方向の初期変位から生じさせられる、だんだんと増大する正弦波状の運動についても当てはまり、それが、不安定なジグザグ走行へと悪化する。この種の現象によって、車輪とレールの間の横方向の力が増大させられ、それによって、軌道床のずれ、または脱線の危険を生じさせるほどに磨耗が増大させられる可能性がある。

【0078】

これを回避するために、第1の制御のバリエーションでは、第1の車輪セット105の安定性が、まっすぐな軌道において、そしてまた曲線軌道でも制御され、したがって、第1の車輪セット105の回転角度が第2の周波数領域において第2の目標回転角度 ϕ_{z2s} を用いて制御装置113によって調節され、その第2の目標回転角度 ϕ_{z2s} は、第2の理想目標回転角度 ϕ_{z2si} に所定の第2の補正係数 K_2 を乗算したものに相当し、すなわち次の式が成立する:

$$\phi_{z2s} = K_2 \cdot \phi_{z2si} \quad (12)$$

【0079】

この際、第2の理想目標回転角度 ϕ_{z2si} は、 $K_2 = 1$ の場合、すなわち第2の目標回転角度 ϕ_{z2s} が第2の理想目標回転角度 ϕ_{z2si} と一致する場合に、軌道位置の不均衡によって、あるいは正弦波状の運動によって生じさせられる、第1の車輪セット105の横方向の運動が実質的に相殺されるように選択される。

【0080】

そのために、第1の車輪セット105の現在の横方向速度と鉄道車両101の現在の走行速度が求められる。求められた第1の車輪セット105の現在の横方向速度と鉄道車両の現在の走行速度から、第2の周波数領域について第2の理想目標値として、第2の理想目標回転角度 ϕ_{z2si} が計算される。この際、第2の目標値を示す第2の目標回転角度が、第2の理想目標回転角度と一致する場合に(すなわち $K_2 = 1$)、第1の車輪ユニットの第1の車輪セット105の求められた横方向速度に対して反対向きで等しい、第1の車輪ユニットの第1の車輪セット105の横方向速度が生じさせられるように第2の理想目標回転角度 ϕ_{z2si} は選択される。したがって、換言すると、車輪ユニットの第1の車輪セット105の、結果として生じる横方向速度をゼロに制御することができる。

【0081】

それに対して、本発明に基づく方法においては、車輪セットの現在の横方向速度 v_y が適切なセンサによって検出され、そのセンサは、例えば車軸軸受に取り付けられている。そのセンサは、例えば横方向に作用する加速度のセンサであることができ、その信号が時間積分される。さらに、鉄道車両の現在の走行速度 v が制御のために供給され、その走行速度 v は、例えば、上位の列車制御システムから、または、公知の速度記憶装置から受信される。

【0082】

理想制御 ($K_2 = 1$) の目的は、上述したように、不均衡または正弦波状の運動によって横方向速度 v_y を生じさせられる第 1 の車輪セット 105 に、第 1 のアクチュエータ 109 によって、反対向きで等しい横方向速度を加えることである。これは、現在の第 2 の理想目標回転角度 ϕ_{z2si} を指針量として定常的に計算することによって行われ、その第 2 の理想目標回転角度 ϕ_{z2si} によって、第 1 の車輪セット 105 がその実際のリンク結合に対して、例えば走行装置フレームに対して然るべく調節されている間、同じ大きさの、しかし逆方向の望ましい横方向速度 v_{yc} が生じさせられる (図 3 を参照)。

【0083】

理想目標回転角度 ϕ_{z2si} のこの計算された値が第 1 のアクチュエータ 109 の制御装置 113 へ供給され、それによって、十分に小さい位相シフトで十分に大きい動的变化を生じさせることができる。その作用によって、軌道位置の不均衡または正弦波状の運動によって生じさせられる横方向運動が、発端に既に抑制され、その結果、第 1 の車輪セット 105 は、縦方向に柔軟なリンク結合にもかかわらず、横方向に、およびその回転運動に関して安定した状態に保たれる。

10

【0084】

ボギー車 103 の第 2 の車輪セット 106 も、縦方向に柔軟なリンク結合にもかかわらず、横方向に、および回転運動に関して安定した状態に保つために、この安定化制御方法にしたがって同様に制御される。

【0085】

安定化制御時にも、第 2 の補正係数 (K_2) を介して、曲線半径に従った調節について上述したように、使用される第 2 の目標値を第 2 の理想目標値に対して、場合によっては時間に依存させて、任意にずらすことができる。このようにして、安定化制御についても、理想制御の利点を失うことを必要とすることなく、車輪において局所的な磨耗を極めて生じさせやすい第 2 の理想目標回転角度 ϕ_{z2si} による理想制御に対して、制御を所定の仕方ですることが可能である。理想制御からのわずかな所定のずれだけで、曲線走行挙動が良好で、直線的な軌道での安定性が良好なままで、車輪の走行面の磨耗の分布の改善を得ることができ、それによって、より好ましい磨耗形態が得られ、したがってより長い寿命が得られることが分かっている。

20

【0086】

この際、場合によっては比較的長い区間にわたってでも、理想制御を実施することができ、すなわち第 2 の補正係数 $K_2 = 1$ が選択され、一時的にのみ理想制御に対して制御が所定の仕方ですられ、すなわち $K_2 \neq 1$ が選択される。さらに、所定の時間的様式に従って、例えば定常的に、補正係数 K_2 を介して理想制御に対する制御のずれを変化させることができる。同様に、実際の、あるいは予測される走行状態 (速度など) に従って、または実際の、あるいは予測される軌道の状態 (軌道の外形など) に従って補正係数 K_2 を変化させることもできるのももちろんである。それによって、任意の磨耗分布が得られる。

30

【0087】

したがって、制御規則のパラメータを、軌道品質が悪い場合、すなわち軌道位置の乱れの振幅が大きく、密度が高い場合に合わせ、あるいは走行速度に依存するように調節することができる。制御装置 113 は、例えば軌道品質が悪い場合には、より強く反応するように、「よりシャープに」調節することができ、あるいは、例えば走行速度が低い場合には、それぞれのアクチュエータ 109、110 の負荷が大きくなり過ぎるのを防止するために、「よりソフトに」調節することができる。

40

【0088】

安定化制御方法は、時刻暦を記録する必要がなく、各時点で第 1 の車輪セット 105 の現在の運動状態が考慮されるだけなので非常に簡単であるという利点を有している。

【0089】

さらに、各車輪セット 105、106 は、同一のボギー車 (又は、走行装置とも言う) 103 または車両 101 の他の車輪セットとは独立して制御することができる。軌道の乱

50

れ、および場合によっては生じる不安定性に対する反応は、車輪セット105, 106において制御によって即座に除去される。車輪セット105, 106は、車輪セットの案内が縦方向に柔軟であるにもかかわらず安定しており、すなわち、横方向における運動、および鉛直軸線を中心とした運動に関して安定している。したがって、車輪セット105, 106とボギー車103の間、またはボギー車103と車体102あるいは車輪セット105, 106と車体102の間に、鉛直軸線を中心とする回転運動に対する緩衝手段が不要である。不安定性を緩衝するのではなく、不安定性はもともと生じることがなく、車体102の挙動も従来の方策におけるよりもずっと安定している。

【0090】

上述した第1の制御のバリエーションによって得られるような、径方向に受動的に調節可能な曲線走行 ($M_{Akt} = 0$ かつ $M_{Tx} = -M_{cxp}$) に対する改善が、曲線走行の理想形態 ($M_{Tx} = 0$ かつ $\Sigma Y_1 = \Sigma Y_2$) に近づけるために、それぞれのアクチュエータ109, 110において、かなり多くのエネルギーを消費すること ($M_{Akt} \gg 0$) によってのみ可能になることが分かっている。もちろん、本発明に基づく方法の以下で説明するバリエーションによって、エネルギーの投入を相応に減らして、理想的な曲線走行の良好な近似を得ることが可能である。

【0091】

(第2の実施形態)

そこで、好ましい第2の制御のバリエーションでは、第1の車輪セット105の回転角度の調節は、上述した第1の制御のバリエーションにしたがって同様に行われるが (すなわち $M_{Akt1} = 0$)、第2の車輪セット106の回転角度は、第3の理想目標回転角度 ϕ_{z3si} に所定の第3の補正係数 K_3 を乗算したものに相当する第3の目標回転角度 ϕ_{z3s} を用いて、第1の周波数領域で調節される。この際、第3の理想目標回転角度 ϕ_{z3si} は、 $K_3 = 1$ の場合、すなわち第3の目標回転角度 ϕ_{z3s} が第3の理想目標回転角度 ϕ_{z3si} と一致する場合に、軌道の実際の曲率において車輪とレールを組み合わせることによって生じさせられる、第1の車輪セット105における回転モーメント M_{tx1} が、軌道の実際の曲率において車輪とレールを組み合わせることによって生じさせられる、第2の車輪ユニットにおける回転モーメント M_{Tx2} と反対向きで等しくなるように (すなわち $M_{Tx1} = -M_{Tx2}$) 選択される。

【0092】

それによって、上述した式(3)から(6)に基づいて、上に示した関係は、次の式に従う：

【数6】

$$\Sigma Y_1 = \frac{F_{aq}}{2} \pm \frac{M_{cxs}}{2a} \quad (7)$$

$$\Sigma Y_2 = \frac{F_{aq}}{2} \mp \frac{M_{cxs}}{2a} \quad (8)$$

【0093】

換言すると、それによって、ボギー車フレーム104上に車体102を支持する二次ばね機構114の復帰回転モーメント M_{cxs} の分を除いて、第1の車輪セット105における横方向の軌道力の合計 ΣY_1 と第2の車輪セット106における横方向の軌道力の合計 ΣY_2 が釣り合わされる。

【0094】

制御装置113は、軌道の実際の曲率において車輪とレールを組み合わせることによって生じさせられる、第1の車輪セット105における回転モーメント M_{Tx1} 、ボギー車103のために予め定められた、第2の一次ばね機構108の回転モーメント M_{Cxp2} の、第

10

20

30

40

50

2の車輪セット106の回転角度 ϕ_{z3} に対する依存性、およびボギー車103のために予め定められた、第2のアクチュエータ110の回転モーメント M_{Akt2} の、第2の車輪セット106の回転角度 ϕ_{z3} に対する依存性から第3の理想目標回転角度 ϕ_{z3si} を計算するのが好ましい。第2の車輪セット106の回転角度 ϕ_{z3} に対する第2のアクチュエータ110の回転モーメント M_{Akt2} のこのような依存性は、任意の方法で、例えば、ボギー車103または車両101のために前もって定められた式、特性曲線、または特性マップなどによって予め定めることができる。

【0095】

ここでも、第1の補正係数 K_1 との関連で既に上述したのと同じようにして、第3の補正係数 K_3 を介して、第3の理想目標回転角度 ϕ_{z3si} に対して、使用される第3の目標回転角度 ϕ_{z3s} を任意に、場合によっては時間に依存させて、走行状況に依存させて、および／または軌道の状況に依存させてずらすことができる。したがって、第3の補正係数 K_3 は、第1の補正係数 K_1 と同様に、少なくとも一時的に1とは異なるように選択することができ、および／または少なくとも一時的に1と等しく選択することができ、および／または所定の様式に従って変化させることができる。

10

【0096】

不安定な走行状況を回避するために、第1の制御のバリエーションの場合と同様に、車輪セット105、106の安定化制御がまっすぐな軌道で、そしてまた曲線軌道でも行われ、すなわち、第2の周波数領域で第1および第2の車輪セット105、106の回転角度の調節が行われる。制御装置113は、第1の制御のバリエーションとの関連において上述したのと同様に、すなわち、第2の理想目標回転角度 ϕ_{z2si} に所定の第2の補正係数 K_2 を乗算したものに相当する第2の目標回転角度 ϕ_{z2s} を用いて機能する。したがって、ここでは単に上の説明を参照する。

20

(第3の実施形態)

【0097】

好ましい第3の制御のバリエーションでは、曲線走行制御、すなわち第1の周波数領域での第1の車輪セット105の回転角度の調節が、制御装置113によって、ここでも、第1の理想目標回転角度 ϕ_{z1si} に所定の第1の補正係数 K_1 を乗算したものに相当する第1の目標回転角度 ϕ_{z1s} を用いて行われる。すなわち、ここでも、次の式が成立する：

$$\phi_{z1si} = K_1 \cdot \phi_{z1si} \quad (11)$$

30

【0098】

この際、 $K_1 = 1$ の場合、すなわち第1の目標回転角度 ϕ_{z1si} が第1の理想目標回転角度 ϕ_{z1si} と一致する場合に、軌道の実際の曲率において、第1のアクチュエータ109が第1の周波数領域で、第1の一次ばね機構107の回転モーメント M_{cxp1} と反対向きで等しい回転モーメント M_{Akt1} （すなわち $M_{Akt1} = -M_{cxp1}$ ）を加えるようにして、第1のアクチュエータ109が第1の周波数領域で、軌道の曲率の変化によって生じさせられる第1の車輪ユニットの回転運動に追従する。

【0099】

第2の車輪セット106は、同様に、この方法に従って制御される。したがって、第2の車輪セット106の回転角度は、第1の周波数領域において、第3の理想目標回転角度 ϕ_{z3si} に所定の補正係数 K_3 を乗算したものに相当する第3の目標回転角度 ϕ_{z3s} を用いて調節される。第3の理想目標回転角度 ϕ_{z3si} は、ここでも、 $K_3 = 1$ の場合、すなわち第3の目標回転角度 ϕ_{z3s} が第3の理想目標回転角度 ϕ_{z3si} と一致する場合に、第2のアクチュエータ110が軌道の実際の曲率において、一時的に第1の周波数領域において、第2の一次ばね機構108の回転モーメント M_{cxp2} と反対向きで等しい回転モーメント M_{Akt2} （すなわち $M_{Akt2} = -M_{cxp2}$ ）を加えるようにして、少なくとも第2のアクチュエータ110が第1の周波数領域で、軌道の曲率の変化によって生じさせられる第2の車輪ユニットの回転運動に追従するように調節される。

40

【0100】

ここで、式(1)からの結果として、すなわち、第1の車輪セット105と第2の車輪

50

セット106が、曲線半径に従って調節される場合に、車輪とレールを組み合わせることによって生じさせられる回転モーメントが消滅し（すなわち $M_{Tx1}=M_{Tx2}=0$ ）、式（3）から（6）から再び次の式が得られる：

【数7】

$$\sum Y_1 = \frac{F_{aq}}{2} \pm \frac{M_{cxs}}{2a} \quad (7)$$

$$\sum Y_2 = \frac{F_{aq}}{2} \mp \frac{M_{cxs}}{2a} \quad (8)$$

10

【0101】

換言すると、これによっても（第2の制御のバリエーションの場合と同様に）第1の車輪セット105における横方向の軌道力の合計 $\sum Y_1$ と第2の車輪セット106における横方向の軌道力の合計 $\sum Y_2$ が、二次ばね機構114の復帰回転モーメント M_{cxp} の分を除いて釣り合わされる。

【0102】

第1の理想目標回転角度 ϕ_{z1si} または第3の理想目標回転角度 ϕ_{z3si} は、任意の適切な方法で軌道の曲率に相応に合わせることができる。第1の車輪セット105の実際の回転角度 ϕ_{z1} 、または第2の車輪セット106の実際の回転角度 ϕ_{z3} と、それぞれのアクチュエータ109、110における負荷を示す量（例えば力の値、モーメントの値、圧力値、電流値など）を検出するのが好ましい。該当するアクチュエータ109、110における負荷が、この回転角度 ϕ_{z1} または ϕ_{z3} において一次ばね機構107または108の復帰モーメントから生じる負荷からずれている場合に、新しい第1の理想目標回転角度 ϕ_{z1si} または新しい第3の理想目標回転角度 ϕ_{z3si} が設定される。

20

【0103】

ここでも再び、第1の補正係数 K_1 または第3の補正係数 K_3 を介して、上述したように、第1または第3の理想目標値に対して、使用される第1または第3の目標値を任意に、場合によっては時間に依存させて、走行状況に依存させて、および／または軌道の状況に依存させて、ずらすことができる。したがって、第1の補正係数 K_1 または第3の補正係数 K_3 は、少なくとも一時的に1と異なるように選択することができ、および／または少なくとも一時的に1と等しく選択することができ、および／または所定の様式に従って変化させることができる。

30

【0104】

不安定な走行状況を回避するために、第1の制御のバリエーションの場合と同様に、車輪セット105、106の安定化制御が、まっすぐな軌道で、そしてまた曲線軌道でも行われ、すなわち、第1および第2の車輪セット105、106の回転角度が第2の周波数領域で調節される。この際、制御装置113は、第1の制御のバリエーションに関連して上述したように機能し、すなわち、第2の理想目標回転角度 ϕ_{z2si} に所定の第2の補正係数 K_2 を乗算したものに相当する第2の目標回転角度 ϕ_{z2s} を用いて機能する。したがって、ここでは単に、上の説明を参照する。

40

（第4の実施形態）

【0105】

好ましい第4の制御のバリエーションでは、曲線走行制御、すなわち第1の周波数領域内の第1の車輪セット105の回転角度の調節が、第1の制御のバリエーションの場合と同様に行われる（すなわち $M_{Akt1}=0$ ）。しかし、第2の車輪セット106の回転角度は、第1の周波数領域で、第3の理想目標回転角度 ϕ_{z3si} に所定の第3の補正係数 K_3 を乗算したものに相当する第3の目標回転角度 ϕ_{z3s} を用いて調節される。この際、 $K_3=1$ の場合、すなわち第3の目標回転角度 ϕ_{z3s} が第3の理想目標回転角度 ϕ_{z3si} と一致する

50

場合に、軌道の実際の曲率において車輪とレールを組み合わせることによって生じさせられる第2の車輪セット106における回転モーメント M_{Tx2} が、回転モーメントの差に相当するように第3の理想目標回転角度 ϕ_{z3si} は選択され、その回転モーメント差は、走行方向係数 L と、二次ばね機構114の実際に存在する復帰回転モーメント M_{cxs} の積、および軌道の実際の曲率において車輪とレールを組み合わせることによって生じさせられる第1の車輪セット105における回転モーメント M_{Tx1} とによって得られる。この際、走行方向係数 L は、走行方向に見て前に位置するボギー車103については1と等しく、後ろに位置するボギー車103については、 -1 に等しい（すなわち前に位置するボギー車103については、 $M_{Tx2} = M_{cxs} - M_{Tx1}$ であり、後ろに位置するボギー車103については、 $M_{Tx2} = -M_{cxs} - M_{Tx1}$ である）。

10

【0106】

この第4の制御のバリエーション（ $M_{Akt1} = 0$ かつ $M_{Tx2} = \pm M_{cxs} - M_{Tx1}$ ）では、式（3）から（6）から、次の関係が得られる：

【数8】

$$\sum Y_1 = \frac{F_{aq}}{2} \pm \frac{M_{cxs}}{2a} \mp \frac{M_{cxs}}{2a} = \frac{F_{aq}}{2} \quad (9)$$

$$\sum Y_2 = \frac{F_{aq}}{2} \mp \frac{M_{cxs}}{2a} \pm \frac{M_{cxs}}{2a} = \frac{F_{aq}}{2} \quad (10)$$

20

【0107】

換言すると、それによって、第1の車輪セット105における横方向の軌道力の合計 ΣY_1 と第2の車輪セット106における横方向の軌道力の合計 ΣY_2 が釣り合わされる（すなわち $\Sigma Y_1 = \Sigma Y_2$ ）。

【0108】

二次ばね機構114による復帰回転モーメント M_{cxs} を求めるために、ボギー車フレーム104と車体102の間の回転角度が、制御装置113と接続されたセンサ115によって求められる。

30

【0109】

ここでも、第1の補正係数 K_1 または第3の補正係数 K_3 を介して、上述したように、第1または第3の理想目標値に対して、使用される第1または第3の目標値を任意に、場合によっては時間に依存させて、走行状況に依存させて、および／または軌道の状況に依存させてずらすことができる。したがって、第1の補正係数 K_1 または第3の補正係数 K_3 は、少なくとも一時的に1と異なるように選択することができ、および／または少なくとも一時的に1と等しく選択することができ、および／または所定の様式に従って変化させることができる。

【0110】

不安定な走行状況を回避するために、第1の制御のバリエーションの場合のように、車輪セット105、106の安定化制御が、まっすぐな軌道において、そしてまた曲線軌道においても行われ、すなわち、第1および第2の車輪セット105、106の回転角度が第2の周波数領域において調節される。制御装置113は、ここでは、第1の制御のバリエーションに関連して上述したように機能し、すなわち第2の理想目標回転角度 ϕ_{z2si} に所定の第2の補正係数 K_2 を乗算したものに相当する第2の目標回転角度 ϕ_{z2s} を用いて機能する。したがって、ここでは単に、上の説明を参照する。

40

【0111】

（第5の実施形態）

好ましい第5の制御のバリエーションにおいては、曲線走行制御、すなわち第1の周波数領域における第1の車輪セット105の回転角度の調節は、第3の制御のバリエーション

50

ンにおけるのと同様に行われる（すなわち $M_{Akt1}=M_{cxp1}$ ）。しかし、第2の車輪セット106の回転角度は、第1の周波数領域で、第4の制御のバリエーションの場合と同様に調節される（すなわち、前に位置するボギー車103について、 $M_{Tx2}=M_{cxs}-M_{Tx1}$ 、後ろに位置するボギー車103について $M_{Tx2}=-M_{cxs}-M_{Tx1}$ ）。したがって、これに関しては単に、上の説明を参照する。

【0112】

この第5の制御のバリエーション、および第5のバリエーションにおいては（ $M_{Akt1}=-M_{cxp1}$ かつ $M_{Tx2}=\pm M_{cxs}-M_{Tx1}$ ）、ここで式（3）から（6）から次の関係が得られる：

【数9】

10

$$\sum Y_1 = \frac{F_{aq}}{2} \pm \frac{M_{cxs}}{2a} \mp \frac{M_{cxs}}{2a} = \frac{F_{aq}}{2} \quad (9)$$

$$\sum Y_2 = \frac{F_{aq}}{2} \mp \frac{M_{cxs}}{2a} \pm \frac{M_{cxs}}{2a} = \frac{F_{aq}}{2} \quad (10)$$

【0113】

換言すると、これによっても、第1の車輪セット105における横方向の軌道力の合計 ΣY_1 と第2の車輪セット106における横方向の軌道力の合計 ΣY_2 は釣り合わされている（すなわち $\Sigma Y_1 = \Sigma Y_2$ ）。

20

【0114】

ここでもまた、第1の補正係数 K_1 または第3の補正係数 K_3 を介して、上述したように、第1または第3の理想目標値に対して、使用される第1または第3の目標値を任意に、場合によっては時間に依存させて、走行状況に依存させて、および／または軌道の状況に依存させてずらすことができる。したがって、第1の補正係数 K_1 または第3の補正係数 K_3 は、少なくとも一時的に、1とは異なるように選択することができ、および／または少なくとも一時的に、1に等しく選択することができ、および／または所定の様式に従って変化させることができる。

30

【0115】

不安定な走行状況を回避するために、第1の制御のバリエーションにおけるように、車輪セット105、106の安定化制御が、まっすぐな軌道で、そしてまた曲線軌道でも行われ、すなわち、第1および第2の車輪セット105、106の回転角度が第2の周波数領域において調節される。制御装置113は、ここでは、第1の制御のバリエーションに関連して上述したように機能し、すなわち、第2の理想目標回転角度 ϕ_{z2si} に所定の第2の補正係数 K_2 を乗算したものに相当する第2の目標回転角度 ϕ_{z2s} を用いて機能する。したがって、ここでは単に、上の説明を参照する。

【0116】

なお、上述した全ての制御のバリエーションにおいて、駆動および制動のモーメントが、特に図1に示す非対称の方策において、曲線走行制御の作用に影響を与えることが理解される。それらによって、それぞれのアクチュエータロッド上に力が発生し、その力によって、それぞれの車輪セットの逸脱回転運動を生じさせる（曲線走行と等価）。しかし、駆動および制動のモーメントは、適切な測定（例えば非アクチュエータ側におけるロッド力測定）によって、または、列車制御システムからの伝達によって制御ループに重ね合わせ、それによって補償することができる。

40

【0117】

上述では、本発明は、理想目標値として理想目標回転角度を用いた例のみに基づいて説明されている。しかし、本発明の他のバリエーションにおいて、理想目標値として、任意の他の適切な量であって、その量を介して該当する車輪セットの所望の調節を行うことが

50

できる量を使用することができることが理解される。

【0118】

上述では、本発明は、2つの車輪セットを備えたボギー車を用いた例のみに基づいて説明されている。しかし、本発明の他のバリエーションにおいて、任意の他の種類の走行装置を使用することができることが理解される。

【図1】

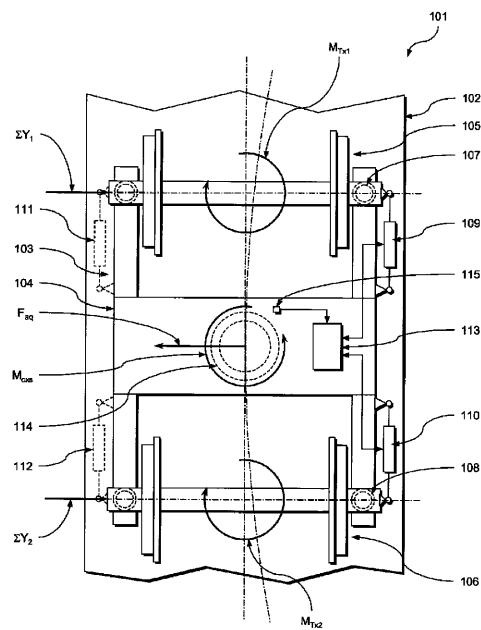


Fig. 1

【図2】

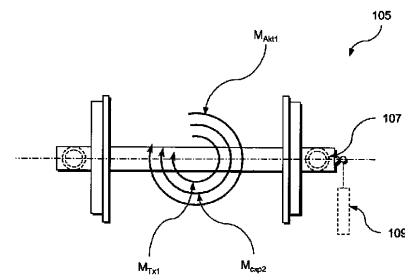


Fig. 2

【図3】

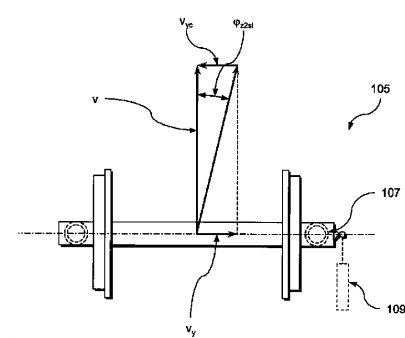


Fig. 3

フロントページの続き

(74)代理人 100112357

弁理士 廣瀬 繁樹

(74)代理人 100140028

弁理士 水本 義光

(72)発明者 デデ, ヤニ

ドイツ連邦共和国, 5 7 0 7 6 ジーゲン, エルンストーバルラッハーベーク 1 2

(72)発明者 レイマン, ウベ

ドイツ連邦共和国, 5 7 0 7 2 ジーゲン, エーデルワイスベーク 4 3

(72)発明者 ローマン, アルフレッド

ドイツ連邦共和国, 5 7 0 8 0 ジーゲン-エイセルム, リンズドルファーシュトラッセ 1 7

審査官 久保 克彦

(56)参考文献 特表2004-535330 (JP, A)

特開平10-315965 (JP, A)

特開平08-198108 (JP, A)

特開平09-226576 (JP, A)

特開2003-072544 (JP, A)

特開2006-232038 (JP, A)

特開2007-131204 (JP, A)

実開昭56-102270 (JP, U)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

B 6 1 F 5 / 4 4